



anses

# **Analyse des risques liés à l'émergence de l'encéphalite à tiques en France hexagonale**

Avis de l'Anses  
Rapport d'expertise collective

Juin 2025



Le directeur général

Maisons-Alfort, le 5 juin 2025

## AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

relatif à l' « Analyse des risques liés à l'émergence de l'encéphalite à tiques en France hexagonale »

---

*L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.*

*L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.*

*Elle contribue également à assurer la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux, l'évaluation des propriétés nutritionnelles et fonctionnelles des aliments et, en évaluant l'impact des produits réglementés, la protection de l'environnement.*

*Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L. 1313-1 du Code de la santé publique).*

*Ses avis sont publiés sur son site internet.*

---

L'Anses s'est autosaisie le 10 mai 2022 pour la réalisation de l'expertise suivante : Analyse des risques liés à l'émergence de l'encéphalite à tiques en France hexagonale.

### 1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

Le virus de l'encéphalite à tiques (*Tick-borne encephalitis virus* - TBEV) est un arbovirus du genre *Orthoflavivirus* transmis par les tiques, présent dans une vaste zone allant du nord de l'Asie à l'Europe de l'Ouest. Il circule au sein de sa communauté d'hôtes et de ses vecteurs, principalement des tiques dures du genre *Ixodes*. Les espèces *I. ricinus* et *I. persulcatus* sont considérées comme les principales tiques vectrices du TBEV en Europe et en Asie respectivement. Il existe trois sous-types de TBEV : le sous-type européen (TBEV-Eu) transmis presque exclusivement par *I. ricinus* et les sous-types sibérien (TBEV-Si) et Extrême-Orient (*Far Eastern* – TBEV-FE) principalement associés à *I. persulcatus*. Diverses espèces de micromammifères sont suspectées d'être des réservoirs vertébrés du TBEV, en plus du vecteur lui-même et joueraient un rôle significatif dans sa pérennisation. Plusieurs autres espèces sauvages et domestiques ainsi que l'être humain sont considérés comme des hôtes accidentels, souvent asymptomatiques ne développant pas ou peu de virémie.

Ce virus est responsable chez les humains de l'encéphalite à tiques (TBE) et est transmis essentiellement par piqûre de tiques mais aussi par la consommation de lait cru ou produits laitiers à base de lait cru contaminés.

En Europe, plusieurs milliers de cas humains de TBE sont enregistrés chaque année (3 650 cas en 2022). La maladie est endémique dans de nombreux pays européens : Autriche, Allemagne, Europe du nord (Finlande, Norvège, Suède et pays baltes), République tchèque, Slovaquie, etc. Une augmentation de son incidence est actuellement observée en Europe, comme en Suisse, en Allemagne et en France. L'aire de répartition du virus semble également s'étendre à de nouvelles zones géographiques, comme les Pays-Bas, la Belgique ou le Royaume-Uni, pays ayant enregistré ces dernières années leurs premiers cas humains autochtones de TBE, respectivement en 2016, 2018 et 2019.

En France, parmi les trois principaux sous-types du virus décrits, seul le sous-type européen (TBE-Eu) a été détecté, principalement dans le Nord-Est du pays. Il est généralement considéré comme le moins pathogène. Ainsi 10 à 30 % des personnes infectées développent des symptômes, et parmi ces patients, 20 à 40 % développent une forme neurologique pouvant être sévère (méningite, encéphalite, méningo-encéphalomyélite, etc.). La distribution du virus et la situation épidémiologique restent mal connues en France au moment de la rédaction de l'avis. Avec une trentaine de cas diagnostiqués par an, la France est considérée comme un pays à faible incidence de la TBE bien que celle-ci représente actuellement la troisième cause d'encéphalite. La majorité des cas sont recensés en Alsace, où une tendance à l'augmentation de l'incidence est par ailleurs observée. Des cas sont également rapportés régulièrement en Haute-Savoie, Loire, Haute-Loire et dans l'Ain. Dans les zones d'endémie, la prévalence du virus chez les tiques est faible (< 1 %). Le TBEV est connu pour avoir une distribution non homogène, par micro foyers, dans les zones de transmission. Cependant, l'aire de répartition du virus en France est vraisemblablement plus étendue que celle estimée à partir des cas humains. Des études de séroprévalence ont en effet montré la présence d'anticorps anti-TBEV (confirmés par séroneutralisation) chez des professionnels forestiers ainsi que chez des sangliers (*Sus scrofa*) et chevreuils (*Capreolus capreolus*), sans déplacement de ces derniers, dans d'autres régions que la région Grand-Est (Bourgogne, Franche-Comté, Champagne-Ardenne et Savoie).

En France hexagonale, les contaminations ont lieu essentiellement du printemps à l'automne (période d'activité des tiques *Ixodes*). Jusqu'en 2020, ces contaminations étaient uniquement liées à des piqûres de tiques. Cependant en avril-mai 2020, un premier foyer de toxi-infection alimentaire collective (TIAC, 44 cas) au TBEV a été identifié dans le département de l'Ain. Il a été relié à la consommation de fromage de chèvre au lait cru. Ce foyer était situé en dehors de la zone historiquement connue de circulation du virus.

L'émergence et la circulation du TBEV sur le territoire français hexagonal constituent, du fait des formes neurologiques de la maladie, un enjeu de santé publique humaine et vétérinaire qui justifie la mise en œuvre de stratégies de prévention et de gestion. Devant le risque que la TBE représente et suite aux recommandations du Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP), la TBE est inscrite dans la liste des maladies à déclaration obligatoire depuis le 12 mai 2021 (décret n° 2021-573 du 10 mai 2021).

Dans ce contexte, l'Anses s'est autosaisie pour réaliser une expertise interdisciplinaire relative à l'émergence de la TBE en France hexagonale. Cette expertise avait pour but de répondre aux questions suivantes :



- (1) « réaliser un état des connaissances sur le TBEV et un inventaire des données disponibles pour évaluer les risques liés à la TBE (les risques de transmission du TBEV à l'être humain par piqûre de tiques, les risques d'introduction du TBEV dans les élevages, les risques de transmission du TBEV par voie alimentaire) ;
- (2) réaliser une (ou des) carte(s) de risque sur la base des données disponibles, en intégrant l'ensemble des facteurs de risque identifiés ;
- (3) identifier des options de gestion et les évaluer selon différents critères (tels que l'efficacité, la faisabilité, l'applicabilité...), et d'appliquer ces scénarios dans la (les) cartes des risques ;
- (4) proposer des recommandations et des actions de recherche ciblant l'acquisition de données permettant d'affiner les évaluations du risque de TBE et d'aider le gestionnaire à affiner et prioriser les mesures de gestion. »

## 2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

### 2.1.Expertise collective

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Janvier 2024) ».

L'expertise relève du domaine de compétences des comités d'experts spécialisés (CES) « Santé et Bien-être des animaux (SABA) », « Analyse socio-économique (ASE) » et « Evaluation des risques biologiques dans les aliments (BIORISK) », ainsi que du GT « vecteurs » ; le CES SABA étant le collectif de référence de l'expertise.

L'Anses a confié l'expertise au groupe de travail « *Tick-borne encephalitis virus* - TBEV ». Les travaux ont été présentés aux différents CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques entre le 13 décembre 2022 et le 17 décembre 2024. Ils ont été adoptés par le CES « SABA », réuni le 25 février 2025, après passage devant le CES ASE le 15 octobre 2024 et le CES BIORISK le 28 janvier 2025.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet : <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

### 2.2.Méthodologie et moyens mis en œuvre

- Recherches bibliographiques et analyses

Les membres du GT « TBEV » ont été mobilisés pour la rédaction du rapport. Ces derniers ont sélectionné les articles et documents les plus pertinents pour documenter le rapport. Des recherches bibliographiques ont été effectuées pour les éléments de l'expertise nécessitant un approfondissement.

- Auditions et données complémentaires

Des auditions ont été réalisées afin d'obtenir des données et des informations complémentaires à celles issues de la littérature scientifique notamment sur les pratiques en élevage caprin en France. La liste des personnes auditionnées (professionnels d'organismes

de recherche et développement de la filière laitière et d'accompagnement de la filière caprine et vétérinaire spécialiste de la filière caprine) par les experts du GT figure dans le Tableau 1 page 12 du rapport d'expertise.

- Convention de Recherche et Développement

Une étude a été confiée par l'Anses au Centre d'Innovations Sociales Clermont Auvergne (CISCA) sous la forme d'une convention de recherche et développement. Le GT a souhaité réaliser une enquête socio-anthropologique auprès d'éleveurs et d'acteurs associés à l'élevage caprin, afin d'améliorer la compréhension des enjeux autour de la maladie. Les résultats de cette enquête ont permis d'éclairer les experts du GT quant au contexte et à la pertinence des options de gestion qu'il a considérées, en décrivant notamment les pratiques réelles des éleveurs caprins, producteurs de fromage au lait cru, et leurs rapports aux risque TBEV. Le rapport de l'enquête est en Annexe 9 du rapport d'expertise (p. 297).

- Modélisation

Dans le cadre de l'expertise du GT, différents travaux de modélisation ont été effectués. Les experts ont ainsi :

- utilisé l'outil BCoDE (*Burden of Communicable Diseases in Europe*), un modèle développé par le Centre européen de prévention et de contrôle des maladies (ECDC) afin d'estimer le fardeau sanitaire de la TBE en France ;
- développé un modèle probabiliste, afin d'estimer la probabilité de développer une TBE avec des manifestations cliniques à la suite de piqûres de tiques ;
- développé un modèle *agent-based* (modèle basé sur les agents) afin d'évaluer l'exposition humaine au TBEV par la consommation de fromages au lait cru.

La méthode et les résultats pour chacun de ces modèles sont développés dans le rapport d'expertise.

- Elicitation des connaissances d'experts

Pour pallier le manque de données, deux élicitations d'experts ont été réalisées afin de :

- caractériser les facteurs de risques d'exposition aux piqûres de tiques liés aux activités humaines (professionnelles ou récréatives) en forêt et pouvoir orienter les messages de prévention vers les populations les plus à risque. Les experts du GT ont ainsi proposé aux experts élicités de hiérarchiser différentes activités pratiquées en forêt sur la base du risque d'exposition aux piqûres de tiques ;
- identifier les principaux facteurs associés à une augmentation d'incidence des cas humains d'infection par le TBEV. Cette élicitation s'appuie sur les données d'une élicitation d'experts conduite à l'échelle européenne et, dans le cadre des travaux du GT, seuls les résultats concernant la France ont été considérés et ré-analysés par le GT.

La méthode, le déroulement et les résultats pour chacune de ces élicitations sont développés dans le rapport d'expertise.

- Sollicitation des points focaux de l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA)

En tant que point focal national de l'EFSA, l'Anses dans le cadre d'une enquête réalisée en octobre 2023 a interrogé les 27 points focaux de l'Union Européenne (UE), plus l'Albanie, la Bosnie Herzégovine, l'Islande, le Kosovo, le Monténégro, la Macédoine du Nord, la Norvège, la Serbie, la Suisse et la Turquie sur l'épidémiologie des cas de transmission alimentaire de TBE dans leur pays, ainsi que sur les actions mises en œuvre dans la chaîne alimentaire (surveillance, prévention, contrôle).

- Prise en compte des incertitudes

Les principales sources d'incertitudes liées à l'expertise ont été identifiées, en se fondant sur la typologie et les recommandations du GT de l'Anses « Méthodologie en évaluation des risques » (GT MER). Elles sont répertoriées et analysées dans le Tableau 26, p.213 du rapport d'expertise.

### 2.3.Limites du champ d'expertise

Les analyses réalisées dans le cadre de l'expertise ont été établies en l'état des connaissances scientifiques au moment des travaux. À ce titre, la question 2 de la saisine « réaliser une (ou des) carte(s) de risque sur la base des données disponibles, en intégrant l'ensemble des facteurs de risque identifiés », n'a pas été traitée par le GT, faute de données suffisantes pour la France pour pouvoir réaliser ces cartes de risques. La question 3 de la saisine « identifier des options de gestion et les évaluer selon différents critères (tels que l'efficacité, la faisabilité, l'applicabilité, etc.), et appliquer ces scénarios dans la (les) cartes des risques », n'a quant à elle pu être que partiellement traitée. L'évaluation des options de gestion répertoriées par le GT n'a pu être conduite dans le cadre des travaux.

## 3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES SABA ET DU GT TBEV

Le CES SABA et le GT TBEV rappellent que le présent avis est associé à un rapport d'expertise collective qui développe l'ensemble de l'argumentaire des réponses aux questions posées dans la saisine.

### 3.1.Le virus de l'encéphalite à tiques : généralités et éléments de bio-écologie

#### 3.1.1.Le virus de l'encéphalite à tiques

Le virus de l'encéphalite à tiques – TBEV (*Tick-borne encephalitis virus*), appartient à la famille des *Flaviviridae*. Comme les autres virus du genre *Orthoflavivirus*, le TBEV est un virus enveloppé à ARN positif simple brin.

Ce virus est endémique dans plusieurs régions d'Europe et d'Asie, où il circule principalement entre tiques et micromammifères. Plusieurs sous-types de TBEV existent, les trois principaux étant les sous-types européen (TBEV-Eu), sibérien (TBEV-Sib) et extrême-oriental (TBEV-Fe), caractérisés par des différences de virulence et de répartition géographique. En France hexagonale, seul le sous-type européen circule.

Le TBEV est un arbovirus qui peut être transmis à l'être humain principalement par la piqure de tiques infectées mais également, dans une moindre mesure, par la consommation de lait cru contaminé ou de produits au lait cru contaminé (lait produit par des animaux virémiques).

### 3.1.2. Transmission du TBEV

Le cycle naturel du TBEV repose sur une transmission horizontale entre tiques lors d'un repas sanguin sur un hôte vertébré en phase de virémie, une transmission trans-stadiale (d'une stase à une autre) et, dans une moindre mesure, une transmission trans-ovarienne. Le virus peut se transmettre également par co-repas (*cofeeding*) d'une tique infectée à une tique saine lors du repas sanguin sur un hôte en l'absence de virémie chez celui-ci, à condition que la tique infectée et la tique non infectée soient fixées à quelques centimètres l'une de l'autre. Cette transmission par co-repas est, selon certains auteurs, nécessaire au maintien local du cycle du virus.

En parallèle de ce cycle naturel, la transmission à l'être humain peut s'opérer selon différents modes.

#### 3.1.2.1. Les tiques vectrices

Les espèces *Ixodes ricinus* et *I. persulcatus* du complexe d'espèces *Ixodes ricinus* sont considérées comme les vecteurs principaux du TBEV. En Europe, *I. ricinus* est la plus répandue et est impliquée dans la majorité des transmissions à l'être humain. Des espèces appartenant à deux autres genres, *Dermacentor* spp. et *Haemaphysalis* spp., sont également considérées dans la littérature comme vecteurs secondaires du virus.

En France, seules les tiques *Ixodes ricinus* et *Dermacentor reticulatus* présentent un niveau de preuve suffisant (validation expérimentale) pour affirmer leur réelle compétence vectorielle pour le TBEV. Le GT a fait le choix de ne considérer que ces deux espèces dans son expertise.

- *Ixodes ricinus*

*Ixodes ricinus* ss. est exophile, à cycle à trois hôtes. Ses stases immatures se nourrissent sur des hôtes très variés, principalement des micromammifères, des oiseaux ou des lézards, alors que les adultes ont une préférence pour les méso- et les macro- mammifères ; les ongulés sauvages tels que les chevreuils sont des hôtes essentiels pour les stases femelles adultes. En France, *I. ricinus* est l'espèce de tique la plus répandue et la plus fréquemment trouvée sur les êtres humains. Le pic d'activité des nymphes et des adultes se situe au printemps et une deuxième période d'activité, moins intense, se produit à l'automne. Ce sont principalement les nymphes qui piquent l'être humain et sont impliquées dans la transmission d'agents pathogènes à ce dernier. Pour le TBEV, en zone endémique, les tiques ont un taux d'infection compris entre 0,1 et 5 % en Europe. La prévalence est plus élevée chez les adultes que chez les nymphes.

- *Dermacentor reticulatus*

*Dermacentor reticulatus* a un cycle à trois hôtes avec les stases immatures, larves et nymphes, endophiles et les stases adultes exophiles. Les stases immatures se nourrissent sur les micromammifères alors que les adultes, mâles et femelles, se nourrissent sur une très large gamme d'hôtes de méso- et macro- mammifères dont les ruminants mais également l'être humain.

*Dermacentor reticulatus* est plus tolérante au froid qu'*I. ricinus* et les stases adultes peuvent être actives tout au long de l'hiver bien qu'elles soient principalement actives à la fin de l'hiver (de février à avril) et en automne (septembre-octobre). Les larves sont actives en juin-juillet et

les nymphes en juillet-août.

Bien que la compétence vectorielle de *D. reticulatus* ait été démontrée expérimentalement, sa contribution dans le maintien naturel du TBEV en l'absence d'*I. ricinus* est considérée comme faible. Toutefois, *D. reticulatus* pourrait contribuer à amplifier la circulation de TBEV lorsque la tique *I. ricinus* est présente.

En Europe, les tiques *Dermacentor* spp. piquent moins souvent l'être humain que les tiques *Ixodes* spp. Elles auraient donc un rôle moins important qu'*I. ricinus* dans la transmission du virus à l'être humain par piqûre. Cependant, les adultes se nourrissent régulièrement sur les animaux de production et pourraient donc fortement contribuer à la transmission du virus chez ces animaux et donc indirectement à l'être humain par la consommation de produits laitiers contaminés.

#### 3.1.2.2. Les hôtes vertébrés

Les données disponibles au moment de la rédaction de l'avis suggèrent que tous les hôtes (mammifères, oiseaux, reptiles) sur lesquels se nourrit la tique *I. ricinus* sont susceptibles d'être infectés par le TBEV. Le virus circule naturellement entre les tiques et les micromammifères. En Europe de l'Ouest, ce sont principalement les espèces vivant en milieu forestier, notamment le campagnol roussâtre (*Clethrionomys glareolus*) et les mulots (*Apodemus flavicollis*, *A. sylvaticus*), qui sont concernés. Le rôle des oiseaux n'est pas bien connu mais ils contribueraient à la dispersion géographique des tiques infectées. Les méso- et macro-mammifères, dont l'être humain, sont principalement des hôtes accidentels du virus qui ne participent pas activement à la circulation du TBEV. Les ruminants domestiques sont considérés comme non compétents pour transmettre le TBEV aux tiques en raison d'une virémie généralement trop faible, mais le virus peut néanmoins être excrété dans le lait au cours de cette phase. Les cervidés quant à eux, sont des hôtes importants qui maintiennent notamment les populations de tiques sans participer directement à la transmission virale.

La durée de l'immunité chez les animaux n'est pas connue, mais les observations suggèrent une persistance des anticorps pendant un à trois ans. Des études complémentaires sont nécessaires pour évaluer la persistance des anticorps et leur rôle protecteur à long terme.

#### 3.1.2.3. Modes de transmission à l'être humain

- Piqûre de tique

La piqûre par une tique infectée est considérée comme le principal mode de transmission du TBEV à l'être humain et à ses autres hôtes vertébrés. En Europe, la plupart des contaminations ont lieu au début de l'été lors du pic d'activité des tiques. *Ixodes ricinus* est la tique la plus souvent trouvée sur l'être humain. La transmission du TBEV lors de la piqûre est quasi immédiate, le virus étant déjà présent dans les glandes salivaires dès le début du repas sanguin.

- Transmission alimentaire

L'être humain peut aussi se contaminer par voie alimentaire par l'ingestion de lait cru ou de produits laitiers au lait cru provenant de ruminants infectés tels que les brebis, les chèvres et les vaches. Lorsqu'un animal est piqué par une tique infectée, le virus peut être excrété dans le lait durant la phase virémique, et de ce fait les produits à base de lait cru peuvent être contaminés. En Europe et en France, parmi les cas humains de TBE suite à une transmission alimentaire, une proportion importante de cas est associée à la consommation de lait cru ou de produits à base de lait cru issus de lait de chèvre comparativement à d'autres ruminants.

- Autres modes de transmission

Des voies de transmission plus rares sont possibles et ont été rapportées dans la littérature, par exemple : transmission interhumaine par contact avec du sang ou des tissus infectés, transmission mère-enfant lors de la grossesse ou par l'intermédiaire de l'allaitement de la mère à son enfant. Concernant, la transmission par contact direct avec le sang ou les fluides corporels d'un animal virémique : aucun cas de transmission par contact direct n'a été rapporté dans la littérature au moment de la rédaction du rapport.

La dose infectieuse minimale du TBEV est, au moment de l'expertise, inconnue chez l'être humain, quelle que soit la voie de transmission.

### **3.2.Diagnostic, surveillance, et épidémiologie de l'encéphalite à tiques**

#### **3.2.1.Diagnostic et surveillance**

Les infections à TBEV sont de gravité variable chez l'être humain avec des manifestations cliniques différentes selon les sous-types du virus. Les personnes infectées peuvent présenter des symptômes allant d'une fièvre bénigne à des complications neurologiques graves. Les souches de sous-type européen (TBEV-Eu), celles circulant en France, provoquent souvent une infection de sévérité moindre que les souches du sous-type extrême-oriental (TBEV-Fe). Entre 70 et 90 % des infections par le sous-type TBEV-Eu sont asymptomatiques. Pour la part des cas développant des symptômes (10 à 30 % des cas), l'infection évolue ensuite selon un profil biphasique. La première phase virémique est associée à des symptômes pseudo-grippaux et survient environ une à deux semaines après la transmission du virus. S'en suit une phase asymptomatique qui précède la deuxième phase de la maladie. Au cours de cette deuxième phase, des symptômes de méningite ou d'encéphalite apparaissent. Le taux de létalité pour le sous-type européen est inférieur à 2 %.

Le diagnostic repose sur des outils moléculaires et sérologiques et est assez complexe à établir. D'une part les symptômes peu spécifiques de la première phase de la maladie compliquent sa caractérisation, et d'autre part, les outils sérologiques disponibles manquent de spécificité et compliquent la détection.

En 2025, il n'existe pas de traitement curatif, la prévention repose sur la vaccination et l'évitement des piqûres de tiques.

En Europe, la surveillance de la TBE, coordonnée par l'ECDC, se fait dans la majorité des pays de manière obligatoire (par la déclaration obligatoire) ou volontaire. En France, bien que l'incidence soit faible, des foyers localisés émergent, notamment en Alsace et en région Auvergne-Rhône-Alpes. Depuis 2021, la TBE est inscrite parmi les maladies à déclaration obligatoire, permettant une meilleure exhaustivité de collecte des données grâce à la transmission des cas aux agences régionales de santé (ARS). Cette surveillance inclut la collecte de données épidémiologiques et l'analyse des expositions à risque, comme les piqûres de tiques ou la consommation de produits laitiers au lait cru.

#### **3.2.2.Épidémiologie de la TBE**

- En Europe

La TBE est endémique dans plusieurs pays d'Europe Centrale, du Nord et de l'Est, l'incidence la plus élevée ayant été observée historiquement dans les pays baltes et d'Europe centrale.

Dans l'UE/EEE (espace économique européen), la majorité des infections sont causées par le sous-type TBEV-Eu.

D'après les données de surveillance collectées par l'ECDC en 2022, 21 pays de l'UE/EEE ont notifié 3 516 cas confirmés de TBE. La circulation du TBEV est très localisée et les taux de notification varient d'une région à l'autre dans chaque pays d'Europe.

- En France hexagonale

Comparée à d'autres pays européens, la France est un pays à faible incidence d'infections à TBEV. En Alsace, l'incidence des cas tend à augmenter depuis 2013 avec le recensement de 64 cas de 1968 à 2013 versus 54 cas sur la seule période 2013-2016. En dehors de l'Alsace, des cas sporadiques ont été rapportés depuis 2003, en particulier en Haute-Savoie.

En mai 2020, un épisode de cas groupés (41 cas confirmés) a été identifié dans le département de l'Ain, zone non considérée alors comme zone habituelle de circulation du virus. Il s'agissait du premier épisode de transmission alimentaire identifié en France.

Suite à l'inscription des infections à TBEV dans la liste des maladies à déclaration obligatoire, d'après les données de Santé publique France (SpF), 105 cas ont été déclarés entre mai 2021 et décembre 2023 (30 en 2021, 36 en 2022 et 39 cas en 2023<sup>1</sup>).

La Haute-Savoie est le département ayant rapporté le plus de cas entre mai 2021 et mai 2023, devant les deux départements alsaciens. La région Auvergne-Rhône-Alpes est désormais reconnue comme une zone importante de circulation du virus.

De manière générale, en France, comme en Europe, les données montrent une expansion géographique et une augmentation des cas, liée à une probable augmentation de l'incidence de la maladie mais également à l'amélioration des méthodes de diagnostic.

### 3.3.Évaluation économique du fardeau sanitaire de la TBE

L'évaluation économique du fardeau sanitaire vise à valoriser sous forme monétaire le coût, pour la société, de la TBE.

L'analyse, menée par le GT, repose sur une modélisation théorique de la maladie, reconstituant l'évolution des patients dans les différents états de santé caractéristiques de la maladie, afin d'estimer les coûts directs (liés au traitement), indirects (perte de productivité du fait de la maladie et temps perdu pour d'autres activités) et intangibles (relatifs aux impacts sur la qualité de vie et la mortalité précoce le cas échéant), associés aux cas de TBE en France. Pour estimer le fardeau à l'échelle de la France, le modèle européen BCoDE a été alimenté à partir des cas recensés depuis la mise en place de la déclaration obligatoire des cas de TBE en 2021, soit 71 cas entre mai 2021 et mai 2023<sup>2</sup>. Compte-tenu du faible nombre de cas observés, l'objectif de la démarche est de poser les bases d'une estimation.

Il est estimé que la TBE est associée à environ 30 DALYs (*Disability-Adjusted Life Year* – années de vie ajustées sur l'incapacité) perdues en France chaque année. Le coût total annuel de la maladie est estimé à 3,1 millions d'euros hors décès, dont 481 000 euros de coûts directs et indirects et 2,7 millions d'euros de coûts intangibles. Le coût total par cas est estimé à environ 31 000 euros. Cette estimation repose sur un faible nombre de cas. Ce faible nombre de cas peut être à la fois le reflet d'une faible incidence associée à un sous-recensement des cas, en particulier bénins, et de la mise en place récente de la déclaration obligatoire des cas

---

<sup>1</sup> Treize patients ont déclaré avoir consommé des produits au lait cru durant la période de contamination, sans qu'on puisse établir de façon certaine un lien de cause à effet étant donné qu'ils rapportaient aussi des expositions aux tiques. Vingt-quatre patients ont rapporté une piqûre de tique.

<sup>2</sup> Données disponibles au moment de la réalisation de l'analyse par le GT courant 2024.

humains. Le modèle utilisé repose sur des données relativement anciennes et collectées dans des régions à plus forte prévalence que la France, ce qui pourrait limiter leur transposition. En l'absence de données françaises précises, notamment sur la prise en charge des personnes infectées, l'estimation repose sur de nombreuses hypothèses et l'incertitude associée à l'estimation est importante. Les choix retenus dans la modélisation tendent à sous-estimer le coût de la TBE en France, et la valeur estimée doit être considérée comme une estimation basse.

### **3.4.Détection du TBEV et surveillance chez les animaux et leurs produits, et dans les populations de tiques**

Chez les animaux, l'infection par le TBEV est majoritairement asymptomatique. Quelques rares cas cliniques ont toutefois été signalés chez les chiens et les chevaux. Les mammifères, qu'ils soient sauvages ou domestiques, ainsi que les êtres humains, sont considérés comme des hôtes non compétents, développant une virémie faible ou nulle. L'infection des animaux par le TBEV est d'ailleurs considérée comme un problème uniquement pour les ruminants domestiques. Ceux-ci induisent un risque zoonotique, du fait de l'excrétion du virus dans leur lait et du risque de transmission du TBEV à l'être humain par consommation de leur lait cru ou de produits dérivés contaminés.

Pour rechercher le TBEV, différentes techniques de détection sont utilisables en fonction des différentes matrices (dans les tiques, chez les animaux sauvages et domestiques et dans le lait) et en fonction de l'objectif (déterminer les zones de circulation virale ou identifier un risque de transmission alimentaire de TBEV). La détection du TBEV repose principalement sur des analyses moléculaires comme la RT-qPCR, utilisées pour identifier le génome viral dans les tiques, les animaux et les produits laitiers. Les méthodes sérologiques (ELISA, tests de neutralisation) permettent de détecter les anticorps et sont utiles pour identifier les zones à risque de circulation virale.

En France, la distribution du TBEV n'est pas clairement déterminée, elle est néanmoins importante pour sensibiliser les populations exposées ainsi que les cliniciens et les pharmaciens de façon à améliorer le diagnostic et adapter les mesures de prévention. En 2025, la détermination des zones de présence s'appuie principalement sur les cas humains, bien qu'ils ne reflètent pas la distribution réelle du virus sur le territoire du fait du faible nombre de cas déclarés.

Concernant la surveillance, en France, il n'existe pas de surveillance programmée et organisée à l'échelle nationale des populations de tiques, quelle que soit l'espèce. Il n'existe pas non plus de dispositif de surveillance du TBEV chez les animaux, les tiques ou dans les produits laitiers. La détection du virus dans les tiques ou les micromammifères nécessite un grand nombre d'échantillons et une logistique complexe et coûteuse. Selon les experts du GT, la réalisation d'enquêtes sérologiques chez les ongulés sauvages (chevreuils) et domestiques (bovins) est un outil pertinent pour cartographier la présence du TBEV à l'échelle nationale. Ces espèces, largement réparties sur le territoire français, pourraient servir d'indicateurs dans l'objectif de déterminer les zones de présence du virus grâce à leur exposition élevée aux tiques. Ces enquêtes sérologiques pourraient donc permettre de mieux connaître les zones de présence du virus afin d'améliorer le diagnostic et d'adapter les mesures de prévention.

Dans l'objectif d'identifier des élevages présentant un risque de transmission alimentaire de TBEV, le lait, notamment celui de caprins, est une matrice d'intérêt. Les études nord-européennes montrent que la détection d'anticorps ou de génomes viraux dans les laits de tank est une méthode prometteuse pour surveiller la présence du TBEV. Toutefois, la méthode



d'échantillonnage et la sensibilité des tests restent à être évaluées et des seuils de positivité dans le lait de tank doivent également être définis. Du fait de la distribution hétérogène des élevages caprins en France, cette surveillance pourrait être pertinente à l'échelle locale pour objectiver la circulation du virus dans une zone géographique. Concernant les méthodes sérologiques, il y a un besoin de développement ou de calibration de ces outils aux espèces et matrices ciblées pour s'assurer de la fiabilité et de l'interprétation des résultats.

### **3.5.Facteurs de variations spatio-temporelles de la transmission du TBEV par piqûre de tiques**

Différents facteurs influencent et conditionnent le risque de transmission du TBEV : la dynamique des populations de tiques, la dynamique de transmission du TBEV, et l'exposition humaine aux piqûres de tique.

La dynamique des populations des tiques *I. ricinus* dépend de conditions environnementales et météorologiques comme la température et l'humidité, qui influencent le développement et la survie des tiques. Les habitats favorables aux tiques incluent les forêts feuillues et mixtes avec une hygrométrie élevée. La densité des hôtes, tels que rongeurs et cervidés, est également cruciale pour maintenir les populations de tiques et favoriser la transmission du virus.

Selon certains scientifiques, la dynamique de transmission du TBEV repose sur une synchronicité entre les larves et les nymphes se nourrissant sur des micromammifères. Ce phénomène est de plus influencé par des facteurs climatiques et biotiques (abondance et diversité des hôtes), Ceci explique la distribution du TBEV, hétérogène dans son aire de distribution et souvent limitée à des micro-foyers.

L'exposition humaine, c'est-à-dire la fréquentation par les êtres humains des habitats où des tiques sont présentes et leur comportement dans ces habitats, est un paramètre important à prendre en compte dans la transmission du TBEV. L'exposition humaine dépend de la pratique d'activités en forêt (récréatives ou professionnelles), mais également de facteurs sociaux et économiques (comme par exemple, l'âge, la profession ou le lieu de résidence).

Des modèles statistiques et dynamiques, disponibles dans la littérature scientifique, ont été développés afin d'aider à prédire le risque de transmission du TBEV. Pour la plupart, ils tentent de prédire les zones à risque, mais leur fiabilité est limitée du fait notamment d'un manque de données. Les différents modèles et outils mettent en évidence les facteurs influençant le risque TBE et permettent d'identifier des zones associées à une plus forte probabilité d'infection mais l'incertitude reste élevée.

Enfin dans les zones non endémiques, représentant la majeure partie de la France hexagonale, le manque de données sur la présence du virus limite la fiabilité des cartes de risque et des modèles prédictifs.

### **3.6.Estimation du risque pour l'être humain de développer une TBE avec des manifestations cliniques à la suite d'une piqûre de tique**

Les experts ont évalué la probabilité de développer une TBE avec des manifestations cliniques à la suite d'une piqûre de tique, en considérant la probabilité de survenue d'une infection par TBEV à la suite de piqûre de tique et la probabilité d'apparition de manifestations cliniques de TBE consécutive à cette infection. Pour ceci, une approche probabiliste a été développée par le GT afin d'estimer la probabilité (P) de développer une TBE avec des manifestations cliniques à la suite d'une piqûre de tique. Cette approche est fondée sur le schéma événementiel

présenté en Figure 1 ci-dessus, décomposant les étapes conduisant à l'infection d'un être humain depuis son exposition à une tique dans l'environnement.

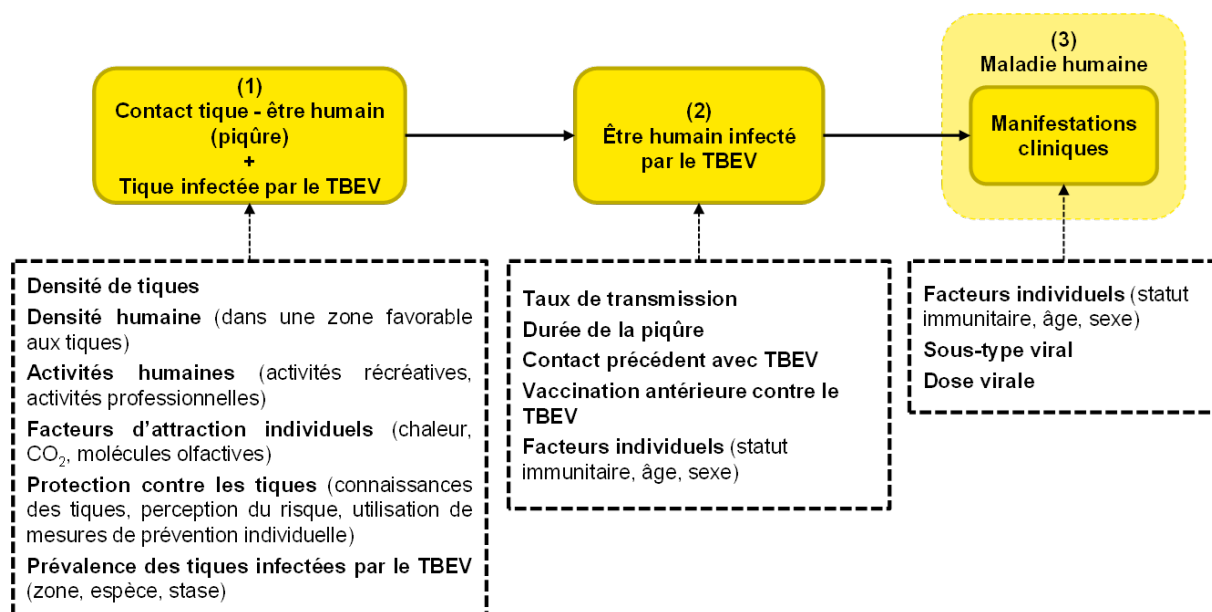


**Figure 1 : Schéma événementiel permettant d'estimer la probabilité de présenter des symptômes de TBE pour l'être humain à la suite d'une piqûre de tique et les facteurs qui influencent ces événements.**

Cette estimation a été réalisée pour la France hexagonale dans le cadre de la situation épidémiologique de 2024 de la TBE. La probabilité P a été estimée sur une année, permettant d'estimer une incidence annuelle de TBE clinique, même si certaines périodes de l'année sont plus à risque du fait de l'activité saisonnière des tiques.

Les experts ont fait le choix de se placer dans une zone de forte endémicité de TBEV : l'Alsace. La probabilité P a été estimée pour deux populations en Alsace : la population générale et la population des forestiers (professionnels assurant la gestion des forêts). Les forestiers passent généralement plus de 20 h par semaine en forêt et sont très régulièrement piqués par des tiques. De fait, la probabilité d'exposition aux tiques est donc sensiblement différente entre ces deux populations. Enfin, deux cas de figure ont été envisagés : le développement d'un syndrome pseudo-grippal (phase 1) et le développement de symptômes neurologiques accompagnés de fièvre (phase 2), dus à une infection par TBEV.

D'après le modèle développé par le GT, l'incidence annuelle de cas neurologiques de TBE faisant suite à des piqûres de tiques en Alsace serait au maximum de 67 cas en population générale (1,92 million) et un cas chez les forestiers (sur les 1 500 à 2 000 personnes employées dans le secteur forestier en Alsace). Par ailleurs, d'après le modèle, les forestiers ont environ 13 fois plus de risque que la population générale d'être infectés par le TBEV et de développer des symptômes neurologiques suite à cette infection.

En Alsace, l'incidence annuelle de cas neurologiques de TBE estimée par la modélisation est plus élevée que celle observée en population générale (10 à 30 cas). L'évaluation a intégré une analyse quantitative des incertitudes. L'analyse de sensibilité montre que le paramètre « proportion de piqûres ayant eu lieu dans une zone infectée par le TBEV » a un effet majeur sur la variation de cette estimation. En l'absence de données concernant ce paramètre, les experts du GT ont considéré un intervalle de valeurs extrêmes pour l'estimation du nombre de cas. Ce choix peut expliquer la surestimation des incidences calculées. L'acquisition de

données sur les proportions de piqûres dans les zones à risque est donc indispensable pour affiner le modèle proposé. Par la suite, ce modèle pourrait être adapté à d'autres régions ou groupes professionnels pour prévoir les risques, estimer l'effet de certaines options d'action visant à limiter le nombre de piqûres de tiques de l'être humain et guider les politiques de santé publique.

### **3.7.Pratiques d'élevage et facteurs de risque d'introduction du TBEV dans les élevages caprins français**

En France, la filière laitière caprine se structure autour de deux types d'exploitations : les producteurs livreurs et les producteurs fermiers. Dans l'ouest de la France, les exploitations sont majoritairement des producteurs livreurs, avec une moyenne de 300 chèvres par élevage, avec une densité importante. Les systèmes fourragers sont divers. La claustration avec un accès extérieur quelques jours de l'année semble être majoritaire parmi les exploitations. La production fermière concerne principalement les bassins Auvergne-Rhône-Alpes et Provence-Alpes-Côte d'Azur. Les pratiques pastorales et de pâturage y prédominent avec différents niveaux d'utilisation des parcours.

Les élevages caprins à risque de transmission du TBEV sont les élevages producteurs de produits au lait cru et dont les chèvres ont accès à la végétation dans des zones de circulation du TBEV. La plupart des élevages qui correspondent à ces caractéristiques sont localisés dans la région Auvergne-Rhône-Alpes. Dans cette région, 75 % des exploitations transforment la totalité de leur lait (1 000 exploitations ; 35 % de la transformation fermière française) ; ces élevages « fromagers fermiers » détiennent en moyenne 65 animaux et le système d'alimentation est basé sur l'utilisation de parcours une partie de l'année. Les chèvres sont potentiellement exposées aux piqûres de tiques en raison du pâturage et de l'environnement boisé des zones de pâture.

### **3.8.Evaluation de l'exposition humaine au TBEV par voie alimentaire**

Le modèle développé par le GT a pour objectif d'estimer l'exposition humaine au TBEV (proportion de portions contaminées et pourcentage des consommateurs exposés à des niveaux élevés de virus) par la consommation de fromages au lait cru issu de caprins infectés par le TBEV provenant d'un élevage situé dans une zone de circulation du virus. Sur la base des caractéristiques des élevages fermiers de la zone Auvergne-Rhône-Alpes, le modèle reproduit la dynamique de la transmission (durée d'exposition aux tiques et probabilité d'infection par animal) observée lors du foyer survenu dans un élevage de l'Ain en 2020.

Dans le scénario de référence (élevage de 50 animaux tous naïfs), le modèle estime, sur une période d'exposition à la piqûre de tique de 60 jours, un nombre médian de 12 chèvres infectées (entre deux et 31 chèvres). Les résultats du modèle montrent une différence de niveau d'exposition en fonction des catégories de fromages. Les probabilités d'exposition à des niveaux élevés de TBEV sont plus élevées pour les fromages à pâte pressée non cuite à affinage court (ex : chevrotin) et les pâtes lactiques fraîches (ex : faisselles). L'augmentation de la séroprévalence intra-troupeau, augmentant la résistance des chèvres à l'infection, réduit significativement la probabilité d'exposition des consommateurs à des niveaux de TBEV élevés. Par conséquent, le renforcement de l'immunité spécifique au TBEV des animaux pourrait constituer une action d'intérêt pour limiter le risque lié à la consommation de fromages au lait cru.

L'évaluation a intégré une analyse quantitative des incertitudes. Parmi les paramètres analysés, ceux ayant le plus d'impact sur les résultats du modèle sont, selon les types de

fromages, l'effet de la coagulation et de l'affinage, la fraction de virus infectieux parmi ceux excrétés et la probabilité d'excrétion virale chez les chèvres. Aussi, il apparaît nécessaire d'acquérir des données spécifiques sur l'effet des procédés de fabrication des fromages sur l'infectiosité du virus, en incluant des paramètres non introduits dans le modèle comme le taux de sel.

En l'absence d'une relation dose/réponse établie pour la transmission orale du TBEV, l'estimation quantitative du risque n'a pas pu être réalisée à ce stade. Afin de pouvoir estimer de manière précise les paramètres des lois dose-réponse pour la transmission orale du TBEV, une caractérisation approfondie des épidémies est nécessaire. Cette caractérisation comprend la quantification du titre infectieux au sein et entre les lots de fromages incriminés. De plus, il est important de documenter la taille des lots de produits consommés lors des épidémies et de recueillir des données détaillées sur le nombre et le profil des consommateurs affectés, incluant leur âge et leurs habitudes alimentaires.

À terme, le modèle développé pourrait servir d'outil pertinent pour le gestionnaire afin de mieux gérer les situations d'élevages touchés par le TBEV. En intégrant des variables spécifiques telles que la séroprévalence intra-troupeau, les pratiques d'élevage et les procédés de fabrication du fromage, le modèle pourrait être utilisé pour simuler différents scénarios d'intervention.

L'utilisation de modèles d'appréciation quantitative des risques peut également servir à établir des actions d'urgence pour une épidémie en cours. En spécifiant les caractéristiques du troupeau concerné (nombre d'animaux, séroprévalence, durée de l'exposition aux tiques), il est possible d'apprécier le nombre de consommateurs exposés à des niveaux élevés et ainsi de préparer une intervention proportionnée aux risques prédits.

### **3.9. Analyse prospective de l'évolution du risque d'infection humaine par le TBEV**

- Identification des principaux facteurs associés à une augmentation d'incidence des cas humains de TBE

Afin d'identifier les différents facteurs permettant de mieux comprendre l'augmentation observée d'incidence des cas humains de TBE en France, le GT s'est appuyé sur un travail d'élucidation mené en préambule de la saisine auprès d'experts européens. Les données françaises ont été extraites et analysées pour les 59 facteurs investigués dans le cadre de l'expertise. En appliquant un test de classement de Kruskal-Wallis, ces facteurs ont été agrégés en quatre groupes d'importance relative décroissante et classés par ordre d'importance. Les facteurs d'importance relative maximale sont les changements dans le comportement humain, les changements dans les habitudes alimentaires et les modifications du paysage telles que la fragmentation des habitats. Les changements dans le comportement humain apparaissent toutefois comme le facteur le plus important.

- Changements climatiques et risque d'infection par le TBEV

Les variations de l'incidence des maladies transmises par les tiques, notamment la TBE, sont largement influencées par des facteurs climatiques et humains. Les facteurs climatiques, en particulier ceux liés à la température et à l'humidité, affectent notamment la dynamique des populations de tiques, leurs habitats et la transmission des agents pathogènes. *Ixodes ricinus*, sensible aux variations climatiques, nécessite une humidité élevée et une température adéquate pour survivre, le réchauffement climatique est donc susceptible d'affecter sa dynamique de population à différents niveaux. Le réchauffement climatique modifie sa répartition géographique, avec une extension vers le nord et en altitude, particulièrement dans

les pays nordiques. En Europe centrale, la probabilité d'infection par le TBEV augmente, en raison de températures plus élevées favorisant la transmission par co-repas. L'impact du changement climatique a déjà été observé avec une hausse des cas de TBE en Suède et en République tchèque. Les modèles de prévision, comme ceux utilisés en Hongrie et en Scandinavie, montrent une expansion de la tique vers le nord, mais une réduction dans les régions méditerranéennes. Toutefois, ces modélisations doivent intégrer d'autres facteurs comme le type d'habitat et les pratiques humaines pour une prédiction plus précise.

La complexité de l'écologie des tiques et de l'épidémiologie de la TBE rend difficile de considérer le changement climatique comme la seule cause de l'augmentation de l'infection humaine par le TBEV.

### **3.10. Identification et discussion d'options d'action**

Les experts du GT TBEV ont souhaité mettre en lumière et en perspective le spectre d'options d'action reflétant notamment les spécificités du risque lié au TBEV. Dans le cadre de cette expertise, les options d'action possibles relèvent de la prévention, du contrôle et de la lutte antivectorielle, ainsi que, du dialogue, de l'information et de la participation des différents acteurs concernés. Elles visent à diminuer la probabilité de transmission du TBEV et la survenue de la maladie associée. Pour identifier et discuter de l'ensemble des options d'action disponibles à tous les stades de la chaîne événementielle de contamination, pour chacune des deux voies (voie alimentaire et piqure de tique), les experts se sont fondés sur les données bibliographiques et leurs propres connaissances, enrichies par une enquête socio-anthropologique auprès d'éleveurs caprins. Cette enquête, menée dans le cadre des travaux du GT, rend compte des expériences, des pratiques et des représentations des éleveurs et des éleveuses de chèvres, en lien avec les tiques et les risques qui leur sont associés, notamment le risque TBE. Elle a notamment aidé à mettre en perspective les options d'action envisagées par le GT, et à souligner des points de vigilance utiles à leur conception et mise en œuvre.

Pour sélectionner les options d'action jugées pertinentes, les experts ont utilisé les critères suivants : la faisabilité, l'efficacité (i.e. efficacité sanitaire entendue comme la diminution du risque de transmission du virus chez l'animal ou de survenue de la maladie chez l'être humain), l'acceptabilité (renvoyant à des options perçues comme justes, pertinentes, etc.), l'échelle d'action, les moyens et coûts impliqués. Le GT n'a pas souhaité procéder à une hiérarchisation de ces options d'action, mais a renseigné, dans son rapport, l'importance de certaines actions à mettre en œuvre en cas d'urgence.

Les options d'action jugées pertinentes sont réparties dans quatre domaines :

- environnement : clôtures anti-cervidés ;
- élevage : barrières permanentes ou mobiles, rotation de pâtures entre les lots, immunisation des jeunes animaux par infection naturelle, traitement des femelles en lactation par des antiparasitaires externes, claustration des animaux ;
- production et consommation alimentaires : informer les consommateurs sur les risques d'infection liés au lait cru, pasteurisation du lait ;
- être humain : incitation à se protéger des piqures, vaccin anti-TBEV.

Elles sont présentées en détail avec leurs avantages et limites dans le Tableau 23 (p. 189) du rapport. Le GT rappelle que, face au risque TBE, une lutte intégrée reste plus efficace qu'une action unique, d'où l'intérêt de mettre en œuvre différentes actions de manière parallèle et cohérente, en tenant compte de l'échelle et du contexte. À ce titre, dans le cadre systémique

*One Health*, une lutte efficace, intégrée et cohérente contre la TBE appelle à croiser des dimensions sanitaires, environnementales et socio-économiques. Plus précisément, elle nécessite la compréhension de l'hétérogénéité des acteurs, de leurs situations et ressources, des spécificités propres à des contextes (micro)locaux, alliée au renforcement des mécanismes de dialogue et de coordination de l'ensemble des acteurs concernés.

Les experts ont également présenté les options d'action écartées par le GT en en justifiant les raisons (voir dans le rapport Tableau 25, p. 208).

### **3.11. Conclusions et recommandations du CES SABA et du GT « TBEV »**

#### **3.11.1. Conclusions**

Face à l'augmentation de l'incidence de l'encéphalite à tiques (TBE) observée en France et en Europe, il était essentiel d'évaluer les risques pour la santé humaine et de faire le point sur les connaissances actuelles afin d'orienter les actions de prévention et de maîtrise des risques.

L'expertise réalisée par le GT a montré que, bien que la TBE soit une maladie bien identifiée et que sa principale tique vectrice, *Ixodes ricinus*, soit largement présente en France et en Europe, un manque de connaissance du TBEV apparaît, notamment sur les mécanismes précis de circulation et de persistance du virus dans les écosystèmes, et de sa dynamique de transmission.

Le TBEV, transmis à l'être humain par piqûre par une tique infectée et par consommation de lait cru contaminé ou de produits à base de lait cru contaminé, est responsable de manifestations neurologiques dans 20 à 40 % des cas symptomatiques qui représentent entre 10 et 30 % des cas. En France, bien que l'incidence des cas déclarés reste faible (environ 30 cas/an), le virus gagne du terrain, avec une augmentation des cas notamment en Alsace, en Haute-Savoie et avec de nouveaux départements touchés. En 2023, 39 cas de TBE ont été identifiés sur le territoire français. L'émergence de foyers alimentaires, comme celui de 2020 dans l'Ain, souligne un risque de transmission alimentaire sur le territoire français. Ce foyer de TBE dans l'Ain, ainsi que les études de séroprévalence chez les forestiers et la faune sauvage indiquent une distribution plus large que précédemment décrite. En outre, ces tendances soulignent l'importance d'une part d'une surveillance humaine accrue, par la déclaration obligatoire, qui renforce la collecte de données et la détection des cas groupés depuis 2021, et d'autre part de l'adoption de mesures préventives adaptées.

Au cours de l'expertise, le GT a évalué le risque de développer une TBE avec des symptômes suite à une piqûre de tique en développant un modèle probabiliste, appelé « piqûre de tique », en se plaçant dans une zone de forte endémicité comme l'Alsace. Il ressort que la probabilité annuelle pour un individu de développer des symptômes suite à une piqûre de tique infectée est faible dans la population générale. En revanche, elle est significativement plus élevée chez les forestiers. Le modèle montre notamment que la proportion de piqûres dans les zones endémiques influence fortement les résultats. Une amélioration des connaissances est nécessaire pour consolider le modèle qui pourrait à plus long terme être adapté à d'autres régions ou groupes professionnels pour prédire le risque et guider les politiques de santé publique.

Cette évaluation de risque et l'ensemble de l'expertise mettent en lumière la nécessité de sensibiliser les populations exposées, d'informer et de former les professionnels de santé et de mettre en place des mesures ciblées pour réduire les piqûres de tiques et encourager des comportements préventifs.

Concernant le risque de transmission par voie alimentaire, l'expertise s'est concentrée sur les produits au lait cru de chèvre car ces derniers ont été identifiés comme la source majoritaire des cas alimentaires de TBE en France et en Europe. Les élevages concernés sont des élevages où les chèvres ont accès à la végétation dans des zones de circulation du TBEV. Un second modèle spécifique au risque de contamination par voie « alimentaire », a été développé dans le cadre du GT et permet d'estimer l'exposition humaine au TBEV par la consommation de fromages au lait cru provenant de chèvres infectées dans des élevages situés dans des zones de circulation du virus. Sur la base des caractéristiques des élevages fermiers de la région Auvergne-Rhône-Alpes, le modèle reproduit la dynamique de la transmission observée lors du foyer survenu dans un élevage de l'Ain en 2020. Les résultats indiquent que l'exposition varie selon les types de fromages, avec des probabilités d'exposition à des niveaux élevés de TBEV plus fortes pour les fromages à pâtes pressées non cuites à affinage court et les fromages à pâte lactique fraîche. Les résultats suggèrent également que l'augmentation de l'immunité des animaux réduit significativement l'excrétion du TBEV et donc l'exposition au TBEV pour les consommateurs de fromages au lait cru. Cependant, l'évaluation réalisée présente plusieurs sources d'incertitude, en particulier sur l'effet des procédés de fabrication des fromages vis-à-vis de l'infectiosité du virus et sur les facteurs pouvant influencer l'infection des chèvres et l'excrétion virale. Néanmoins, le GT considère que ce modèle « alimentaire », tout comme le modèle « piqûre de tique », pourrait constituer à terme un outil précieux pour les gestionnaires, notamment pour simuler l'impact de différentes mesures de prévention de l'apparition de foyers ou de leur maîtrise.

En outre, l'évaluation économique du fardeau sanitaire lié à la TBE, réalisée par le GT, a permis d'estimer que l'impact économique annuel est d'au moins 3,1 millions d'euros (hors décès) en France. Bien que cette estimation soit caractérisée par une forte incertitude, l'analyse met en évidence un fardeau important pour un nombre relativement faible de cas déclarés. En d'autres termes, si l'incidence venait à augmenter, les coûts associés, mesurés monétairement, pourraient devenir encore plus significatifs.

Bien que l'incidence de la TBE reste faible en France, les experts rappellent que la gravité des formes aiguës, les deux modes de transmission du virus, ainsi que les incertitudes sur sa vitesse et ses modalités de propagation justifient une anticipation des actions à mettre en œuvre. Dans la lignée de l'enquête socio-anthropologique menée sur le terrain, les experts soulignent la nécessité d'une approche contextualisée et intégrée, notamment vis-à-vis du risque de transmission par voie alimentaire, impliquant les acteurs locaux, et notamment les éleveurs de chèvres, pour assurer l'acceptabilité, la faisabilité et l'efficacité des actions envisagées. Par ailleurs, les experts insistent sur le renforcement du dialogue et de la coordination entre les acteurs pour une gestion cohérente et durable. En effet, la TBE constituant un enjeu de santé publique croissant, elle nécessite une approche multisectorielle.

En matière de maîtrise du risque TBE, la vaccination humaine est considérée par les experts comme un outil préventif essentiel dans les zones à risque élevé et pour les populations les plus exposées au TBEV (forestiers, éleveurs, voyageurs et résidents en zone endémique par exemple). La prévention repose également sur des actions d'information des populations exposées et des professionnels de santé. Par ailleurs, au niveau de l'élevage, les principales options de routine visent la limitation de l'exposition des femelles en lactation aux tiques, comme par exemple la mise en place de clôtures pour limiter les contacts avec la faune sauvage ou l'usage de la rotation des pâtures. À ce titre, l'enquête de terrain menée en élevages caprins a souligné l'écho favorable que pourrait rencontrer cette dernière pratique auprès des éleveurs, pour qui le pâturage est une pratique centrale, ajustable et nécessaire au bien-être de leurs animaux. Pour limiter la circulation du virus et réduire le risque d'infection

des animaux et de contamination du lait, ces actions complétées par la pasteurisation du lait, devraient être envisagées aussi dans les situations d'urgence telles qu'en cas de détection d'un foyer humain impliquant une transmission alimentaire ou en cas d'identification d'un lait de tank contaminé par le TBEV. L'enquête de terrain a renseigné des difficultés économiques d'éleveurs de chèvres concernant ces propositions. Le GT souligne l'importance d'envisager d'emblée des possibilités de discussion avec les éleveurs et d'aide à leur apporter pour faciliter la mise en place d'une pasteurisation de leurs produits dans de tels contextes d'urgence.

L'expertise souligne aussi les lacunes quant à la compréhension et la définition des zones à risque, ainsi que la nécessité de renforcer les efforts de recherche pour mieux comprendre la distribution, la prévalence et les facteurs de risque associés au virus et à sa transmission dans ces zones. La TBE étant une zoonose complexe, influencée par une multitude de facteurs notamment écologiques et biologiques, le changement climatique et les activités humaines jouent notamment un rôle clé dans l'expansion de ces zones à risque. Ces interactions doivent être mieux étudiées pour anticiper l'évolution des foyers de transmission et mettre en place des stratégies de prévention et de maîtrise adaptées.

### **3.11.2.Recommandations**

Suite aux travaux du GT « TBEV » et ses conclusions, les experts proposent plusieurs recommandations. Ces dernières sont présentées ci-dessous en trois volets, les listant en matière ayant trait à i) de la surveillance, ii) de la lutte et de la prévention contre les infections, et iii) de la recherche. Les recommandations listées dans les paragraphes ci-dessous ne sont pas classées ici par ordre d'importance.

Les experts du GT insistent sur le fait que pour assurer l'efficacité de ces recommandations, il reste indispensable de mieux identifier et caractériser les zones à risque de contamination humaine par piqûre de tique et par voie alimentaire en France.

#### **En matière de surveillance :**

- de la TBE chez l'être humain, les experts recommandent :
  - d'améliorer l'identification et le suivi des malades :
    - en renforçant les actions de sensibilisation, d'information et de formation sur la TBE auprès des médecins hospitaliers, libéraux et du travail ainsi que des pharmaciens d'officine, notamment grâce à l'action des Centres de Référence des Maladies Vectorielles liées aux Tiques (CRMVT), afin d'améliorer l'identification et la déclaration des cas ;
    - en aidant au déploiement des outils diagnostiques dans les laboratoires de biologie médicale (privés et hospitaliers) par la mise en place d'un réseau opérationnel ;
    - en assurant le suivi longitudinal des patients recensés par la déclaration obligatoire, en vue de mieux caractériser leur prise en charge et les conséquences de la maladie à long terme (et les coûts associés) ;
  - de mieux caractériser et connaître la distribution de l'infection en France, et pour ce faire :
    - de faciliter l'utilisation des données (notamment épidémiologiques et microbiologiques) et des échantillons (comme le sang ou les sérums) collectés à grande échelle pour rechercher des traces d'infection par le TBEV dans la population. Pour les dons de sang, les experts préconisent d'ajouter des questions spécifiques sur la TBE dans le questionnaire, comme par exemple le statut vaccinal contre la TBE et les autres orthoflavivirus et les comportements à risque ;



- d'estimer la fréquence de l'exposition au TBEV dans les populations les plus exposées :
  - en mettant en place des campagnes de dépistage ciblant les éleveurs, coordonnées par exemple par la Mutualité sociale agricole (MSA), en débutant par les zones à risque et les élevages de ruminants ;
  - en étendant les études de séroprévalence sur les forestiers à l'ensemble de la France ;
- du TBEV dans les populations de tiques et chez les animaux et leurs produits, les experts recommandent de mettre en place :
  - un dispositif national de surveillance des tiques : s'appuyant sur la pérennisation des programmes ayant montré leur utilité comme les programmes de sciences participatives (comme l'application signalement tique du programme CiTIQUE dont la couverture est nationale par exemple) ; et l'exploitation des tiques préalablement collectées dans différents programmes de recherche et de surveillance pour détecter les agents pathogènes qu'elles hébergent dont le TBEV ;
  - des enquêtes sérologiques chez les ongulés sauvages ;
  - des enquêtes sérologiques sur sérum et/ou lait de tank chez les troupeaux de ruminants pour préciser les zones de circulation du virus, en débutant dans les zones déjà identifiées à risque et en mobilisant les prélèvements effectués pour les opérations de prophylaxie réalisés pour les autres maladies ;
  - dans les zones précédemment identifiées comme des zones de circulation de virus, une recherche active du TBEV dans le lait de tank et dans les fromages issus d'élevages caprins produisant des produits au lait cru notamment pendant les périodes de pâturage des animaux et particulièrement lors de situations à risque (par exemple des cas humains identifiés dans la région, un historique de contamination au sein de l'élevage) ;
  - des investigations épidémiologiques et alimentaires des futurs foyers alimentaires de TBEV. Ces investigations pourraient permettre d'établir une relation dose-réponse par voie orale du TBEV, par la quantification du titre infectieux dans les produits incriminés et le recueil d'information sur le nombre et le profil des consommateurs affectés.

Les experts rappellent à cet égard, que la mise en place de programmes de surveillance du TBEV nécessite de disposer de méthodes analytiques sensibles, spécifiques et applicables en routine, insuffisantes à ce jour (voir les recommandations de recherche ci-dessous). Le développement de méthodes et d'outils performants est nécessaire pour détecter et rendre les systèmes de surveillance du TBEV efficaces.

Enfin, dans une approche *One Health*, les experts recommandent le partage des données de surveillance chez l'être humain, l'animal, les produits animaux et dans l'environnement.

### **En matière de lutte et de prévention contre les infections humaines par le TBEV :**

Considérant le contexte épidémiologique actuel en France et les connaissances actuelles sur la distribution du virus, les experts du GT recommandent d'adapter les actions en fonction des spécificités des territoires ou des populations exposées et/ou sensibles. Par ailleurs, le GT recommande la mise en œuvre expérimentale d'actions combinées sur de petites zones infectées.

- Actions relatives à la population :

Les experts du GT appellent la Haute Autorité de santé (HAS) à se saisir d'une évaluation des populations les plus exposées au TBEV susceptibles de bénéficier d'une vaccination et de son éventuel remboursement (forestiers, éleveurs, vétérinaires, voyageurs et résidents en zone endémique par exemple). L'efficacité d'un programme de vaccination dans différentes sous-populations devrait être évaluée dans le contexte épidémiologique français pour estimer quel serait le rapport entre le bénéfice de la vaccination et le coût à consentir pour l'obtenir.

- Actions en élevages, les experts recommandent :
  - d'accompagner les éleveurs dans la mise en œuvre d'actions de prévention et de maîtrise (voir chapitre 11) notamment en contribuant au financement de ces actions ;
  - de mobiliser les parties prenantes dans la diffusion d'informations aux éleveurs quant au risque de TBE ;
  - d'adapter la diffusion de l'information délivrée par les autorités sanitaires vis-à-vis du risque de TBE et des gestes de prévention aux modes de communication utilisés par les éleveurs (comme par exemple les réseaux sociaux, échanges entre pairs, application sur smartphone) ;

En contexte d'urgence, c'est-à-dire de détection d'un foyer humain impliquant une transmission alimentaire ou d'identification d'un lait de tank contaminé par le TBEV, les experts recommandent :

- d'assurer la sécurité sanitaire des produits laitiers en garantissant l'accès à un pasteurisateur pour les élevages concernés et/ou en permettant la collecte du lait par une laiterie ou un atelier de fabrication en mesure de procéder à cette pasteurisation (y compris pour les élevages qui sont hors circuit de collecte habituel) ;
- d'évaluer, en impliquant les éleveurs, l'efficacité de diverses actions mises en œuvre de façon combinée dans les élevages infectés (voir chapitre 11), voire dans des élevages voisins, pour contenir un risque épidémique (circonscrire la zone de circulation du virus).

### **En matière de recherche scientifique**

- Les experts recommandent :
  - d'approfondir les connaissances sur le TBEV, notamment sur :
    - la caractérisation des doses infectieuses en fonction des modes de transmission ;
    - la caractérisation des souches virales circulantes en France et leur virulence ;
    - la persistance du virus dans les produits animaux (lait et fromages), l'environnement de fabrication des fromages et, en particulier, l'effet des constituants du lait (cellules somatiques, types d'acides gras) sur l'infectiosité du virus ;
    - l'effet des procédés de fabrication du fromage (comme la température, le pH, l' $a_w$ , le taux de sel, la durée et le type d'affinage) sur l'inactivation du TBEV ;
    - l'efficacité de procédés de traitements alternatifs à la pasteurisation du lait sur le TBEV, dans le cadre de mesures d'urgence ;
  - d'intensifier les recherches sur l'identification des facteurs de risque ou de protection vis-à-vis de formes sévères de TBE chez l'être humain ;
  - d'améliorer l'évaluation du risque de TBE au niveau régional chez l'être humain et les élevages exposés, en mettant en place une approche multidisciplinaire intégrée (par exemple, recherche de virus chez les vecteurs et sérologie chez les hôtes, enquêtes auprès des usagers de la forêt, recueil d'information sur les pratiques d'élevage).

- Concernant spécifiquement les outils de détection du TBEV, les experts recommandent :
  - d'améliorer les performances des trousses sérologiques (chez l'être humain comme chez l'animal), de développer et valider les tests de confirmation plus simples à mettre en œuvre que la séroneutralisation ;
  - de développer des méthodes harmonisées de détection et de quantification du TBEV (ARN viral et virus infectieux) dans le lait et les fromages ;
  - de développer et normaliser des méthodes de détection du TBEV sensibles, spécifiques et applicables en routine, qui pourraient aussi être utilisées en élevage.
- Concernant spécifiquement les options de recherche d'action, les experts recommandent :
  - d'évaluer la durée d'immunité protectrice chez les ruminants laitiers, en premier lieu chez la chèvre, et évaluer la pertinence d'une immunisation précoce, notamment de façon naturelle en laissant les jeunes femelles fréquenter les pâtures infestées de tiques, comme option d'action ;
  - d'évaluer et/ou développer :
    - des moyens de prévention chimique pour l'être humain tels que des répulsifs cutanés ou des procédés d'imprégnation vestimentaire (dont chaussures et guêtres) en termes d'efficacité, de toxicité, de résistance et d'impact environnemental notamment, avant leur mise sur le marché ;
    - des substances actives répulsives ou acaricides en termes d'efficacité, de toxicité, de résistance et d'impact environnemental, pour les ruminants laitiers, en particulier les caprins ;
  - d'investiguer l'impact d'une régulation des populations d'ongulés sauvages sur les populations d'*I. ricinus* et indirectement sur la circulation du TBEV dans l'environnement (voir Tableau 24) ;
  - de produire une analyse socio-économique des options d'action retenues par le GT (voir Tableau 23) avant et après leur mise en œuvre.

#### 4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'espèce de tique dure *Ixodes ricinus* est la principale tique vectrice du virus de l'encéphalite à tiques (*Tick-borne encephalitis virus* – TBEV) en France hexagonale. La transmission de ce virus aux humains s'opère principalement par piqure de tique infectée mais aussi par consommation de lait cru contaminé ou de produits à base de lait cru contaminé issus d'animaux virémiques. Avec l'émergence ces dernières années de nouveaux foyers et une augmentation des cas d'encéphalites à tiques (TBE) en France, comme à l'échelle européenne, le risque lié au TBEV progresse sur le territoire national. L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail s'est donc saisie dans le but d'identifier des recommandations pour prévenir les risques liés à l'émergence de l'encéphalite à tiques en France hexagonale.

L'espèce *Ixodes ricinus* est aussi vectrice de la plus fréquente des maladies vectorielles à tiques en France hexagonale, à savoir la borréliose de Lyme due aux bactéries du complexe *Borrelia burgdorferi* sensu lato. La lutte contre cette maladie et les maladies transmissibles par

les tiques a fait l'objet d'un plan national, lancé en 2016 par les pouvoirs publics et structuré autour de cinq axes stratégiques déclinés en quinze actions. Si plusieurs actions de ce plan sont applicables à la lutte contre le TBEV, des spécificités liées à la transmission vectorielle de ce virus sont toutefois à prendre en compte.

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail endosse les conclusions et recommandations du GT « TBEV » faisant suite à l'analyse des risques liés à l'émergence de l'encéphalite à tiques en France hexagonale.

Bien qu'*Ixodes ricinus*, la principale tique vectrice du TBEV, soit présente dans une large partie du territoire français hexagonal, le virus reste au moment de la rédaction de cet avis circonscrit à des foyers localisés. L'Anses estime nécessaire de mieux identifier et caractériser les mécanismes précis de circulation et de persistance du virus dans les écosystèmes permettant de déterminer les zones à risque de contamination humaine par piqûre de tique et par voie alimentaire de TBEV en France.

Les systèmes d'épidémiosurveillance mis en place, aussi bien à l'échelle française qu'européenne présentent de nombreuses limites. En effet, la surveillance constitue un élément essentiel d'anticipation des risques d'émergence. Or, la surveillance épidémiologique de la TBE repose essentiellement sur la découverte de cas humains, qui sont des révélateurs tardifs d'une présence virale déjà établie sur un territoire. Une stratégie de surveillance intégrant au mieux les animaux, les tiques et les produits laitiers et la surveillance humaine serait essentielle pour évaluer le risque TBEV et orienter les mesures de prévention en France. L'agence appelle d'ores et déjà à améliorer les systèmes d'épidémiosurveillance de la TBE notamment en se reposant davantage sur des espèces sentinelles du TBEV (faune sauvage et ruminants domestiques) afin de mieux caractériser les zones de circulation virale.

Une meilleure connaissance de la présence et de la propagation du virus permettra de renforcer la vigilance en santé humaine, et de mobiliser, en priorité pour les populations ayant une exposition à risque comme par exemple les travailleurs forestiers, l'une des mesures de prévention spécifique à la lutte contre le TBEV à savoir la vaccination, en complément des mesures déjà mises en place à la suite notamment du plan national. En effet, l'évaluation des risques montre que la probabilité de développer des symptômes de TBE après une piqûre de tique est faible pour la population générale mais élevée chez les travailleurs forestiers.

La transmission alimentaire du TBEV, par la consommation de lait cru et de fromages au lait cru de chèvres ayant accès à la végétation dans des zones de circulation du virus, a été récemment mise en évidence à la suite de l'épisode de toxi-infection alimentaire collective dans l'Ain en 2020. Ce type de transmission a depuis été identifié comme responsable de plusieurs cas par an de TBE.

L'agence rappelle que la pasteurisation du lait est essentielle pour limiter la transmission du virus par consommation de lait ou de produits laitiers contaminés. La mise en œuvre, en amont, de mesures visant à prévenir cette contamination, dans les territoires où la circulation du virus est observée, doit être envisagée dans une approche *One Health*. À ce titre, l'implication de l'ensemble des acteurs concernés et la prise en compte de leurs capacités d'action et des contraintes associées, en lien avec une détection précoce de cette circulation, doivent permettre d'assurer l'efficacité de ces mesures.

Comme pour les risques pour la santé humaine et animale liés aux tiques du genre *Hyalomma* vecteurs du virus de la fièvre hémorragique de Crimée-Congo (FHCC) (cf. avis du 30 mai 2023 relatif à l'analyse de ces risques), l'agence considère que le risque de TBEV constitue également un enjeu à considérer pour la santé humaine. Il constituerait par ailleurs un enjeu

économique non négligeable, selon les premiers éléments de l'évaluation économique du fardeau sanitaire de la TBE présentés dans le présent avis.

L'Anses considère nécessaire, sur la base d'une approche contextualisée, intégrée et multisectorielle impliquant la santé humaine, vétérinaire et environnementale, de compléter et actualiser les actions déjà prises au titre du plan national de lutte contre la maladie de Lyme pour mieux prévenir et lutter contre les maladies transmissibles par les tiques dans leur ensemble, en pérennisant notamment une surveillance organisée des tiques présentes sur le territoire français. Dans ce contexte, le dialogue entre les acteurs (forestiers, éleveurs, autorités sanitaires, chercheurs, etc.) et l'implication des différentes parties prenantes dans la conception et la mise en œuvre des actions seraient de nature à en assurer la pertinence, l'acceptabilité et *in fine* l'efficacité.

Pr Benoît Vallet

## MOTS-CLÉS

Encéphalite à tiques, TBE, TBEV, virus, tiques, évaluation des risques, maladie vectorielle, lait cru, France, *Ixodes ricinus*, élevage caprin

Tick-borne encephalitis, TBE, TBEV, virus, ticks, risk assessment, vector-borne disease, raw milk, France, *Ixodes ricinus*, goat farming

## CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2025). Analyse des risques liés à l'émergence de l'encéphalite à tiques en France hexagonale. (Saisine 2022-AUTO-0088). Maisons-Alfort : Anses, 24 p.

---

## **Analyse des risques liés à l'émergence de l'encéphalite à tiques en France hexagonale**

---

**Saisine n° 2022-AUTO-0088 (TBEV)**

# **RAPPORT d'expertise collective**

**Comité d'experts spécialisé « Santé et bien-être des animaux »**

**Groupe de travail *Tick-borne encephalitis virus* - TBEV**

**Février 2025**

---

**Citation suggérée**

---

Anses. (2025). Analyse des risques liés à l'émergence de l'encéphalite à tiques en France hexagonale. (saisine 2022-AUTO-0088). Maisons-Alfort : Anses, 328 p.

---

**Mots clés**

---

Encéphalite à tiques, TBE, TBEV, virus, tiques, évaluation des risques, maladie vectorielle, lait cru, France, *Ixodes ricinus*, élevage caprin

Tick-borne encephalitis, TBE, TBEV, virus, ticks, risk assessment, vector-borne disease, raw milk, France, *Ixodes ricinus*, goat farming



## Présentation des intervenants

**PRÉAMBULE** : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

### GROUPE DE TRAVAIL

---

#### Président

Claude SAEGERMAN – Professeur, Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège – Epidémiologie quantitative, évaluation quantitative de risques, maladies vectorielles, zoonoses, santé globale.

#### Membres

Thomas BERGER – Responsable de groupe de recherche Evaluation et réduction des risques, Agroscope, Bern – Gestion des "*emerging risks*", transmission alimentaire de la TBE (*Tick-borne encephalitis virus*) par lait cru et produits laitiers crus.

Nathalie BOULANGER – Professeur, Université de Strasbourg, Hôpitaux universitaires de Strasbourg – Entomologie, immunologie, santé publique, écosystèmes et maladies vectorielles, parasitologie.

Laure BOURNEZ (présente jusqu'en octobre 2024) – Chargée de projets de recherche, Anses, Laboratoire de la rage et de la faune sauvage de Nancy – Eco-épidémiologie, TBE, tiques, santé animale, faune sauvage.

Nolwenn DHEILLY (démission en octobre 2023) – Directrice de recherche, Anses, UMR 1191 Virologie Maisons-Alfort – TBEV, virus transmis par les tiques, interactions virus-hôtes, infectiologie, physiopathologie.

Florence DUBOIS-BRISSENET – Professeur, AgroParisTech – Microbiologie des aliments, mécanismes d'adaptation bactérienne, persistance, résistance aux antimicrobiens, procédés appliqués aux fromages au lait cru.

Philippe FRAVALO – Professeur, Conservatoire National des Arts et Métiers – Microbiologie alimentaire, épidémiologie des dangers biologiques dans les filières de production, pratique d'élevage, impact des procédés de transformation.

Céline GOSSNER – Chef de section « Maladies émergentes, à transmission alimentaire et vectorielle », Centre européen de prévention et contrôle des maladies infectieuses (ECDC) – Epidémiologie, évaluation des risques des maladies émergentes, vectorielles et d'origine alimentaires.

Gilda GRARD (démission en avril 2024) – responsable adjointe au CNR des Arbovirus – CNR Arbovirus, IRBA, Marseille – virologie, arbovirus, flavivirus, génomique, diagnostic, santé publique.

Yves HANSMANN – Professeur des universités-praticien hospitalier, Université de Strasbourg, Faculté de médecine – Infectiologie clinique, maladies vectorielles à tiques.

Thierry HOCH – Ingénieur de Recherche, INRAE, UMR Oniris-INRAE BIOEPAR – Epidémiologie, modélisation, dynamique de populations, tiques.

Elsa JOURDAIN – Chargée de recherche, INRAE Centre Clermont-Auvergne Rhône-Alpes – Zoonoses, épidémiologie, faune sauvage.

Sandrine LACOUR – Chargée de projets Virologie, Anses, UMR 1191 Virologie Maisons-Alfort – TBEV, virus transmis par les tiques, interactions virus-hôtes, compétence vectorielle, pathobiologie, persistance.

Marc LEANDRI – Maître de conférences, Université Versailles-Saint Quentin – Économie du risque et de l'information, économie de la pollution, services écosystémiques, développement durable, One Health Economics.

Alexandra MAILLES (démission en avril 2024) – Epidémiologiste, Direction des maladies infectieuses, Santé publique France.

Sandra MARTIN-LATIL – Directrice de recherche, Anses, Laboratoire de sécurité des aliments – Virologie alimentaire, méthodes de détection, procédés de décontamination.

Aurélié VELAY – Maître de conférence universitaire-Praticien hospitalier, Université de Strasbourg, Laboratoire de Virologie, Hôpitaux Universitaires de Strasbourg – Virologie, encéphalite à tique, arboviroses, immunité humorale.

---

## COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

---

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par les CES suivants :

### ■ CES « Santé et bien-être des animaux » (SABA)

#### Président

Gilles MEYER – Professeur, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - Virologie, immunologie, vaccinologie, maladies des ruminants.

#### Membres

Xavier BAILLY – Ingénieur de Recherche, INRAE Saint Genes Champanelle - Épidémiologie moléculaire, écologie de la santé, épidémiologie-surveillance, modélisation, bactériologie.

Catherine BELLOC – Professeur, Oniris - École Vétérinaire de Nantes - Infectiologie, approche intégrée de la santé animale, maladies des monogastriques.

Stéphane BERTAGNOLI – Professeur, École Nationale Vétérinaire de Toulouse - Virologie, immunologie, vaccination, maladies des lagomorphes.

Alain BOISSY – Directeur de Recherche INRAE Clermont-Ferrand – Theix - Bien-être animal.

Séverine BOULLIER – Professeur, École Nationale Vétérinaire de Toulouse – Immunologie, vaccinologie.

Henri-Jean BOULOUIS – Retraité, École Nationale Vétérinaire d'Alfort - Bactériologie, diagnostic de laboratoire, immunologie, vaccinologie.

Aurélié COURCOUL – Directrice de la Recherche et des Etudes Doctorales, Oniris - École Vétérinaire de Nantes - Épidémiologie, appréciation des risques (modélisation), réglementation.

Alice DE BOYER DES ROCHES – Maître de conférences, VetAgro Sup - Bien-être animal, animaux de rente, douleur, comportement, zootechnie.

Barbara DUFOUR – Professeur émérite, École Nationale Vétérinaire d'Alfort - Épidémiologie, maladies infectieuses, analyse du risque, zoonoses, lutte collective.

Emmanuelle GILOT-FROMONT – Professeur, VetAgro Sup – Épidémiologie quantitative, évaluation de risque, interface faune sauvage-animaux domestiques, maladies réglementées.

Etienne GIRAUD – Chargé de recherche, INRAE Toulouse – Microbiologie, antibiotiques, antibiorésistance, environnement, écologie microbienne.

Lionel GRISOT – Vétérinaire praticien - Médecine vétérinaire, médicament vétérinaire, maladies des ruminants.

Claire GUINAT – Chargée de recherche, INRAE Toulouse - Épidémiologie, génétique (analyses phylodynamiques), maladies infectieuses.

Nadia HADDAD – Professeur, École Nationale Vétérinaire d'Alfort - Infectiologie, maladies réglementées, zoonoses.

Karine HUBER – Directrice de recherche, INRAE - Entomologie médicale et vétérinaire, maladies vectorielles, épidémiologie.

Elsa JOURDAIN – Chargée de recherche, INRAE Clermont-Ferrand - Theix - Zoonoses, épidémiologie, interface faune sauvage-animaux domestiques.

Hervé JUIN – Ingénieur de recherches, INRAE Centre Poitou-Charentes – Bien-être animal, physiologie et nutrition des volailles

Sophie LE BOUQUIN – LE NEVEU – Cheffe d'Unité Adjointe, Unité Épidémiologie, Santé et Bien-Etre, Anses Ploufragan-Plouzané-Niort - Épidémiologie, évaluation de risque, approche intégrée de la santé animale

Caroline LE MARÉCHAL – Chargée de projet - Responsable LNR Botulisme aviaire, Unité HQPAP, Anses Ploufragan-Plouzané-Niort - Bactériologie, diagnostic de laboratoire, zoonose, botulisme aviaire, clostridies.

Sophie LE PODER – Maître de conférences, École Nationale Vétérinaire d'Alfort - virologie, immunologie, vaccinologie.

Yves MILLEMANN – Professeur, École Nationale Vétérinaire d'Alfort – Pathologie des ruminants, infectiologie, antibiorésistance, médicament vétérinaire.

Pierre MORMÈDE – Directeur de recherche émérite INRAE - Bien-être animal, stress.

Carole PEROZ – Maître de conférences, VetAgro Sup – Infectiologie, maladies réglementées, approche intégrée de la santé animale.

Claire PONSART – Chef de l'unité des zoonoses bactériennes, Laboratoire de Santé Animale, Anses Maisons-Alfort - Bactériologie, zoonoses, diagnostic de laboratoire.

Céline RICHOMME – Chargée de projets scientifiques, Anses-Laboratoire de la rage et la faune sauvage de Nancy - Épidémiologie, faune sauvage, interface faune sauvage-animaux domestiques, écologie.

Claude SAEGERMAN – Professeur, Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège - Épidémiologie, évaluation de risque.

Jean-François VALARCHER – Professeur, Swedish university of agricultural sciences (SLU) – Pathologie des ruminants, infectiologie, Immunologie, épidémiologie.

Isabelle VALLÉE – Chef de l'unité BIPAR, Responsable LNR Parasites transmis par les aliments, Anses Maisons-Alfort – Parasitologie, zoonoses, immunologie, diagnostic.

Agnès WARET-SZKUTA – Maître de conférences, École Nationale Vétérinaire de Toulouse – Pathologie porcine, épidémiologie.

Natacha WORONOFF-REHN – Directrice, laboratoire vétérinaire départemental du Doubs – Infectiologie, parasitologie immunologie, biologie moléculaire, diagnostic.

## ■ CES « Évaluation des risques biologiques liés aux aliments » (BIORISK)

### Président

Philippe FRAVALO – Professeur, Conservatoire National des Arts et Métiers – Microbiologie des aliments, filières viandes, dangers bactériens, *Salmonella*, *Campylobacter*, *Listeria monocytogenes*, méthodes (dont métagénomique 16S des contenus digestifs et des surfaces, caractérisation moléculaire des dangers), élevage /abattage.

## Membres

Frédéric AUVRAY – Ingénieur de recherche, École nationale vétérinaire de Toulouse – Microbiologie des aliments et écologie microbienne, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, bactéries pathogènes zoonotiques, microbiote, bactériophages, diagnostic microbiologique et séquençage de génomes.

Mickaël BONI – Vétérinaire en chef, chef d'unité, Institut de recherche biomédicale des armées – Microbiologie, hygiène, salubrité et qualité des aliments, sûreté sanitaire des aliments et de l'eau, inspection en sécurité sanitaire des aliments, traitement et contrôle sanitaire des EDCH, épidémiologie des eaux usées.

Frédéric BORGES – Maître de conférences, Université de Lorraine – *Listeria*, génie génétique, biopréservation, écosystèmes alimentaires fermentées, génotypage, phénotypage, HACCP.

Gilles BORNERT – Vétérinaire en chef, Service de santé des armées de Rennes – Microbiologie des aliments et des eaux, écologie microbienne, réglementation, sécurité sanitaire des aliments, HACCP, filière eau et restauration collective.

Frédéric CARLIN (jusqu'en mars 2023) – Directeur de recherche, INRAE – Bactéries sporulées, *Bacillus*, *Clostridium*, effets des procédés, microbiologie prévisionnelle, produits végétaux.

Catherine CHUBILLEAU – Chef de service, Centre hospitalier de Niort – Hygiène des aliments, épidémiologie, microbiologie des aliments, plan de maîtrise sanitaire, EDCH.

Monika COTON – Professeur des universités, Université de Brest – Microbiologie des aliments, produits fermentés, mycologie, écologie microbienne, métabolites secondaires (dont mycotoxines, amines biogènes, composés volatils), méthodes analytiques, biologie moléculaire.

Georges DAUBE – Professeur des universités, Université de Liège – Microbiologie des aliments, évaluation quantitative de risques microbiologiques, HACCP, Bonnes Pratiques d'Hygiène, filière viande et lait.

Noémie DESRIAC – Maître de conférences, Université Bretagne occidentale – Microbiologie des aliments, bactéries sporulées, mécanismes d'adaptation des microorganismes au stress, microbiologie prévisionnelle.

Florence DUBOIS-BRISSONNET – Professeur, AgroParisTech – Microbiologie des aliments, biofilms, mécanismes d'adaptation bactérienne au stress (dont conservateurs, désinfectants, réfrigération), biochimie membranaire, *Listeria monocytogenes*.

Michel FEDERIGHI – Professeur, École Nationale Vétérinaire d'Alfort – Microbiologie des aliments, hygiène et qualité des aliments, analyse des dangers, HACCP, filières et technologies alimentaires des viandes et des produits transformés.

Michel GAUTIER – Professeur, Institut Agro – Microbiologie alimentaire, biologie moléculaire, OGM microbiens, bactériophages, aliments fermentés, bactéries pathogènes.

Michèle GOURMELON – Chargée de recherche, IFREMER – Bactériologie et biologie moléculaire, écologie microbienne des milieux marins côtiers dont coquillages et zones

conchylicoles et du continuum terre-mer, bactéries environnementales et d'intérêt sanitaire, *Campylobacter*.

Sandrine GUILLOU – Ingénieur de recherche, ONIRIS – Évaluation des risques sanitaires, microbiologie et écologie microbienne des aliments, modélisation, *Campylobacter*, procédés de décontamination, méthode de détection, mécanismes d'adaptation aux stress environnementaux, filière volaille.

Stéphane GUYOT – Maître de conférences, Institut Agro Dijon – Microbiologie des aliments, poudres alimentaires, pathogènes, bactéries, virus, procédés de décontamination, mécanismes d'adaptation aux stress environnementaux.

Didier HILAIRE – Ingénieur, adjoint innovation ouverte ; architecte décontamination et contre-mesures médicales NRBC, Direction générale pour l'armement – Toxines bactériennes et végétales, toxines botuliques, risques biologiques, décontamination et identification des agents biologiques.

Nathalie JOURDAN-DA SILVA – Médecin épidémiologiste, chargée de projet scientifique, Santé publique France – Épidémiologie des maladies entériques et zoonoses, investigations.

Claire LE HENAFF-LE MARREC – Professeur des universités, Bordeaux INP, INRAE – Microbiologie des aliments, écologie microbienne, bactéries lactiques, bactériophages, fermentation malo-lactique.

Sandra MARTIN-LATIL – Directrice de recherche, Anses, Laboratoire de sécurité des aliments – Virologie alimentaire, méthodes de détection, procédés de décontamination.

Jeanne-Marie MEMBRÉ – Ingénieure de recherche, INRAE – Appréciation quantitative du risque microbiologique, modélisation, microbiologie prévisionnelle, évaluation risque bénéfices et multicritères, statistiques appliquées.

Eric OSWALD – Professeur des universités Praticien hospitalier, CHU Toulouse - Université de Toulouse – Pathogénicité bactérienne, Toxines, *Escherichia coli*, antibiorésistance, génomique microbienne, microbiote, One health, infectiologie.

Nadia OULAHAL – Professeur des universités, Université Claude-Bernard Lyon 1 – Microbiologie des aliments, hygiène des aliments, interactions biomolécules antimicrobiennes - aliments, écosystème microbien alimentaire, biofilms, Biopréservation.

Pascal PIVETEAU – Directeur de recherche, INRAE – *Listeria monocytogenes* ; écologie microbienne, écologie des bactéries pathogènes dans les agroenvironnements, systèmes alimentaires, filière végétaux.

Sabine SCHORR-GALINDO – Professeur des universités, Université Montpellier – Sécurité sanitaire des aliments, microbiologie alimentaire et industrielle, mycologie, mycotoxines, écologie microbienne, technologie alimentaire, HACCP, biotechnologie, filières fruits, café et cacao.

Régine TALON – Directrice de recherche, chargée de mission, INRAE – Sciences des aliments, écologie microbienne, produits fermentés, ferments, bactéries pathogènes, filières viande et lait.

Isabelle VILLENA – Professeur des universités-Praticien Hospitalier, Chef de service Hôpital Reims, Directeur du CNR de la Toxoplasmose, CHU Reims, Université Reims Champagne-Ardenne – Evaluation des risques sanitaires, parasitologie, mycologie médicale, infectiologie clinique, épidémiologie, biologie moléculaire.

## ■ CES « Analyse Socio-Économique » (ASE)

### Présidente

Laura MAXIM – Chargée de recherche, CNRS – Socio-économie, risques chimiques, incertitude.

### Membres

Bénédicte APOUEY – Chargée de recherche, CNRS et École d'économie de Paris – Économie de la santé, inégalités sociales de santé.

Luc BAUMSTARK – Maître de conférences, Université Lyon 2 – Économie publique, économie de l'environnement, économie de la santé, calcul économique public.

Céline BONNET – Directrice de recherche, INRAE – Économie industrielle, analyse des politiques alimentaires.

Thierry BRUNELLE – Chargé de recherche, CIRAD – Modélisation, usages des sols, sécurité alimentaire, biodiversité, changement climatique.

France CAILLAVET – Directrice de recherche, INRAE – Déterminants socio-économiques des décisions alimentaires, inégalités, analyse des politiques alimentaires.

Alain CARPENTIER – Directeur de recherche, INRAE – Analyse des systèmes de production agricole, politique agro-environnementale, usage d'intrants chimiques.

Thomas COUTROT – Retraité – Statistiques du travail, évaluation économique, organisation du travail.

Cécile DETANG-DESSENDRE – Directrice scientifique adjointe, INRAE – Économie des espaces ruraux, marché du travail agricole.

Serge GARCIA – Directeur de recherche, INRAE – Économie des ressources naturelles, eau, forêt, services écosystémiques, politiques publiques environnementales.

Julien GAUTHEY – Chargé de mission Recherche, OFB – Sociologie, socio-économie, biodiversité, agroécologie, économie circulaire, micropolluants.

Emmanuelle LAVAINE – Enseignante-chercheuse, Université de Montpellier – Économie appliquée en santé-environnement, évaluation des externalités environnementales de santé (jusqu'au 8/12/2023).

Marc LEANDRI – Maître de conférences, Université Versailles-Saint Quentin – Économie du risque et de l'information, économie de la pollution, services écosystémiques, développement durable, One Health Economics.

Christine LE CLAINCHE – Professeure, Université de Lille – Santé-travail, inégalités sociales de santé, prévention, équité et redistribution, économie comportementale.

Youenn LOHEAC – Enseignant-chercheur, CNRS, Université Rennes 1, Rennes School of Business – Économie expérimentale et comportementale, analyse des comportements alimentaires.

Selim LOUAFI – Directeur adjoint, UMR AGAP - CIRAD – Sciences sociales, biodiversité, biotechnologies, développement durable, sécurité alimentaire, décision publique (jusqu'au 16/01/2024).

Eric PLOTTU – Consultant – Théorie de la décision, méthodologie d'évaluation et aide multicritère à la décision, approches participatives, évaluation socio-économique et environnementale de projets.



Élodie ROUVIERE – Maîtresse de conférences, AgroParisTech – Organisation industrielle, économétrie appliquée, filières agroalimentaires (jusqu'au 31/12/2024).

Maïder SAINT JEAN – Enseignante-chercheuse, Université de Bordeaux – Économie de l'innovation, éco-industrielle, l'économie de l'environnement, transition sociotechnique.

Denis SALLES – Chargé de mission, INRAE – Sociologie de l'environnement et de l'action publique, gestion des ressources en eau.

Louis-Georges SOLER – Directeur scientifique adjoint, INRAE – Économie des filières agricoles et agroalimentaires, politiques nutritionnelles.

Léa TARDIEU – Chargée de recherche, INRAE – Services écosystémiques, justice environnementale, biodiversité, analyses spatialisées

Jean-Christophe VERGNAUD – Directeur adjoint, Centre d'économie de la Sorbonne - École d'économie de Paris – Économie publique appliquée en santé-environnement, théorie de la décision, économie expérimentale, REACh.

## ■ GT « Vecteurs »

### Président

Frédéric SIMARD – Directeur de recherche, IRD, MIVEGEC, CNRS, Université de Montpellier – Entomologie médicale, moustiques, arboviroses, paludisme, lutte antivectorielle.

### Membres

Thierry BALDET – Chercheur, CIRAD, UMR ASTRE, INRAE – Surveillance entomologique, lutte antivectorielle, moustiques, *Aedes*, vecteurs invasifs, expertise entomologique.

Daniel BLEY – Directeur de recherches émérite, CNRS – Anthropologie, interfaces environnement/santé, perceptions des risques, pratiques de prévention, professionnels de santé, interdisciplinarité.

Sarah BONNET – Directrice de recherche, Institut Pasteur-CRNS-INRAE – Entomologie médicale et vétérinaire, parasitologie, lutte antivectorielle, maladies infectieuses, santé animale, tiques.

Pierre BOYER – Maître de Conférence des Universités – Praticien Hospitalier, Université de Strasbourg, Hôpitaux universitaires de Strasbourg – Borréliose de Lyme, maladies transmises par les tiques, entomologie médicale, microbiologie clinique.

Anna COHUET – Directrice de recherche, – IRD-CNRS-Université de Montpellier – Ecologie de la transmission vectorielle, interactions Homme-Plasmodium-Anopheles, résistance comportementale aux insecticides et répulsifs.

Laurent DALMAS – Maître de conférence, Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines-Paris Saclay – Sciences sociales, économie de l'environnement, économie de la santé - santé publique et globale (*One Health*), évaluation monétaire et non-monétaire, évaluation de politiques publiques.

Albin FONTAINE – Chercheur, Institut de Recherche Biomédicale des Armées (IRBA) – Séquençage (Illumina), biologie moléculaire, culture de cellules d'insecte, production d'arbovirus, élevage de moustiques, mesure des déterminants de la compétence vectorielle, codage en R et BASH.

Thierry HOCH – Ingénieur de Recherche, ONIRIS-INRAE – Epidémiologie, analyse de risque en santé animale.

Karine HUBER – Directrice de recherche, INRAE - Entomologie médicale et vétérinaire, maladies vectorielles, épidémiologie.

Marc LEANDRI – Maître de conférences, Université Versailles-Saint Quentin – Évaluation sanitaire et environnementale, modélisation de protection en santé (*Health Belief Model*), économie de l'Information, économie des maladies vectorielles, perception des risques, économie des services écosystémiques, One Health Economics.

Tinne LERNOUT – Epidémiologiste, Sciensano, service Epidémiologie des maladies infectieuses, Bruxelles – Epidémiologie, surveillance, participation citoyenne, évaluations de risque.

Sylvie MANGUIN – Directrice de recherche, IRD Montpellier, Laboratoire d'Immuno-Physiopathologie Moléculaire Comparée (LIPMC) – Entomologie, moustiques, vecteurs d'agents pathogènes - étude de la biologie et des biotopes des vecteurs - recherche de répulsifs naturels à base de plantes.

Sara MOUTAILLER – Cheffe de projet recherche, Anses – Tiques, moustiques, compétence vectorielle, épidémiologie moléculaire, outil de détection, virologie.

Marie-Claire PATY – Médecin infectiologue, Santé Publique France – Epidémiologie, santé publique, maladies infectieuses, vecteurs, prévention.

Christophe PAUPY – Directeur de recherche, IRD-CNRS-Université de Montpellier IRD – *Aedes*, biologie, génétique, compétence vectorielle, contrôle, arbovirus.

Philippe QUENEL – Professeur émérite EHESP – Epidémiologie, biostatistique, santé publique – épidémiologie des maladies vectorielles.

Alice RAFFETIN – Praticien hospitalier, Coordinatrice Centre de Référence Régional des Maladies Vectorielles à Tiques, Paris et région Nord, Centre Hospitalier Intercommunal de Villeneuve-Saint-Georges (CHIV) – Borréliose de Lyme, maladies vectorielles à tiques, infectiologie, gestion des risques infectieux et prévention, épidémiologie.

Marion RIPOCHE – Chargée de mission sanitaire caprin / Animatrice de l'Observatoire des maladies caprines (OMACAP), FRGDS Nouvelle-Aquitaine– Stratégie de surveillance entomologique et acarologique, système de surveillance, épidémiologie, outil de détection et de surveillance spatiale.

Denis SERENO – Directeur de recherche, IRD-CIRAD – Entomologie médicale, entomologie, infectiologie, parasitologie, surveillance.

Stéphanie WATIER-GRILLOT – Vétérinaire des armées, Ministère des armées – Vétérinaire, maladies animales, zoonoses, épidémiologie animale, veille sanitaire, *One Health*.

## PARTICIPATION ANSES

---

### Coordination scientifique

Saisine transversale ayant impliqué les unités ci-dessous :

- Direction de l'évaluation des risques (DER) – Unité d'évaluation des risques liés au bien-être, à la santé et à l'alimentation des animaux, et aux vecteurs (UBSA<sub>2</sub>V)
  - Florence ÉTORÉ, cheffe d'unité



- Ali JAFFAL, coordinateur d'expertise scientifique
- Elsa QUILLERY, coordinatrice d'expertise scientifique
- DER – Unité d'évaluation des risques liés aux aliments (UERALIM)
  - Pauline KOOH, cheffe de projet
  - Laurent GUILLIER, chef de projet
  - Nathalie ARNICH, cheffe adjointe d'unité
  - Karine TACK, cheffe d'unité
- Direction Sciences sociales, économie et société (DiSSES)
  - Fanny DEBIL, cheffe de projets
  - Karine FIORE, directrice adjointe
  - Brice LAURENT, directeur
  - Véronique RAIMOND, cheffe de projets socio-économiques – économiste de la santé

**Secrétariat administratif**

M. Régis MOLINET– Anses

## AUDITION DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES

Les personnes mentionnées ci-après ont été auditionnées par des experts du groupe de travail. Ces derniers remercient l'ensemble des personnes consultées pour les échanges fructueux qui ont eu lieu dans le cadre des auditions, de même que par écrit. Les informations transmises dans ce cadre ont été prises en compte lors de l'élaboration du rapport.

*Avertissement : la mention des personnes dans le tableau ci-dessous ne signifie pas qu'elles endossent les conclusions du présent rapport.*

**Tableau 1 : liste des personnes auditionnées**

| Nom                 | Fonction                                                                      | Date                             |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Cécile LAITHIER     | Responsable du service « Qualité du lait et des produits laitiers » à l'IDELE | 19/10/2023                       |
| Rénée de Crémoux    | Chef de projet Recherche et développement à l'IDELE                           | Echange (questionnaire) par mail |
| Christophe CHARTIER | Professeur émérite, Oniris                                                    | 14/12/2023                       |
| Nicolas EHRHARDT    | Animateur de l'OMACAP : Observatoire des Maladies Caprines, FRGDS-NA          | 08/01/2024                       |

## CONTRIBUTIONS EXTÉRIEURES AU(X) COLLECTIF(S)

- Mise à disposition de données collectées dans le cadre du projet CiTIQUE concernant les piqûres de tiques en France : Jonas DURAND et Pascale FREY-KLETT – Programme national de recherche participative CiTIQUE.

## SOMMAIRE

|                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Présentation des intervenants .....</b>                                                | <b>3</b>  |
| <b>Sigles et abréviations.....</b>                                                        | <b>17</b> |
| <b>Liste des tableaux .....</b>                                                           | <b>19</b> |
| <b>Liste des figures.....</b>                                                             | <b>21</b> |
| <b>1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise.....</b>                  | <b>24</b> |
| 1.1 Contexte .....                                                                        | 24        |
| 1.2 Objet de la saisine .....                                                             | 25        |
| 1.3 Modalités de traitement.....                                                          | 25        |
| 1.3.1 Moyens mis en œuvre et organisation .....                                           | 25        |
| 1.3.2 Méthodologie suivie pour l'expertise .....                                          | 26        |
| 1.3.3 Limites du champ d'expertise.....                                                   | 28        |
| 1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts .....                                   | 28        |
| <b>2 Le virus de l'encéphalite à tiques : généralités et éléments de bio-écologie ...</b> | <b>29</b> |
| 2.1 Le virus de l'encéphalite à tiques .....                                              | 29        |
| 2.1.1 Présentation du virus de la TBE.....                                                | 29        |
| 2.1.2 Diversité génétique du TBEV .....                                                   | 30        |
| 2.1.3 Dose infectieuse du TBEV .....                                                      | 31        |
| 2.1.4 Résistance et persistance du TBEV.....                                              | 32        |
| 2.1.5 Pathogénie .....                                                                    | 33        |
| 2.2 Le cycle naturel de transmission du virus de la TBE .....                             | 37        |
| 2.3 Les tiques vectrices .....                                                            | 39        |
| 2.3.1 <i>Ixodes ricinus</i> .....                                                         | 40        |
| 2.3.2 <i>Dermacentor reticulatus</i> .....                                                | 44        |
| 2.4 Les hôtes vertébrés .....                                                             | 48        |
| 2.4.1 Les micromammifères .....                                                           | 48        |
| 2.4.2 Les oiseaux .....                                                                   | 49        |
| 2.4.3 Les méso- et macro- mammifères .....                                                | 50        |
| 2.5 Modes de transmission du TBEV à l'être humain.....                                    | 51        |
| 2.5.1 Piquûre de tique .....                                                              | 51        |
| 2.5.2 Transmission alimentaire .....                                                      | 51        |
| 2.5.3 Autres modes de contamination.....                                                  | 52        |
| 2.6 Immunité des animaux.....                                                             | 53        |
| <b>3 Diagnostic, surveillance, et épidémiologie de l'encéphalite à tiques .....</b>       | <b>56</b> |
| 3.1 Manifestations cliniques.....                                                         | 56        |
| 3.2 Diagnostic de l'encéphalite à tiques .....                                            | 58        |

|          |                                                                                                                      |            |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.3      | Traitement et prévention .....                                                                                       | 61         |
| 3.4      | Surveillance de la TBE chez l'être humain .....                                                                      | 62         |
| 3.4.1    | La surveillance à l'échelle européenne .....                                                                         | 62         |
| 3.4.2    | La surveillance en France .....                                                                                      | 63         |
| 3.5      | Épidémiologie de la TBE chez l'être humain .....                                                                     | 64         |
| 3.5.1    | Situation en Europe .....                                                                                            | 64         |
| 3.5.2    | Situation en France .....                                                                                            | 66         |
| <b>4</b> | <b>Évaluation économique du fardeau sanitaire de la TBE .....</b>                                                    | <b>72</b>  |
| 4.1      | Méthode de l'évaluation économique du fardeau sanitaire .....                                                        | 72         |
| 4.1.1    | Modélisation de l'évolution des patients dans la maladie .....                                                       | 73         |
| 4.1.2    | Estimation des coûts directs .....                                                                                   | 75         |
| 4.1.3    | Estimation des coûts indirects .....                                                                                 | 78         |
| 4.1.4    | Estimation des coûts intangibles .....                                                                               | 79         |
| 4.2      | Résultats .....                                                                                                      | 80         |
| 4.2.1    | Coûts directs et indirects .....                                                                                     | 81         |
| 4.2.2    | Coûts intangibles .....                                                                                              | 81         |
| 4.2.3    | Coûts totaux .....                                                                                                   | 83         |
| 4.2.4    | Analyses de sensibilité .....                                                                                        | 84         |
| 4.3      | Discussion et mise en regard de la littérature .....                                                                 | 85         |
| <b>5</b> | <b>Détection du TBEV et surveillance chez les animaux et leurs produits, et dans les populations de tiques .....</b> | <b>88</b>  |
| 5.1      | L'infection chez les animaux .....                                                                                   | 88         |
| 5.2      | Méthode de détection du TBEV et des infections à TBEV .....                                                          | 90         |
| 5.2.1    | Détection du TBEV dans les tiques .....                                                                              | 90         |
| 5.2.2    | Détection du TBEV chez les animaux domestiques et sauvages .....                                                     | 91         |
| 5.2.3    | Détection du TBEV dans le lait et les produits laitiers .....                                                        | 92         |
| 5.3      | Stratégies de surveillance .....                                                                                     | 94         |
| 5.3.1    | Surveillance des populations de tiques .....                                                                         | 94         |
| 5.3.2    | Surveillance du TBEV .....                                                                                           | 97         |
| <b>6</b> | <b>Facteurs de variations spatio-temporelles de la transmission du TBEV par piqûre de tiques .....</b>               | <b>107</b> |
| 6.1      | Facteurs de variations spatio-temporelles des populations de tiques <i>I. ricinus</i> .....                          | 107        |
| 6.2      | Facteurs associés à la présence et abondance de TBEV dans les tiques .....                                           | 109        |
| 6.2.1    | Facteurs explicatifs de la distribution du TBEV .....                                                                | 110        |
| 6.3      | Facteurs d'exposition humaine aux piqûres de tiques et au TBEV .....                                                 | 112        |
| 6.3.1    | Rôle des activités humaines .....                                                                                    | 113        |
| 6.3.2    | Facteurs sociaux et économiques .....                                                                                | 114        |

|           |                                                                                                                                              |            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.4       | Outils de prédiction du risque de transmission du TBEV.....                                                                                  | 115        |
| 6.4.1     | Revue des modèles et outils existants pour le risque de transmission du TBEV ...                                                             | 115        |
| 6.4.2     | Intérêts et limites des modèles de prédiction du risque de contracter la TBE.....                                                            | 120        |
| <b>7</b>  | <b>Estimation du risque pour l'être humain de développer une TBE avec des manifestations cliniques à la suite de piqûres de tiques .....</b> | <b>122</b> |
| 7.1       | Schéma événementiel .....                                                                                                                    | 122        |
| 7.2       | Estimation de la probabilité de présenter des symptômes de TBE pour l'être humain à la suite de piqûres de tiques .....                      | 123        |
| 7.2.1     | Méthode .....                                                                                                                                | 124        |
| 7.2.2     | Paramétrage des données.....                                                                                                                 | 126        |
| 7.2.3     | Analyse de sensibilité .....                                                                                                                 | 135        |
| 7.2.4     | Résultats : estimation de la probabilité (P) de développer des symptômes de TBE à la suite de piqûres de tiques en Alsace .....              | 135        |
| <b>8</b>  | <b>Pratiques d'élevages et facteurs de risque d'introduction du TBEV dans les élevages caprins français.....</b>                             | <b>143</b> |
| 8.1       | Filière laitière caprine et pratiques d'élevage en France .....                                                                              | 143        |
| 8.1.1     | Organisation de la filière .....                                                                                                             | 143        |
| 8.1.2     | Pratiques d'élevage .....                                                                                                                    | 145        |
| 8.1.3     | Production de fromages de chèvre .....                                                                                                       | 147        |
| 8.1.4     | L'environnement institutionnel et réglementaire .....                                                                                        | 147        |
| 8.2       | Facteurs de risque d'introduction du TBEV dans les élevages.....                                                                             | 147        |
| <b>9</b>  | <b>Evaluation de l'exposition humaine au TBEV par voie alimentaire.....</b>                                                                  | <b>151</b> |
| 9.1       | Schéma événementiel .....                                                                                                                    | 151        |
| 9.2       | Denrées alimentaires impliquées .....                                                                                                        | 154        |
| 9.2.1     | Bilan des données épidémiologiques sur les cas de transmission alimentaire de TBEV                                                           | 154        |
| 9.2.2     | Prévalence et persistance du virus dans le lait .....                                                                                        | 157        |
| 9.2.3     | Impact des procédés de transformation et des mesures de maîtrise applicables tout au long de la chaîne alimentaire.....                      | 160        |
| 9.3       | Évaluation des risques de transmission alimentaire de la TBE .....                                                                           | 162        |
| 9.3.1     | Revue du modèle suisse publié .....                                                                                                          | 162        |
| 9.3.2     | Évaluation quantitative de l'exposition au TBEV par la consommation de fromage au lait cru de chèvre .....                                   | 166        |
| <b>10</b> | <b>Analyse prospective de l'évolution du risque d'infection humaine par le TBEV</b>                                                          | <b>181</b> |
| 10.1      | Élicitation d'experts en vue d'identifier les principaux facteurs associés à une augmentation d'incidence des cas humains de TBE.....        | 181        |
| 10.2      | Changements climatiques et risque d'infection par le TBEV .....                                                                              | 183        |
| <b>11</b> | <b>Identification et discussion d'options d'action .....</b>                                                                                 | <b>188</b> |

|                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                     |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 11.1                                                                                                                                                                                                                             | Démarche de travail.....                                                            | 188        |
| 11.2                                                                                                                                                                                                                             | Présentation générale des options d'action considérées pertinentes par le GT ....   | 189        |
| 11.3                                                                                                                                                                                                                             | . Présentation détaillée des options d'action considérées pertinentes par le GT ... | 193        |
| 11.3.1                                                                                                                                                                                                                           | . Approches transversales et points de vigilance.....                               | 193        |
| 11.3.2                                                                                                                                                                                                                           | . Au niveau des tiques dans l'environnement.....                                    | 195        |
| 11.3.3                                                                                                                                                                                                                           | . Au niveau de l'élevage.....                                                       | 196        |
| 11.3.4                                                                                                                                                                                                                           | Au niveau de la production et de la consommation de produits à base de lait cru.    | 203        |
| 11.3.5                                                                                                                                                                                                                           | Au niveau de l'être humain .....                                                    | 204        |
| 11.4                                                                                                                                                                                                                             | Options d'action écartées par le GT.....                                            | 207        |
| <b>12</b>                                                                                                                                                                                                                        | <b>Analyse des sources d'incertitudes .....</b>                                     | <b>214</b> |
| <b>13</b>                                                                                                                                                                                                                        | <b>Conclusions et recommandations du GT .....</b>                                   | <b>221</b> |
| 13.1                                                                                                                                                                                                                             | Conclusions .....                                                                   | 221        |
| 13.2                                                                                                                                                                                                                             | Recommandations.....                                                                | 223        |
| <b>14</b>                                                                                                                                                                                                                        | <b>Bibliographie.....</b>                                                           | <b>227</b> |
| <b>Annexe 1 : Lettre de l'autosaisine.....</b>                                                                                                                                                                                   |                                                                                     | <b>268</b> |
| <b>Annexe 2 : Bilan des infestations de tiques positives au TBEV collectées sur des oiseaux en Europe .....</b>                                                                                                                  |                                                                                     | <b>271</b> |
| <b>Annexe 3 : Description du modèle d'estimation du fardeau de la TBE .....</b>                                                                                                                                                  |                                                                                     | <b>273</b> |
| <b>Annexe 4 : Méthodologie utilisée pour le travail d'élucidation d'experts scientifiques en vue d'identifier les principales activités humaines associées à un risque de piqûre de tiques en forêt .....</b>                    |                                                                                     | <b>276</b> |
| <b>Annexe 5 : Schéma conceptuel présentant les circonstances conduisant à l'apparition de cas de TBE dans un élevage caprin.....</b>                                                                                             |                                                                                     | <b>283</b> |
| <b>Annexe 6 : Bilan des réponses de l'enquête multilatérale européenne menée par l'Anses en octobre 2023 sur les cas de transmission alimentaire du TBEV (Epidémiologie, mesure de maîtrise dans la chaîne alimentaire).....</b> |                                                                                     | <b>285</b> |
| <b>Annexe 7 : Méthodologie utilisée pour le travail d'élucidation d'experts en vue d'identifier les principaux facteurs associés à une augmentation d'incidence des cas humains d'infection par le TBEV .....</b>                |                                                                                     | <b>292</b> |
| <b>Annexe 8 : Le regard des sciences humaines et sociales : état de la littérature.....</b>                                                                                                                                      |                                                                                     | <b>295</b> |
| <b>Annexe 9 : Les éleveurs caprins face aux tiques : le risque TBEV.....</b>                                                                                                                                                     |                                                                                     | <b>302</b> |

## Sigles et abréviations

ADN : Acide désoxyribonucléique

Anses : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

AMM : Autorisation de mise sur le marché

Anadémie : maladie non contagieuse, qui attaque un grand nombre de personnes au même lieu

ANICAP : Association Nationale interprofessionnelle Caprine

AOP : appellation d'origine protégée

APE : antiparasitaire externe

ARN : Acide ribonucléique

ASE : Analyse socio-économique.

AURA : Auvergne-Rhône-Alpes

BCoDE : *Burden of Communicable Diseases in Europe* (Fardeau des maladies transmissibles en Europe).

BHE : barrière hémato-encéphalique

BIORISK : Évaluation des risques biologiques liés aux aliments.

CAEV : virus de l'encéphalite arthritique caprine

CES : Comité d'experts spécialisé.

CHU : Centre hospitalier universitaire

Cirad : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

CISCA : Centre d'Innovations Sociales Clermont Auvergne

CNR : Centre national de référence (en santé humaine)

CNRS : Centre national de la recherche scientifique.

DALYs : *Disability Adjusted Life Years*

DEET : N,N-diéthyl-3-méthylbenzamide

DL50 : Dose létale 50 %

ECDC : *European Centre for Disease Prevention and Control*

ECP : effet cytopathique

EFSA : *European Food Safety Authority*

ELISA : *Enzyme-linked immunosorbent assay*

Ffu : *focus-forming unit*

FHCC : Fièvre hémorragique de Crimée-Congo

FNEC : Fédération nationale des éleveurs de chèvres

FNIL : Fédération de l'industrie laitière

GT : Groupe de travail.

HACCP : *Hazard Analysis Critical Control Point* (Analyse des dangers et points critiques pour leur maîtrise).

HCSP : Haut Conseil de la Santé Publique.

HE : huile essentielle

HRI : *Habitat Richness Index* (Indice de richesse des habitats)

Idele : Institut de l'élevage

ICTV : *International Committee on Taxonomy of Viruses* (Comité international de taxonomie des virus).

LCS : liquide cébrospinal

LGTV : Langkat virus

LNR : Laboratoire national de référence.

LSB3 : laboratoire de sécurité biologique de type 3

MCDA : analyse de décision multi-critères

NF X 50-110 : Norme française pour la qualité en expertise.

NS1 : protéine non structurale 1

OFB : Office français de la biodiversité.

OMACAP : Observatoire des maladies caprines de la région Poitou-Charentes

OMEC : cellules épithéliales mammaires ovines

ONF : Office National des Forêts

PACA : Provence-Alpes-Côte d'Azur

Pfu : *plaque-forming unit*

PLF : Pâtes lactiques fraîches.

PMCF : pâte molle à croûte fleurie

PPNC : pâte persillée, à pâte pressée non cuite

PPNCC : Pâtes pressées non cuites à affinage court.

RH : Humidité relative

RT-PCR : *Reverse transcription polymerase chain reaction*

SABA : Santé et bien-être des animaux.

SAT : *salivary-activated transmission*

SDM : *Species distribution model* (modèle de distribution d'espèces)

SNC : système nerveux central

SpF : Santé publique France

SRLV : lentivirus de petits ruminants

TBE : *Tick-Borne Encephalitis* (encéphalite à tiques).

TBEV : *Tick-Borne Encephalitis Virus* (virus de l'encéphalite à tiques).

TIAC : Toxi-infection alimentaire collective.

UE/EEE : Union Européenne et de l'Espace Economique Européen

VVS : Valeur d'une Vie Statistique



## Liste des tableaux

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 1 : liste des personnes auditionnées.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 12  |
| Tableau 2 : Parcours de soins théorique selon l'état de santé.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 76  |
| Tableau 3 : Tarifs des soins .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 77  |
| Tableau 4 : Coût par état de santé .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 78  |
| Tableau 5 : Nombre de cas par état de santé (selon la modélisation).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 80  |
| Tableau 6 : Coût par état de santé pour un an .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 81  |
| Tableau 7 : Perte de DALYs - Résultats de la simulation du BCoDE en France .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 82  |
| Tableau 8 : Valorisation monétaire des coûts intangibles pour la population française.....                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 83  |
| Tableau 9 : Évaluation économique du fardeau sanitaire annuel de la TBE en France en euros (données 2021-2023) .....                                                                                                                                                                                                                                                                     | 83  |
| Tableau 10. Variation des coûts indirects dans l'analyse de sensibilité .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 84  |
| Tableau 11. Variation des coûts totaux (décès inclus) dans l'analyse de sensibilité .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 84  |
| Tableau 12. Variation du coût moyen d'un cas symptomatique (hors décès) dans l'analyse de sensibilité .....                                                                                                                                                                                                                                                                              | 84  |
| Tableau 13 : Critères de choix de l'espèce à prélever pour la mise en place d'enquêtes sérologiques à large échelle en vue de déterminer la distribution de TBEV en France.....                                                                                                                                                                                                          | 102 |
| Tableau 14 : Paramètres utilisés pour le calcul de la probabilité de manifestations cliniques de TBE suite à une piqûre de tique pour la population générale et les forestiers en Alsace. ...                                                                                                                                                                                            | 133 |
| Tableau 15 : Nombre d'exploitations, effectifs et taille moyenne des troupeaux caprins par région.....                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 144 |
| Tableau 16 : Données de transmission alimentaire de TBEV rapportées dans la littérature .....                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 155 |
| Tableau 17 : Estimation de la prévalence du TBEV (basée sur la présence du génome viral) dans le lait en Europe en fonction des espèces animales.....                                                                                                                                                                                                                                    | 158 |
| Tableau 18 : <i>Valeurs prises en compte pour l'évaluation des risques par Ingenhoff et al. (2020).</i> .....                                                                                                                                                                                                                                                                            | 166 |
| Tableau 19 : Paramètres du modèle d'exposition au TBEV par la consommation de fromage au lait cru de chèvre .....                                                                                                                                                                                                                                                                        | 169 |
| Tableau 20 : Comparaison des sorties du modèle pour les trois types de fromage (fromages à pâte lactique fraîche - PLF, fromages à pâte molle et croûte fleurie - PMCF et fromages à pâte pressée non cuite et affinage court - PPNC) pour le scénario d'élevage de 50 chèvres naïves (valeurs médianes et intervalle d'incertitude à 95 % ; résultats pour 500 x1000 itérations). ..... | 175 |
| Tableau 21 : Influence du statut sérologique des chèvres du troupeau (de 50 animaux) sur les sorties du modèle pour les fromages à pâte lactique fraîche (PLF) (valeurs médianes et intervalle d'incertitude à 95 % ; résultats pour 500 x1000 itérations).....                                                                                                                          | 177 |
| Tableau 22. Influence de la taille des troupeaux sur les sorties du modèle (situation des pâtes lactiques fraîches (PLF) avec l'ensemble des animaux naïfs $p_{\text{résistant}}=0$ ) (valeurs médianes et intervalle d'incertitude à 95 % ; résultats pour 500 x1000 itérations).....                                                                                                   | 178 |
| Tableau 23 : Liste des options d'action pertinentes retenues par le GT et classées par compartiments.....                                                                                                                                                                                                                                                                                | 190 |

|                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 24 : Liste des antiparasitaires externes ayant une autorisation de mise sur le marché pour la prévention et le traitement des infestations par les tiques chez les ruminants domestiques..... | 200 |
| Tableau 25 : Liste des options d'action écartées par le GT (sans priorisation) .....                                                                                                                  | 208 |
| Tableau 26 : Typologie des sources d'incertitude .....                                                                                                                                                | 215 |
| Tableau 27 : Synthèse des études réalisées en Europe recherchant la présence de TBEV dans les tiques collectées sur les oiseaux.....                                                                  | 271 |
| Tableau 28 : Probabilités de transition de l'arbre de décision (source : d'après ECDC).....                                                                                                           | 274 |
| Tableau 29: Poids d'incapacité du modèle BCoDE (source : d'après ECDC) .....                                                                                                                          | 274 |
| Tableau 30 : Nombre de cas simulés dans le modèle BCoDE pour estimer le fardeau de la TBE en France sur deux ans.....                                                                                 | 275 |
| Tableau 31 : Liste des 28 activités forestières qui ont été considérées dans l'élucitation d'experts .....                                                                                            | 276 |
| Tableau 32 : Critères à prendre en compte pour hiérarchiser les activités forestières et les différents scores à attribuer pour chacun des critères.....                                              | 278 |
| Tableau 33 : Liste de mesures de gestion décrites dans le corpus étudié .....                                                                                                                         | 296 |

## Liste des figures

|                                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 1 : Représentation schématique de la structure du virus de la TBE .....                                                                                                                                                                             | 30  |
| Figure 2 : Carte de répartition des trois principaux sous-types du TBEV en Europe et en Asie.<br>.....                                                                                                                                                     | 31  |
| Figure 3 : Représentation schématique de la pathogénèse du TBEV observée chez l'hôte<br>mammifère, d'après Ruzek et al. (2019). ....                                                                                                                       | 36  |
| Figure 4 : Représentation schématique de la transmission du TBEV impliquant <i>Ixodes ricinus</i> .<br>.....                                                                                                                                               | 37  |
| Figure 5 : Illustration de la transmission du virus (points rouges) par co-repas entre une<br>nymphée infectée et des larves se nourrissant à proximité les unes des autres. ....                                                                          | 38  |
| Figure 6 : Répartition géographique des espèces du complexe <i>Ixodes ricinus</i> d'importance<br>médicale. ....                                                                                                                                           | 40  |
| Figure 7 : <i>Ixodes ricinus</i> : femelle, nymphée et larve (de gauche à droite). ....                                                                                                                                                                    | 41  |
| Figure 8 : Courbes d'évolution moyenne simulée des abondances de nymphées d' <i>Ixodes ricinus</i><br>en différents sites d'échantillonnage en France (Hoch et al. 2024). ....                                                                             | 42  |
| Figure 9 : Carte de répartition d' <i>Ixodes ricinus</i> d'après l'ECDC. ....                                                                                                                                                                              | 43  |
| Figure 10 : Tiques du genre <i>Dermacentor</i> sur la végétation : (a) mâle et (b) femelle (écusson<br>blanc marbré). ....                                                                                                                                 | 45  |
| Figure 11 : Répartition géographique de <i>D. reticulatus</i> en Europe. ....                                                                                                                                                                              | 46  |
| Figure 12 : Représentation schématique de la transmission du TBEV impliquant <i>Dermacentor</i><br><i>reticulatus</i> . ....                                                                                                                               | 47  |
| Figure 13 : Représentation schématique classique de l'infection humaine biphasique par le<br>TBEV pour les cas symptomatiques (10 à 30 % des cas). ....                                                                                                    | 57  |
| Figure 14 : Critères de définition des cas de TBE utilisés par Santé Publique France (SpF).<br>.....                                                                                                                                                       | 59  |
| Figure 15 : Évolution des marqueurs clinico-biologiques et des outils de diagnostic virologique<br>utilisables au cours de l'encéphalite à tique. ....                                                                                                     | 60  |
| Figure 16 : Exemple du schéma vaccinal mis en place en Autriche. ....                                                                                                                                                                                      | 62  |
| Figure 17 : Carte des différents modes de surveillance en fonction des pays européens. ....                                                                                                                                                                | 63  |
| Figure 18 : Taux de notification de cas confirmés de TBE par 100 000 habitants, UE/EEE,<br>2022. ....                                                                                                                                                      | 65  |
| Figure 19 : Nombre de cas humains recensés en France par année entre 1985 et 2023. ....                                                                                                                                                                    | 67  |
| Figure 20 : Répartition géographique des cas humains de TBE répertoriés entre 1968 et 2019<br>en Alsace. Source : Hansmann et Velay, com. pers. ....                                                                                                       | 68  |
| Figure 21 : Lieu probable de contamination des cas autochtones d'infection par le TBEV<br>déclarés en France de mai 2021 à mai 2023 (n= 61). ....                                                                                                          | 70  |
| Figure 22 : Évolution de la TBE dans l'outil BCoDE. ....                                                                                                                                                                                                   | 73  |
| Figure 23 : Carte présentant les pays ayant mis en place un système de surveillance active ou<br>passive des tiques, sur la période 2015-2019 et l'effort mis dans la surveillance parmi les pays<br>membres du réseau VectorNet (50 pays concernés). .... | 97  |
| Figure 24 : Carte des prélèvements de chevreuils en 2021-2022 .....                                                                                                                                                                                        | 108 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 25 : Carte de l'indice de qualité de l'habitat ( <i>Habitat Suitability Index</i> - HSI) pour les tiques <i>I. ricinus</i> en France hexagonale (source : Lebert et al 2022).....                                                                                                                                                                                  | 109 |
| Figure 26: Schéma simplifié des facteurs influençant la présence de TBEV.....                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 110 |
| Figure 27 : Carte de niche écologique pour les cas de TBE en Finlande et simulation de cette variable pour différents scénarios de changement climatique (Uusitalo, 2020). ....                                                                                                                                                                                           | 117 |
| Figure 28 : Carte de risque, estimé par la probabilité de présence du TBEV, établie par Walter et al. (2020). ....                                                                                                                                                                                                                                                        | 118 |
| Figure 29 : Carte des différents prédictors identifiés dans des cas de TBE en Europe, et estimation de l'effet de ces prédictors (Dagostin et al. 2023). ....                                                                                                                                                                                                             | 119 |
| Figure 30 : Schéma événementiel permettant d'estimer la probabilité de présenter des symptômes de TBE pour l'être humain à la suite de piqûres de tiques et les facteurs qui influencent ces événements. ....                                                                                                                                                             | 122 |
| Figure 31 : Simulations du nombre de cas pour 10 000 habitants faisant suite à une piqûre de tique (A) infectée par TBEV ; (B) avec des symptômes de TBE ; (C) avec syndromes pseudo-grippaux sans signes neurologiques de TBE ; (D) avec des signes neurologiques de TBE accompagnés de fièvre. ....                                                                     | 136 |
| Figure 32 : Résultats de l'analyse de sensibilité de l'estimation de la probabilité d'avoir des symptômes neurologiques dus au TBEV à la suite de piqûres dans la population générale : indices de Sobol, Si incluant les effets directs uniquement, et Ti incluant les effets d'interactions entre les paramètres, et leurs intervalles de confiance par paramètre. .... | 137 |
| Figure 33 : Incidence de cas neurologiques de TBE prédite en nombre de cas/10 000 habitants en fonction de la proportion de piqûres ayant lieu dans une zone infectée par le TBEV. ....                                                                                                                                                                                   | 138 |
| Figure 34 : Incidence de cas neurologiques de TBE prédite en nombre de cas/10000 habitants en fonction de la proportion de personnes piquées. ....                                                                                                                                                                                                                        | 139 |
| Figure 35 : Simulations du nombre de cas pour 10 000 habitants (A) infectés par TBEV ; (B) avec des symptômes de TBE ; (C) avec un syndrome pseudo-grippal sans signes neurologiques de TBE ; (D) avec des signes neurologiques de TBE accompagnés de fièvre, faisant suite à une piqûre en Alsace (10 000 simulations) chez les forestiers. ....                         | 140 |
| Figure 36 : Résultats de l'analyse de sensibilité de l'estimation de la probabilité d'avoir des symptômes neurologiques dus au TBEV à la suite de piqûres chez les forestiers : indices de Sobol, Si incluant les effets directs uniquement, et Ti incluant les effets d'interactions entre les paramètres, et leurs intervalles de confiance par paramètre.....          | 141 |
| Figure 37 : Répartition géographique de la production de lait de chèvre en France en 2023. ....                                                                                                                                                                                                                                                                           | 144 |
| Figure 38 : Répartition des exploitations caprines par système d'alimentation ((Agreste 2010). ....                                                                                                                                                                                                                                                                       | 145 |
| Figure 39 : Schéma événementiel conduisant à la possibilité d'excrétion dans le lait de TBEV par une chèvre infectée suite à une piqûre de tique. ....                                                                                                                                                                                                                    | 148 |
| Figure 40 : Schéma événementiel de la transmission du TBEV à l'être humain par la consommation de produits laitiers ....                                                                                                                                                                                                                                                  | 153 |
| Figure 41 : Représentation schématique de l'excrétion virale au cours de 7 des 240 jours de lactation pour une chèvre initialement indemne. ....                                                                                                                                                                                                                          | 164 |
| Figure 42 : Évolution du statut des chèvres au fil du temps pour la situation de référence (A et B : exemples de deux simulations du modèle développé par le GT). ....                                                                                                                                                                                                    | 172 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 43 : Évolution de la contamination journalière en TBEV dans les laits de tank pour la situation de référence (A et B deux simulations du modèle sont présentées, associées aux dynamiques dans les troupeaux présentées sur la Figure 42). .....                           | 173 |
| Figure 44 : Évolution de la contamination journalière en TBEV dans les fromages pour la situation de référence. ....                                                                                                                                                              | 174 |
| Figure 45 : Diagramme en tornade d'analyse de sensibilité pour la probabilité d'être exposé à des niveaux supérieurs à $10^4$ TBEV infectieux. ....                                                                                                                               | 179 |
| Figure 46 : Boîte à moustaches permettant de visualiser le classement des facteurs influençant l'augmentation d'incidence des cas humains de TBE (ordre décroissant basé sur la médiane du score global obtenu par les experts). ....                                             | 182 |
| Figure 47 : Schéma récapitulatif des interconnexions entre la société humaine, le changement climatique, les changements écologiques et démographiques, et les variations de l'incidence des maladies transmises par les tiques. ....                                             | 184 |
| Figure 48 : Différences dans la prévalence des tiques en Suède centrale et septentrionale (parties méridionales non incluses). ....                                                                                                                                               | 185 |
| Figure 49 : Coefficients significatifs ( $p < 0,05$ ) des modèles de régression linéaire appliqués aux probabilités d'occurrence de TBE sur 2017-2024 avec l'année comme prédicteur, au niveau administratif municipal (d'après Dagostin et al., 2024). ....                      | 186 |
| Figure 50 : Suivi des tableaux de chasse pour les Ongulés sauvages de 1973 à 2022 : A- Cerf élaphe <i>Cervus elaphus</i> (B) Chevreuil <i>Capreolus capreolus</i> (C) Sanglier <i>Sus scrofa</i> . ....                                                                           | 195 |
| Figure 51 : Evolution de la TBE dans l'outil BCoDE. ....                                                                                                                                                                                                                          | 273 |
| Figure 52 : Nuage de mots caractérisant l'expertise des 13 experts français élicités. ....                                                                                                                                                                                        | 280 |
| Figure 53 : Boîtes à moustaches avec le poids de chaque critère estimé par les experts élicités. C1 à C7, les 7 critères retenus par les experts. ....                                                                                                                            | 281 |
| Figure 54 : Boîtes à moustaches avec la note d'incertitude de chaque critère estimé par les experts élicités. ....                                                                                                                                                                | 281 |
| Figure 55 : Boîte à moustaches permettant de visualiser le classement des activités forestières par ordre décroissant de risque d'exposition aux piqûres de tiques (l'ordre décroissant est basé sur la médiane des valeurs du score global pondéré obtenu par les experts). .... | 282 |
| Figure 56 : Nuage de mots caractérisant l'expertise des 18 experts français élicités. ....                                                                                                                                                                                        | 292 |
| Figure 57 : Boîtes à moustaches avec le poids de chaque domaine de facteurs estimé par les experts élicités. ....                                                                                                                                                                 | 293 |
| Figure 58 : Boîtes à moustaches avec la note d'incertitude de chaque domaine estimée par les 18 experts élicités. ....                                                                                                                                                            | 294 |

# 1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise

## 1.1 Contexte

Le virus de l'encéphalite à tiques (*Tick-borne encephalitis virus* - TBEV) est un arbovirus du genre *Orthoflavivirus* transmis par les tiques, présent dans une vaste région allant du nord de l'Asie à l'Europe de l'Ouest. Il y circule au sein de sa communauté d'hôtes et de ses vecteurs, principalement des tiques dures du genre *Ixodes*. Les espèces *I. ricinus* et *I. persulcatus* sont considérées comme les principales tiques vectrices en Europe et en Asie respectivement. Diverses espèces de micromammifères sont suspectées en tant que réservoirs vertébrés du TBEV, en plus du vecteur lui-même et joueraient un rôle significatif dans sa pérennisation. Plusieurs autres espèces sauvages et domestiques ainsi que l'être humain sont considérés comme des hôtes accidentels, souvent asymptomatiques ne développant pas ou peu de virémie.

Ce virus est responsable de l'encéphalite à tiques (TBE) et est transmis à l'être humain essentiellement par piqûre de tiques mais aussi par la consommation de lait cru contaminé ou de produits à base de lait cru contaminé.

En Europe, plusieurs milliers de cas humains de TBE sont enregistrés chaque année (3 650 cas en 2022 ; ECDC, Juin 2024). La maladie est endémique dans de nombreux pays européens : Autriche, Allemagne, Europe du Nord (Finlande, Norvège, Suède et pays Baltes), République tchèque, Slovaquie, etc. Une augmentation de son incidence est actuellement observée en Europe, comme en Suisse, en Allemagne et en France, corrélée notamment à l'émergence de nouvelles zones à risques ou de nouveaux foyers. L'aire de répartition du virus semble également s'étendre à de nouvelles zones géographiques, comme les Pays-Bas, la Belgique ou au Royaume-Uni qui ont enregistré ces dernières années leurs premiers cas humains autochtones de TBE respectivement en 2016, 2018 et 2019.

En France, à ce jour seul le sous-type européen (TBE-Eu) a été détecté parmi les trois principaux sous-types du virus décrits actuellement. Il est généralement considéré comme le moins pathogène. Cependant 10 à 30 % des personnes infectées développent des symptômes, patients parmi lesquels 20 à 30 % développent une forme neurologique pouvant être sévère (méningite, encéphalite, méningo-encéphalomyélite, etc.). La distribution du virus et la situation épidémiologique sont mal connues en France. Avec une trentaine de cas diagnostiqués par an<sup>1</sup>, la France est considérée comme un pays à faible incidence de la TBE bien que celle-ci représente actuellement la 3<sup>ème</sup> cause d'encéphalite dans ce pays. La majorité des cas sont recensés en Alsace, où une tendance à l'augmentation de l'incidence est par ailleurs actuellement observée. Des cas sont également rapportés régulièrement en Haute-Savoie, Loire, Haute-Loire et dans l'Ain. Dans les zones d'endémie, la prévalence du virus chez les tiques est faible (<1 %). Ce virus est connu pour avoir une distribution non homogène par microfoyers dans les zones de transmission ; cependant, l'aire de répartition du virus en France est vraisemblablement plus étendue que celle estimée à partir des cas humains. Des études de séroprévalence ont en effet montré la présence d'anticorps anti-TBEV (confirmés par séroneutralisation) chez des professionnels forestiers ainsi que chez des

<sup>1</sup> <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-a-prevention-vaccinale/encephalite-a-tiques>

sangliers et chevreuils, sans déplacement de ces derniers, dans d'autres régions que la région Grand Est (Bourgogne, Franche-Comté, Champagne-Ardenne et Savoie).

En France hexagonale, les contaminations ont lieu essentiellement du printemps à l'automne (période d'activité des tiques *Ixodes*). Jusqu'à récemment, ces contaminations étaient uniquement liées à des piqûres de tiques. Cependant en avril-mai 2020, un premier foyer de toxi-infection alimentaire collective (TIAC ; 44 cas) au TBEV a été identifié dans le département de l'Ain et a été relié à la consommation de fromage de chèvre au lait cru. Il est situé en dehors de la zone historiquement connue pour la circulation du virus (Gonzalez et al. 2022).

L'émergence et la circulation du TBEV sur le territoire français constituent, du fait des formes neurologiques de la maladie, un enjeu de santé publique humaine et vétérinaire qui justifie la mise en œuvre de stratégies de prévention et de gestion. Devant le risque que la TBE représente, suite aux recommandations<sup>2</sup> du Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) la TBE est inscrite dans la liste des maladies à déclaration obligatoire depuis le 12 mai 2021 (Décret n° 2021-573 du 10 mai 2021).

## 1.2 Objet de la saisine

Dans ce contexte, l'Anses s'est autosaisie pour réaliser une expertise interdisciplinaire relative à l'émergence de la TBE en France (Annexe 1).

Questions sur lesquelles portent les travaux d'expertise à mener :

l'Anses propose de :

- (1) « réaliser un état des connaissances sur le TBEV et un inventaire des données disponibles pour évaluer les risques liés à la TBE (les risques de transmission du TBEV à l'être humain par piqûre de tiques, les risques d'introduction du TBEV dans les élevages, les risques de transmission du TBEV par voie alimentaire) ;
- (2) réaliser une (ou des) carte(s) de risque sur la base des données disponibles, en intégrant l'ensemble des facteurs de risque identifiés ;
- (3) identifier des options de gestion et de les évaluer selon différents critères (tels que l'efficacité, la faisabilité, l'applicabilité...), et d'appliquer ces scénarios dans la (les) cartes des risques ;
- (4) proposer des recommandations et des actions de recherche ciblant l'acquisition de données permettant d'affiner les évaluations du risque de TBE et d'aider le gestionnaire à affiner et prioriser les mesures de gestion. »

## 1.3 Modalités de traitement

### 1.3.1 Moyens mis en œuvre et organisation

L'Anses a confié au groupe de travail « *Tick-borne encephalitis virus* - TBEV », rattaché aux comités d'experts spécialisés – « Santé et bien-être des animaux » (CES SABA), « Évaluation des risques biologiques liés aux aliments » (CES BioRisk) et « Analyse Socio-Économique » (CES ASE) l'instruction de cette saisine. Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été

<sup>2</sup> [https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=hcspa20200605\\_insdelenctiqcommaldclobl.pdf](https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=hcspa20200605_insdelenctiqcommaldclobl.pdf)



soumis régulièrement au GT « vecteurs » et aux différents CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques. Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres des différents collectifs. Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

Le CES « SABA » est le collectif pilote de la saisine, et procède à l'adoption finale de l'expertise. Les autres CES « BioRisk » et « ASE », associés aux travaux du GT, adoptent également les parties de l'expertise dans leur champ de compétence. Le CES « BioRisk » a ainsi validé le chapitre 9 et le CES « ASE » a validé le chapitre 4.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise (janvier 2024) ».

### 1.3.2 Méthodologie suivie pour l'expertise

#### 1.3.2.1 Recherches bibliographiques et analyses

Les experts du GT ont choisi de présenter les informations essentielles et pertinentes pour l'expertise et la compréhension de ce rapport. L'expertise des membres du GT « TBEV » a été mobilisée pour la rédaction de ce rapport. Ceux-ci ont sélectionné les articles et documents les plus pertinents pour documenter ce rapport. Des recherches bibliographiques ont été effectuées pour les sujets nécessitant un approfondissement. Dans ce cas, les recherches bibliographiques ont été menées sur Scopus® et PubMed®.

#### 1.3.2.2 Auditions et données complémentaires

Des auditions ont été réalisées afin d'obtenir des données et des informations complémentaires à celles issues de la littérature scientifique notamment sur les pratiques en élevage caprin en France. En amont des auditions, une liste de questions, rédigées par la coordination et les experts du GT, a été envoyée aux personnes auditionnées avant l'entretien. Les auditions se sont déroulées en visioconférence. Après une présentation de la personne auditionnée et des experts du GT présents, la discussion suivait la trame du questionnaire envoyé. Les experts du GT ont réalisé un travail d'analyse du contenu de ces auditions. Ils en ont tiré les éléments d'information jugés importants, et les ont utilisés pour alimenter certaines parties du rapport. Cette restitution, qui appartient aux experts du GT, n'engage aucune des personnes auditionnées, bien qu'elle s'appuie évidemment sur les entretiens conduits avec eux. La liste des personnes auditionnées par les experts du GT figure dans le **Tableau 1**.

#### 1.3.2.3 Convention de Recherche et Développement

Une convention recherche développement (CRD) a été établie entre l'Anses et le CISCA (Centre d'Innovations Sociales Clermont Auvergne) basé à Clermont-Ferrand. Le GT a souhaité réaliser une enquête socio-anthropologique auprès d'éleveurs et d'acteurs associés à l'élevage caprin afin d'améliorer la compréhension des enjeux autour de la maladie. Par le biais de cette CRD, le CISCA a réalisé cette enquête ethnographique dont les résultats ont permis d'éclairer les experts du GT quant à la pertinence des options de gestion considérées par le GT, en décrivant notamment la réalité des éleveurs caprins, producteurs de fromage au lait cru, dans leur relation avec le risque TBEV (§11.1 et §11.3). Le rapport de l'enquête est en Annexe 9 de ce présent rapport.



#### 1.3.2.4 Modélisation

Dans le cadre de cette expertise, différents travaux de modélisation ont également été effectués. Les experts ont ainsi :

- utilisé l'outil BCoDE, un modèle développé par l'ECDC afin d'estimer le fardeau de la TBE en France. La méthode, le paramétrage sont développés dans le §4.1, les résultats dans le §4.2. La description du modèle est développée dans l'Annexe 3 ;
- développé un modèle probabiliste, afin d'estimer la probabilité de développer une TBE avec des manifestations cliniques à la suite de piqûres de tiques. La méthode et le paramétrage du modèle sont développées dans le §7.2.1 et le §7.2.2 respectivement. Une analyse de sensibilité a également été faite et est présentée dans le §7.2.3. Enfin, les résultats sont présentés et discutés dans le §7.2.4 ;
- développé un modèle « *agent-based* » afin d'évaluer l'exposition humaine au TBEV par la consommation de fromages au lait cru. La méthode et le paramétrage du modèle sont développées dans le §9.3.2.1. Les résultats sont présentés et discutés dans le §9.3.2.2 et une analyse de sensibilité est présentée dans le §9.3.2.3.

#### 1.3.2.5 Elicitation d'experts

Pour pallier le manque de données, deux élicitations d'experts ont été mobilisées :

- Une première afin de caractériser les facteurs de risques d'exposition aux piqûres de tiques liés aux activités humaines (professionnelles ou récréatives) en forêt et de pouvoir orienter les messages de prévention vers les populations les plus à risque. Les experts du GT ont ainsi proposé de hiérarchiser différentes activités pratiquées en forêt sur la base du risque d'exposition aux piqûres de tiques qu'elles présentent. Ce travail de hiérarchisation ne pouvait s'appuyer ni uniquement sur la littérature scientifique, celle-ci n'étant pas exhaustive sur le sujet, ni sur les seules connaissances des experts du GT. La méthode et le déroulement de l'élicitation sont décrits dans l'Annexe 4 et les résultats de l'élicitation dans le §6.3.1.
- Une seconde élicitation a également été mobilisée, afin d'identifier les principaux facteurs associés à une augmentation d'incidence des cas humains d'infection par le TBEV. L'étude initiale était conduite à l'échelle européenne et, dans le cadre des travaux du GT, seuls les résultats concernant la France ont été considérés et analysés. Les résultats sont présentés dans le §10.1 et la méthode et le déroulement de l'élicitation sont décrits dans l'Annexe 7.

#### 1.3.2.6 Sollicitation des points focaux de l'EFSA

En tant que point focal national de l'EFSA<sup>3</sup>, l'Anses dans le cadre d'une enquête réalisée en octobre 2023 a interrogé les 27 points focaux de l'UE, plus l'Albanie, la Bosnie Herzégovine,

<sup>3</sup> <http://www.efsa.europa.eu/fr/partnersnetworks/eumembers> Lien vérifié le 10/02/25. (L'EFSA a traduit sur son site le terme « point focal » en « point de contact », lien consulté le 10/02/25). Les points focaux servent d'interface entre l'EFSA et les autorités nationales en charge de la sécurité des aliments dans les États membres de l'UE. Le réseau des points focaux est composé de membres issus des 27 États membres de l'UE, plus l'Islande et la Norvège, ainsi que d'observateurs représentant la Suisse, le Royaume Uni et les pays candidats à l'UE. Les points de contact sont chargés de promouvoir l'échange d'informations, la mise en réseau et la participation, et ils

l'Islande, le Kosovo, le Monténégro, la Macédoine du Nord, la Norvège, la Serbie, la Suisse et la Turquie afin de savoir si des cas de transmission de la TBE par voie alimentaire avait été déclarés dans leur pays. L'objectif était d'une part de collecter des informations sur les caractéristiques des foyers alimentaires de TBE et les options d'actions mises en place pour limiter les risques de transmission par voie alimentaire. D'autre part, de connaître les options d'action pour limiter l'exposition aux piqûres de tiques, et enfin de connaître les systèmes de surveillance mis en place pour la TBE.

Au total, 18 états ont répondu au questionnaire. Les résultats sont présentés dans l'Annexe 6.

### **1.3.3 Limites du champ d'expertise**

Les évaluations, discussions et recommandations figurant dans ce rapport ont été établies en l'état des connaissances scientifiques au moment des travaux et sont susceptibles d'être révisées en fonction des évolutions de celles-ci ou de l'évolution de la situation vis-à-vis du TBEV en France.

## **1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts**

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

---

jouent également un rôle important pour renforcer les capacités de l'UE en matière d'évaluation des risques et pour améliorer la visibilité et la portée des travaux scientifiques menés par l'EFSA et les États membres. Les points focaux agissent en tant qu'ambassadeurs dans les États membres de l'UE et gèrent un réseau actif de collaboration transfrontalière.

## 2 Le virus de l'encéphalite à tiques : généralités et éléments de bio-écologie

### 2.1 Le virus de l'encéphalite à tiques

#### 2.1.1 Présentation du virus de la TBE

Le virus de l'encéphalite à tiques – TBEV (*Tick-borne encephalitis virus*) appartient à l'espèce *Orthoflavivirus encephalitidis*, du genre *Orthoflavivirus*<sup>4</sup> et de la famille *Flaviviridae*. Le TBEV circule dans plusieurs pays d'Europe et d'Asie (Bogovic et Strle 2015) entre les tiques et les micromammifères. Il peut être transmis à l'être humain principalement par piqûre de tique ou par consommation de lait cru ou de produits laitiers au lait cru.

Cet arbovirus<sup>5</sup> donne son nom à un sérocomplexe<sup>6</sup> dans lequel on retrouve tous les orthoflavivirus transmis par les tiques et à l'origine de syndromes encéphalitiques (le TBEV, le virus de Powassan et le virus Louping ill) ou de fièvres hémorragiques (le virus de la fièvre hémorragique d'Omsk, le virus de la forêt de Kyasanur et le virus de la fièvre hémorragique d'Alkhurma) (Grard et al. 2007; Calisher et al. 1989).

Le TBEV, comme tous les orthoflavivirus, est un virus enveloppé. Sa particule virale, de forme sphérique de 50 nm de diamètre, se compose d'une nucléocapside entourée par une bicouche lipidique contenant deux sortes de glycoprotéines virales : E (enveloppe) et M (membrane) (Figure 1). La capsid protéique, formée par l'auto-assemblage de la protéine C contient un génome viral d'environ 11 kilobases (kb), à ARN simple brin non segmenté de polarité positive.

---

<sup>4</sup> D'après la dernière mise à jour de la classification du Comité international de taxonomie des virus (ICTV) (Zerbini et al. 2023).

<sup>5</sup> Les virus transmis entre hôtes vertébrés par des vecteurs arthropodes sont appelés arbovirus (*Arthropod-borne virus*).

<sup>6</sup> Un sérocomplexe regroupe des virus qui sont proches génétiquement et antigéniquement. Le sérocomplexe TBEV regroupe notamment le TBEV, le virus Louping ill (LIV), le virus de la fièvre hémorragique Omsk (OHFV), le virus de la fièvre de Kyasanur (KFDV), le virus de la fièvre hémorragique d'Alkhurma (AHFV) et le virus Powassan (POWV) (Calisher et al. 1989).

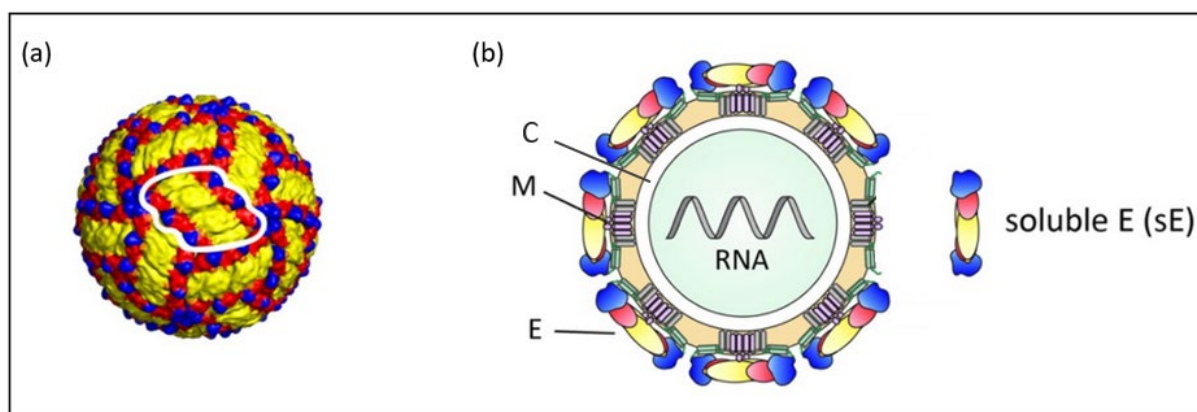


**Figure 1: Représentation schématique de la structure du virus de la TBE**

Adaptée d'après (Heinz et Stiasny 2013).

(a) Représentation de la surface du virion de TBEV. Les domaines I, II et III de la protéine d'enveloppe (E) sont représentés en rouge, jaune et bleu ; (b) Coupe du virus représentant les principaux éléments : l'ARN génomique viral (RNA), la capside (C), la membrane (M) et l'enveloppe (E).

Dès le début des années 1930, une maladie du système nerveux central entraînant un taux de létalité élevé sévit au sein des troupes militaires russes postées à la frontière extrême orientale de l'ancienne Union des républiques socialistes soviétiques (URSS). En 1937, une délégation scientifique soviétique, conduite par le professeur Zilber, est envoyée sur place. Rapidement, le rôle des tiques dans la transmission de l'agent pathogène est établi et plusieurs souches d'un virus jusqu'alors inconnu sont isolées. Ces chercheurs élucident les principales caractéristiques éco-épidémiologiques de la maladie et déterminent son tableau clinique. Ils démontrent l'efficacité de l'immunothérapie chez les patients atteints d'encéphalite à tique et proposent des méthodes de prévention basées sur l'évitement des piqûres de tique. Zilber nomme cette nouvelle maladie « encéphalite épidémique de printemps » ou « encéphalite transmise par les tiques » (Zlobin, Pogodina, et Kahl 2017). En Europe, le virus a d'abord été isolé à partir de tiques en Biélorussie en 1939 (Kahl et al. 2018). En France, le premier isolement viral à partir d'un patient a eu lieu en Alsace en 1970 (Hannoun et al. 1971; Bastin et al. 1971). La même année, le virus a aussi été isolé à partir de tiques et de rongeurs (Perez-Eid, Hannoun, et Rodhain 1992). Le premier cas humain, date quant à lui de 1968 en Alsace, même s'il n'a été identifié qu'en 1970, à partir d'une analyse sérologique rétrospective (Christmann et al. 1995).

## 2.1.2 Diversité génétique du TBEV

Trois principaux sous-types de TBEV sont reconnus par le Comité International de Taxonomie des Virus (ICTV) : le sous-type européen (TBEV-Eu), le sous-type d'Extrême-Orient (TBEV-Fe) et le sous-type sibérien (TBEV-Sib) (Figure 2). Sur la base d'analyses phylogénétiques, reclassant certains isolats qui étaient dans les trois sous-types principaux, quatre sous-types supplémentaires ont été récemment proposés: sous-type Obskaya (TBEV-Ob), sous-type de l'Himalaya (TBEV-Him) et les sous-types Baikalien 1 et 2 (TBEV-Bkl-1 et TBEV-Bkl-2) (Deviatkin et al. 2020).

Les trois principaux sous-types (TBEV-Eu, TBEV-Fe et TBEV-Sib) ont une aire de répartition qui s'étend bien au-delà de la zone géographique dont sont issus leurs noms. Le sous-type européen (TBEV-Eu) est transmis principalement par la tique *Ixodes ricinus* et circule dans le centre, l'est et le nord de l'Europe. Des isolats du TBEV-Eu ont par ailleurs été identifiés en Sibérie et jusqu'au lac Baïkal à l'Est et en Corée du Sud (Figure 2). Le sous-type sibérien

(TBEV-Sib), transmis par *Ixodes ricinus* et *Ixodes persulcatus*, est quant à lui prévalent en Sibérie et dans la région de l'Oural, avec des isolats identifiés jusqu'aux pays baltes et à la Moldavie à l'ouest (Figure 2) tandis que le sous-type d'Extrême-Orient (TBEV-Fe), transmis par *I. persulcatus*, circule dans la région extrême-orientale de la Russie, avec des isolats identifiés à l'ouest jusqu'aux pays baltes et à la Moldavie, et dans le centre et l'est de l'Asie, incluant la Chine et le Japon (Figure 2) (Kunze et al. 2022).



**Figure 2 : Carte de répartition des trois principaux sous-types du TBEV en Europe et en Asie.**

La ligne bleue en pointillés représente la limite de distribution du TBEV-Eu, la ligne grise en pointillés, celle du TBEV-Sib, et la ligne verte en pointillés, celle du TBEV-Fe (Kunze et al. 2022).

Les trois principaux sous-types de TBEV se distinguent par leur virulence qui est très variable d'un isolat à un autre (Kellman et al. 2018).

Au moment de la rédaction du rapport, aucun profil de phylogéographie n'a été détecté dans le sous-type européen<sup>7</sup> (Chitimia-Dobler, Lemhöfer, et al. 2019). En d'autres termes, les séquences génomiques de virus collectés dans des zones géographiques proches ne sont pas plus proches phylogénétiquement de celles des virus collectés dans une autre région d'Europe.

### 2.1.3 Dose infectieuse du TBEV

Si au moment de la rédaction du rapport, la dose infectieuse minimale du TBEV est inconnue chez l'être humain, quelle que soit la voie de transmission, des études réalisées sur des modèles animaux *in vivo* ont rapporté que la dose infectieuse du TBEV, provoquant une infection, est relativement faible. Elle dépend toutefois principalement de la virulence de la souche virale et de la voie d'infection (Shevtsova et al. 2017; Porcelli et al. 2023). D'autres facteurs peuvent également influencer cette dose minimale infectieuse tels que l'état

<sup>7</sup> Les différents sous-types de TBEV se distinguent par une variabilité génétique supérieure à 10 %, alors que les isolats de TBEV d'un même sous-type présentent une variabilité génétique inférieure à 10 % (Deviatkin et al. 2020).

immunitaire des personnes infectées et la co-infection avec d'autres agents pathogènes. Lorsque la transmission se fait par piqure de tique, la dose minimale infectieuse peut dépendre de la localisation de la piqure de tique (en raison des différences dans les réponses immunitaires locales et les types de tissus) et de la composition de la salive du vecteur (présence de composés bioactifs qui modulent la réponse immunitaire de l'hôte). Pour la transmission par voie alimentaire la probabilité d'infection pour une dose donnée peut dépendre de la composition du lait différente selon l'espèce animale, et des procédés de fabrication des fromages.

Le modèle murin est largement utilisé pour étudier *in vivo* la neuropathologie induite par le TBEV car les souris présentent des signes cliniques neurologiques similaires à ceux observés chez l'être humain. Chez la souris une dose infectieuse de 1 pfu (*plaque-forming unit*) injectée par voie sous-cutanée est suffisante pour causer une maladie sévère pouvant aller jusqu'à la mort (Hayasaka et al. 2009; Porcelli et al. 2023). La dose induisant 50 % de mortalité (LD<sub>50</sub>) varie entre 0,6 et 0,7 log<sub>10</sub> pfu et entre 1,3 et 1,4 log<sub>10</sub> pfu lorsque le TBEV a été administré respectivement par voie intra-péritonéale et sous-cutanée à des souris (Shevtsova et al. 2017).

À la connaissance du GT, aucune étude n'a été menée en utilisant la même souche de TBEV et la même dose pour comparer l'efficacité de l'infection selon les différentes voies d'entrée.

#### 2.1.4 Résistance et persistance du TBEV

Chez les tiques, la persistance<sup>8</sup> du TBEV est un paramètre qui a été globalement peu étudié. Bien qu'il soit communément admis que les tiques restent infectées toute leur vie (i.e. toutes les stases), Slovák et al. (2014) ont montré, par un suivi de la charge virale infectieuse, que cette dernière diminuerait dans les tiques au cours du temps. Suite à l'infection de nymphes sur souris infectées par le TBEV, toutes les tiques adultes ont toujours été infectées par le TBEV lorsque la mue nymphe/adulte s'est réalisée à 97 % d'humidité relative (RH – *relative humidity*) alors que peu de tiques adultes étaient infectées lorsque la mue nymphe/adulte s'est déroulée à 75 % RH, et ce, quelle que soit la température testée (15 et 24 °C) (Danielova et al. 1983). Cette observation suggère que des facteurs environnementaux, notamment l'humidité, jouent un rôle crucial dans la dynamique de transmission du virus. Les tiques, qui dépendent de conditions environnementales spécifiques pourraient présenter des taux d'infection plus faibles dans des zones avec des conditions plus sèches.

En dehors de son hôte, le TBEV peut persister plusieurs jours. Une étude indique que le lait cru de chèvre provenant d'animaux infectés et conservé deux jours à température ambiante peut induire une infection chez la souris (Balogh et al. 2012). Une autre étude réalisée avec du lait de chèvre et de vache artificiellement contaminés avec 10<sup>5</sup> pfu /mL montre que le titre infectieux du TBEV reste stable pendant deux jours à 4 °C tandis qu'une légère diminution est observée à température ambiante (i.e. 1 log<sub>10</sub> et 1,3 log<sub>10</sub> dans les laits de vache et chèvre respectivement) (Mathews-Martin et al. soumis). Un virus modèle de la même famille des *Flaviviridae*, le Langat virus (LGTV) peut également rester infectieux pendant au moins trois jours dans le lait cru de chèvre conservé à 4 °C, son titre viral décroît à 22 °C (2-3 log<sub>10</sub> à 24 h ; en dessous du seuil de détection à 48 h) (Offerdahl, Clancy, et Bloom 2016).

Comme la plupart des orthoflavivirus, le TBEV est relativement sensible à la chaleur même si l'efficacité de l'inactivation thermique varie en fonction de la température appliquée, de la durée de traitement, de la charge virale initiale et de la matrice. L'inactivation du TBEV en

<sup>8</sup> Dans le cadre de ce rapport, la persistance se réfère au maintien du caractère infectieux du virus.



suspension dans du milieu de culture a été quantifiée à 5 log<sub>10</sub> TBEV infectieux (pfu) après 5 min à une température supérieure ou égale à 55 °C (Wiesner, Schmutte, et Steffen 2021).

Les deux couples temps-température de pasteurisation (72 °C pendant 15 sec et 63 °C pendant 30 min) ont montré leur efficacité pour inactiver 10<sup>3</sup> pfu/mL de TBEV inoculé dans du lait de chèvre (Rónai et Egyed 2020). Une étude a également montré l'absence de détection de LGTV dans du lait de chèvre contaminé à 10<sup>6</sup> ffu (*focus-forming unit*) / mL après un traitement de 15 sec à 72 °C (Offerdahl, Clancy, et Bloom 2016). Une étude récente réalisée avec du lait de chèvre et de vache artificiellement contaminé avec 10<sup>5</sup> ffu/mL montre l'efficacité de ces barèmes de pasteurisation pour inactiver le TBEV uniquement dans le lait de chèvre (Mathews-Martin et al. soumis).

En conditions de laboratoire, la congélation pourrait préserver le pouvoir infectieux du TBEV durant plusieurs années, comme cela a été décrit pour d'autres virus (Gould 1995). Sous forme lyophilisée, les orthoflavivirus peuvent rester stables à température ambiante pendant plusieurs mois.

Si le pouvoir infectieux des orthoflavivirus est stable de manière optimale à un pH compris entre 8,4 et 8,8 (Karabatsos et Mathews 1980), le TBEV reste infectieux sur une plage de pH très large, comprise entre 4 et 10 (pas d'inactivation mesurable en 20 min) (Wiesner, Schmutte, et Steffen 2021). Seuls des pH de 2 ou 3 permettent une réduction de la charge virale initiale en 20 min (Wiesner, Schmutte, et Steffen 2021). Bien qu'un pH acide altère la conformation de la protéine E réduisant le pouvoir infectieux du virus (Heinz et al. 1994), les virions peuvent rester infectieux dans le lait caillé et le suc gastrique (d'après Gresikova-Kohutova 1959 et Pogodina 1958 cités dans Offerdahl, Clancy, et Bloom 2016). Cette résistance au pH acide dans le lait, explique en partie la transmissibilité du TBEV par voie alimentaire.

En raison de son enveloppe lipidique, le TBEV est facilement inactivé par les solvants organiques et les détergents ioniques ou non ioniques (Gritsun, Lashkevich, et Gould 2003). Les orthoflavivirus sont inactivés par l'exposition aux rayonnements ultraviolets, l'irradiation gamma et les agents de désinfection, notamment le formaldéhyde (3 à 8 %), le glutaraldéhyde (3 à 8 %), le peroxyde d'hydrogène (2 à 3 %), le chlore (500 à 5 000 ppm), les alcools, l'iode et les iodophores phénoliques (1 %), qui sont autant de méthodes permettant une inactivation de la charge virale initiale (estimé à environ 10<sup>5</sup> virus infectieux) du TBEV dans des délais variables (Gritsun, Lashkevich, et Gould 2003).

Une étude récente montre l'inactivation du TBEV (estimé à environ 5 log<sub>10</sub> virus infectieux) après traitement à l'éthanol 40 % ou le méthanol 40 % pendant 10 minutes ; ou le triton X-100, SDS (sodium docedyl sulfate) 0,2 %, Tween-20 5 % ou paraformaldéhyde >1 % pendant 20 minutes (Wiesner, Schmutte, et Steffen 2021).

### 2.1.5 Pathogénie

La pathogénie de la transmission du TBEV par voie alimentaire n'a jamais été décrite dans la littérature, au moment de la rédaction du rapport. Seule la pathogénie relative à la transmission par piqûre de tiques sera décrite dans ce paragraphe.

Contrairement aux bactéries dont le recrutement dans les glandes salivaires est initié lorsque les tiques débutent leur repas de sang, les virus seraient déjà présents dans les glandes salivaires des tiques à l'affût. Ainsi, sur modèle murin, le virus Powassan (POWV) est transmis dès 15 min après l'attachement d'*I. scapularis* (Ebel et Kramer 2004) et le TBEV, entre 1 h et 3 h après l'attachement d'*I. ricinus* (Thangamani et al. 2017).

À l'interface des interactions entre hôte, arthropode vecteur et agent pathogène, la peau constitue la première ligne de défense contre les agents pathogènes transmis par les arthropodes (Figure 3). En effet, c'est au niveau du site de piqûre de la tique que le TBEV est co-inoculé avec la salive et que la réponse immunitaire innée de l'hôte se met en place (Hermance et Thangamani 2018). Le TBEV infecte initialement les cellules de Langerhans présentes dans l'épiderme, ainsi que les cellules dendritiques dermiques, les macrophages et les fibroblastes (Hermance et al. 2016; Labuda et al. 1996). Une fois le virus internalisé dans ces cellules, la reconnaissance du génome viral active la voie des interférons de type I (IFN-I), réponse antivirale majeure chez les mammifères. L'activation de cette voie conduit à l'expression et à la sécrétion d'IFN-I dans le milieu extracellulaire, et constitue un signal d'alarme pour les cellules avoisinantes (Överby et al. 2010). En parallèle, un panel de cytokines proinflammatoires sont synthétisés durant les premières heures de l'infection virale (Hermance et Thangamani 2014; Thangamani et al. 2017) et une infiltration de neutrophiles et de cellules mononucléées a été observée sur des coupes de tissus murins prélevées au niveau du site de piqûre de la tique (Thangamani et al. 2017; Hermance et al. 2016).

L'efficacité de l'infection résultant de l'inoculation du virus par une piqûre de tique repose en grande partie sur la richesse en molécules de la salive, lesquelles possèdent notamment des fonctions pharmacomodulatrices et immunomodulatrices (Nuttall 2019; Boulanger et Wikel 2021). En inhibant la coagulation ainsi que la douleur et la démangeaison, ces molécules permettent à la tique de ne pas être détectée par l'hôte. Ces mêmes molécules modulent les réponses immunitaires innées et adaptatives au niveau cutané (Hermance et Thangamani 2018; Nuttall 2019).

Aussi, une fois la barrière cutanée franchie, le TBEV est véhiculé jusqu'aux ganglions lymphatiques selon un processus qui n'est toujours pas établi. Les travaux de Labuda et al. (1996) suggèrent que ce sont les cellules de Langerhans et les macrophages infectés qui migrent jusqu'aux ganglions lymphatiques les plus proches et assurent ainsi cette fonction de transport. Par la suite, d'autres travaux suggèrent que le TBEV réalise plusieurs cycles de réplication et après une première virémie infecte les tissus périphériques. Cette période est essentiellement contrôlée par la réponse immunitaire basée sur l'interféron (Weber et al. 2014).

Le TBEV se dissémine dans l'organisme par la circulation sanguine et lymphatique avec un tropisme pour les cellules du système nerveux central (SNC). L'apparition des symptômes neurologiques correspond généralement à la présence du TBEV dans le SNC (quelques jours à plusieurs mois après la piqûre de tique, voir §3.1, Figure 12). Dès l'apparition des symptômes, le TBEV n'est plus présent dans le sang, marquant ainsi la fin de l'excrétion virale.

Les mécanismes par lesquels le TBEV pénètre dans le SNC ne sont pas entièrement caractérisés. La rupture de la barrière hémato-encéphalique (BHE) ne semble pas être nécessaire. En effet, différents mécanismes sont probables :

- l'infection directe des cellules endothéliales et la migration transcellulaire par transcytose<sup>9</sup> à travers l'endothélium sans altération préalable de son intégrité (Palus et al. 2017) ;
- le transport de cellules mononucléées infectées du sang périphérique par infiltration dans le cerveau, par un mécanisme de "cheval de Troie" (Dörrbecker et al. 2010) ;

<sup>9</sup> Transport transcytoplasmique d'un matériel de l'espace extracellulaire d'un bord de la cellule à un autre, par l'intermédiaire d'une vésicule.



- le transport axonal de l'ARN viral de manière rétrograde (vers le corps cellulaire) à la suite d'une infection périphérique (Nagata et al. 2015; Hirano et al. 2017) ;
- une forte réplication dans l'épithélium olfactif qui pourrait conduire à une invasion du SNC par les neurones olfactifs (Avsic-Zupanc et al. 1995; Egyed, Zöldi, et Szeredi 2015; Pedrosa et Cardoso 2011).

Une fois la BHE franchie, le TBEV infecte une grande diversité de types cellulaires du SNC. Des antigènes viraux ont notamment été détectés dans les neurones des cornes antérieures, les cellules du bulbe rachidien, les noyaux dentelés situés dans la partie antérieure du cervelet et les cellules de Purkinje (Gelpi et al. 2005). Par ailleurs, dans un modèle primaire de co-culture de neurones, astrocytes et oligodendrocytes dérivés de cellules progénitrices neurales humaines, il a été montré que les neurones et les oligodendrocytes étaient sensibles à l'infection par le TBEV alors que les astrocytes étaient plus résistants à cette même infection (Fares et al. 2020).

Le processus de destruction des tissus nerveux qui résulte de l'infection par le TBEV n'est pas totalement élucidé. Il semblerait que le virus lui-même n'ait pas d'action lytique directe sur les cellules mais que ce soit l'induction d'un processus inflammatoire complexe impliquant de multiples facteurs étroitement liés aux systèmes immunitaires cellulaire et humoral qui serait à l'origine de la neuronophagie observée (Gelpi et al. 2006).

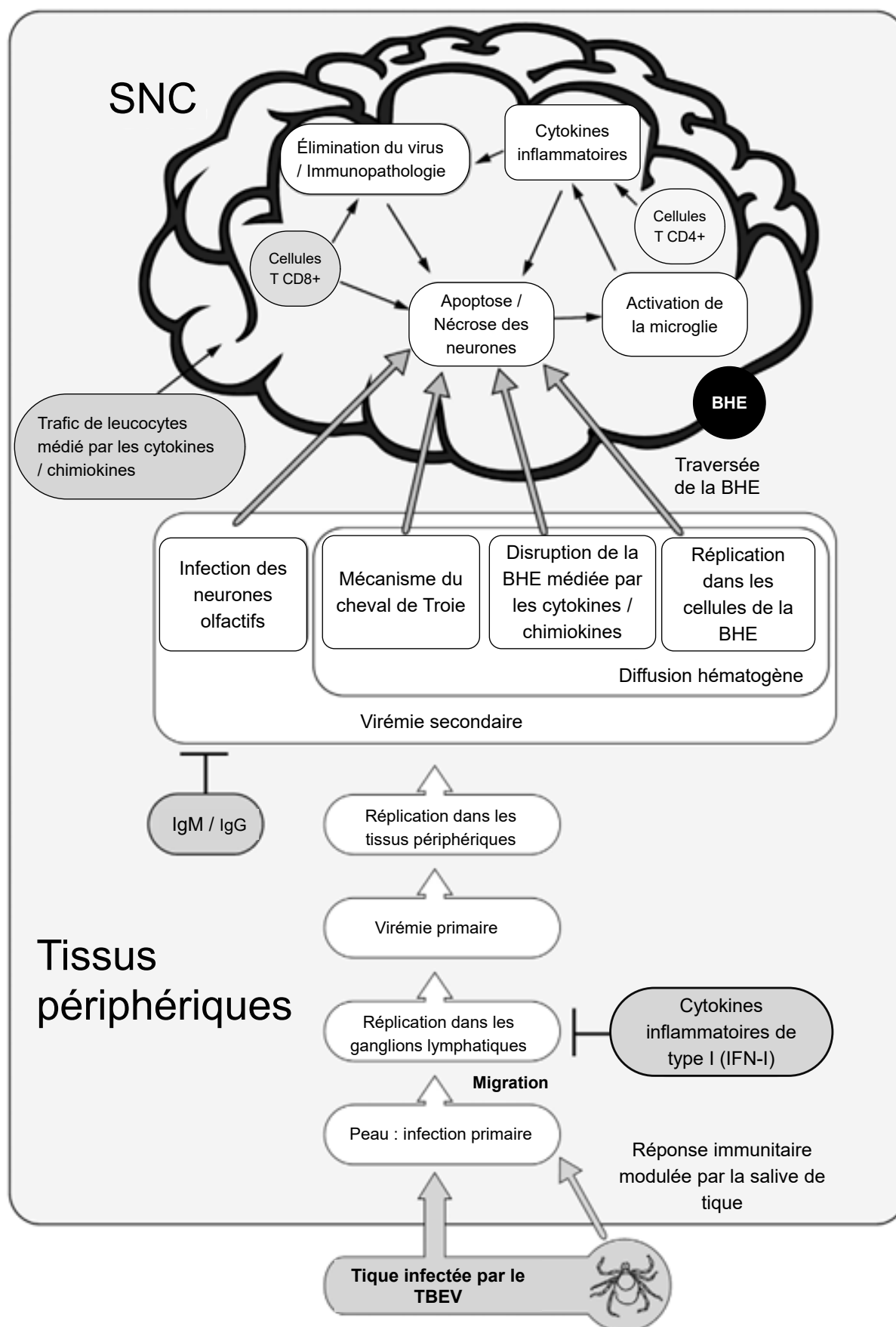


Figure 3 : Représentation schématique de la pathogénèse du TBEV observée chez l'hôte mammifère, d'après Ruzek et al. (2019).

## 2.2 Le cycle naturel de transmission du virus de la TBE

Le TBEV est maintenu dans la nature par un cycle impliquant les tiques, principalement du genre *Ixodes*, et les micromammifères (Michelitsch et al. 2019) (Figure 4). La virémie de l'hôte ne dure que quelques jours (Tabata et al. 2017) ; quant aux tiques, compte tenu des différents modes de transmission du virus (Figure 4) et de l'absence de clairance<sup>10</sup> du virus, elles restent infectées tout au long de leur vie et sont donc considérées comme le principal réservoir du TBEV (Michelitsch et al. 2019).

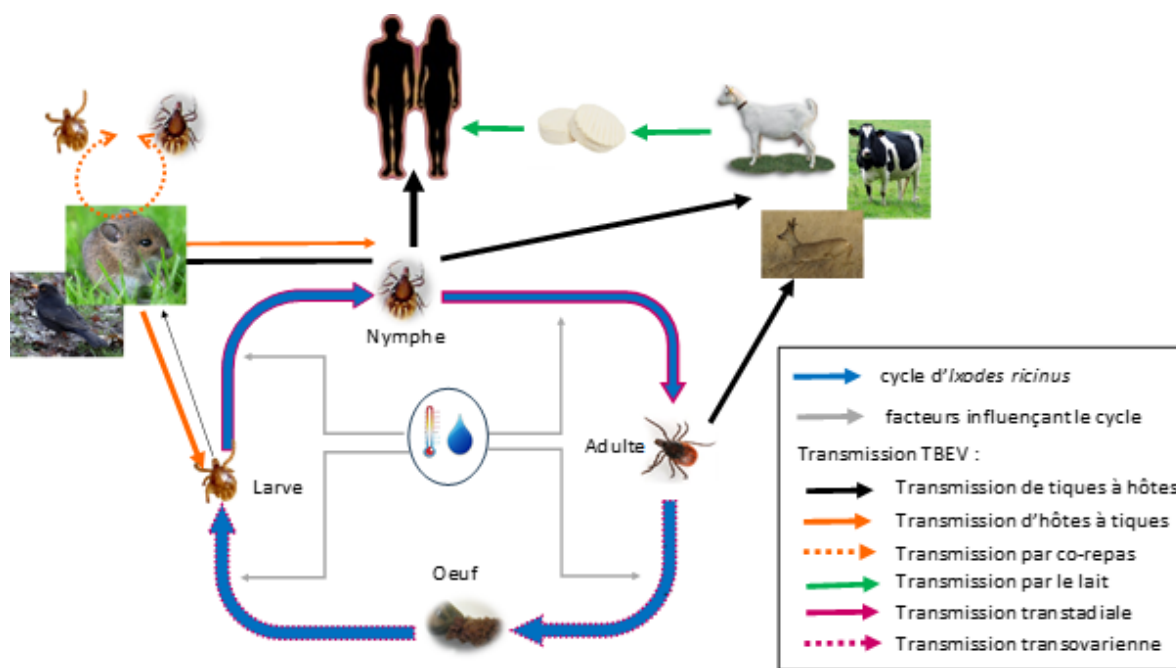


**Figure 4 : Représentation schématique de la transmission du TBEV impliquant *Ixodes ricinus*.**

Seules les voies de transmission principales sont représentées. Le cycle de vie des tiques, indiqué par des flèches bleues, ainsi que les principaux facteurs abiotiques influençant ce cycle, indiqués par des flèches grises, sont documentés dans le §2.3.1.1. Le TBEV peut être transmis de la femelle à sa descendance (flèches roses pointillées) et/ou être maintenu dans l'organisme de la tique au fil des stases (flèches roses). Au cours du cycle de vie des tiques, plusieurs opportunités de transmission virale existent entre les tiques et les mammifères (flèches noires et oranges), et directement entre les tiques par co-alimentation (flèche orange pointillée). L'infection humaine peut survenir par la piqûre d'une tique infectée ou par consommation de produits à base de lait cru contaminé (flèches vertes).

**Les tiques** peuvent s'infecter par le TBEV de différentes façons :

- **par transmission horizontale** : les tiques peuvent s'infecter lors d'un repas sanguin sur un hôte vertébré en phase de virémie, puis transmettre le virus à un autre hôte lors du repas sanguin suivant ;
- **par transmission transstadiale ou verticale** : c'est-à-dire d'une stase de la tique à la suivante au cours de la métamorphose (de la larve à la nymphe ou de la nymphe à l'adulte) ;
- **par transmission transovarienne** : d'une tique femelle infectée à ses œufs puis aux larves. Pour le TBEV, la transmission transovarienne chez *I. ricinus* serait faible. Expérimentalement, Benda (1958) a démontré que, sur 62 femelles *I. ricinus* infectées

<sup>10</sup> La clairance est la capacité d'un tissu, organe ou organisme à éliminer une substance donnée d'un liquide biologique (le sang, la lymphe, etc.).

par le TBEV, 6 % le transmettaient à leurs œufs puis aux larves. Toutefois, seulement une partie de ces larves seraient infectantes (la proportion de larves infectantes générées par une femelle n'a pas été mesurée dans l'étude de Benda (1958)). Dans une étude en République tchèque, deux larves d'*I. ricinus* à l'affût sur 247 (soit 0,8 %) étaient positives au TBEV (Danielová et al. 2010). La présence de TBEV dans ces larves peut être liée à une transmission transovarienne de la femelle infectée. Des travaux de modélisation ont considéré une efficacité de la transmission transovarienne avec une probabilité de 0,001 (Hartemink et al. 2008) ou variant entre 0,01 et 0,03 (Matser et al. 2009). Ces différentes études suggèrent que l'influence de la transmission transovarienne dans la pérennité du cycle est faible voire négligeable. Certains auteurs pensent cependant que cette voie de transmission contribue tout de même à maintenir le virus localement (Danielová et al. 2002; 2010) ;

- **par transmission sexuelle** : du mâle infecté à la femelle pendant la phase d'accouplement (Alekseev 1992) ;
- **par co-repas ou co-nourrissage** (*cofeeding* en anglais) (Figure 5) : le virus peut se transmettre d'une tique infectée à une tique saine lors du repas sanguin sur un hôte en l'absence de virémie chez celui-ci, à condition que la tique infectée et la tique non infectée soient fixées à proximité l'une de l'autre (Labuda, Jones, et al. 1993; Labuda et al. 1997; Nuttall et Labuda 2003). Une étude a évalué cette transmission entre tiques co-alimentées, avec des taux de transmission variant entre 65 % et 85 %, selon les conditions expérimentales et les génotypes de TBEV étudiés (Khasnatinov et al. 2016). Bien que plus faible, elle est néanmoins possible lorsque les tiques sont éloignées. Il a été montré que cette transmission reste possible sur des rongeurs immunisés contre le TBEV, mais l'efficacité de la transmission est alors réduite (Labuda et Randolph 1999).

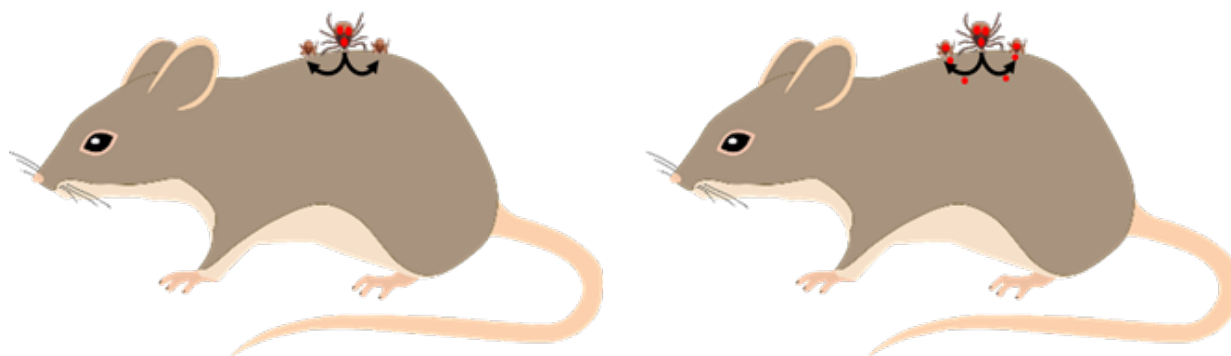


**Figure 5 : Illustration de la transmission du virus (points rouges) par co-repas entre une nymphe infectée et des larves se nourrissant à proximité les unes des autres.**

Plusieurs auteurs considèrent que la transmission par co-repas est nécessaire au maintien local du cycle du virus (Randolph 2011; Hartemink et al. 2008; Nah et al. 2019). En effet, les études les plus anciennes suggèrent que la durée de la virémie (et donc la durée d'infectiosité pour les tiques lors d'une piqûre) est courte chez les petits mammifères, de l'ordre de deux à neuf jours (Ernek et al. 1963; Heigl et von Zeipel 1966; Chunikhin et Kurenkov 1979; Kozuch et al. 1981). Toutefois, des études expérimentales récentes sur les campagnols roussâtres (*Clethrionomys glareolus*), mulots sylvestres (*Apodemus sylvaticus*) et mulots à collier

(*Apodemus flavicollis*) suggèrent que la virémie pourrait être plus longue. En effet, le TBEV a été isolé à partir de leucocytes circulants 12 jours après une inoculation sous-cutanée, et l'ARN viral a été détecté dans le sang jusqu'à 21 jours (Bakker et al. 2023) et 28 jours (Michelitsch et al. 2021) post-inoculation en sous-cutanée. En revanche, l'infectiosité pour les tiques n'a pas été testée dans ces études. Il est par ailleurs possible que la voie (injection sous-cutanée) et la dose d'inoculation utilisées ne reflètent pas les conditions naturelles d'infection.

**Les hôtes vertébrés** acquièrent le TBEV principalement par piqure de tique. Toutefois, une transmission verticale et une transmission sexuelle existeraient entre rongeurs, mais leur importance respective dans le maintien du cycle du TBEV n'est pas connue (Gerlinskaia et al. 1997; Bakhvalova et al. 2009). Ainsi, la transmission verticale de femelles rongeurs à leurs petits a été montrée (par mise en évidence d'ARN viral dans les organes de ces derniers mais sans tester la capacité de transmission aux tiques) chez des campagnols de l'espèce *Clethrionomys rutilus*, infectés par le virus du sous-type sibérien en conditions expérimentales et naturelles (Bakhvalova et al. 2009). La transmission sexuelle entre rongeurs n'a, quant à elle, été démontrée que chez des souris de laboratoire *Mus musculus*, avec le sous-type sibérien, par détection d'ARN viral dans les organes (Gerlinskaia et al. 1997). La transmission par voie orale n'est pas documentée chez les animaux vertébrés non humains. Le rôle des différents types d'hôtes dans la circulation et le maintien du TBEV est par ailleurs discuté dans le § 2.4.

En outre, chez l'hôte vertébré, une infection persistante par le TBEV semble possible et pourrait être associée à des phases virémiques prolongées ou récurrentes, notamment en cas de stress. Cette hypothèse est étayée par des infections expérimentales (Achazi et al. 2011; Michelitsch et al. 2021; Bakker et al. 2023), qui montrent que l'ARN viral peut être détecté dans les organes de diverses espèces de rongeurs plus de 100 jours post-inoculation, avec parfois un isolement du virus. Elle est confortée par des études de terrain montrant qu'il est possible d'isoler le virus et/ou de détecter de l'ARN viral dans les organes de micromammifères sauvages à des périodes où les tiques ne sont pas actives (Weidmann et al. 2006; Tonteri et al. 2011; Knap et al. 2012; Pintér et al. 2014).

## 2.3 Les tiques vectrices

Un arthropode doit remplir plusieurs critères pour être considéré comme un vecteur biologique compétent. Tout d'abord, il doit être apte à acquérir un agent pathogène au cours d'un repas sanguin sur un hôte vertébré virémique. Ensuite, il doit assurer la multiplication et/ou le développement de l'agent pathogène. Enfin, il doit pouvoir retransmettre l'agent pathogène à un nouvel hôte vertébré sain lors d'un nouveau repas sanguin (Jongejan et Uilenberg 2004). En général, la compétence vectorielle est évaluée avec une transmission sur un animal sain (modèle de laboratoire) pour vérifier que l'agent infectieux est bien transmis et qu'il se multiplie.

Pour le TBEV, les espèces *I. ricinus* et *I. persulcatus* du complexe d'espèces *Ixodes ricinus* sont considérées comme les vecteurs principaux du virus dans leurs aires de répartition (Mansfield et al. 2009). D'autres espèces du genre *Ixodes* sont souvent citées dans la littérature comme vecteurs secondaires, ou vecteurs locaux du TBEV. C'est notamment le cas d'*Ixodes ovatus* qui est incriminée au Japon (Bogovic et Strle 2015). Des espèces appartenant à deux autres genres, *Dermacentor* spp. et *Haemaphysalis* spp., sont également considérées dans la littérature comme vecteurs secondaires du virus. Selon certains auteurs, des détections du TBEV ont été rapportées dans 22 espèces de tiques dont 16 du genre *Ixodes*

(Bakhvalova et al. 2016; Pukhovskaya et al. 2018). Toutefois, en raison du manque de données scientifiques fiables concernant leur réelle compétence vectorielle – les études disponibles étant parfois anciennes, difficilement accessibles, ou ne fournissant pas un niveau de preuve suffisant (notamment une validation expérimentale) – et de l'incertitude sur leur rôle dans la transmission du TBEV à l'être humain, l'ensemble de ces espèces de tiques ne sont pas toutes prises en compte ou détaillées dans cette expertise. Les experts du GT ont fait le choix de détailler deux vecteurs du TBEV dans ce rapport : *Ixodes ricinus* (§2.3.1) et *Dermacentor reticulatus* (§2.3.2), qui sont présents en France et dont la compétence vectorielle pour le TBEV est clairement établie. Le rôle respectif de ces deux tiques dans le cycle de transmission du TBEV est discuté ci-après.

### 2.3.1 *Ixodes ricinus*

Le genre *Ixodes* est le plus important de la famille des *Ixodidae* en raison de son importance médicale et vétérinaire et de par la diversité des espèces. L'espèce *Ixodes ricinus* donne son nom au complexe *Ixodes ricinus*, composé de 14 espèces de répartition mondiale. Les plus répandues et de fait les plus connues sont *I. scapularis* (Amérique du Nord), *I. ricinus* (Europe), *I. persulcatus* (Europe de l'Est et Asie) et *I. pacificus* (ouest des États-Unis) (Figure 6). Presque toutes les tiques de ce complexe sont d'importants vecteurs de microorganismes infectieux, responsables de maladies humaines ou animales dont la TBE, l'anaplasmose granulocytaire, la babésiose ou la borréliose de Lyme (Perez et al. 2023).

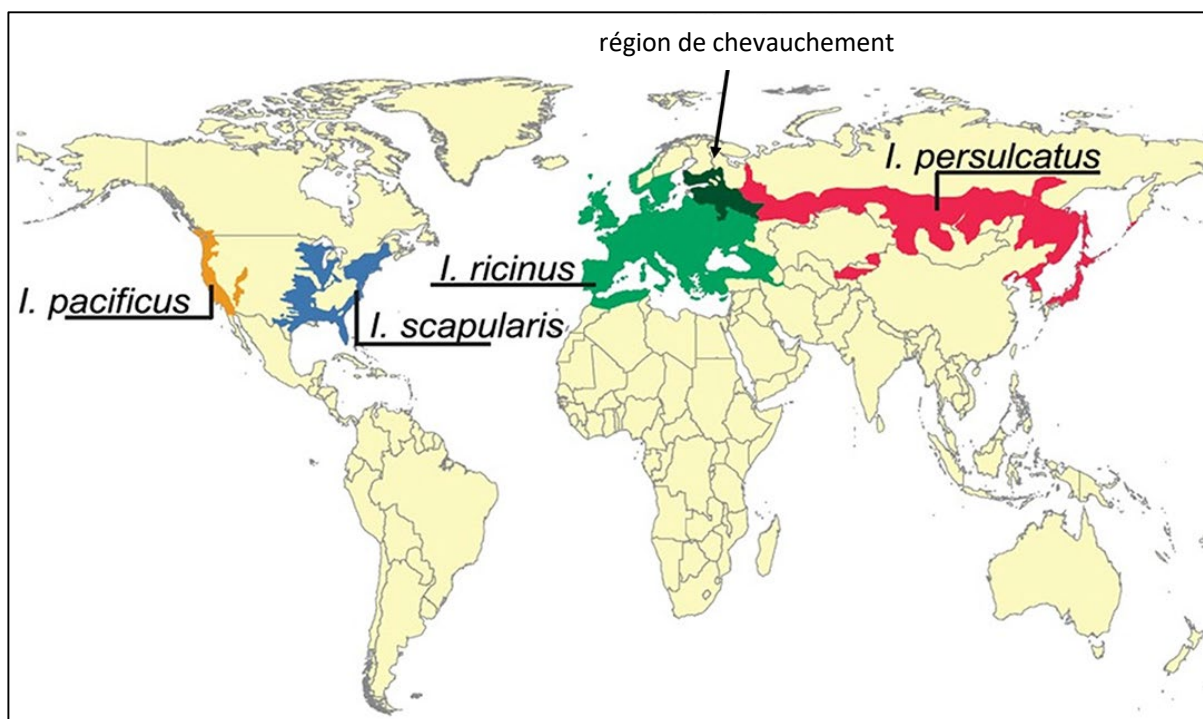


**Figure 6 : Répartition géographique des espèces du complexe *Ixodes ricinus* d'importance médicale.**

*I. persulcatus* (rouge), *I. ricinus* (vert clair), *I. scapularis* (bleu), et *I. pacificus* (jaune). La région de chevauchement des espèces *I. persulcatus* et *I. ricinus* est matérialisée en vert foncé (Margos, Fingerle, et Reynolds 2019).



### 2.3.1.1 Généralités, bio-écologie

*Ixodes ricinus* ss. est une tique dure strictement hématophage, exophile<sup>11</sup>, à cycle triphasique c'est-à-dire à trois hôtes. Elle est télotrope ou généraliste, les stases immatures se nourrissent sur des hôtes très variés, principalement des micromammifères, des oiseaux ou des lézards, alors que les adultes ont une préférence pour les méso- et les macro- mammifères. Les ongulés sauvages tels que les chevreuils sont des hôtes essentiels pour les stases femelles adultes, qui prélèvent jusqu'à 100 fois leur poids en sang (Kahl et Gray 2023), bien qu'ils nourrissent également les nymphes. Les mâles peuvent se fixer à un hôte, notamment pour l'accouplement avec les femelles, mais ils se nourrissent peu du fait de leur écusson rigide qui recouvre totalement leur corps et qui empêche la dilatation de la cuticule (Kahl et Gray 2023). Chaque stase de développement effectue un repas sanguin unique pouvant durer de trois à dix jours ; après l'éclosion de l'œuf, les larves, les nymphes et les adultes mâles et femelles se développent ensuite (Figure 7). La durée des phases de développement (métamorphose, ponte) et la survie dépendent des conditions de température et d'humidité, *I. ricinus* est particulièrement sensible à la dessiccation, mais également de la disponibilité en hôtes le tout donnant lieu à des phases de diapause plus ou moins longue. La recherche d'un hôte s'effectue lorsque les conditions microclimatiques sont favorables (température, humidité ; voir §2.1.4). Lorsque les conditions sont défavorables et sous la dépendance de la photopériode, les tiques entrent en diapause, ce qui correspond à une diminution de l'activité métabolique (Perez et al. 2023; Kahl et Gray 2023).

En France, le cycle d'*I. ricinus* se déroule généralement sur trois années, mais il peut, selon les conditions environnementales (habitat, conditions météorologiques, présence et densité d'hôtes), être raccourci à deux ans ou, au contraire, s'étendre jusqu'à six ou sept ans (Perez et al. 2023; Kahl et Gray 2023; Gray 1998). Les principales causes de mortalité sont le froid, la sécheresse, la prédation et le parasitisme (Degeilh 1996).



**Figure 7 : *Ixodes ricinus* : femelle, nymphe et larve (de gauche à droite).**

Crédit photo N. Boulanger

En Europe, la phénologie<sup>12</sup> d'*I. ricinus* varie selon les zones bio-climatiques (Wongnak et al.

<sup>11</sup> Les tiques exophiles évoluent dans la végétation au sol, dans un environnement dit « ouvert », par opposition aux tiques endophiles qui vivent dans un environnement dit « fermé » type maisons, terriers ou nids.

<sup>12</sup> Étude des variations des phénomènes périodiques de la vie animale et végétale, en fonction du climat.

2022; Hoch et al. 2024) et les stases.

### Nymphes et adultes

En général, en climat continental et semi-continental, le pic d'activité des nymphes et des adultes se situe au printemps (avril-juin) et une deuxième période d'activité, moins intense, se produit à l'automne. L'activité des tiques en période estivale diminue en raison d'une diminution de l'hygrométrie<sup>13</sup>. En hiver, les tiques *I. ricinus* sont peu ou pas actives, la majorité entrant en diapause. En climat océanique, du fait des températures plus douces, le pic d'activité des nymphes et des adultes au printemps est plus précoce (mars-mai) et leur abondance en hiver plus importante que sous le climat continental et semi-continental (Wongnak et al. 2022; Hoch et al. 2024). En climat montagnard, du fait de l'élévation plus tardive des températures, l'activité des nymphes est plus tardive au printemps et peut rester importante pendant l'été du fait de températures douces et d'un taux d'humidité relativement constant.

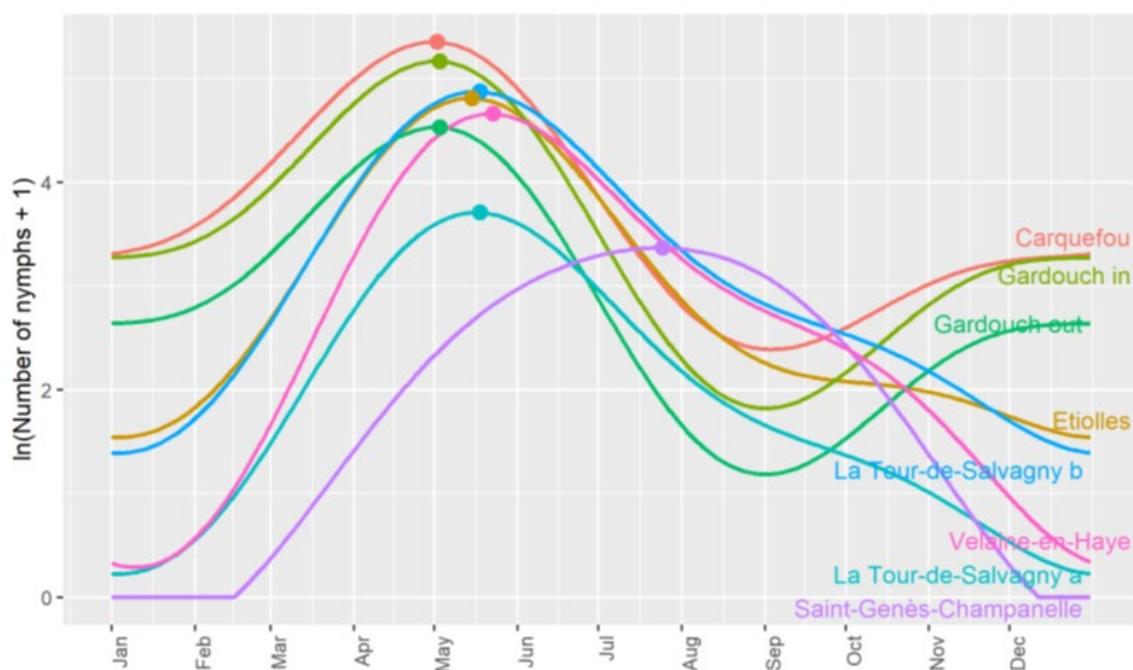


**Figure 8 : Courbes d'évolution moyenne simulée des abondances de nymphes d'*Ixodes ricinus* en différents sites d'échantillonnage en France (Hoch et al. 2024).**

Les courbes ont été ajustées à partir de données mensuelles collectées entre 2014 et 2021 sur les sites proches des villes suivantes : Nantes (Carquefou), Toulouse (Gardouch), Sénart (Etiolles), Lyon (La Tour-de-Salvagny), Nancy (Velaine-en-Haye) et Clermont-Ferrand (Saint-Genès-Champanelle).

### Larves

Les larves sont plus sensibles à la dessiccation que les nymphes et les adultes. Les données décrivant leur phénologie en France sous les différents climats sont peu nombreuses. Ces données montrent qu'elles sont généralement actives dès avril-mai avec un pic situé généralement entre la fin du printemps et début de l'été (juin-juillet) et parfois à l'automne (Agoulon et al. 2019; Perez et al. 2023).

<sup>13</sup> Leur survie ou la survie des tiques en milieu naturel nécessite une humidité d'au moins 80 % (Kahl et Gray 2023).



### 2.3.1.2 Distribution géographique

La répartition géographique d'*I. ricinus* dépend de la présence de ses hôtes et des conditions environnementales durant les phases libres (non fixées à un hôte). Sensible à la dessiccation, elle est essentiellement présente sous des climats suffisamment humides.

En Europe, sa répartition s'étend de la péninsule ibérique jusqu'au cercle arctique, et de l'Islande à la mer Caspienne (ECDC & EFSA 2023). L'espèce est aussi présente en Afrique du Nord dans des régions humides et montagneuses (Figure 9).

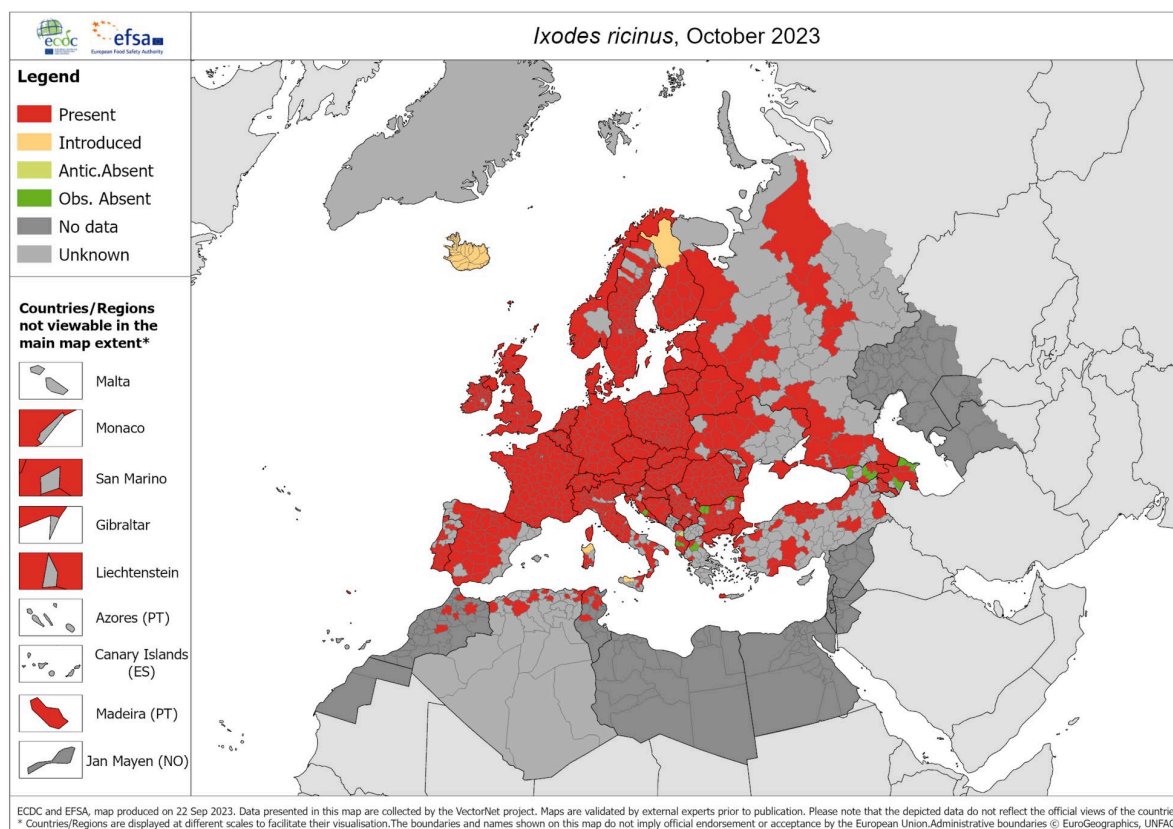


**Figure 9 : Carte de répartition d'*Ixodes ricinus* d'après l'ECDC.**

Cette carte présente la répartition d'*Ixodes ricinus* à l'échelle départementale (NUTS3 – Nomenclature d'unités territoriales statistiques), d'après les données collectées par le projet VectorNet et validées par des experts extérieurs. Source : (European Centre for Disease Prevention and Control and European Food Safety Authority 2023).

En France, *I. ricinus* est l'espèce de tique la plus répandue et la plus fréquemment trouvée sur les êtres humains. Elle est présente dans toute la France hexagonale, mais plus rarement sur le pourtour méditerranéen et la Corse où elle est présente plutôt en altitude (Doche et al. 1993; Gilot et al. 1995; Grech-Angelini et al. 2016). Elle a tendance à se raréfier sur le littoral, probablement à cause d'un effet négatif des conditions environnementales particulières qui y règnent, comme des vents et des embruns très fréquents (Degeilh et al. 1994). Elle est néanmoins présente sur Belle-Île-en-Mer dans des écosystèmes particuliers (Haidar-Ahmad et al. 2025), indiquant que l'espèce peut être présente sur des îles de petite taille.

La distribution spatiale d'*I. ricinus* est déterminée par des facteurs biotiques et abiotiques tels que le microrelief du terrain (ravines, dépressions étroites à forte humidité), une couverture

végétale abondante reflétant une bonne humidité du sol, le passage et le regroupement d'hôtes (L'Hostis et al. 1995; M Daniel et Dusbabek 1994; Perez-Eid 1990). Ainsi, *I. ricinus* est très abondante en milieu forestier. Les larves ont une répartition spatiale plus agrégée que les nymphes et adultes car elles ne se dispersent pas et restent concentrées sur le lieu de ponte de la femelle (Nilsson et Lundqvist 1978). Les nymphes à l'affût sont environ 10 fois plus nombreuses que les adultes du fait de la mortalité naturelle interstadiale (Randolph 1998).

La présence des tiques varie avec l'altitude. Alors qu'elles n'étaient auparavant généralement pas observées au-dessus de 1 000 m d'altitude, du fait du changement climatique et des modifications de végétation récentes, on les trouve maintenant à des altitudes plus élevées (Kahl et Gray 2023). L'espèce a ainsi été observée à 1 800 m d'altitude au sommet du Pic de Bazès dans les Hautes-Pyrénées (Akl et al. 2019).

### 2.3.1.3 Transmission du TBEV

*Ixodes ricinus* transmet principalement le sous-type européen de TBEV tandis que les sous-types extrême-oriental et sibérien sont transmis par *I. persulcatus*. Pour *I. ricinus*, ce sont principalement les nymphes qui piquent l'être humain et sont impliquées dans la transmission d'agents pathogènes à ce dernier. En revanche, pour *I. persulcatus*, les nymphes piquent rarement les êtres humains et ce sont les femelles qui jouent un rôle majeur de vecteurs d'agents pathogènes à l'être humain (Pustijanac et al. 2023).

En zone endémique, les tiques ont un taux d'infection compris entre 0,1 et 5 % en Europe (Süss 2011). La prévalence est plus élevée chez les adultes que chez les nymphes. Plusieurs études, notamment celle de Süss et al (2004) ont suggéré que la prévalence de TBEV chez les tiques *I. ricinus* gorgées ou partiellement gorgées et collectées sur des hôtes mammifères (êtres humains et animaux) était plus élevée que chez des tiques à l'affût collectées sur le terrain à partir de la végétation. Le cycle viral est induit lors du repas sanguin, jusqu'à atteindre un titre viral détectable, contrairement aux tiques à l'affût dans lesquelles le TBEV se répliquerait à bas bruit (Belova, Burenkova, et Karganova 2012).

## 2.3.2 *Dermacentor reticulatus*

### 2.3.2.1 Généralités, bio-écologie

Le genre *Dermacentor* comprend environ 30 espèces. Deux espèces sont trouvées en Europe : *D. reticulatus* et *D. marginatus* (Rubel et al. 2016). Ces tiques sont dites ditropes à trois hôtes avec les stases immatures, larves et nymphes, endophiles et les stases adultes exophiles (Figure 10). Les stases immatures de *Dermacentor* spp. se nourrissent sur les micromammifères alors que les adultes, mâles et femelles, se nourrissent sur une très large gamme d'hôtes de méso- et macro- mammifères (Földvári et al. 2016) (Figure 10).

Compte tenu de la répartition géographique de *Dermacentor reticulatus* (Figure 11) qui englobe principalement les zones à TBEV, c'est cette espèce qui est la plus mentionnée dans la littérature en lien avec la TBE. Elle est plus tolérante au froid qu'*I. ricinus* et les stases adultes peuvent être actives tout au long de l'hiver (Sands, Bryer, et Wall 2021). Elle a un cycle de vie d'un ou deux ans, ce qui lui confère un taux d'accroissement de la population relativement rapide. Les tiques adultes sont principalement actives à la fin de l'hiver (de février à avril) et en automne (septembre-octobre), les larves en juin-juillet et les nymphes en juillet-août (Randolph et al. 1999; Földvári et al. 2016). Les stases immatures font leurs repas sanguins pendant deux à douze jours sur des micromammifères et plus rarement sur des

oiseaux (Pfäffle, Littwin, et Petney 2015). Les adultes parasitent principalement les mammifères sauvages et domestiques dont les bovins, les chevaux, les ovins, caprins, les cochons et les chiens mais également l'être humain (Földvári, Rigó, et Lakos 2013; Buczek et al. 2015). Les femelles se nourrissent durant sept à 15 jours et les mâles durant trois à cinq jours (Földvári et al. 2016).

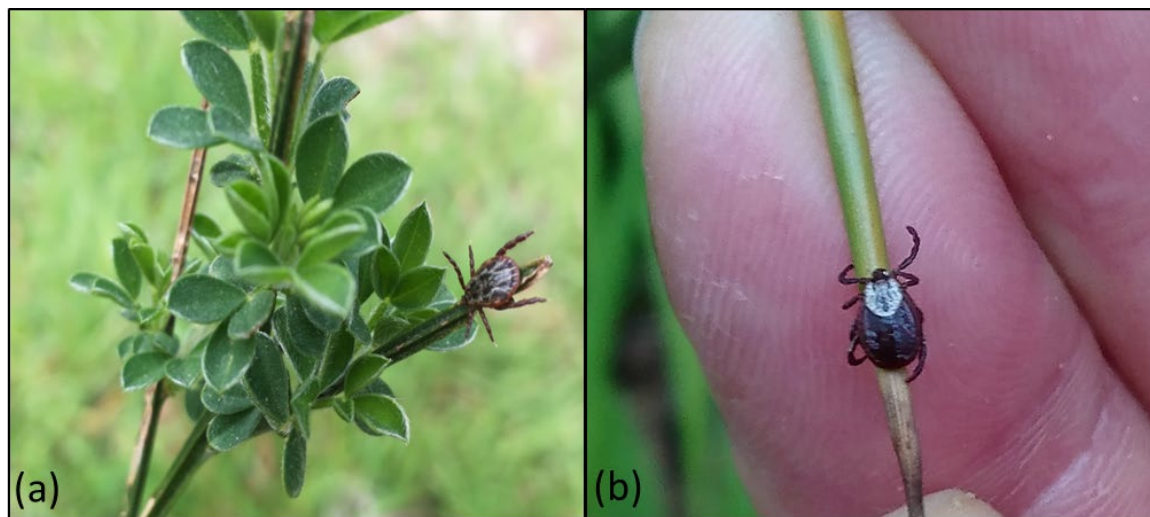


**Figure 10 : Tiques du genre *Dermacentor* sur la végétation : (a) mâle et (b) femelle (écusson blanc marbré).**

Crédit photo : N. Boulanger

### 2.3.2.2 Distribution géographique

*Dermacentor reticulatus* a une large répartition en Europe. C'est une des espèces les plus abondantes en Europe centrale (Rubel et al. 2016; Mierzejewska et al. 2015; Sands, Bryer, et Wall 2021) (Figure 11). Par ailleurs, sa répartition semble s'étendre vers le nord de l'Europe (Rubel et al., 2016). En Allemagne, par exemple, *D. reticulatus* a considérablement étendu son aire de répartition dans le nord du pays au cours des 50 dernières années (Drehmann et al. 2020). Ces changements sont probablement le résultat d'une combinaison de facteurs, notamment le changement climatique, l'augmentation de l'abondance des hôtes sauvages et l'évolution des modes d'utilisation des terres, en particulier l'abandon des terres agricoles qui entraîne le développement de friches et d'espaces hyper-végétalisés<sup>14</sup> (Karbowski 2014; Paulauskas et al. 2018; Mierzejewska et al. 2015). Des populations nouvellement établies ont été observées en Pologne (Zygner, Górski, et Wedrychowicz 2009), en Allemagne (Dautel et al. 2006) et aux Pays-Bas (Matjila et al. 2005).

*Dermacentor reticulatus* est trouvée pratiquement partout en France (Figure 11), plutôt dans des espaces ouverts comme des pâtures (Bonnet et al. 2013) et des espaces hyper-végétalisés (Chitimia-Dobler, Mackenstedt, et al. 2019; Földvári et al. 2016; Boyer et al. 2022).

<sup>14</sup> Un espace hyper-végétalisé désigne un lieu aménagé où la végétation occupe une place prédominante et dense, souvent au-delà de ce qui est habituel dans un environnement urbain ou rural classique. Ce type d'espace peut inclure une diversité de plantes telles que des arbres, arbustes, plantes grimpantes, fleurs, et pelouses, ainsi que des éléments naturels intégrés, comme des murs végétaux, des toitures végétalisées ou des potagers.

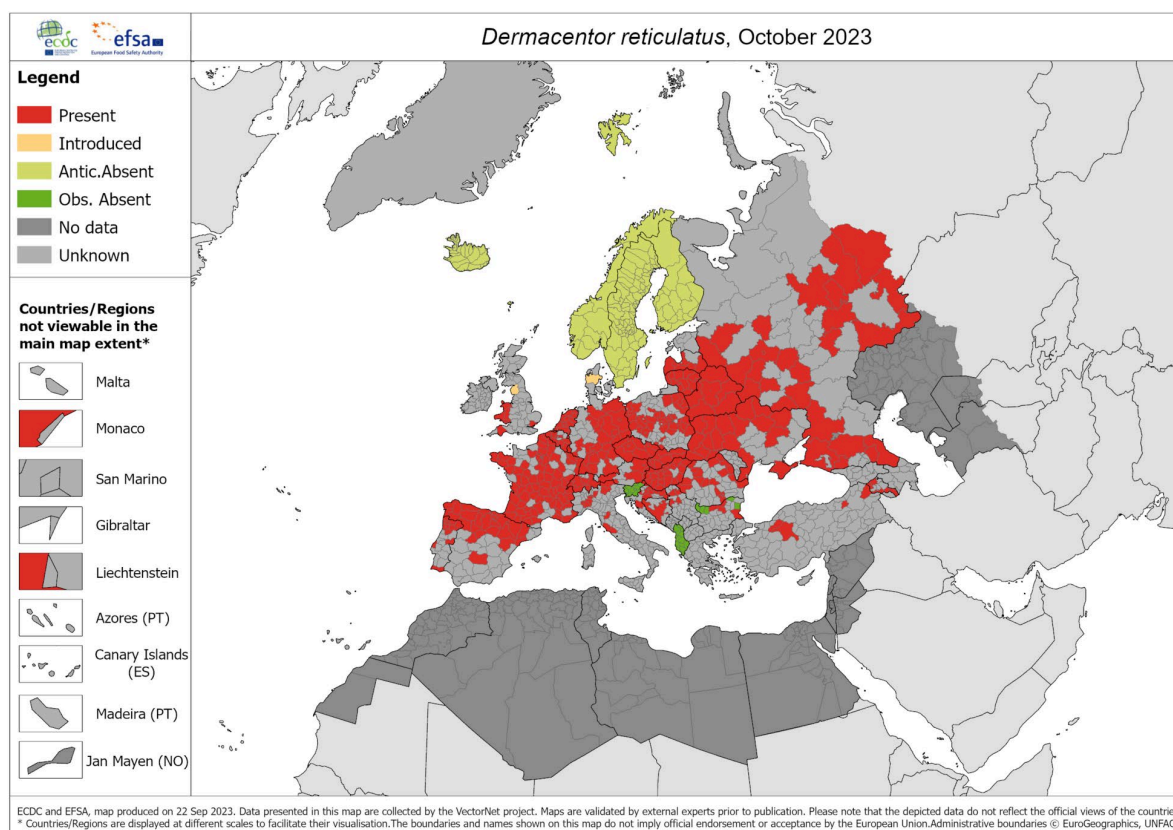


**Figure 11 : Répartition géographique de *D. reticulatus* en Europe.**

Cette carte présente la répartition de l'espèce à l'échelle départementale (NUTS3) d'après les données collectées par le projet VectorNet et validées par des experts extérieurs. Source : ECDC & EFSA 2023.

### 2.3.2.3 Transmission du TBEV

La compétence vectorielle de nymphes et adultes femelles *D. reticulatus* a été démontrée expérimentalement sur modèle murin (Ličková et al. 2020; Kozuch et Nosek 1971). Toutefois, elle n'a pas été étudiée chez les mâles et les transmissions transstadiales et transovariennes n'ont pas été montrées expérimentalement. Sur le terrain, le génome viral a été détecté dans les adultes, mâles et femelles, de *D. reticulatus* dans plusieurs études en Allemagne (Chitimia-Dobler, Lemhöfer, et al. 2019) et en Pologne à des prévalences similaires à ce qui est observé chez *I. ricinus* ou même plus élevé (Biernat et al. 2014; Wójcik-Fatla et al. 2011; Mierzejewska et al. 2015; Chitimia-Dobler, Lemhöfer, et al. 2019). Expérimentalement, Lickova et al (2020) ont pu montrer que des femelles adultes *D. reticulatus* étaient capables de transmettre le TBEV par co-repas à des nymphes *Haemaphysalis inermis*, mais cette voie de transmission semble peu probable en conditions naturelles.

Toutefois, le rôle de *D. reticulatus* dans le maintien naturel du cycle chez les hôtes naturels en l'absence d'*I. ricinus* est considéré comme faible du fait de l'activité successive des larves, puis des nymphes sur les micromammifères (Földvári et al. 2016; Randolph et al. 1999). En effet, les larves apparaissent en mai-juin et se nourrissent fortement sur rongeurs en juin-juillet puis se métamorphosent en nymphes en un mois. Les nymphes se nourrissent alors sur les rongeurs en juillet-août ; le processus de co-feeding entre les larves et les nymphes de *D. reticulatus* ne peut donc s'effectuer que pendant un temps court d'un mois, ce qui limite l'efficacité de transmission de pathogène par ce processus (Földvári et al. 2016). En partant



de l'hypothèse qu'il n'y a pas de transmission transovarienne chez *D. reticulatus*, les larves de *D. reticulatus* peuvent s'infecter en présence de nymphes de *I. ricinus* infectées, et une fois métamorphosées en nymphes elles peuvent contribuer à l'infection des micromammifères et à la transmission du virus à d'autres larves d'*I. ricinus*.

Il est donc possible que *D. reticulatus* contribue à amplifier la circulation de TBEV lorsque la tique *I. ricinus* est présente (Figure 12).

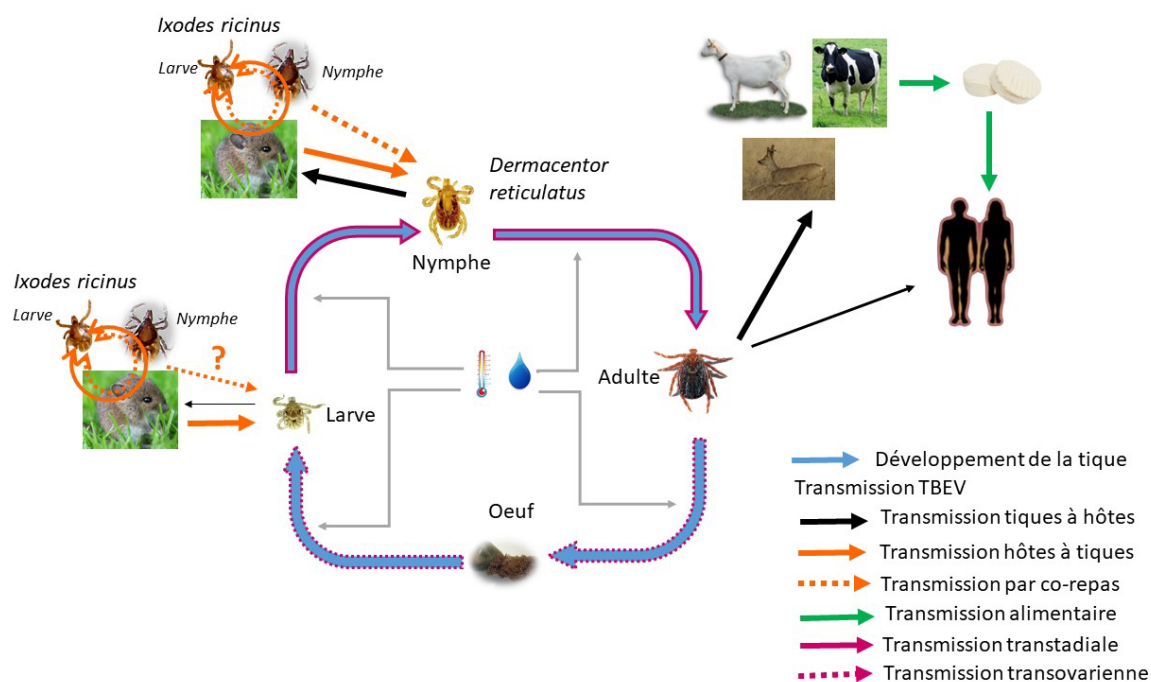


**Figure 12 : Représentation schématique de la transmission du TBEV impliquant *Dermacentor reticulatus***

Le cycle de vie des tiques, indiqué par des flèches bleues, ainsi que les facteurs abiotiques influençant ce cycle, indiqués par des flèches grises, sont documentés dans le §2.3.2.1. Le TBEV peut être transmis de la femelle à sa descendance (flèches roses pointillées) et/ou être maintenu dans l'organisme de la tique au fil des stases (flèches roses). Au cours du cycle de vie des tiques, plusieurs opportunités de transmission virale existent entre les tiques et les mammifères (flèches noires et oranges), directement entre les tiques par co-alimentation (flèche orange pointillée). L'infection humaine peut survenir par la piqûre d'une tique infectée ou par la consommation de produits à base de lait cru contaminé (flèches vertes).

En Europe, les tiques *Dermacentor* spp. piquent moins souvent l'être humain que les tiques *Ixodes* spp. En Europe de l'Ouest (en excluant le pourtour méditerranéen), elles représentent de 5 % à 33 % des piqûres signalées selon les études (Sciensano 2023; Jumpertz et al. 2023; Audino et al. 2021). Elles auraient donc un rôle moins important qu'*I. ricinus* dans la transmission du virus à l'être humain par piqûre. Cependant, les adultes se nourrissent régulièrement sur les animaux de production et pourraient donc fortement contribuer à la transmission du virus chez ces animaux et donc indirectement à l'être humain par la consommation de produits laitiers contaminés.

## 2.4 Les hôtes vertébrés

L'étude de la compétence des hôtes vertébrés à acquérir le TBEV repose essentiellement sur des études d'infection expérimentale. Il existe deux types d'études : celles basées sur l'inoculation du virus par voie sous-cutanée ou intramusculaire, qui ne reproduisent pas véritablement une infection naturelle, et celles réalisées par inoculations du virus par piqure de tique, qui sont plus proches des conditions naturelles d'infection puisqu'elles prennent notamment en considération la co-inoculation de la salive de tiques (SAT – *salivary-activated transmission*) favorisant la transmission d'agents infectieux (Šimo et al. 2017; Nuttall et Labuda 2004).

La possibilité de transmission du virus entre tiques, lors d'un repas sanguin effectué sur un hôte donné, peut par ailleurs être évaluée indirectement en étudiant la proportion de tiques infectées par le TBEV. Ce raisonnement est essentiellement valable pour les larves, considérées généralement non infectées ou peu infectées avant leur repas sur un hôte du fait de la faible fréquence de transmission transovarienne (Danielova et Holubova 1991; Nuttall et al. 1994; Danielová et al. 2010; Farkas et al. 2013).

Les données disponibles au moment des travaux du GT suggèrent que tous les hôtes (mammifères, oiseaux, reptiles) sur lesquels se nourrit la tique *I. ricinus* sont susceptibles d'être infectés par le TBEV. Les micromammifères sont considérés comme les principaux hôtes impliqués dans la transmission entre tiques par voie horizontale et co-repas, et comme un réservoir du virus, en plus des tiques *I. ricinus*. Le rôle des oiseaux (discuté dans le §2.4.2) et des reptiles dans ce cycle n'est pas bien connu. Il n'y a pas d'étude de la transmission de TBEV par des reptiles. Excepté dans des écosystèmes spécifiques, les reptiles nourrissent peu les tiques et contribueraient donc peu au cycle épidémiologique du TBEV. Les méso- et macro- mammifères, dont l'être humain, sont principalement des hôtes accidentels du virus : ils sont des impasses épidémiologiques pour l'agent infectieux, ce qui signifie qu'ils ne participent pas activement à la circulation du TBEV (Michelitsch et al. 2019).

### 2.4.1 Les micromammifères

Le virus circule naturellement entre les tiques et les micromammifères. En Europe de l'Ouest, ce sont principalement les espèces vivant en milieu forestier, notamment le campagnol roussâtre (*Clethrionomys glareolus*) et les mulots (*Apodemus flavicollis*, *A. sylvaticus*), qui sont concernés (Labuda et Randolph 1999; Michelitsch et al. 2019). En effet, ces espèces sont largement infestées par les larves et nymphes d'*I. ricinus*. De plus, celles-ci se nourrissent à proximité des unes des autres au niveau des oreilles, facilitant la transmission par co-nourrissage du TBEV. Lors d'infections expérimentales, ces espèces n'ont présenté aucun signe clinique apparent (Labuda, Jones, et al. 1993; Labuda et al. 1996; 1997). L'efficacité de la transmission entre tiques par l'intermédiaire de l'hôte varie en fonction des espèces de micromammifères : expérimentalement, la transmission entre tiques par co-nourrissage ou par voie horizontale est trois à quatre fois plus élevée pour les tiques *I. ricinus* se nourrissant sur *A. flavicollis* que sur *C. glareolus* ; elle était également associée à un taux de succès de repas plus élevé (Labuda, Jones, et al. 1993; Labuda et al. 1996; 1997).

Les autres micromammifères auraient un rôle plus négligeable du fait d'une infestation généralement plus faible par les tiques, par exemple pour le mulot rayé (*Apodemus agrarius*) ou le campagnol des champs (*Microtus arvalis*), et/ou d'une surmortalité liée à l'infection, comme observée expérimentalement pour le campagnol souterrain (*Microtus subterraneus*) (Hofmeester et al. 2016; Labuda, Nuttall, et al. 1993). Quelques hérissons d'Europe (*Erinaceus*

*europaeus*), ont été observés infectés en conditions naturelles (Kozuch et al. 1967; Schönbachler et al. 2019) mais une étude d'infection expérimentale portant sur deux hérissons n'a montré qu'une transmission modérée du virus aux tiques par co-nourrissage (une tique infectée pour 27 gorgées) et le virus n'a pas été détecté dans le sang, ni dans les organes (Labuda, Nuttall, et al. 1993). Néanmoins, les publications sur ces autres espèces de micromammifères sont peu abondantes et il est probable que leur importance épidémiologique varie en fonction des écosystèmes et des communautés d'hôtes prédominantes.

## 2.4.2 Les oiseaux

Peu d'études se sont intéressées au rôle des oiseaux dans la circulation du TBEV : ce rôle n'est donc pas clairement déterminé. De plus, contrairement aux micromammifères, l'existence d'une transmission du TBEV des oiseaux aux tiques n'a pas été démontrée.

Des études d'infection expérimentale ont été réalisées sur un nombre limité d'espèces d'oiseaux domestiques et sauvages<sup>15</sup>, principalement dans les années 1960 (Ernek et al. 1969; Ernek et Lichard 1964; Grešíková et Ernek 1965; Gresikova et al. 1962; Nosek et al. 1962; Rehacek et al. 1963; Streissle 1958; Van Tongeren 1983; Labuda, Nuttall, et al. 1993; Farkas et al. 2013; Chitimia-Dobler, Lemhöfer, et al. 2019; Michel et al. 2021). Toutefois, ces études ne concernaient pas des espèces aviaires particulièrement exposées aux espèces de tiques qui transmettent le TBEV, hormis celles relatives à la mésange charbonnière (*Parus major*) et au faisan de Colchide (*Phasianus colchicus*). Très peu d'oiseaux parmi ceux inoculés expérimentalement ont développé une virémie, ou même ont séroconverti ; chez ceux qui ont présenté une virémie, comme les canards colverts (*Anas platyrhynchos*), celle-ci était généralement faible (Michel et al. 2021). En outre, les individus étaient uniquement infectés par voie sous-cutanée et intramusculaire, ne reproduisant donc pas une infection naturelle. Seule l'expérience de Labuda, Nuttall, et al. (1993) sur le faisan de Colchide a testé l'infection et la transmission aux tiques par la piqure de tiques infectées et par co-repas, mais aucune tique n'a été infectée sur 97 tiques gorgées.

Huit études conduites en Europe et en zone endémique ont évalué en conditions naturelles, le portage par les oiseaux de tiques infectées par le TBEV (Annexe 2) : les oiseaux ciblés étaient essentiellement des passereaux capturés par filet japonais<sup>16</sup> en période de migration. Des larves et des nymphes d'*I. ricinus* infectées ont été trouvées uniquement dans cinq de ces études. La prévalence pour les nymphes était estimée entre 0,3 et 0,5 % dans quatre études<sup>17</sup> et à 11,2 % dans une autre étude<sup>18</sup> (voir Annexe 3 pour les détails). Les prévalences pour les larves étaient de 0,3 à 0,5 % dans des études réalisées en Suède (n=616) et en Suisse (n=722), et de 7,4 % (2/27) en Lettonie.

Les tiques infectées provenaient parfois du même individu, ce qui suggère une transmission du TBEV durant la phase de virémie ou par co-repas sur les oiseaux capturés (étant donnée la très faible prévalence de TBEV généralement observée dans les tiques à l'affût). Il serait donc possible que les oiseaux, en particulier le merle noir (*Turdus merula*), la grive musicienne

<sup>15</sup> Le faisan de Colchide (*Phasianus colchicus*), la buse variable (*Buteo buteo*), le faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*), la mésange charbonnière (*Parus major*), le moineau domestique (*Passer domesticus*), le canard colvert (*Anas platyrhynchos*)

<sup>16</sup> Le filet japonais est un système efficace pour attraper les animaux volants, principalement les oiseaux et les chauves-souris.

<sup>17</sup> Ces études ont été réalisées en Suède, n=1155 (Waldenström et al. 2007a), en Suisse, n=1124 (Lommano et al. 2014), en Estonie, n=178 (Geller et al. 2013), et dans la région Baltique de la Russie, n=201 (Movila et al. 2013a).

<sup>18</sup> Étude réalisée en Lettonie, n=170 (Kazarina et al. 2015a)

(*Turdus philomelos*), et le rouge-gorge familier (*Erithacus rubecula*), participent localement à la transmission du TBEV aux tiques. Dans les communautés aviaires, ces espèces sont généralement les plus infestées par *I. ricinus*, surtout des nymphes (Marsot et al. 2012; Hofmeester et al. 2017). Cependant, du fait de leur densité plus faible que celles des micromammifères, leur contribution à la production de larves infectées par le TBEV serait probablement plus faible que celle des micromammifères (Hofmeester et al. 2017).

Sous l'hypothèse que les oiseaux sont compétents pour transmettre le TBEV, les données manquent encore pour évaluer réellement leur contribution dans la circulation du virus.

En revanche, il est possible que les oiseaux jouent un rôle important dans la dispersion du TBEV, par le transport des tiques vers de nouvelles zones géographiques, notamment lors de leurs périodes de migration. La capacité des oiseaux à franchir facilement les barrières, telles que les rivières et les autoroutes, leur permet en effet de disséminer les tiques qui leur sont attachées, dans de nouvelles zones plus facilement que les mammifères (Kaiser, Hoogstraal, et Watson 1974; Comstedt et al. 2006). Les espèces pour lesquelles un rôle dans la transmission du virus est possible, comme le merle noir, la grive musicienne, le rouge-gorge familier, sont principalement des espèces partiellement migratrices<sup>19</sup> en France, avec des populations arrivant d'Europe du Nord et du Nord-Est (notamment de pays endémiques de TBEV) en automne pour passer l'hiver. Jusqu'à présent, les tiques infectées ont été observées uniquement sur des oiseaux capturés en période de migration automnale (Waldenström et al. 2007a; Lommano et al. 2014; Kazarina et al. 2015a), suggérant une dispersion des tiques infectées du nord/nord-est de l'Europe vers le sud/sud-ouest en suivant les couloirs de migration.

### 2.4.3 Les méso- et macro- mammifères

Les méso et macro- mammifères, comme les cervidés (chevreuils *Capreolus capreolus*, cerfs élaphe *Cervus elaphus*), les sangliers (*Sus scrofa*), les renards (*Vulpes vulpes*), les ruminants domestiques ou les équidés sont considérés comme non compétents pour transmettre le TBEV aux tiques, car présentant généralement une virémie trop faible (Labuda, Nuttall, et al. 1993; Varlacher et al. 2015). Cependant, très rarement, il arrive chez ces espèces que certains individus présentent une virémie élevée (Varlacher et al. 2015), et transmettent le virus à des tiques (Gaffuri et al. 2024). C'est par exemple le cas d'un chamois (*Rupicapra rupicapra*) en Italie présentant des signes cliniques de TBE et sur lequel 12 tiques sur 26 étaient positives pour le TBEV (Gaffuri et al. 2024). Aucune étude n'a été conduite pour déterminer si la transmission par co-repas entre tiques infectées et non infectées sur ces hôtes est possible. La probable faible occurrence d'animaux virémiques ainsi que la faible abondance de larves se nourrissant sur ces animaux par comparaison aux micromammifères et oiseaux font que les méso- et macro- mammifères ne jouent probablement pas un rôle épidémiologique important dans la transmission du TBEV.

Par ailleurs, ces mammifères, en particulier les cervidés, sont des hôtes importants pour nourrir les tiques *I. ricinus*. Ils sont notamment des hôtes essentiels pour les *I. ricinus* femelles adultes (Hofmeester et al. 2017), ainsi que pour les adultes de *Dermacentor* spp. Ainsi, les cervidés joueraient un rôle majeur dans le maintien et l'augmentation de ces populations de tiques. C'est pourquoi, même dans l'hypothèse où les méso- et macro- mammifères ne permettraient pas la transmission du virus entre tiques, ils pourraient toutefois influencer la dynamique locale de circulation virale. La densité d'hôtes non compétents peut avoir en théorie

<sup>19</sup> Une partie de la population migrant, une autre étant sédentaire.



deux effets différents sur la dynamique de transmission virale qui dépendent des conditions spécifiques rencontrées : d'une part, un effet amplificateur sur les populations de tiques vectrices, et d'autre part un effet de dilution (Cagnacci et al. 2012; Bolzoni et al. 2012). Dans ce dernier cas, une hausse de la proportion d'hôtes non compétents (e.g. cervidés), peut entraîner une diminution du nombre de tiques (larves et nymphes) se nourrissant sur les hôtes compétents (comme les rongeurs), et donc une diminution de la transmission de TBEV entre les tiques<sup>20</sup>.

## 2.5 Modes de transmission du TBEV à l'être humain

### 2.5.1 Piqûre de tique

La piqûre par une tique infectée est considérée comme le principal mode de transmission du TBEV à l'être humain et à ses autres hôtes vertébrés (Michelitsch et al. 2019; Valarcher et al. 2015). En Europe, la plupart des contaminations ont lieu au début de l'été lors du pic d'activité des tiques (ECDC 2024). *Ixodes ricinus* est la tique la plus souvent trouvée sur l'être humain. En France, en Suisse, en Belgique et en Italie du Nord, 80 à 99 % des tiques collectées sur des êtres humains sont des *I. ricinus* (Audino et al. 2021; Sciensano 2023). Dans le sud de la France, cette proportion diffère comme le montre une étude récente menée à l'Institut Hospitalo-Universitaire de Marseille, sur 418 tiques retirées de patients, 197 (48 %) étaient des *Ixodes* spp., 136 (33 %) des *Dermacentor* spp., 67 (16 %) des *Rhipicephalus* spp., huit (2 %) des *Hyalomma* spp., six (1 %) des *Amblyomma* spp., deux (0,5 %) des *Argas* spp. et deux (0,5 %) des *Haemaphysalis* spp. (Jumpertz et al. 2023). Selon l'historique de voyage des patients, la plupart de ces tiques provenaient de France hexagonale ou d'Europe à l'exception de quelques spécimens de *Hyalomma* et les *Amblyomma* (origines détaillées dans Jumpertz et al. 2023).

Contrairement aux bactéries et parasites transmis par les tiques qui nécessitent un délai d'environ 24 h pour être transmis (De La Fuente et al. 2017), il est classiquement reconnu que la transmission des virus lors de la piqûre est plus rapide. Le TBEV serait comme les autres virus transmis dès le début de la piqûre car il est déjà présent dans les glandes salivaires au début du repas sanguin (De La Fuente et al. 2017). Sur un plan expérimental, la salive de tique, par le phénomène de *salivary-activated transmission* (SAT) joue un rôle majeur sur l'infectiosité du virus. Ce phénomène correspond à la production dans la salive de tique, de molécules facilitant la transmission d'agents pathogènes par pharmac- et immunomodulation locale. Par conséquent, la salive de tique augmente l'infectiosité du virus et facilite sa transmission (Hermance et Thangamani 2018; Nuttall et Labuda 2004). En conditions naturelles, la quantité de virus inoculée lors de la piqûre de tique n'est pas connue : le virus est transmis rapidement après la piqûre et la quantité de virus injecté augmente avec la durée du repas sanguin (Pustijanac et al. 2023).

### 2.5.2 Transmission alimentaire

Si la transmission du TBEV par piqûre de tique est le mode de contamination le plus fréquent, l'être humain peut aussi se contaminer par voie alimentaire par l'ingestion de produits laitiers au lait cru provenant de ruminants infectés tels que les brebis, les chèvres et les vaches.

<sup>20</sup> voir la synthèse de Wood et Lafferty (2013) en lien avec la maladie de Lyme et Jeanson et al. 2012 pour la TBE.

Lorsqu'un animal est piqué par une tique infectée, le virus peut être excrété dans le lait durant la phase virémique, et de ce fait les produits à base de lait cru peuvent être contaminés. Selon la revue de Ličková et al. (2022), cette voie d'infection constituerait environ 1 % des contaminations humaines en Europe centrale. Seuls les produits au lait cru sont concernés par la transmission du virus (Saier et al. 2015).

Cette voie de transmission a été identifiée dans les années 1940, les premiers cas de TBE alimentaire ayant été décrits entre 1947 et 1951 en URSS (Shapoval (1989) citée par Ličková et al. (2022)). La plus grande épidémie connue, à ce jour, est survenue en 1951 en Tchécoslovaquie, impliquant plus de 600 personnes infectées par du lait contaminé provenant de vaches et de chèvres (Ličková et al. 2022). Au cours des dernières décennies, des flambées épidémiques récurrentes de petite taille ont été signalées dans divers pays d'Europe centrale et orientale et en Russie, principalement en Slovaquie, République tchèque, Pologne, Hongrie, Estonie, Allemagne, Croatie, Autriche, Suisse, Slovénie et plus récemment en France<sup>21</sup> (voir §9.2.1 et Annexe 6). Cette répartition géographique pourrait s'expliquer par des habitudes spécifiques de consommation de produits au lait cru. Les cas signalés d'avril à août étaient associés à l'ingestion de produits au lait cru de ruminants.

Concernant la transmission du TBEV par la viande, bien que le virus puisse persister dans les tissus de certains animaux infectés (Bolea *et al.* 2006), aucune donnée spécifique ne confirme la possibilité de transmission du virus par la consommation de viande crue ou insuffisamment cuite. Aucun cas d'infection lié à la consommation de viande n'a été rapporté dans la littérature. En outre, il est généralement admis que la virémie chez les animaux d'élevage est courte et de faible intensité. Le caractère transitoire de cette virémie pourrait réduire significativement le risque de contamination de la viande destinée à la consommation humaine. En ce qui concerne le risque de transmission du TBEV par la consommation de viande crue ou insuffisamment cuite, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour le confirmer ou l'infirmer et le quantifier s'il existe.

Par ailleurs, aucune preuve de contamination par le TBEV des carcasses de ruminants, ou d'excrétion dans leur fèces ou dans leur urine n'a été rapportée jusqu'à présent.

### 2.5.3 Autres modes de contamination

Une revue systématique récente a synthétisé l'ensemble des cas rapportés de contamination par le TBEV d'origine non vectorielle (Martello et al. 2022). Outre la voie de contamination alimentaire, décrite ci-dessus (§2.5.2), d'autres voies de transmission sont possibles et ont été rapportées :

- La transmission interhumaine :
  - dans la mesure où une virémie est présente chez l'être humain, il existe un risque faible, mais non négligeable, de transmission interhumaine **par contact avec du sang ou des tissus infectés**, ou encore lors de transfusions sanguines ou de transplantations d'organes. Trois cas de méningo-encéphalite à TBEV ont ainsi été décrits chez des receveurs d'un même donneur d'organe chez qui la présence du virus a pu être identifiée *a posteriori* (Lipowski et al. 2017). Wahlberg et al. (1989) ont

<sup>21</sup> <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-a-transmission-vectorielle/encephalite-a-tiques/documents/bulletin-national/encephalites-a-tiques-tbe-en-france.-bilan-des-cas-declares-en-2023>

rapporté en Finlande un cas de transmission de TBEV par transfusion sanguine à deux receveurs. Aucun autre épisode de transmission de TBEV par des produits sanguins n'a été rapporté à ce jour dans la littérature. À la connaissance des experts, aucun cas de transmission nosocomiale n'a été décrit. Il convient de noter qu'à la suite de l'épisode de TBE dans l'Ain en 2020 (voir Chapitre 3), le Haut Conseil de la santé publique (HCSP) a été amené à se prononcer sur les mesures à prendre pour éviter les transmissions par des produits sanguins et à émettre des recommandations par rapport à la prévention de la TBE chez les sujets transfusés et les receveurs d'organes, de tissus ou de cellules (Pozzetto et al. 2023; HCSP 2023). Dans son analyse sur le risque TBE par les dons de substances d'origine humaines<sup>22</sup>, l'ECDC a conclu que le risque de transmission par le don d'organe est très faible. L'ECDC n'a par contre pas été en mesure d'évaluer le risque de transmission par les dons de sang, tissus et cellules ;

- pour la **transmission mère-enfant**, plusieurs observations ont relaté l'absence de contamination du fœtus à partir de mères ayant présenté une infection par le TBEV pendant leur grossesse, quelle que soit la sévérité de l'atteinte clinique chez la mère (Weinmayr et al. 2020; Hockicková et al. 2019; Divé et al. 2020; Velay et al. 2023; Bjornholm et al. 2022). Deux cas probables de transmission par l'intermédiaire de l'allaitement de la mère à son enfant ont été rapportés (Kerlik et al. 2022; Ilic et al. 2020). Dans son avis et sa mise à jour en août 2023, le HCSP n'émet « aucune recommandation en dehors de la pratique d'une sérologie chez un nourrisson allaité présentant un syndrome infectieux et dont la mère aurait une infection active à TBEV » du fait du caractère peu fréquent de cette transmission (HCSP 2020; 2023) ;
- à la connaissance du GT, aucune étude n'a rapporté de cas de **transmission sexuelle** inter-humaine du TBEV ;
- la **transmission aéroportée** : un cas de contamination après exposition<sup>23</sup> dans un laboratoire de microbiologie chez une biologiste ayant isolé le virus chez un patient source a été publié (Avsic-Zupanc et al. 1995). D'autres rares cas de transmission aéroportée en laboratoire sont décrits dans la littérature ou suspectés, sans autres preuves d'infection par inoculation ou contact avec du matériel infecté (Pedrosa et Cardoso 2011; Haymaker, Sather, et Hammon 1955; Wahlberg, Saikku, et Brummer-Korvenkontio 1989). Cette voie de transmission intranasale a également été démontrée expérimentalement chez des primates non humains, mais l'importance de la transmission par aérosol dans la nature n'est pas connue (Hambleton et al. 1983) ;
- la transmission **par contact direct avec le sang ou les fluides corporels d'un animal virémique** : aucun cas de transmission par contact direct n'a été rapporté dans la littérature au moment de la rédaction du rapport.

## 2.6 Immunité des animaux

La réponse immunitaire est dirigée contre la protéine E et la protéine non structurale 1 (NS1) du virus (§2.1.1). À la fois les anticorps neutralisants (principalement dirigés contre la protéine

<sup>22</sup> <https://www.ecdc.europa.eu/en/news-events/assessing-risks-tick-borne-encephalitis-virus-transmission-through-substances-human>

<sup>23</sup> La voie d'infection est très probablement par aérosol, la centrifugation des suspensions de cerveaux d'animaux infectés a été réalisée en dehors de la hotte à flux laminaire et il est probable que la formation d'aérosols au cours de cette étape a été à l'origine de l'infection en laboratoire.

E) et les anticorps non-neutralisants (principalement dirigés contre la protéine NS1 ou la protéine prM, un précurseur de la protéine M qui s'insère dans l'enveloppe du virus) empêchent le développement de la maladie. Cependant, des travaux expérimentaux suggèrent que, bien que les anticorps neutralisants empêchent l'apparition de signes cliniques, ils n'empêchent pas une faible infection localisée chez l'hôte (la souris). En effet, du virus infectieux a été isolé chez des souris immunisées au préalable, démontrant une faible et courte réplication virale (Kreil et al. 1998). Chez les animaux de rente, le lien entre présence d'anticorps neutralisants et protection avec absence d'excrétion dans le lait est supposé mais reste à démontrer. Des essais vaccinaux réalisés sur des chèvres et des brebis ont montré que les animaux vaccinés, ayant développé des anticorps neutralisants, n'excrétaient pas le virus lorsqu'ils étaient infectés expérimentalement un mois après leur immunisation (Balogh et al. 2012; Salat et al. 2018).

Chez les animaux, la durée de l'immunité des animaux n'est pas connue alors que chez l'être humain, l'immunité développée après une infection naturelle par le TBEV est connue pour le protéger pendant de nombreuses années. Les quelques observations de terrain rapportées sur des animaux infectés naturellement suggèrent une persistance des anticorps neutralisants durant quelques années, probablement entre un et trois ans, mais cela mérite d'être investigué davantage. Cependant, même en l'absence de détection de ces anticorps, les animaux pourraient avoir une immunité humorale protectrice persistante et non détectable, et/ou une immunité cellulaire protectrice.

Lors d'essais vaccinaux réalisés sur deux chèvres et deux moutons vaccinés avec un vaccin destiné aux humains (FSME-IMMUN©) administré en quatre injections sur une période d'un an, des anticorps neutralisants ont été détectés plusieurs années après la dernière injection : trois à quatre ans chez les moutons et jusqu'à six ans chez les chèvres (C. Klaus et al. 2019). Les titres en anticorps étaient plus faibles chez les moutons que chez les chèvres 18 mois après leur dernière injection (C. Klaus et al. 2014). Sept ans après leur dernière injection, ces animaux ont eu un rappel vaccinal : ils ont tous présenté une réactivation de la réponse humorale avec des titres en anticorps neutralisants bien plus élevés que quatre animaux « contrôle » naïfs soumis uniquement à une injection vaccinale, alors que les anticorps neutralisants n'étaient plus détectables au préalable (C. Klaus et al. 2019). Lors de cette étude, les animaux avaient des titres en anticorps neutralisants très faibles ( $< 1/5$  pour les deux moutons,  $1/10$  et  $1/40$  pour les deux chèvres) une semaine après l'injection vaccinale, les titres étant plus élevés un mois après.

Il est possible qu'une telle réactivation de l'immunité humorale puisse avoir lieu lors de réinfections naturelles par piqûres de tiques infectées. Cependant, les données disponibles ne permettent pas de savoir si cette réactivation est suffisante et suffisamment rapide pour empêcher l'infection et l'excrétion virale dans le lait. Les auteurs soulignent toutefois qu'il est probable que la durée d'immunité pourrait être différente entre des animaux vaccinés et des animaux infectés naturellement. Ainsi, dans les conditions naturelles, il est possible de faire l'hypothèse qu'une exposition régulière au virus pourrait ensuite maintenir l'immunité spécifique développée.

En Allemagne, un suivi pendant quatre ans de quatre moutons et sept chèvres infectés naturellement et possiblement ré-exposés au virus a montré une détection variable des anticorps neutralisants entre les différentes années. Ces résultats suggèrent une persistance courte des anticorps neutralisants (de moins d'un ou deux ans) (Bauer et al. 2021). En outre, les études disponibles ne montrent pas une augmentation de la séroprévalence avec l'âge des animaux, ce qui serait attendu si les anticorps persistaient durablement. Dans une étude conduite sur 344 bovins dans les Vosges, la proportion d'animaux avec des anticorps

neutralisants ne variait pas avec l'âge, seul le titre était légèrement inférieur (mais non significativement différent) pour les animaux d'un à trois ans par rapport aux animaux plus âgés (Mathews-Martin et al. 2024). Néanmoins, cette étude portait sur des animaux venant d'élevages différents et donc avec une exposition différente au virus. Une étude sérologique (anticorps neutralisants) réalisée dans un élevage ovin de 95 brebis en Auvergne a mis en évidence une plus grande proportion d'animaux séropositifs pour les tranches d'âge d'un à trois ans que pour les plus de trois ans (Bournez, comm. pers.).

Le virus de l'encéphalite à tiques (TBEV), appartenant à la famille des *Flaviviridae*, est un arbovirus transmis à l'être humain principalement par la piqure des tiques du genre *Ixodes* infectées et, dans une moindre mesure, par la consommation de produits au lait cru contaminés.

Ce virus est endémique dans plusieurs régions d'Europe et d'Asie, où il circule principalement entre tiques et micromammifères. Les tiques restant infectées tout au long de leur vie, elles jouent un rôle majeur dans la circulation et la persistance du virus dans les écosystèmes. En zone endémique, la prévalence du virus dans les tiques est de l'ordre de 0,1 à 5 % en Europe. Les tiques *Ixodes ricinus* et *I. persulcatus* sont les principaux vecteurs du TBEV en Europe et en Asie. En France, *I. ricinus* est la plus répandue et est impliquée dans la majorité des transmissions à l'être humain. Les tiques du genre *Dermacentor* peuvent également transmettre le TBEV, toutefois cette transmission reste relativement limitée à certaines régions. Leur rôle de vecteur, bien que peu documenté, est secondaire chez l'être humain par rapport aux tiques *Ixodes* spp. Par contre, les adultes *Dermacentor* spp. se nourrissant régulièrement sur les animaux de production, ils pourraient contribuer à la transmission du virus à ces animaux et donc indirectement à l'être humain par la consommation de produits laitiers contaminés.

Plusieurs sous-types de TBEV existent, les trois principaux sont les sous-types européen, sibérien et extrême-oriental, caractérisés par des différences de virulence et de répartition géographique. Le TBEV est présent dans la salive des tiques, ce qui permet une transmission dès le début de la piqure. Il est sensible à plusieurs traitements, notamment la chaleur, et donc la pasteurisation, mais il montre une résistance notable dans des conditions favorables d'humidité, de pH modéré et de température basse, expliquant sa transmissibilité dans des contextes alimentaires.

Le cycle naturel du TBEV repose sur une transmission horizontale entre tiques par les hôtes vertébrés, une transmission transstadiale (d'une stase à une autre) et, dans une moindre mesure, une transmission transovarienne. Les données disponibles suggèrent que tous les hôtes (mammifères, oiseaux, reptiles) sur lesquels se nourrit la tique *I. ricinus* sont susceptibles d'être infectés par le TBEV. Le rôle des oiseaux n'est pas bien connu mais ils contribueraient à la dispersion géographique des tiques infectées. Les méso- et macro-mammifères, dont l'être humain, sont principalement des hôtes accidentels du virus qui ne participent pas activement à la circulation du TBEV. Les cervidés notamment maintiennent les populations de tiques sans participer directement à la transmission virale.

La durée de l'immunité chez les animaux n'est pas connue, mais les quelques observations disponibles suggèrent une persistance des anticorps pendant un à trois ans. Des études complémentaires sont nécessaires pour évaluer la persistance des anticorps et leur rôle protecteur à long terme.

## 3 Diagnostic, surveillance, et épidémiologie de l'encéphalite à tiques

### 3.1 Manifestations cliniques

Le TBEV provoque des infections de gravité variable chez l'être humain. Chacun des trois sous-types du TBEV, qui seront détaillés dans la suite de cette section, est associé à une évolution clinique et une sévérité des symptômes qui lui est propre, la virulence variant selon les différents sous-types (Lindquist et Vapalahti 2008).

**Les souches de sous-type européen (TBEV-Eu)** provoquent souvent une infection de sévérité moindre que les souches du sous-type extrême-oriental (TBEV-Fe). Le taux de létalité pour le sous-type européen est inférieur à 2 %. Entre 70 et 90 % (voire 98 % selon les critères d'inclusion retenus dans les études) des infections par ce sous-type sont asymptomatiques (Velay et al. 2019). Cette proportion reste toutefois difficile à évaluer puisque certains patients présentant des symptômes modérés n'ont pas recours aux soins ou leur infection ne fait pas l'objet d'un diagnostic biologique (Bogovic et Strle 2015).

À la suite d'une infection à TBEV, la période d'incubation oscille entre quatre et 28 jours mais est généralement comprise entre une et deux semaines (Bogovic et Strle 2015; Elbaz et al. 2022). Pour la part des cas développant des symptômes (10 à 30 % des cas), l'infection évolue ensuite selon un profil biphasique (Figure 13) :

la première phase correspond à une période virémique et s'accompagne généralement de symptômes pseudo-grippaux de la maladie tels qu'une fièvre modérée, des maux de tête, des douleurs musculo-squelettiques, de la fatigue ou encore des nausées (Radzišauskienė et al. 2018; 2020). Elle dure entre deux et dix jours et est suivie d'une période dite d'amélioration, d'une durée assez variable selon les études ;

la seconde phase, non systématique, se caractérise par une reprise de la fièvre qui peut être plus ou moins importante. Cette fièvre est constante et quasi systématiquement associée à des céphalées. Des signes méningés sont présents avec une photophobie, des vomissements et un syndrome méningé clinique (raideur de nuque présente dans plus de 80 % des cas (Krawczuk et al. 2020)). Parmi les personnes présentant ces symptômes, 20 à 40 % des cas évoluent vers cette phase méningo-encéphalitique. Ces chiffres sont toutefois discutables, car ils sont très variables selon les études, la première phase pouvant également être totalement asymptomatique. Par exemple, Bogovic et al. (2022) ont montré que, chez des patients pour lesquels le diagnostic a été établi en phase précoce sur la base de la présence d'ARN de TBEV, l'évolution vers des signes neuroméningés accompagnés de fièvre a été constatée dans 83,9 % des cas. Ces symptômes peuvent être accompagnés de troubles neurologiques d'expression diverse (Radzišauskienė et al. 2018; Ruzek et al. 2019; Hansmann et al. 2006; Riccardi et al. 2019; Taba et al. 2017; Krawczuk et al. 2020). Dans 50 % des cas, cette phase se traduit par des méningites, dans 40 % par des méningoencéphalites et dans 10 % par des méningoencéphalomyélites (Gritsun, Nuttall, et Gould 2003).



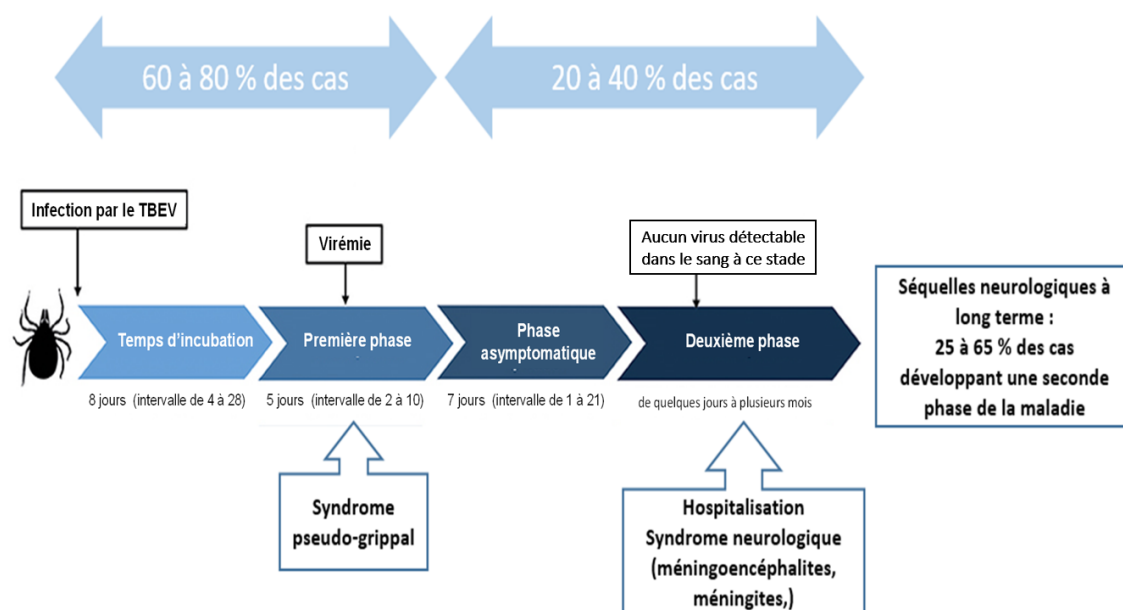


**Figure 13 : Représentation schématique classique de l'infection humaine biphasique par le TBEV pour les cas symptomatiques (10 à 30 % des cas).**

Après un temps d'incubation, la première phase virémique est associée à des symptômes pseudo-grippaux et survient environ une à deux semaines après la transmission du virus. Entre 60 à 80 % des personnes infectées symptomatiques éliminent le virus après cette phase. Toutefois, pour 20 à 40 % des patients, une phase asymptomatique est observée et précède la deuxième phase de la maladie. Au cours de cette deuxième phase, des symptômes de méningite ou d'encéphalite apparaissent : fièvre, maux de tête, tremblements, mouvements rythmiques des yeux (nystagmus), altération de l'état de conscience, paralysie des nerfs crâniens et des nerfs rachidiens. Environ 25 à 65 % des patients qui entrent dans la deuxième phase de la maladie souffriront de séquelles durables, et verront leur qualité de vie diminuée (cf. chapitre 5). Source : adaptée de Blom et al. (2018), Velay, com. pers.

**L'infection par le sous-type sibérien (TBEV-Sib)** entraîne également une atteinte clinique modérée, 80 % des infections à TBEV se traduisant par une simple fièvre sans signes neurologiques. Les taux de létalité enregistrés varient entre 1 et 3 % (Poponnikova 2006). Des infections asymptomatiques ont également été démontrées (Jääskeläinen et al. 2016). Les informations disponibles sur ce sous type sont parcellaires.

**Le sous-type d'Extrême-Orient (TBEV-Fe)** est, quant à lui, à l'origine des formes les plus graves de TBE et est associé à des taux de létalité élevés, pouvant atteindre 40 % (Gritsun, Lashkevich, et Gould 2003). Des formes hémorragiques de TBE ont été signalées dans des zones orientales de la fédération de Russie, ce qui n'est pas le cas en Europe (Ternovoi et al. 2003).

Pour l'ensemble des infections à TBEV, il est important de noter que le sous-type viral n'est pas le seul déterminant de la gravité de la maladie. Les autres facteurs sont notamment la dose virale infectieuse, le génotype, l'âge, l'état immunitaire et nutritionnel de la personne infectée, son état de santé général ainsi que sa possibilité à accéder à des soins (Barkhash et al. 2010; 2012; 2016; 2018; Barkhash, Voevoda, et Romaschenko 2013; Kaiser 2012; Mickienė et al. 2014; Zajkowska et al. 2011). Certaines co-morbidités ont aussi pu être associées à des formes sévères d'infection par TBEV, comme le diabète ou la préexistence d'une polyneuropathie (Lenhard et al. 2016).



De manière générale, les infections par le TBEV, quel que soit le sous-type, s'accompagnent d'un rétablissement lent avec une morbidité sur le long terme appelé syndrome post-encéphalitique. En ce qui concerne le sous-type européen, ce syndrome apparaît chez 33 à 60 % des patients ayant développé une forme neurologique, et se caractérise par des maux de tête ainsi que des troubles de la mémoire et de la marche (Worku 2023). L'évolution est variable selon les patients. Les symptômes initiaux peuvent être longs à disparaître. La récupération totale n'est pas toujours obtenue. Le pronostic dépend principalement de l'expression clinique initiale (Radzišauskienė et al. 2020). En cas de lésion encéphalique sévère, le risque de séquelles durables est important. Les signes neurologiques sont souvent persistants en fin de prise en charge hospitalière (près de 80 % des cas) (Radzišauskienė et al. 2020). Après un an post-infection selon les cohortes, de 20 % à plus de 40 % des patients peuvent encore présenter des symptômes. Il s'agit alors de céphalées, de sensations de vertiges, de troubles amnésiques, de troubles du sommeil, de difficultés de concentrations, d'un état anxio-dépressif, voire la persistance de parésie ou d'un syndrome cérébelleux. Les enfants, qui représentent environ 5 % des cas en Lettonie (Zavadska et al. 2018), ont un meilleur pronostic par rapport aux adultes (Krawczuk et al. 2020).

### 3.2 Diagnostic de l'encéphalite à tiques

Le diagnostic d'encéphalite à tiques repose, selon la définition du Centre européen de prévention et de contrôle des maladies (ECDC), sur des critères à la fois biologiques et cliniques. Ces critères européens ont été établis afin d'uniformiser la notification des cas à l'échelle européenne depuis 2012.

En France, selon les critères retenus par l'avis du HCSP portant sur la déclaration obligatoire (HCSP 2020), les critères biologiques retenus pour la classification des cas confirmés de TBE, présentés en Figure 14, ont été définis comme suit : la détection de l'ARN viral dans le sang ou le liquide cébrospinal (LCS), la détection simultanée des IgM et des IgG anti-TBEV spécifiques dans le sérum, ou la détection des IgM anti-TBE spécifiques dans le LCS, ou l'isolement du virus dans un échantillon clinique. Ce dernier critère relève de la compétence de laboratoires spécialisés et requiert des conditions de manipulation d'un laboratoire de sécurité biologique de type 3 (LSB3). Il convient de noter que l'imagerie cérébrale n'apporte pas d'arguments dans le cadre du diagnostic étiologique, dans la mesure où il n'y a pas de lésions caractéristiques de la TBE et les anomalies sont globalement plutôt rares, évaluées à 18 % au cours des formes encéphalitiques (Ruzek et al. 2019).

Un cas est qualifié de probable, en cas de détection d'IgM spécifiques dans le sérum mais également si la personne présente un tableau clinique évocateur et un lien épidémiologique avec un cas confirmé. En France, l'existence d'un lien épidémiologique (exposition à une source commune – produits laitiers non pasteurisés) associé à un tableau neurologique permet de définir un cas possible (Figure 14).

| Infection à virus TBE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Tableau clinique évocateur d'infection à virus TBE</p> <ul style="list-style-type: none"><li><input type="checkbox"/> <b>Cas confirmé :</b><ul style="list-style-type: none"><li>- Amplification génique positive dans un échantillon clinique</li><li>- Isolement du virus dans un échantillon clinique</li><li>- Détection d'IgM spécifiques dans le LCS</li><li>- Détection d'IgM et IgG dans le sérum</li><li>- Séroconversion ou augmentation par 4 du titre sur des sera appariés</li></ul></li><li><input type="checkbox"/> <b>Cas probable :</b> détection d'IgM spécifiques dans un sérum unique</li><li><input type="checkbox"/> <b>Cas possible :</b> tableau neurologique et lien épidémiologique avec un cas confirmé (ex. consommation d'un même produit laitier au lait cru, transfusion)</li></ul> |

Figure 14 : Critères de définition des cas de TBE utilisés par Santé Publique France (SpF).

En fonction de l'évolution de la TBE, différents outils et marqueurs peuvent être utilisés pour le diagnostic, principalement des outils moléculaires dans la première phase de l'infection et la sérologie dans la seconde phase de l'infection (Figure 15).

- Outils moléculaires

L'apparition des premiers signes cliniques (symptômes pseudo-grippaux) coïncide avec la première phase virémique durant laquelle le génome viral est détectable dans les prélèvements sanguins par RT-qPCR<sup>24</sup> pendant, en moyenne, cinq jours (Saksida et al. 2018) (Figure 15). L'amplification du génome viral par RT-qPCR permet d'établir un diagnostic spécifique de l'infection par le TBEV (Puchhammer-Stöckl et al. 1995; Schwaiger et Cassinotti 2003).

Toutefois, le diagnostic est très rarement évoqué à ce stade, du fait du caractère banal des symptômes évoquant une simple infection virale et qui n'incitent pas les médecins à engager un bilan étiologique approfondi. Les patients consultent généralement lors de la survenue des manifestations neurologiques et, par conséquent la RT-qPCR ne permet que rarement d'établir le diagnostic de l'infection du fait de la clairance virale à ce stade de l'infection.

L'ARN viral est encore plus rarement détecté par RT-qPCR dans le LCS (Lipowski et al. 2017; Velay et al. 2023). Quelques cas décrits dans la littérature ont décrit une détection de l'ARN viral dans les urines au cours de la seconde phase, ou phase neurologique de l'infection, de façon concomitante à la séroconversion (Veje et al. 2014; Caracciolo et al. 2015). Cette approche diagnostique reste cependant à évaluer.

<sup>24</sup> PCR quantitative après transcription inverse, combine les effets de la transcription inverse et de la PCR quantitative, ou PCR en temps réel ([RT-qPCR \(PCR quantitative après transcription inverse\) \(sigmaaldrich.com\)](https://sigmaaldrich.com))

- Outils sérologiques

L'apparition de la réponse humorale (développement d'anticorps anti-TBEV de classe IgM et IgG) coïncide avec le début de la phase neurologique. Les IgM peuvent être détectées pendant plusieurs mois après l'infection et les IgG peuvent persister toute la vie de l'individu. Les IgM sont décelables dans le LCS environ 10 jours après le début de l'infection (Figure 15). Le diagnostic est établi prioritairement par la sérologie avec recherche d'IgM et d'IgG qui sont classiquement présentes à la phase neuro-méningée. La présence isolée d'IgM a moins de valeur diagnostique en raison du risque de faux positifs, lié à de possibles réactions croisées avec les infections par d'autres orthoflavivirus ou à des réactions non-spécifiques.

La plupart du temps, le diagnostic biologique de l'infection par le TBEV est établi à l'aide de trousse ELISA commerciales. Ces trousse utilisent des souches de virus entier inactivé comme source d'antigènes : de sous-types européen (les souches Neudorfl et Karlsruhe K23), sibérien (la souche Moscow) ou extrême-oriental (la souche Sofjin) (Velay et al. 2018). Elles montrent de bonnes performances analytiques et une bonne concordance des résultats obtenus entre elles (Velay et al. 2018). Cependant, la spécificité de ces trousse est variable et est impactée par la réactivité croisée entre orthoflavivirus en particulier pour les IgG. Dans le cas où un patient a récemment résidé dans des zones géographiques où co-circulent plusieurs orthoflavivirus (virus de la fièvre jaune, de la dengue, West-Nile, Usutu, etc.), la sérologie TBE (détection des IgM et des IgG anti-TBEV) doit être confirmée par un test de séroneutralisation<sup>25</sup> (à l'aide de souches virales, ou de pseudo-particules virales) (Tabata et al. 2017).

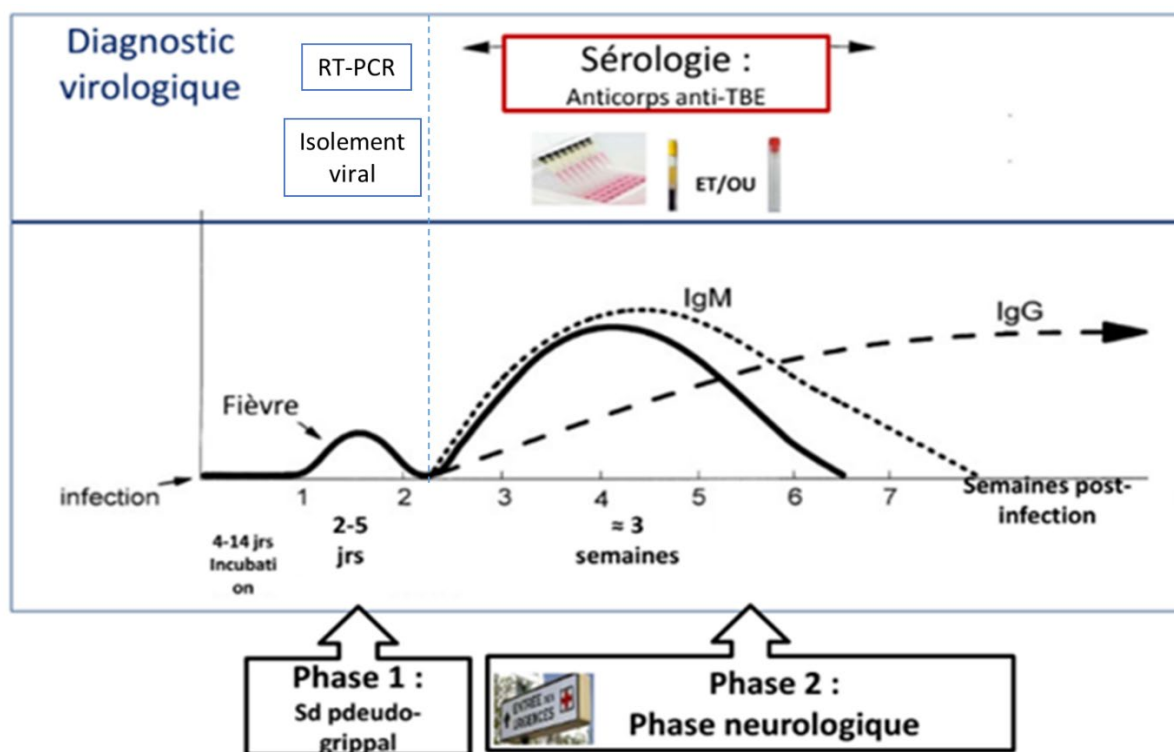


**Figure 15 : Évolution des marqueurs clinico-biologiques et des outils de diagnostic virologique utilisables au cours de l'encéphalite à tique.**

Adapté d'après Holzmann (2003), Velay, com. pers.

La partie supérieure de la figure présente les outils de diagnostic, utilisés pendant la première phase (RT-PCR, isolement viral) et pendant la seconde phase de la maladie (sérologie).

<sup>25</sup> Un test de séroneutralisation mesure la capacité des anticorps à bloquer l'entrée du virus dans les cellules.

### 3.3 Traitement et prévention

Il n'existe pas de traitement spécifique de la TBE, aucun traitement curatif n'ayant démontré une efficacité significative. Les traitements appliqués sont avant tout symptomatiques et dépendent de la gravité clinique des encéphalites (voir chapitre 5). Dans les grandes cohortes rétrospectives, l'utilisation des corticoïdes est parfois associée à des manifestations cliniques plus durables, mais n'a pas d'impact sur la fréquence des séquelles neurologiques (Krawczuk et al. 2020). Parmi les antiviraux récents, le favipiravir a été utilisé sur un patient dont les symptômes ont ensuite disparu (Bologheanu et al. 2020). L'utilisation d'immunoglobulines par voie intra-veineuse est envisagée mais il n'y a pas au moment de la rédaction du rapport de données cliniques suffisantes permettant de proposer ce traitement. Par ailleurs, plusieurs anticorps monoclonaux (humains ou chimériques) sont actuellement en développement (Eyer, Seley-Radtke, et Ruzek 2023).

Le contrôle des infections liées au TBEV est de ce fait avant tout préventif. La prévention repose sur l'éviction de la piqure de tiques, notamment par le port de vêtements adaptés et l'utilisation de répulsifs (voir chapitre 11). Contrairement à la borréliose de Lyme, le retrait rapide de la tique ne permet pas une prévention efficace car le virus est présent dans les glandes salivaires et est inoculé dès le début du repas sanguin (Hermance et Thangamani 2018).

La vaccination demeure le moyen de prévention le plus efficace. Elle a permis, dans les pays à forte endémie comme en Autriche et en Lettonie, de faire baisser significativement l'incidence de l'infection par des campagnes de vaccination et l'adoption de la vaccination obligatoire (Heinz et al. 2013; Santonja et al. 2023; Zavadska et al. 2023). Les deux vaccins utilisés en Europe, Ticovac® et Encepur® utilisent des souches virales inactivées de sous-type européen, respectivement la souche Neudorfl et la souche Karlsruhe K23. Une immunisation à l'aide d'un vaccin contenant une souche virale inactivée du sous-type européen a montré une protection croisée totale contre les sous-types sibérien et extrême-oriental (Taba et al. 2017).

En France, la vaccination contre le TBEV a été introduite en 2005. Elle reste uniquement recommandée pour les personnes voyageant en Europe, dans les pays à forte endémie<sup>26</sup> (HCSP 2024), et elle n'est pas remboursée. Elle nécessite plusieurs injections avec des rappels réguliers (Figure 16). À partir de la troisième dose de vaccin, l'efficacité est proche de 100 %. Les échecs vaccinaux sont rares, évalués à 5 %, et plus fréquents dans la tranche d'âge supérieure à 50 ans, en corrélation avec un taux d'anticorps moins élevé (Hansson et al. 2020; Kantele et al. 2022). Ces échecs surviennent principalement chez des patients n'ayant pas eu la troisième injection de rappel de la primo-vaccination à un an ou de rappels (Hansson et al. 2020).

<sup>26</sup> D'après les recommandations sanitaires officielles aux voyageurs, « la vaccination contre l'encéphalite à tiques est recommandée pour les voyageurs devant séjourner en zone rurale ou boisée dans les régions d'endémie (zone tempérée de l'Eurasie) jusqu'à 1 500 mètres d'altitude, du printemps à l'automne, particulièrement en cas d'activités récréatives ou professionnelles en plein air » (HSCP 2024).

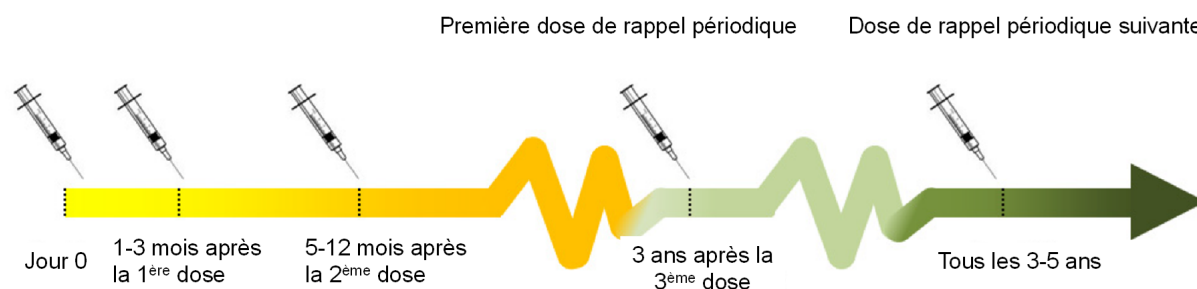


**Figure 16 : Exemple du schéma vaccinal mis en place en Autriche.**

Ce schéma vaccinal peut varier d'un pays à l'autre. En France, le schéma vaccinal conventionnel, très proche de celui mis en place en Autriche, comprend trois doses, administrées dans un intervalle d'un à trois mois (entre la première et la deuxième dose) et de cinq à 12 mois (entre la deuxième et la troisième dose). La vaccination ne permet pas une immunisation durable, plusieurs doses de rappel sont recommandées. Le schéma de base à trois doses peut donc être suivi de rappels tous les trois à cinq ans (une fois tous les cinq ans chez les sujets de moins de 60 ans et une fois tous les trois ans chez les sujets de plus de 60 ans) (Heinz et al. 2013). Source : Janik et al. (2020).

La durée de l'immunité après chaque rappel dépend de l'âge, avec une baisse de l'immunité nécessitant des rappels rapprochés chez les sujets de plus de 60 ans. À la suite de la vaccination de base, les intervalles de réinjections pour les rappels varient selon les recommandations en vigueur dans les différents pays européens (Steffen, Erber, et Schmitt 2021). En France, les rappels sont recommandés tous les cinq ans avant 60 ans. Dans une population jeune, certains pays ont fait le choix de proposer un intervalle de 10 ans entre chaque injection de rappel vaccinal, en se fondant sur les résultats de plusieurs études témoignant d'une immunité humorale satisfaisante 10 ans après la primo vaccination (Beran et al. 2019; Costantini et al. 2020; Zens et al. 2022; Angulo et al. 2023).

L'intérêt de la vaccination comme méthode de prévention est discuté dans le chapitre 11.

### 3.4 Surveillance de la TBE chez l'être humain

#### 3.4.1 La surveillance à l'échelle européenne

Les infections à TBEV sont notifiables par les états membres de l'Union Européenne et de l'Espace Economique Européen (UE/EEE) au Centre Européen de Prévention et Contrôle des maladies infectieuses (ECDC) depuis 2012<sup>27</sup>. Les modalités de surveillance diffèrent selon les états membres, même si la majorité en ont fait une maladie à déclaration obligatoire (DO) au niveau national (19 des 27 pays de l'UE). En France, la TBE est une maladie à DO depuis mai 2021 (Figure 17).

En 2022, l'ECDC rapportait que la surveillance restait volontaire et non obligatoire en Belgique, au Danemark, aux Pays-Bas<sup>28</sup>. Dans tous les autres pays de l'UE/EEE, la surveillance est obligatoire ; aucune donnée n'est disponible pour la Croatie. Au Royaume-Uni, la surveillance est volontaire alors qu'en Suisse, la TBE est une maladie à DO.

Dans tous les pays de l'UE/EEE, la surveillance est événementielle sauf en Belgique, République tchèque et en Slovaquie où la surveillance est programmée.

<sup>27</sup> <https://www.ecdc.europa.eu/en/news-events/european-commission-decision-add-tick-borne-encephalitis-list-communicable-diseases-be>

<sup>28</sup> <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/surveillance-systems-overview-2022>

Des données concernant le nombre de cas et les principales caractéristiques des patients sont publiées chaque année sur le site de l'ECDC<sup>29</sup> et sur les sites de pays européens hors UE (Office fédéral de la santé publique suisse notamment).

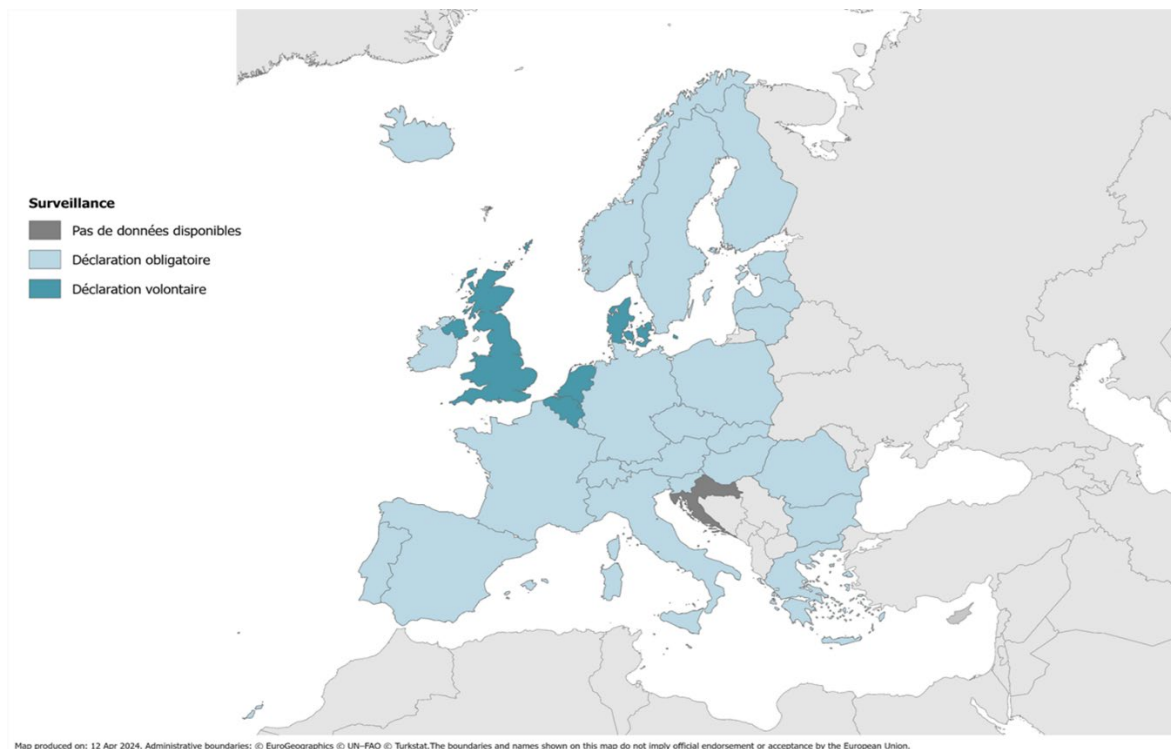


**Figure 17 : Carte des différents modes de surveillance en fonction des pays européen.**  
Source : <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/surveillance-systems-overview-2022>

### 3.4.2 La surveillance en France

De 2012 à 2021, la surveillance des infections à TBEV en France était réalisée par le Centre national de référence (CNR) des arbovirus. Cette surveillance non exhaustive permettait de suivre les tendances. Cette surveillance reposait sur la compilation des résultats des patients testés directement par le CNR et de ceux testés dans les quelques autres laboratoires réalisant le diagnostic en particulier au laboratoire de virologie du Centre hospitalier universitaire (CHU) de Strasbourg et par des laboratoires privés. En parallèle, des données épidémiologiques et cliniques étaient recueillies et publiées dès les premiers cas identifiés, par des équipes médicales dans les régions de plus forte incidence de l'est de la France, permettant de compléter la surveillance par la caractérisation des patients et des infections (Hansmann et al. 2006; Velay, Solis, Kack-Kack, et al. 2018).

Depuis mai 2021, les infections à TBEV sont des maladies à DO. Chaque cas doit être déclaré sans délai, par les cliniciens ou biologistes ayant établi le diagnostic, aux Agences Régionales de Santé (ARS) qui transmettent ensuite les données anonymisées à Santé publique France (SpF). Les objectifs de cette inscription sont de décrire les caractéristiques des cas, de suivre les tendances en termes de lieu, temps et personnes, et de détecter des épisodes de cas groupés.

<sup>29</sup> <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/monitoring/all-annual-epidemiological-reports>



Cette obligation, associée au nombre restreint de laboratoires en France<sup>30</sup> réalisant le diagnostic biologique, permet d'augmenter l'exhaustivité des cas identifiés en France, ayant acquis l'infection sur le territoire national ou lors d'un séjour dans un pays tiers. Compte tenu de la proportion importante de cas asymptomatiques ou présentant une infection non neurologique (et non spécifique), il est attendu que les diagnostics et les notifications concernent en majorité des patients avec une présentation clinique neurologique (méningites, méningo-encéphalites, myélites, atteinte neurologique périphérique).

La fiche de notification permet de recueillir des informations minimales concernant les lieux de résidence et de séjour, et les expositions à risque d'infection. Pour les cas d'infection acquis sur le territoire national, ou pour lesquels le lieu d'acquisition est ambigu, un questionnaire épidémiologique complémentaire à la DO est transmis au patient ou à un proche en cas d'incapacité de ce dernier.

À ces systèmes de surveillance pérennes, peuvent être parfois associées des études ponctuelles ou répétées dans le temps comme les études de séroprévalence, recherchant les anticorps spécifiques anti-TBEV en population générale ou dans des populations spécifiques (donneurs de sang, populations particulièrement exposées, etc.). Au moment des travaux du GT, aucune étude de séroprévalence n'a été réalisée en France pour la TBE dans la population générale. Des études de séroprévalence ont été menées dans l'est de la France, dans des populations exposées, comme les forestiers (Rigaud et al. 2016; Septfons et al. 2023). Une étude menée par l'Établissement français du sang (EFS) chez les donneurs de sang est en cours au moment de la rédaction de ce rapport.

## 3.5 Épidémiologie de la TBE chez l'être humain

### 3.5.1 Situation en Europe

La TBE est endémique dans plusieurs pays d'Europe centrale, du Nord et de l'Est, l'incidence la plus élevée ayant été observée historiquement dans les pays baltes et d'Europe centrale. Dans l'UE/EEE, la majorité des infections sont causées par le sous-type TBEV-Eu.

D'après les données de surveillance collectées par l'ECDC en 2022, 21 pays de l'UE/EEE ont notifié 3 516 cas confirmés de TBE. Ces cas sont rapportés suivant la définition de cas de l'UE<sup>31</sup>. La grande majorité de ces cas ont été contractés localement dans les pays déclarants. Le plus grand nombre de cas confirmés a été signalé par la République tchèque (709 cas), l'Allemagne (554 cas) et la Suède (465 cas). Aucun cas autochtone n'a à ce jour été rapporté à Chypre, en Espagne, en Islande, en Irlande, au Luxembourg, à Malte et au Portugal (Van Heuverswyn et al. 2023; ECDC 2024).

En 2022, le taux de notification était de 0,8 cas par 100 000 habitants dans l'UE/EEE. Ce taux était le plus élevé dans les pays baltes avec 13,4 cas pour 100 000 habitants en Lituanie, et 10,5 cas pour 100 000 habitants en Estonie. En 2022, la Lettonie n'a pas soumis de données à l'ECDC.

<sup>30</sup> Comme il n'y a que trois laboratoires qui font le test, c'est plus facile d'être exhaustif dans le recueil de données.

<sup>31</sup> Official Journal of the European Union. 2018. « COMMISSION IMPLEMENTING DECISION (EU) 2018/945 of 22 June 2018 on the communicable diseases and related special health issues to be covered by epidemiological surveillance as well as relevant case definitions ». <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018D0945&from=EN#page=45>.



La circulation du TBEV est très locale et les taux de notification varient d'une région à l'autre dans chaque pays d'Europe (Figure 18). En 2022, les plus hauts taux de notification au niveau régional ont été observés dans la région de Lääne en Estonie (33,6 cas par 100 000 habitants), la région de Utena en Lituanie (28,7 cas par 100 000 habitants) et la région de Bohême-du-Sud en République tchèque (22,0 cas par 100 000 habitants).

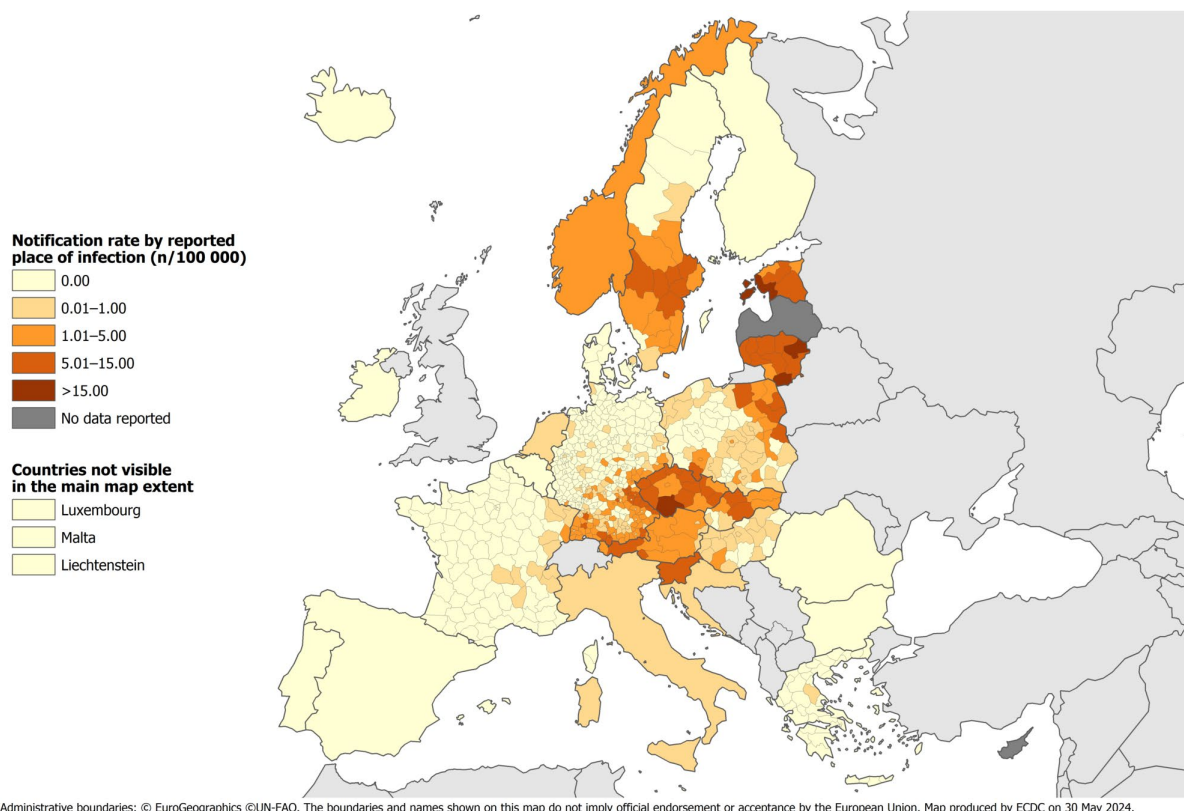


**Figure 18 : Taux de notification de cas confirmés de TBE par 100 000 habitants, UE/EEE, 2022.**

(Source : <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/notification-rates-confirmed-locally-acquired-tick-borne-encephalitis-cases-100>)

Sur les 2 852 cas dont l'issue est connue<sup>32</sup>, dix sont décédés des suites de la TBE, se traduisant par un taux de létalité de 0,35 %.

L'ECDC ne collecte pas d'informations sur les cas de TBE au Royaume-Uni<sup>33</sup> et en Suisse.

Le premier cas probable de TBE au Royaume-Uni a été rapporté en 2019 en lien avec une piqûre de tique (Kreusch et al. 2019). Depuis, trois cas probables ou confirmés ont été recensés dont un cas, le premier confirmé, en 2022 dans le Yorkshire d'après l'Agence britannique de sécurité sanitaire (UKHSA)<sup>34</sup>.

<sup>32</sup> Les notifications transmises par les instituts nationaux étant collectées sur la base des données des laboratoires, les informations sur l'issue des cas ne sont pas toujours disponibles.

<sup>33</sup> Depuis son retrait de l'Union européenne, effectif depuis le 31 janvier 2020.

<sup>34</sup> <https://www.gov.uk/government/news/tick-borne-encephalitis-detection-in-england>

En Suisse, une large partie du pays étant considérée comme endémique, la déclaration de la TBE<sup>35</sup> y est obligatoire depuis 1988. La Suisse a connu une épidémie majeure en 2018 et en 2021, 250 cas de TBE y ont été rapportés<sup>36</sup>.

Il n'y a pas de données disponibles au niveau européen sur la proportion de cas de TBE d'origine alimentaire par rapport aux cas liés à des piqûres de tiques. Toutefois, sur la base des résultats de deux revues systématiques récentes (Elbaz et al. 2022; Martello et al. 2022) et des données de surveillance européennes, la majorité des cas de TBE serait attribuée à des piqûres de tiques. Les cas de TBE alimentaires sont majoritairement rapportés par les pays d'Europe centrale et d'Europe de l'Est, ce qui est concordant avec les habitudes de consommation de produits au lait cru dans ces pays. De plus, pour les cas sporadiques l'origine alimentaire est difficile à établir (voir Chapitre 9).

Selon Van Heuverswyn et al. (2023), il y a eu une tendance à la hausse du nombre de cas entre 2012 et 2020 en UE/EEE (Heuverswyn et al. 2023), probablement due à une meilleure connaissance de la maladie (surveillance, méthode de diagnostic, etc.). En outre, il y a eu une expansion géographique des cas humains, en particulier dans les régions situées au nord-ouest des régions endémiques connues.

### 3.5.2 Situation en France

Comparée à d'autres pays européens, la France est un pays à faible incidence d'infections à TBEV. En pratique, avant 2020, le diagnostic était évoqué par les médecins devant un tableau de méningo-encéphalite, principalement en Alsace, en Haute-Savoie ou pour des patients revenant d'un voyage dans un pays à risque.

D'après les données de SpF et du CNR des arbovirus, la surveillance réalisée par le CNR a identifié 155 cas entre 2012 et 2020. En 2016, le pic du nombre de cas n'était *a priori* pas en lien avec une anadémie suite à une contamination alimentaire. Il n'y avait pas d'explication précise à cette augmentation du nombre de cas cette année-là, toutefois, aucune investigation n'a été faite. Le pic observé en 2020 (\* sur le graphe) correspond à une situation épidémique exceptionnelle (décrite plus loin dans le rapport).

<sup>35</sup> Couramment appelée méningo-encéphalite verno-estivale (FSME) en Suisse

<sup>36</sup> <https://www.bag.admin.ch/bag/fr/home/zahlen-und-statistiken/zahlen-zu-infektionskrankheiten.exturl.html/aHR0cHM6Ly9tZWxkZXN5c3RlbWUuYmFnYXBwcy5jaC9pbmZyZX/BvcnRpbm-cvZGF0ZW5kZXRhWxzL2YvZnNtZS5odG1sP3dlYmdy/YWI9aWdub3Jl.html>

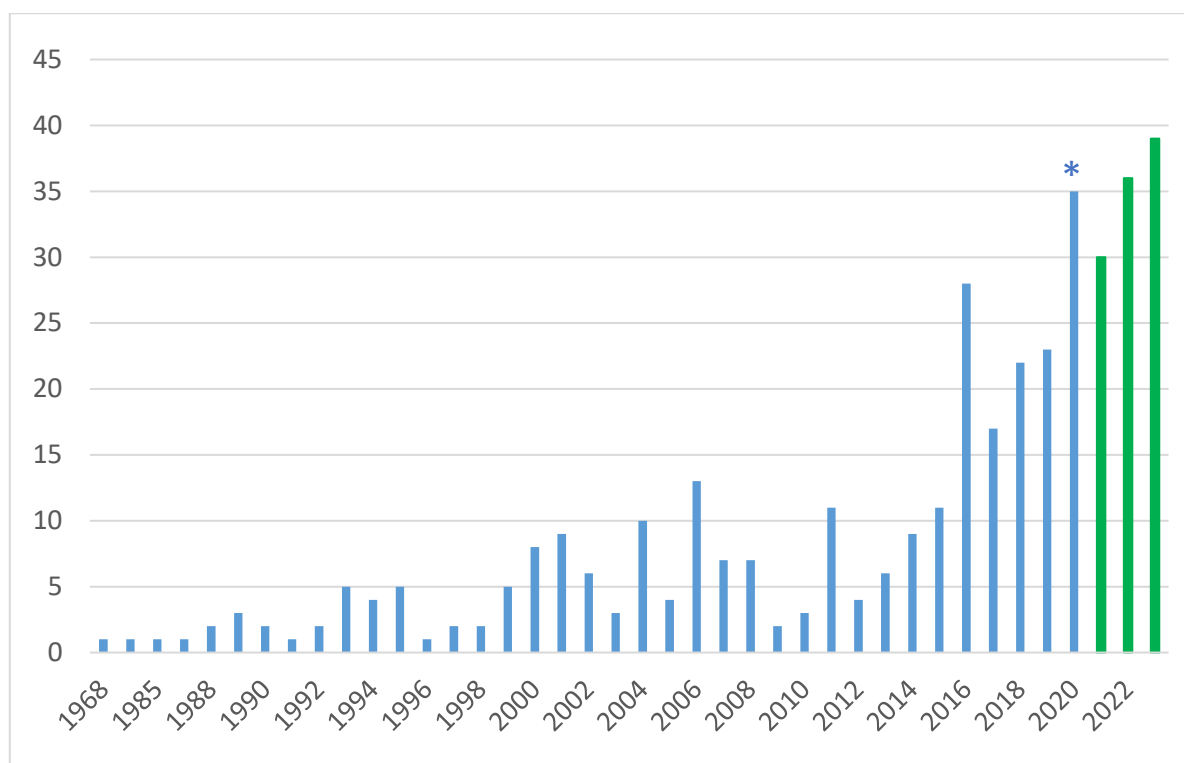


**Figure 19 : Nombre de cas humains recensés en France par année entre 1985 et 2023.**

Source : d'après les données de SpF, Velay et Hansmann

\* : + 44 cas en 2020 du fait du foyer de contamination alimentaire dans l'Ain.

Les données 2021-2023 (en vert) sont issues de la déclaration obligatoire

Le premier cas humain de TBE en France a été notifié en Alsace en 1968, dans une forêt au sud de Strasbourg. Entre 1968 et 2015, moins de 10 cas humains par an étaient diagnostiqués au niveau national, 90 % des cas étaient retrouvés en Alsace. La plupart des cas alsaciens sont documentés dans les vallées vosgiennes et en zone périurbaine autour de Strasbourg (Velay, Solis, Kack-Kack, et al. 2018) (Figure 20).

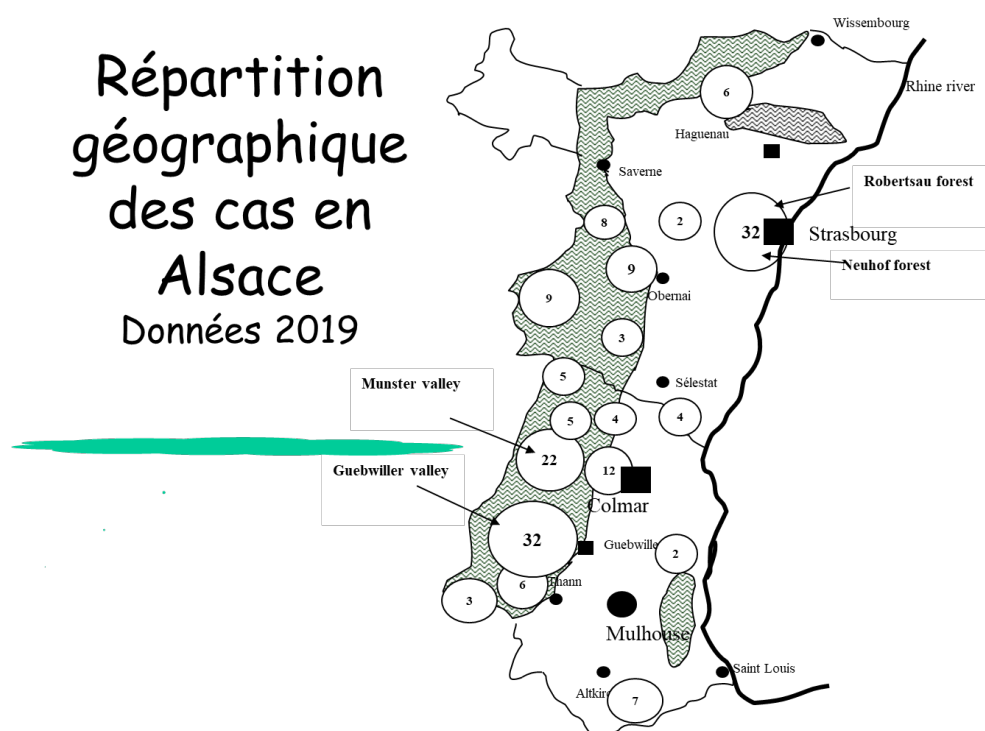


**Figure 20 : Répartition géographique des cas humains de TBE répertoriés entre 1968 et 2019 en Alsace.** Source : Hansmann et Velay, com. pers.

En Alsace, l'incidence des cas tend à augmenter depuis 2013 avec le recensement de 64 cas de 1968 à 2003 versus 54 cas sur la seule période 2013-2016, et la mise en évidence d'un nombre élevé de cas sans liens apparents (26 cas) en juin 2016 (Velay, Solis, Kack-Kack, et al. 2018). En dehors de l'Alsace, des cas sporadiques ont été rapportés dans l'arc alpin, en particulier en Haute Savoie depuis 2003 (Velay, Solis, Kack-Kack, et al. 2018).

En 2017 et 2018, trois cas ont été diagnostiqués pour la première fois dans la Loire et la Haute-Loire, avec une exposition possible dans le massif forestier du Livradois-Forez, suggérant une circulation virale pérenne dans cette zone (Botelho-Nevers et al. 2019).

En mai 2020, un épisode de cas groupés (41 cas confirmés<sup>37</sup> dont 32 avec une présentation clinique neurologique) a été identifié dans le département de l'Ain, zone non considérée alors comme une zone habituelle de circulation du virus. L'enquête épidémiologique a mis en évidence l'origine alimentaire de cet épisode, les personnes infectées ayant toutes consommé les fromages non pasteurisés d'une même exploitation caprine. Une circulation intense du virus a ensuite été mise en évidence chez les animaux de l'exploitation, dans des tiques collectées dans la zone de pâture des animaux (avec isolement de virus dans les tiques) ainsi que la présence d'ARN viral dans le lait et les fromages (Gonzalez et al. 2022). Il s'agissait du premier épisode de transmission alimentaire identifié en France.

Suite à l'inscription des infections à TBEV dans la liste des maladies à DO, d'après les données de SpF<sup>38</sup>, 71 cas ont été déclarés entre mai 2021 et mai 2023 (30 en 2021, 36 en 2022 et 5 jusqu'en mai 2023<sup>39</sup>), 86 % des cas humains (n = 61) ayant été infectés en France.

<sup>37</sup> D'après le rapport de SpF, sur les 44 cas confirmés, 41 cas ont rapporté avoir consommé du fromage au lait cru  
<sup>38</sup> <https://www.santepubliquefrance.fr/content/download/546231/3961023?version=1>

<sup>39</sup> Données incomplètes sur l'année 2023 car les données sont issues du bilan des cas déclarés de mai 2021 à mai 2023 de SpF.

Parmi les 71 cas notifiés, quatre cas étaient des enfants de moins de 16 ans et 15 étaient âgés de plus de 65 ans ; 94 % des cas ont été hospitalisés en raison d'une présentation clinique neurologique. Aucun décès n'était survenu au moment de la déclaration.

Parmi les cas, 15 % exerçaient des professions les exposant particulièrement à des piqûres de tiques : éleveur ou famille d'un éleveur ou ouvrier d'élevage de chevaux ou de ruminants (n = 7), agent de l'Office National des Forêts (ONF) (n = 1), horticulteur (n = 1), forestier (n = 1), étudiant en lycée agricole (n = 1).

Pour six cas, une contamination alimentaire, en région Auvergne-Rhône-Alpes (AURA), était suspectée. Parmi eux, trois cas constituaient un foyer de TIAC relié à la consommation d'un même fromage de chèvre. Dans un cas la personne infectée avait consommé du lait cru de chèvre avant la survenue de symptômes mais avait refusé d'être testée. Enfin, pour deux cas, qui vivaient dans des exploitations agricoles produisant des produits à base de lait cru, il était impossible de déterminer si la contamination faisait suite à la consommation des produits laitiers ou à une piqûre de tique.

La Haute-Savoie est le département ayant rapporté le plus de cas entre mai 2021 et mai 2023, devant les deux départements alsaciens (Figure 20). La région AURA est désormais reconnue comme une zone importante de circulation du virus, avec des massifs particulièrement à risque, tels que le Forez ou le Pilat. Depuis sa zone endémique historique, le virus s'est progressivement répandu atteignant maintenant l'Ardèche et le Cantal et s'étendant à l'ouest jusqu'à la Marne.

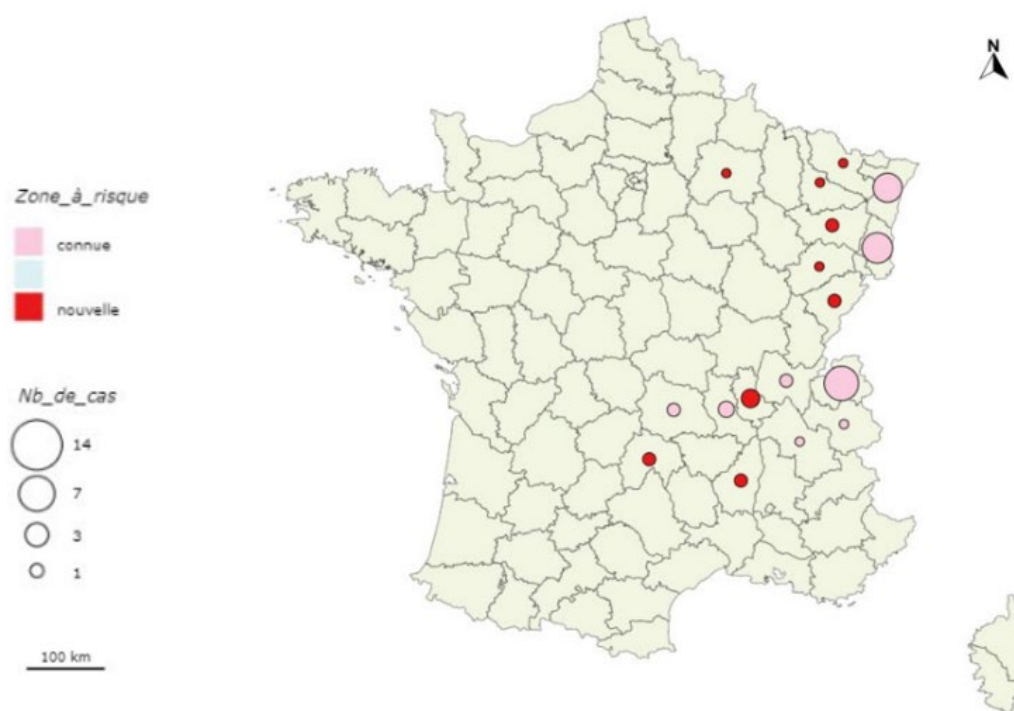


**Figure 21 : Lieu probable de contamination des cas autochtones d'infection par le TBEV déclarés en France de mai 2021 à mai 2023 (n= 61).**

Les points roses correspondent aux cas survenus dans un département connu à risque et les points rouges aux cas survenus dans des départements où aucun cas humain n'avait été notifié précédemment. Source : SpF<sup>40</sup>

Les dernières données épidémiologiques publiées par SpF en juin 2024, font état de 39 cas d'infection à TBEV en France, pour l'ensemble de l'année 2023<sup>41</sup>, ce qui confirme une tendance à l'augmentation de l'incidence par rapport aux années antérieures à 2020<sup>42</sup>. Les départements de contamination sont situés dans l'est de la France (Figure 21). Treize patients (33,3 %) ont déclaré avoir consommé des produits au lait cru durant la période de contamination, sans qu'on puisse établir de façon certaine un lien de cause à effet étant donné qu'ils rapportaient aussi des expositions aux tiques. Vingt-quatre patients (61,5 %) ont rapporté une piqûre de tique.

Les infections à TBEV sont de gravité variable chez l'être humain avec des manifestations cliniques différentes selon les sous-types du virus. Les personnes infectées peuvent présenter des symptômes allant d'une fièvre bénigne à des complications neurologiques graves. Le diagnostic, reposant sur des outils moléculaires et sérologiques, peut être assez complexe ; d'une part les symptômes peu spécifiques de la première phase de la maladie compliquent la détection, et d'autre part, les outils sérologiques disponibles manquent de spécificité et

<sup>40</sup><https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-a-transmission-vectorielle/encephalite-a-tiques/documents/bulletin-national/encephalites-a-tiques-tbe-en-france.-bilan-des-cas-declares-de-mai-2021-a-mai-2023>

<sup>41</sup> [bullnat\\_tbe\\_20240627 \(1\).pdf](#)

<sup>42</sup> Il peut également s'agir d'un meilleur diagnostic du fait de la déclaration obligatoire et d'une meilleure connaissance de la maladie du corps médical.

compliquent la détection. Actuellement, il n'existe pas de traitement curatif, et la prévention repose sur la vaccination et l'évitement des piqûres de tiques.

En Europe, la surveillance, qu'elle soit obligatoire (par la DO) ou volontaire, se fait dans la majorité des pays et est coordonnée par l'ECDC. En France, bien que l'incidence soit faible, des foyers localisés émergent, notamment en Alsace et en région AURA. Depuis 2021, la TBE est inscrite parmi les maladies à DO, permettant une meilleure exhaustivité des données grâce à la transmission des cas aux ARS. Cette surveillance inclut la collecte de données épidémiologiques et l'analyse des expositions à risque, comme les piqûres de tiques ou la consommation de produits laitiers non pasteurisés.

Au niveau européen, la déclaration de cas confirmés définis par l'ECDC repose sur des critères cliniques plus restrictifs qu'en France (symptômes d'une inflammation du système nerveux central), ce qui peut contribuer à une plus forte sous-détection.

Toutefois, en Europe, comme au niveau français, les données montrent une expansion géographique et une augmentation des cas, liée à une probable augmentation de l'incidence de la maladie mais également à l'amélioration des méthodes de diagnostic.



## 4 Évaluation économique du fardeau sanitaire de la TBE

### 4.1 Méthode de l'évaluation économique du fardeau sanitaire

L'évaluation économique du fardeau sanitaire d'une maladie permet d'estimer, dans des unités économiques ou de bien-être, les impacts d'une maladie à l'échelle d'un territoire et pour une période donnée. Elle combine les éléments épidémiologiques, observés ou modélisés, avec des paramètres de coûts de prise en charge et de pertes, économiques et de bien-être. Bien que l'incidence de la TBE soit aujourd'hui très faible en France, ce premier calcul du fardeau contribuera à identifier les points les plus saillants des pertes économiques occasionnées par cette maladie et d'éclairer par là des choix en termes de mesures de gestion, en fournissant une valorisation monétaire du bénéfice associé à un cas évité, c'est-à-dire le coût d'un cas de la maladie. Il fournira également une mesure de référence pour de futures analyses en fonction de l'évolution de la maladie en France. Il convient de rappeler qu'une évaluation économique des impacts d'une maladie n'a pas vocation à donner un prix à la santé et/ou à la vie des individus concernés mais à fournir une estimation de l'ampleur des impacts de la maladie à travers une unité monétaire. Ces estimations de coûts économiques des impacts peuvent ensuite être comparées au coût potentiel d'options de gestion ou du coût d'autres maladies, par exemple, mais elles ne sauraient en aucun cas constituer l'unique critère de décision d'une politique de santé publique.

Cette section a donc pour objectif d'évaluer le coût de l'encéphalite à tiques en France. Ce coût comprend :

- 1) **les coûts directs**, qui représentent les ressources consommées (en biens, en services, en temps) au cours de la maladie. Ils incluent les coûts directs médicaux, relevant de la sphère sanitaire (principalement, les soins hospitaliers et ambulatoires), et les coûts directs non médicaux, induits par le traitement mais extérieurs à la sphère sanitaire (par exemple le transport non médicalisé) ;
- 2) **les coûts indirects**, qui représentent les ressources rendues indisponibles du fait d'un état de santé dégradé ou d'un décès précoce. Ils incluent la perte de productivité des individus en activité empêchés de travailler (absence au travail) du fait de la maladie, ou celle de leurs aidants salariés par ailleurs et empêchés de travailler, ainsi que le temps perdu (en termes d'opportunité) à consacrer à d'autres activités (production de services non marchands par exemple) ;
- 3) **les coûts intangibles**, qui mesurent la valeur de la perte de qualité de vie et/ou des années de vie perdues du fait d'un décès prématuré causé par la maladie. Ces coûts sont généralement exprimés en « année de vie ajustée sur l'incapacité », soit, en anglais, *Disability Adjusted Life Years* (DALYs). Cet indicateur composite décompte les conséquences d'une maladie sous la forme d'années de vie perdues du fait d'une mortalité prématurée et de fractions d'années de vie perdues du fait d'une incapacité. Les DALYs peuvent également être valorisés en unité monétaire afin d'ajouter ces coûts intangibles aux coûts directs et indirects et estimer ainsi un coût total du fardeau.

L'estimation du coût repose sur une modélisation reconstituant l'évolution des patients dans les différents états de santé caractéristiques de la maladie. Pour chaque composante du coût

(direct, indirect, intangible), le coût associé à chaque état de santé est estimé puis le coût moyen par patient est calculé comme la moyenne du coût, pondérée par la proportion de patients passant dans chaque état de santé.

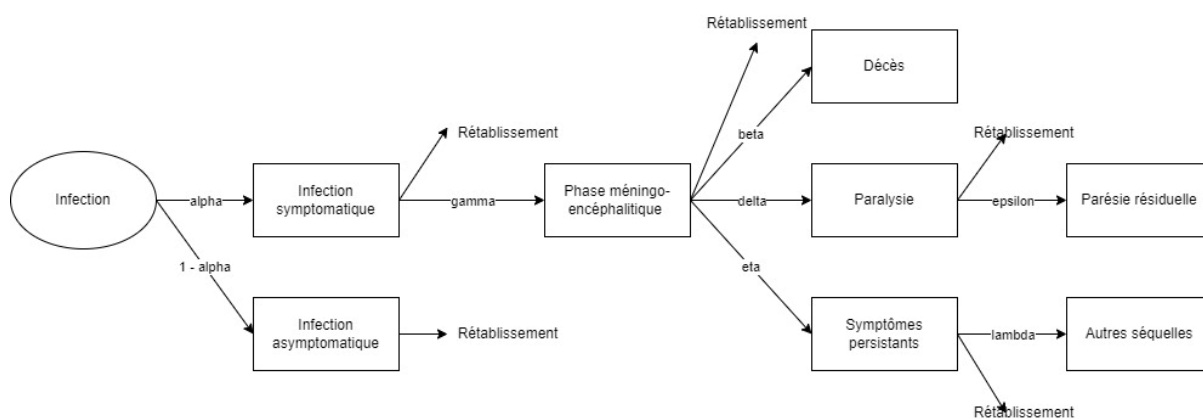
#### 4.1.1 Modélisation de l'évolution des patients dans la maladie

L'évaluation du coût de la TBE en France dans ce rapport s'appuie sur le *Burden of Communicable Disease in Europe (BCoDE) toolkit*, un logiciel d'accès libre développé par l'ECDC. Ce logiciel permet de simuler les différents états de santé associés à de nombreuses maladies<sup>43</sup> par des probabilités de transition d'un état à un autre (voir Source : modèle de l'ECDC traduit par l'Anses

Figure 22) et d'en déduire les DALYs perdus, au total, et par catégorie d'âge et de sexe. A partir du nombre total de cas symptomatiques, renseignés par âge et par sexe, le modèle BCoDE établit, par des simulations de Monte-Carlo<sup>44</sup>, la progression dans la maladie et les DALYs perdus. Si nécessaire, ce modèle permet de corriger l'estimation, la déclaration et l'attribution des cas (voir le rôle de ces paramètres dans la section 4.3).

L'estimation du nombre de cas par état de santé et des DALYs perdus associés est fondée sur un arbre de décision (Source : modèle de l'ECDC traduit par l'Anses

Figure 22) simulant l'évolution de la maladie en tenant compte des probabilités (alpha, gamma, etc.) d'évoluer vers différents états de santé, incluant le rétablissement et la durée passée dans chaque état. Cette évolution est ensuite transposée à l'échelle de la population considérée en intégrant les données épidémiologiques relatives à la population totale et au nombre de cas de la maladie recensés pour le pays considéré. La description du modèle est détaillée en Annexe 3.



**Légende :** La probabilité du rétablissement est égale à 1 moins la probabilité d'évoluer dans un stade suivant de la maladie.

Source : modèle de l'ECDC traduit par l'Anses

**Figure 22 : Évolution de la TBE dans l'outil BCoDE.**

<sup>43</sup> 117 maladies transmissibles et six infections associées aux soins dans 30 pays de l'espace économique européen.

<sup>44</sup> La méthode Monte-Carlo estime une approximation de variables données par des techniques probabilistes en opérant de très nombreuses simulations numériques.

Des hypothèses de travail ont été retenues, dans une perspective conservatrice, entendue comme reposant sur les hypothèses minimisant le coût, pour réaliser cette estimation en France, où le nombre de cas est très réduit. Ces étapes méthodologiques préliminaires sont explicitées ci-dessous, avant de présenter les résultats finaux dans la section 4.2.

Pour estimer le fardeau à l'échelle de la France, le modèle BCoDE a été alimenté à partir des cas recensés depuis la mise en place de la déclaration obligatoire des cas de TBE en 2021, soit 71 cas entre mai 2021 et mai 2023 (cas de TBE déclarés en France de mai 2021 à mai 2023, source : Santé Publique France). En l'absence de données annuelles, le fardeau est d'abord estimé sur deux ans avant d'être ramené à un fardeau annuel.

Compte-tenu du faible nombre de cas observés, l'objectif de la démarche est de poser les bases d'une estimation. L'estimation sera consolidée grâce au cumul des données des années à venir.

Le bilan de Santé publique France rapporte :

- un nombre de 71 cas sur deux ans parmi lesquels 67 cas (94 %) ont été hospitalisés, aucun n'était décédé au moment de la déclaration ; 26 individus (37 %) ont présenté une méningite, 27 (38 %) une encéphalite, neuf (13 %) une méningo-encéphalite et deux (3 %) une encéphalomyélite. Sept cas (10 %) n'ont présenté aucun signe neurologique ;
- un ratio Hommes/Femmes de 1,7 ;
- Cinquante-deux cas entre 16 et 65 ans, quatre cas de moins de 16 ans et 15 cas de plus de 65 ans.

Le traitement des données préalable à leur introduction dans le modèle BCoDE a été le suivant :

- les cas ont été répartis selon le ratio Hommes/Femmes (1,7) rapporté par Santé publique France (soit 26 femmes et 45 hommes) ;
- les cas ont été répartis par âge en partant des trois catégories distinguées par Santé publique France (< 16 ans, 16-65 ans et > 65 ans), et en appliquant ensuite une répartition plus fine<sup>45</sup>, équivalente à la répartition des cas observée en Alsace en 2020<sup>46</sup>, seule source disponible détaillant des catégories d'âge plus fines. Compte tenu du profil des patients recensés par la déclaration obligatoire, l'hypothèse de travail retenue ici est que tous les patients identifiés comme patients TBE en France le sont au stade défini dans le modèle comme « méningo-encéphalite ». Or les cas qui doivent être renseignés dans le modèle BCoDE sont les cas « symptomatiques », sachant que seulement 20 à 30 % de ces cas « symptomatiques » évoluent vers le stade « méningo-encéphalite » (probabilité gamma du modèle). Le nombre de cas qui a été saisi à l'entrée du modèle est donc le nombre de cas détectés en France multiplié ensuite par 4 pour représenter l'ensemble des cas infectés. Cela permet donc de retomber ensuite à environ 71 patients au stade « méningo-encéphalitique »<sup>47</sup> comme estimé en France ;

<sup>45</sup> Par simplification il a été considéré que les patients âgés de plus de 15 ans (seuil de catégorie Santé publique France) avaient en fait plus de 19 ans (seuil de catégorie BCoDE) et que les patients de plus de 65 ans (seuil de catégorie Santé publique France) avaient plus de 64 ans (seuil de catégorie BCoDE).

<sup>46</sup> Communication personnelle Yves Hansmann et Aurélie Velay (2024).

<sup>47</sup> Le modèle attribue aléatoirement (selon une distribution statistique uniforme) un taux de progression compris entre 20 et 30%.

- aucune correction de l'estimation, de la déclaration ou de l'attribution des cas n'a été intégrée dans la modélisation<sup>48</sup> ;
- 1 000 simulations ont été réalisées dans l'approche Monte-Carlo<sup>49</sup> ;
- aucun facteur d'actualisation (pondération du présent au détriment du futur) n'a été appliqué.

Le tableau en Annexe 3 présente le nombre de cas symptomatiques par sexe et classe d'âge sur deux ans obtenus en France après application des hypothèses de répartition des cas présentées ci-dessus.

#### 4.1.2 Estimation des coûts directs

L'estimation des coûts directs repose sur une reconstitution du parcours de soins théorique puis sur la valorisation monétaire des soins mis en œuvre dans le cadre de ce parcours, selon l'état de santé.

##### 4.1.2.1 Reconstitution d'un parcours de soin théorique de la TBE en France

En raison du faible nombre de cas en France et de l'absence de données sur la prise en charge réalisée pour chaque cas, l'estimation des coûts directs de prise en charge conduite dans ce rapport s'appuie sur une prise en charge théorique qui a été reconstituée pour chaque état de santé du modèle BCoDE (voir Source : modèle de l'ECDC traduit par l'Anses

Figure 22). Cette estimation s'appuie sur les données de prise en charge de patients diagnostiqués pour la TBE à Strasbourg entre 2016 et 2022, sur les séjours hospitaliers types en lien avec la maladie et sur dire d'experts. Seuls les coûts spécifiques à l'infection à TBEV sont pris en compte.

La mention de séjour hospitalier correspondant à la phase méningo-encéphalitique a été recherchée dans les données relatives à l'activité hospitalière de la base Scansanté de l'ATIH (Agence Technique de l'Information Hospitalière)<sup>50</sup>. Dans un premier temps, le code de la Classification Internationale des maladies (CIM10) du diagnostic correspondant à la TBE a été identifié comme le code A84 (Encéphalite virale transmise par des tiques)<sup>51</sup>. En 2023, 27 séjours ont été recensés avec ce code comme diagnostic principal<sup>52</sup>, dont 20 séjours avec le code A848 (Autres encéphalites virales transmises par des tiques)<sup>53</sup>. Ces séjours ayant pour diagnostic principal le code A848 sont retenus comme proxy des séjours pour la TBE.

Dans un second temps, le séjour le plus fréquemment associé à ce diagnostic principal a été identifié comme le séjour GHM 01M05 (Infections du système nerveux à l'exception des méningites virales)<sup>54</sup>. En 2023, 11 350 séjours codés GHM 01M05 ont été recensés, parmi lesquels 21 séjours avaient pour code de diagnostic principal A848 ; la durée moyenne de séjour était de 12,92 jours pour l'ensemble des séjours, et de 21,62 jours pour les séjours associés au diagnostic principal A848. Ce GHM a été retenu comme séjour hospitalier-type

<sup>48</sup> Certaines études postulent que seulement 50% des cas produits sont déclarés et appliquent donc une correction (Šmit et Postma 2015).

<sup>49</sup> Les probabilités de transition suivent une distribution uniforme entre les deux bornes présentées dans le tableau des probabilités de transition en annexe. Lorsqu'une seule valeur est rapportée, le paramètre ne varie pas dans l'analyse de sensibilité probabiliste.

<sup>50</sup> [Hospitalisations par groupe, diagnostic, acte | Stats ATIH \(scansante.fr\)](https://scansante.fr/).

<sup>51</sup> Dont la méningoencéphalite virale transmise par des tiques : [2022.9bis.BOS.pdf \(sante.gouv.fr\)](https://2022.9bis.BOS.pdf(sante.gouv.fr)).

<sup>52</sup> [MCO par diagnostic ou acte | Stats ATIH \(scansante.fr\)](https://scansante.fr/), données au 25 juin 2024.

<sup>53</sup> [MCO par diagnostic ou acte | Stats ATIH \(scansante.fr\)](https://scansante.fr/), données au 25 juin 2024.

<sup>54</sup> [MCO par GHM ou racine | Stats ATIH \(scansante.fr\)](https://scansante.fr/), données au 7 mars 2024.

de la phase méningo-encéphalitique de TBE. De plus, afin de refléter la durée plus longue des séjours avec diagnostic principal A848 (21,62 jours) par rapport à l'ensemble des séjours GHM 01M05 (12,92 jours), le niveau de sévérité 3 (sur 4) a été retenu pour valoriser le coût du séjour<sup>55</sup>.

Les soins associés à chaque état de santé sont détaillés dans le Tableau 2.

Dans le cadre de cette analyse exploratoire, et conformément au cadre d'une perspective conservatrice déjà mentionnée, le parcours de soins théorique est un parcours a minima, qui a vocation à être enrichi avec l'augmentation potentielle de l'incidence et l'amélioration du recueil des données de prise en charge des patients dans les prochaines années. En particulier, les soins associés aux états de parésie et aux symptômes persistants sont très probablement sous-estimés pour l'instant. Par exemple, les coûts liés à un accompagnement par une infirmière à domicile ne sont pas pris en compte (voir la note 59).

**Tableau 2 : Parcours de soins théorique selon l'état de santé**

| Etat de santé du modèle                                  | Parcours de soins                                                                                       | Coût par état de santé          |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Infection symptomatique</b>                           | Consultation médecine générale + Paracétamol                                                            | $C_{CG} + C_P$                  |
| <b>Phase méningo-encéphalitique (moyen, niveau 3)</b>    | séjour 01M053                                                                                           | $C_{MH3}$                       |
| <b>Phase méningo-encéphalitique (plancher, niveau 1)</b> | séjour 01M051                                                                                           | $C_{MH1}$                       |
| <b>Phase méningo-encéphalitique (plafond, niveau 4)</b>  | séjour 01M054                                                                                           | $C_{MH4}$                       |
| <b>Paralysie</b>                                         | Orthophonie (50 séances* chez 1 patient sur 50)<br>+ kinésithérapie (1 séance par semaine pendant 1 an) | $C_O + 52 * C_K$                |
| <b>Parésie résiduelle</b>                                | Kinésithérapie (1 séance par semaine pendant 1 an chez tous les patients)                               | $52 * C_K$                      |
| <b>Symptômes persistants</b>                             | 1 consultation généraliste + 2 consultations spécialistes + 2 séances de kinésithérapie                 | $C_{CG} + 2 * C_{CS} + 2 * C_K$ |
| <b>Autres séquelles</b>                                  | 2 consultations spécialistes                                                                            | $2 * C_{CS}$                    |

\* suivi recommandé pour une première prise en charge d'orthophonie en cas de paralysie.

<sup>55</sup> Chaque séjour peut être associé à quatre niveaux de sévérité différents (de 1, le moins sévère, à 4) reflétant l'hétérogénéité des coûts au sein d'un séjour (du fait par exemple de durées de séjour hétérogènes). En l'absence de données sur la sévérité des séjours associés au diagnostic A848, le niveau de sévérité a été mobilisé pour tenir compte de la durée de séjour plus longue que la moyenne. Les coûts de séjour pour les quatre niveaux de sévérité sont donnés à titre indicatif.

4.1.2.2 Valorisation des coûts directs du parcours de soins

Les tarifs unitaires des actes sont présentés dans le  
Tableau 3.

Tableau 3 : Tarifs des soins

| Acte ou produit                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Variabl<br>e     | source                                                            | Tarif<br>unitaire |                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|
| <b>Consultation médecine générale</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | C <sub>CG</sub>  | tarif<br>conventionnel<br>01/01/2024                              | 26,50             | €                |
| <b>Consultation médecine spécialisée</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | C <sub>CS</sub>  | tarif<br>conventionnel<br>01/01/2024                              | 30,00             | €                |
| <b>Paracetamol (boîte)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | C <sub>P</sub>   | BdM_IT, 2024                                                      | 1,16              | €                |
| <b>Kinésithérapie</b><br>Rééducation des affections neurologiques stables ou évolutives pouvant regrouper des déficiences diverses (commande musculaire, tonus, sensibilité, équilibre, coordination, etc.) en dehors de l'hémiplégie et de la paraplégie, notamment les affections neurodégénératives, localisation des déficiences à 2 membres ou plus, ou d'un membre et à tout ou partie du tronc et de la face<br>NGAP : 10 NMI par séance | C <sub>K</sub>   | NMI (AMK/AMS)<br>= 2,21 €<br>tarif<br>conventionnel<br>22/02/2024 | 22,10             | €, par<br>séance |
| <b>Orthophonie</b><br>Rééducation et/ou maintien et/ou adaptation des fonctions de communication, du langage, des troubles cognitivo-linguistiques et des fonctions oro-myo-faciales chez les patients atteints de pathologies neurologiques, 15 AMO par séance (NGAP)<br>1ère série de 50 séances renouvelable                                                                                                                                 | C <sub>O</sub>   | AMO = 2,60 €<br>(tarif<br>conventionnel<br>26/01/2024)            | 40,82             | €, par<br>séance |
| Infection du système nerveux à l'exception des méningites virales Niveau 1 (01M051)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | C <sub>MH1</sub> | tarif GHS 2023 (ATIH)                                             | 2 966,16          | €                |
| Infection du système nerveux à l'exception des méningites virales Niveau 2 (01M052)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | C <sub>MH2</sub> | tarif GHS 2023 (ATIH)                                             | 6 244,90          | €                |
| <b>Infection du système nerveux à l'exception des méningites virales Niveau 3 (01M053)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | C <sub>MH3</sub> | <b>tarif GHS 2023 (ATIH)</b>                                      | <b>8 959,34</b>   | <b>€</b>         |
| Infection du système nerveux à l'exception des méningites virales Niveau 4 (01M054)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | C <sub>MH4</sub> | tarif GHS 2023 (ATIH)                                             | 14 956,21         | €                |

NGAP : nomenclature générale des actes professionnels. Les codes AMO et NMI sont les lettres-clés servant à coder les actes professionnels.

Il en résulte les coûts associés à chaque état de santé suivants (Tableau 4) :

**Tableau 4 : Coût par état de santé**

| Parcours de soin selon la phase     | Prise en charge                                                                                     | Coût                    |          |   |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------|---|
|                                     |                                                                                                     |                         |          |   |
| <b>Infection symptomatique</b>      | Consultation MG + Paracetamol                                                                       | $C_{CG}+C_P$            | 27,66    | € |
| <b>Phase méningo-encéphalitique</b> | séjour 01M053                                                                                       | $C_{MH3}$               | 8 959,34 | € |
| <b>Paralysie</b>                    | Orthophonie (50 séances chez 1 patient sur 50) + kinésithérapie (1 séance par semaine pendant 1 an) | $C_O+52*C_K$            | 1 190,02 | € |
| <b>Parésie résiduelle</b>           | Kinésithérapie (1 séance par semaine pendant 1 an chez tous les patients)                           | $52*C_K$                | 1 149,20 | € |
| <b>Symptômes persistants</b>        | 1 consultation généraliste + 2 consultations spécialistes + 2 séances kinésithérapie                | $C_{CG}+2*C_{CS}+2*C_K$ | 130,70   | € |
| <b>Autres séquelles</b>             | 2 consultations spécialisées                                                                        | $2*CCS$                 | 60,00    | € |

#### 4.1.3 Estimation des coûts indirects

À partir du parcours de soin théorique, les coûts indirects intégrés à l'analyse sont les coûts d'absence professionnelle du patient<sup>56</sup>. L'analyse conduite dans ce rapport fait les hypothèses conservatrices suivantes, en l'absence de données de suivi détaillées :

le nombre total de jours d'absence au travail  $N_A$  est estimé :

- pour la phase symptomatique ( $N_{A-S}$ ) : à une journée (consultation généraliste) ;
- pour la phase méningo-encéphalitique ( $N_{A-ME}$ ) : au nombre de jours d'hospitalisation (21,62 jours).

En l'absence de données, aucune absence au travail n'est valorisée au-delà du séjour hospitalier, pour la phase méningo-encéphalitique et pour les phases postérieures à la phase méningo-encéphalitique, ce qui n'est pas forcément représentatif de la réalité, et conduit à produire une estimation basse du coût de la maladie. Une analyse de sensibilité complémentaire est menée en considérant un arrêt de travail de cinq jours pour la phase symptomatique et un arrêt de travail de 10 jours au-delà de l'hospitalisation pour la phase méningo-encéphalitique.

<sup>56</sup> Le coût indirect inclut en principe l'ensemble de la production perdue, qu'elle fasse l'objet ou non d'une rémunération. En l'absence de données précises pour estimer les coûts indirects non liés à l'activité professionnelle (activité domestique ou bénévole par exemple), et dans la perspective conservatrice minimaliste retenue pour l'analyse, le coût lié aux autres activités productives non marchandes n'est pas pris en compte.



Ces jours concernent les patients en âge de travailler (19-65 ans), et reflètent alors l'absence du patient lui-même, ainsi que celle des enfants (< 19 ans), car l'absence d'au moins un des parents est alors prise en compte. Les patients de plus de 65 ans n'entrent donc pas dans ce calcul des coûts indirects (voir la note 59).

Le calcul conduit donc à estimer pour les phases symptomatiques  $N_{A-S} = 1$ , et pour les phases ME,  $N_{A-ME} = 21,62$ .

En l'absence de données sur un éventuel profil socio-économique des cas de TBE, **une journée d'absence au travail** est valorisée par le salaire brut moyen journalier français<sup>57</sup> augmenté des cotisations patronales (207,6 euros, source INSEE 2021) pondéré par le taux d'emploi de la population en âge de travailler (68,4 % en 2023, source INSEE)<sup>58</sup>, soit un coût  $C_A$  de 142,0 euros par jour d'absence. L'éventuel impact de séquelles dues à la TBE sur la productivité à long terme des individus n'est pas considéré ici.

Le calcul conduit à estimer les coûts indirects suivants par état de santé, pour les mineurs et les adultes en âge de travailler :

- Symptomatique :  $C_A * N_{A-S} = 142,0 * 1 = 142,0$  euros
- Phase méningo-encéphalitique :  $C_A * N_{A-ME} = 142,0 * 21,62 = 3\,070,01$  euros

#### 4.1.4 Estimation des coûts intangibles

Les coûts intangibles correspondent à l'impact de la maladie sur la qualité de vie et les années de vie perdues du fait d'un décès prématuré lié à la maladie. Cet impact est mesuré par le DALY qui traduit une perte de bien-être et non une perte de revenu. Cette perte de bien-être est ensuite valorisée sous forme monétaire.

En l'absence de données et dans une approche conservatrice limitant le risque de surestimation, aucune valorisation de l'impact de la maladie sur les aidants n'est intégrée dans le calcul<sup>59</sup>. Ainsi, l'estimation produite constitue la borne basse de la valeur du coût intangible.

Dans le cadre de cette expertise, les pertes en DALY ont été également valorisées monétairement afin d'agréger les trois catégories de coûts. Cette valorisation se fait à partir de la valeur de référence définie pour valoriser une année de vie gagnée lorsqu'un effet sur la

<sup>57</sup> Le salaire brut mensuel moyen de 3 321 euros divisé par 20 jours/mois donne 166,05 euros/jour. Afin de pouvoir comparer avec Slunge, Boman, et Studahl (2022), 25 % de cotisations patronales ont été ajoutés ensuite à ce salaire brut. Voir aussi la discussion dans la section 4.3.

<sup>58</sup> La perte économique d'une journée de travail en moins est estimée par la valeur ajoutée qui n'a pas été produite suite à cette absence. La convention dans l'évaluation économique est d'approximer cette valeur ajoutée par le salaire brut augmenté des cotisations patronales. Les revenus non salariaux des personnes non-employées ne sont donc pas à prendre en compte ici.

<sup>59</sup> Compte-tenu de la perspective de l'analyse retenue par l'Anses, englobant l'ensemble des acteurs de la société affectés par la TBE, il est légitime de considérer l'éventuel impact de l'infection à TBEV sur la qualité de vie de l'entourage du patient. Cet impact peut sembler généralement négligeable dans la plupart des cas, compte-tenu des symptômes observés. Néanmoins, il pourrait être significatif dans deux cas : 1) pour les patients mineurs, compte-tenu des soins probablement apportés par les parents (soit 5 % des cas observés, 4/71). Cependant, la durée des symptômes étant relativement limitée, l'impact sur les coûts intangibles seraient minime ; 2) pour les patients dont l'état de santé nécessite une assistance à domicile, temporaire ou permanente. Dans le cas d'une dépendance permanente, l'impact ne concerne qu'une minorité de patients mais il peut être potentiellement beaucoup plus significatif car il dure plus longtemps.

santé d'un investissement public est évalué (Dervaux et al., 2022)<sup>60</sup>. En 2024, la valeur d'une année de vie est de 134 000 €<sup>61</sup>, qui est également retenue comme valeur du DALY.

À l'avenir un suivi longitudinal des patients recensés par la déclaration obligatoire permettrait une analyse plus robuste des coûts engendrés par la TBE. Dès aujourd'hui une appréciation qualitative plus précise des situations des patients et des potentiels impacts sur leur entourage serait une aide à la compréhension de l'impact de la TBE.

## 4.2 Résultats

La simulation produit, par construction, 71 cas en phase méningo-encéphalitique. Parmi ceux-ci, 30 évoluent vers le stade de symptômes persistants (dont 11 gardent des séquelles), et huit vers le stade de paralysie (dont quatre avec une paralysie résiduelle), comme présenté dans le Tableau 5. Le modèle prédit 0,5 décès.

**Tableau 5 : Nombre de cas par état de santé (selon la modélisation)**

| Phase                             | Nombre de cas sur deux ans | Nombre de cas par an | Bornes de l'analyse de sensibilité |
|-----------------------------------|----------------------------|----------------------|------------------------------------|
| <b>Symptomatique</b>              | 284                        | 142                  | 284-284                            |
| <b>Dont méningo-encéphalite</b>   | 71,13                      | 35,57                | 33,92-37,36                        |
| <b>Dont décès</b>                 | 0,53                       | 0,26                 | 0,26-0,26                          |
| <b>Dont paralysie</b>             | 7,82                       | 3,91                 | 3,73-4,11                          |
| <b>Dont parésie résiduelle</b>    | 4,38                       | 2,19                 | 2,09-2,30                          |
| <b>Dont symptômes persistants</b> | 30,24                      | 15,12                | 14,35-15,99                        |
| <b>Dont autres séquelles</b>      | 11,26                      | 5,63                 | 5,34-5,96                          |

À partir de ces simulations et de ces hypothèses, il est possible d'estimer les coûts directs et indirects d'une part, et les coûts intangibles d'autre part, avant de proposer une estimation intégrée de tous les coûts.

En l'absence de données sur le parcours de soins des patients recensés par la déclaration obligatoire, il serait difficile de faire des hypothèses pour étayer une analyse de sensibilité sur le parcours de soins et celle-ci n'a pas été envisagée à ce stade.

<sup>60</sup> Dervaux, Benoît, Lise Rochaix, Bénédicte Meurisse, et Alice Robinet. 2022. « L'évaluation socioéconomique des effets de santé des projets d'investissement public ». France Stratégie. <https://www.strategie.gouv.fr/publications/evaluation-socioeconomique-effets-de-sante-projets-dinvestissement-public-0>.

<sup>61</sup> Tableau des compléments au Guide de l'évaluation socioéconomique des investissements publics, valeurs tutélaires de référence pour valoriser les effets non marchands ([Guide de l'évaluation socioéconomique des investissements publics | France Stratégie \(strategie.gouv.fr\)](#)).

### 4.2.1 Coûts directs et indirects

L'évaluation des coûts directs et indirects repose sur le nombre de cas de chaque état de santé simulé par le modèle (Tableau 5).

Par état de santé pour un an les coûts suivants  $C_i$  ( $i=1,\dots,5$ ) sont obtenus (Tableau 6) :

**Tableau 6 : Coût par état de santé pour un an**

| Phase                                   | Coûts Directs (€) | Coûts Indirects (€) | Coûts Directs + Indirects (€) |
|-----------------------------------------|-------------------|---------------------|-------------------------------|
| <b>Infection symptomatique</b>          | 3 928             | 14 484              | 18 412                        |
| <b>Méningo-encéphalite</b>              | 318 684           | 78 440              | 397 123                       |
| <b>Paralyse</b>                         | 58 479            |                     | 58 479                        |
| <b>Parésie résiduelle</b>               | 2 606             |                     | 2 606                         |
| <b>Symptômes persistants</b>            | 1 976             | 1 542               | 3 518                         |
| <b>Autres séquelles</b>                 | 736               |                     | 736                           |
| <b>Total morbidité</b>                  | 386 408           | 94 466              | 480 874                       |
| <b>Coût moyen par cas symptomatique</b> | 2 721             | 665                 | 3 386                         |

La dernière ligne du tableau donne le coût moyen par cas, c'est à dire l'espérance de coûts directs et/ou indirects associés à un diagnostic de TBE, en tenant compte des évolutions possibles dans les différents stades de la maladie<sup>62</sup>.

L'estimation du coût par état de santé fait apparaître une part respective de 80 % de coût direct et de 20 % de coût indirect.

### 4.2.2 Coûts intangibles

D'après les résultats du modèle, la perte totale de DALYs due à l'ensemble des états de santé de TBE sur un an s'élève à 29,66 (59,32 sur deux ans). Sur ce total, les décès<sup>63</sup>, associés à la phase méningo-encéphalitique, représentent 9,78 DALYs perdus et les séquelles permanentes 11,2 DALYs perdus (Tableau 7), dont la valorisation monétaire est présentée dans le Tableau 8.

<sup>62</sup> Ces coûts sont associés aux cas diagnostiqués sur une année mais pour certains états de santé (parésie résiduelle et symptômes persistants) ils ne se manifesteront pas cette année-là mais plus tard dans la trajectoire des patients. En l'absence de visibilité sur la temporalité des événements, les coûts sont estimés sur l'année comme un coût moyen d'une cohorte, sans actualisation.

<sup>63</sup> Même si à ce stade aucun décès directement dû à TBE n'a été constaté en France, selon les simulations avec le modèle BCoDE, 0,25 décès par an sont à envisager.

Tableau 7 : Perte de DALYs - Résultats de la simulation du BCoDE en France

| Etat de santé                  | 2 ans  |              |              |              | 1 an          |                        | DALY par cas                |
|--------------------------------|--------|--------------|--------------|--------------|---------------|------------------------|-----------------------------|
|                                | Cas    | YLD          | YLL          | DALY         | DALY          | Analyse de sensibilité |                             |
| <b>Infection symptomatique</b> |        | <b>0,19</b>  |              | <b>0,19</b>  | <b>0,095</b>  | <b>0,095-0,095</b>     | <b>6,73.10<sup>-4</sup></b> |
| <b>Cas</b>                     | 284,00 | 0,19         |              | 0,19         |               |                        |                             |
| <b>Décès</b>                   | 0,00   |              | 0,00         | 0,00         |               |                        |                             |
| <b>Méningo-encéphalite</b>     |        | <b>2,03</b>  | <b>19,55</b> | <b>21,58</b> | <b>10,790</b> | <b>10,12-11,52</b>     | <b>0,08</b>                 |
| <b>Cas</b>                     | 71,13  | 2,03         |              | 2,03         | 1,015         | 0,84-1,21              |                             |
| <b>Décès</b>                   | 0,53   |              | 19,55        | 19,55        | 9,775         | 9,28-10,31             |                             |
| <b>Paralysie</b>               |        | <b>0,06</b>  | <b>0,00</b>  | <b>0,06</b>  | <b>0,03</b>   | <b>0,03-0,03</b>       | <b>1,99.10<sup>-4</sup></b> |
| <b>Cas</b>                     | 7,82   | 0,06         |              |              |               |                        |                             |
| <b>Décès</b>                   | 0,00   |              | 0,00         |              |               |                        |                             |
| <b>Parésie résiduelle</b>      |        | <b>8,95</b>  |              | <b>8,95</b>  | <b>4,475</b>  | <b>4,21-4,74</b>       | <b>0,03</b>                 |
| <b>Cas</b>                     | 4,38   | 8,95         | 0,00         |              |               |                        |                             |
| <b>Décès</b>                   | 0,00   |              |              |              |               |                        |                             |
| <b>Symptômes persistants</b>   |        | <b>6,14</b>  | <b>0,00</b>  | <b>6,14</b>  | <b>3,07</b>   | <b>2,89-3,25</b>       | <b>0,02</b>                 |
| <b>Cas</b>                     | 30,24  | 6,14         |              |              |               |                        |                             |
| <b>Décès</b>                   | 0,00   |              | 0,00         |              |               |                        |                             |
| <b>Autres séquelles</b>        |        | <b>22,41</b> | <b>0,00</b>  | <b>22,41</b> | <b>11,205</b> | <b>10,44-11,98</b>     | <b>0,08</b>                 |
| <b>Cas</b>                     | 11,26  | 22,41        |              |              |               |                        |                             |
| <b>Décès</b>                   | 0,00   |              | 0,00         |              |               |                        |                             |
| <b>TOTAL</b>                   |        | <b>39,77</b> | <b>19,55</b> | <b>59,32</b> | <b>29,665</b> | <b>27,79-31,62</b>     |                             |

YLD : *years lost due to disability* (années de vie perdues du fait de l'incapacité) ; YLL : *years of life lost* (années de vie perdues du fait du décès) avec  $DALY = YLD + YLL$

Tableau 8 : Valorisation monétaire des coûts intangibles pour la population française

|                                                  | DALYs<br>perdus / 2 ans | DALYs<br>perdus / an | Valorisation monétaire des<br>DALYs perdus (1 an), € |
|--------------------------------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------------------------------------|
| Infection symptomatique                          | 0,19                    | 0,095                | 12 730                                               |
| Phase méningo-<br>encéphalitique (hors<br>décès) | 2,03                    | 1,015                | 136 010                                              |
| Paralysie                                        | 0,06                    | 0,03                 | 4 020                                                |
| Parésie résiduelle                               | 8,95                    | 4,475                | 599 650                                              |
| Symptômes persistants                            | 6,14                    | 3,07                 | 411 380                                              |
| Autres séquelles                                 | 22,41                   | 11,205               | 1 501 470                                            |
| Décès (phase méningo-<br>encéphalique)           | 19,55                   | 9,775                | 1 309 850                                            |
| <b>Total</b>                                     | <b>59,33</b>            | <b>29,665</b>        | <b>3 975 110</b>                                     |

#### 4.2.3 Coûts totaux

À la connaissance du GT, aucune étude n'intègre les trois catégories de coûts qui composent le fardeau sanitaire pour les infections à TBEV. Cette section propose de calculer un coût total annuel pour la population française en s'appuyant sur la valorisation monétaire des DALYs expliquée dans la sous-section précédente. En intégrant les coûts directs, les coûts indirects et les coûts intangibles liés à la morbidité, les estimations suivantes sont obtenues (Tableau 9).

Tableau 9 : Évaluation économique du fardeau sanitaire annuel de la TBE en France en euros (données 2021-2023)

| Phase                                   | Coûts Directs<br>+ Indirects | Coûts<br>Intangibles | Coûts totaux     |
|-----------------------------------------|------------------------------|----------------------|------------------|
| Infection symptomatique                 | 18 412                       | 12 730               | 31 142           |
| Méningo-encéphalite                     | 397 123                      | 136 010              | 539 096          |
| Paralysie                               | 58 479                       | 4 020                | 62 499           |
| Parésie résiduelle                      | 2 606                        | 599 650              | 602 256          |
| Symptômes persistants                   | 3 518                        | 411 380              | 414 898          |
| Autres séquelles                        | 736                          | 1 501 470            | 1 502 206        |
| <b>Total morbidité (hors décès)</b>     | <b>480 874</b>               | <b>2 665 260</b>     | <b>3 146 134</b> |
| Décès                                   |                              | 1 309 850            | 1 309 850        |
| <b>Total</b>                            | <b>480 874</b>               | <b>3 975 110</b>     | <b>4 455 984</b> |
| <b>Coût moyen par cas symptomatique</b> | <b>3 386</b>                 | <b>27 994</b>        | <b>31 380</b>    |

#### 4.2.4 Analyses de sensibilité

Afin d'éprouver la dépendance de ces résultats aux hypothèses médico-économiques qui ont dû être posées pour mener à bien ces estimations, cette section présente une analyse de sensibilité aux paramètres qui ont été fixés de manière conservatrice dans la section précédente.

Cette analyse fait varier les hypothèses d'indisponibilité au travail qui déterminent en partie les coûts indirects de la manière suivante, appuyés sur des suggestions d'experts :

- augmentation de 4 jours d'indisponibilité en phase symptomatique : Hypothèse Principale (HSp) 1 jour d'indisponibilité vs. Hypothèse de Sensibilité (HSs) 5 jours d'indisponibilité ;
- augmentation de 10 jours d'indisponibilité, post-hospitalisation, en phase méningo-encéphalite : Hypothèse Principale (HMEp) : 21,62 jours d'indisponibilité vs Hypothèse de Sensibilité (HMEs) 31,62 jours.

Les conséquences sur les coûts d'un basculement d'une hypothèse à l'autre sur ces deux paramètres sont illustrées dans les tableaux suivants :

**Tableau 10. Variation des coûts indirects dans l'analyse de sensibilité**

|                                                                | HMEp (€) | HMEs (€) |
|----------------------------------------------------------------|----------|----------|
| HSp                                                            | 94 466   | 130 747  |
| HSs                                                            | 152 401  | 188 682  |
| soit une augmentation, par rapport au scénario « baseline » de |          |          |
| HSp                                                            | baseline | 38,4 %   |
| HSs                                                            | 61,3 %   | 99,7 %   |

**Tableau 11. Variation des coûts totaux (décès inclus) dans l'analyse de sensibilité**

|                                                                | HMEp (€)  | HMEs (€)  |
|----------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
| HSp                                                            | 4 455 984 | 4 492 265 |
| HSs                                                            | 4 513 919 | 4 550 200 |
| soit une augmentation, par rapport au scénario « baseline » de |           |           |
| HSp                                                            | baseline  | 0,8 %     |
| HSs                                                            | 1,3 %     | 2,1 %     |

**Tableau 12. Variation du coût moyen d'un cas symptomatique (hors décès) dans l'analyse de sensibilité**

|                                                                | HMEp (€) | HMEs (€) |
|----------------------------------------------------------------|----------|----------|
| HSp                                                            | 22 156   | 22 411   |
| HSs                                                            | 22 564   | 22 819   |
| soit une augmentation, par rapport au scénario « baseline » de |          |          |
| HSp                                                            | baseline | 1,2 %    |
| HSs                                                            | 1,8 %    | 3,0 %    |

Ces résultats montrent que si les hypothèses d'indisponibilité les plus sévères sont retenues pour les deux phases concernées, le montant total du fardeau peut augmenter de 2,1 %.

Ils mettent également en lumière la dépendance plus forte, due à la prédominance de cette phase, à l'estimation de l'indisponibilité pendant la phase symptomatique : une hausse de 4 jours de cette indisponibilité uniquement augmente les coûts totaux de 1,3 % alors qu'une hausse de 10 jours de l'indisponibilité en phase méningo-encéphalitique uniquement ne les augmente que de 0,8 %.

### 4.3 Discussion et mise en regard de la littérature

Les études publiées ayant évalué le fardeau sanitaire de la TBE reposent sur des méthodes de calcul et des populations différentes et les données prises en compte sont hétérogènes, ce qui limite la comparabilité des résultats entre les études. Plusieurs éléments peuvent néanmoins être tirés de ces publications :

- l'incidence de la TBE est très hétérogène au sein de l'Europe, ce qui entraîne *de facto* un fardeau à l'échelle de la population très variable selon les pays ;
- il existe une forte incertitude sur le nombre de cas, du fait d'une faible identification des cas peu symptomatiques ou des patients ayant des symptômes peu spécifiques.

Les deux études menées en Slovénie illustrent l'impact important sur le résultat des modalités de redressement de la sous-identification ou sous-déclaration (Fafangel et al. 2017; Šmit et Postma 2015). Il est donc recommandé d'envisager des estimations du niveau de sous-identification et de sous-déclaration en France afin d'ajuster le nombre de cas sur lequel est calculé le fardeau.

L'étude réalisée à l'échelle européenne, qui visait à comparer le fardeau de différentes maladies infectieuses rapporte le poids relativement faible de la TBE (0,25 % des DALYs perdus pour maladies infectieuses en Europe) au regard d'autres maladies infectieuses en Europe, en particulier la grippe (29,8 %)(Cassini et al. 2018).

Les études évaluant le fardeau en DALYs se concentrent sur l'impact de la maladie pour les individus mais ne prennent pas en compte les impacts économiques pour la société (en termes de coûts des soins, coûts directs, ou de perte de production, coûts indirects) à part Slunge, Boman, et Studahl (2022) pour la Suède.

L'étude de coût de la maladie menée en Suède ne tient compte que des coûts tangibles (directs et indirects) sans valoriser l'impact de la maladie sur la qualité de vie des individus (Slunge, Boman, et Studahl 2022).

En ce qui concerne les coûts directs et indirects, on observe dans nos résultats qu'environ 83 % de ces coûts sont dus à la phase méningo-encéphalitique, et 12 % à la phase de paralysie (estimée de manière très conservatrice). Le reste des états de santé apparaît comme pesant faiblement à l'échelle du fardeau total. Toutes phases confondues, les coûts directs représentent 80 % des coûts agrégés (directs + indirects) contre 20 % pour les coûts indirects. À la connaissance du GT, la seule étude évaluant le même type de fardeau pour la TBE a été menée en Suède (Slunge, Boman, et Studahl 2022) sur une cohorte de 2 458 patients entre 1998 et 2014. Les occurrences et la durée des hospitalisations, des consultations et des arrêts maladie de chaque individu sont comparées par appariement à trois individus non infectés avec des caractéristiques semblables afin d'estimer strictement le surcoût lié à la TBE. Ces



surcoûts s'élèvent en moyenne à 20 504 euros par cas pour la première année après diagnostic et à 24 126 euros/cas trois ans après. L'hospitalisation et l'absence au travail représentent respectivement 52 % et 42 % du coût total. L'étude détermine un coût moyen annuel sur la période 2015-2019 pour l'ensemble de la Suède de 6 639 317 euros. Si le coût des décès via la Valeur d'une Vie Statistique (VVS) standard en Suède (4,05 Millions d'euros/VVS) est rajouté, ce coût total annuel passe à 24 459 317 euros. Cette méthode fondée sur des données de soins observées pourrait être mise en œuvre en France si un plus grand recul sur les cas de TBE permettait de travailler sur davantage de cas, en suivant les recommandations de suivi des cohortes de patients.

Il est délicat de comparer les résultats de la présente expertise avec ceux de l'étude suédoise car dans ce rapport, les coûts sont directement induits par le parcours de soin théorique alors que dans l'étude de Slunge, Boman, et Studahl (2022), les coûts sont déduits comme un différentiel de coûts (de prise en charge ou d'absence au travail) observés chez les patients avec TBE par rapport à des individus similaires sans TBE. Il est cependant possible de mettre en regard la structure des coûts. Il a été vu plus haut que les coûts directs et indirects représentaient respectivement 80 % et 20 % des coûts agrégés directs et indirects. Slunge, Boman, et Studahl (2022), sur la première année de maladie, observent une part de 52 % pour les coûts directs hospitaliers vs. 42 % pour les coûts indirects. Cette forte divergence doit être mise au compte des méthodes fondamentalement différentes, ainsi qu'un nombre de patients très différent entre les études, et la prise en compte d'une durée d'absence au travail plus longue en Suède, qui alourdit les coûts indirects. L'analyse de sensibilité qui porte au plus haut les coûts indirects conduit à une répartition de 66 % pour les coûts directs et 34 % pour les coûts indirects, ce qui souligne l'importance des hypothèses sur la valorisation des coûts indirects.

Pour les coûts intangibles, la perte moyenne de 29,665 DALYs par an pour l'ensemble de la population est très en deçà des pertes estimées dans la littérature pour d'autres pays plus touchés. À titre d'exemple, Fafangel et al. (2017) évaluent, avec le même outil, l'impact de la TBE à 224,55 DALYs perdus par an sur la période 2009-2013 pour la Slovénie. Le très fort écart entre les situations épidémiologiques d'un pays où la TBE est endémique comme la Slovénie et d'un pays comme la France provoque ces différences massives entre les DALYs perdus. Néanmoins à terme cet indicateur permettra de caractériser plus finement les manifestations de ces pertes de bien-être dès lors que le nombre de patient sera assez significatif pour discuter de leur répartition par sexe et par âge.

À l'échelle de la France, cette estimation des DALYs perdus permet de proposer un premier positionnement de la TBE par rapport à d'autres maladies. Ramenée à la population totale, la perte de DALYs hors décès s'exprime comme 0,044 DALY pour 100 000, ce qui représente 0,000417% des 10 499 DALYs d'incapacité liée aux maladies pour 100 000 habitants<sup>64</sup> en France (Francis-Oliviero et al. 2024). La part de la TBE dans ces coûts intangibles globaux est donc extrêmement faible à ce jour.

L'évaluation économique du fardeau sanitaire vise à valoriser sous forme monétaire le coût, pour la société, de la TBE. L'analyse repose sur une modélisation théorique de la maladie, afin d'estimer les coûts directs, indirects et intangibles associés aux cas d'encéphalites à tiques observés en France à travers la déclaration obligatoire.

<sup>64</sup> DALYs standardisés selon l'âge pour toutes causes confondues, pour 100 000 habitants en France.

Il est estimé que l'encéphalite à tiques est associée à environ 30 DALYs perdus en France chaque année. Le coût total annuel de la maladie est estimé à 3,1 millions d'euros hors décès, dont 481 000 euros de coûts directs et indirects et 2,7 millions d'euros de coûts intangibles. Le coût total par cas est estimé à environ 31 000 euros. Cette estimation repose sur un faible nombre de cas et est associée à une incertitude forte. Ce faible nombre de cas peut être à la fois le reflet d'une faible incidence et de la mise en place que récemment de la déclaration obligatoire associée à un sous-recensement des cas. Le modèle utilisé repose sur des données relativement anciennes et collectées dans des régions à plus forte prévalence que la France, ce qui pourrait limiter leur transposition. En l'absence de données françaises précises, notamment sur la prise en charge des personnes infectées, l'estimation repose sur de nombreuses hypothèses et l'incertitude associée à l'estimation est importante. Les choix retenus dans la modélisation tendent à sous-estimer le coût de la TBE en France, et la valeur estimée doit être considérée comme une estimation basse de la valeur.

## 5 Détection du TBEV et surveillance chez les animaux et leurs produits, et dans les populations de tiques

### 5.1 L'infection chez les animaux

L'infection des méso- et macro- mammifères par le TBEV est fréquemment asymptomatique et est révélée soit par des enquêtes sérologiques conduites dans des élevages (Paulsen et al. 2019; Cisak et al. 2010; Gresikova-Kohutova 1959; Nosek et al. 1967; Wallenhammar et al. 2020a; Salat et al. 2017) et chez des animaux domestiques et sauvages (Topp et al. 2023; Salat et al. 2017), soit par les enquêtes consécutives à l'apparition des cas humains de TBE dus à la consommation de produits au lait cru issus d'animaux infectés (Dorko et al. 2018; Brockmann et al. 2018; Markovinović et al. 2016).

Les méso- et macro-mammifères, qu'ils soient sauvages ou domestiques, ainsi que les êtres humains, sont considérés comme des hôtes non compétents développant une virémie faible ou nulle. Cela implique que ces animaux seraient incapables de transmettre le virus aux tiques (Pfeffer et Dobler 2010), bien que la possibilité d'événements de transmission entre ces hôtes et les tiques ne puisse être totalement exclue, même si de tels cas n'ont jamais été rapportés au moment de la rédaction du rapport. L'infection des animaux par le TBEV est d'ailleurs considérée comme un problème uniquement chez les ruminants domestiques du fait de l'excrétion du virus dans leur lait et du risque de transmission du TBEV à l'être humain par consommation de leur lait cru ou de produits dérivés contaminés.

Quelques rares cas d'infection par le TBEV avec des signes neurologiques ont été décrits chez différentes espèces sauvages, qui ont concerné un Macaque de Barbarie (*Macaca sylvanus*) en Allemagne (Süss et al. 2007), un mouflon (*Ovis gmelini musimon*) en Autriche (Bagó et al. 2002) et, en Italie, un chevreuil (*Capreolus capreolus*) (Da Rold et al. 2022) et un chamois (*Rupicapra rupicapra*) (Gaffuri et al. 2024).

Chez les ruminants domestiques, les infections par le TBEV sont considérées asymptomatiques. Deux cas cliniques ont été rapportés chez une chèvre (*Capra aegagrus hircus*) en Suisse (Zindel et Wyler 1983; Böhm et al. 2017) et chez un agneau (*Ovis aries*) en Allemagne (Böhm et al. 2017). Ce deuxième cas a été confirmé en Bavière en 2015, par RT-qPCR, chez un agneau de cinq mois ayant présenté de la fièvre et des signes neurologiques (ataxie<sup>65</sup>, torticolis, tremblements, nystagmus<sup>66</sup>, somnolence, perte d'appétit puis décubitus). L'analyse phylogénétique a montré une relation proche avec le TBEV circulant en Europe centrale (Böhm et al. 2017).

En France, une étude a été menée afin d'estimer la séroprévalence de la TBE en zone d'endémie (Haut-Rhin et Vosges) et de comparer les performances de deux kits ELISA vétérinaires avec le MNT (*micro virus neutralisation test*). Sur 4 483 sérums bovins issus de sérothèques de deux laboratoires vétérinaires départementaux (Haut-Rhin et Vosges), une séroprévalence globale de 7,5 % a été trouvée (Mathews-Martin et al. 2024).

Deux espèces semblent néanmoins plus sensibles à l'infection par le TBEV : le Chien (*Canis lupus familiaris*) et le Cheval (*Equus caballus*).

<sup>65</sup> Ataxie : trouble neurologique caractérisé par une altération de la coordination des mouvements

<sup>66</sup> Nystagmus : mouvements saccadés et involontaires des globes oculaires

- L'encéphalite canine à TBEV

Des enquêtes conduites dans des zones d'endémie ont montré une séroprévalence variable de chiens infectés par le TBEV (entre 0,1 % et 42,6 % dans plusieurs pays d'Europe (Salat et Ruzek 2020)). Bien qu'une large majorité de ces chiens ne présentent pas de signes cliniques (Salat et al. 2021), quelques cas symptomatiques ont été rapportés dans la littérature. Après une période d'incubation de l'ordre d'une semaine (Salat et al. 2021) la TBE se manifeste par de la fièvre et des troubles neurologiques tels qu'ataxie, troubles du comportement, crises convulsives, douleur cervicale, parésie<sup>67</sup>, hyperesthésie<sup>68</sup>, nystagmus, etc. (Andersson et al. 2020; Salat et Ruzek 2020; Kleeb et al. 2021; Salat et al. 2021; Dawson et al. 2024). Ces troubles peuvent conduire à la mort de l'animal dans 16 à 50 % des cas (Andersson et al. 2020), à la guérison complète ou à la persistance de séquelles. En Suisse, un taux de survie de 67 % a été observé chez 54 chiens de l'étude, avec des séquelles dans environ la moitié des cas (Kleeb et al. 2021).

À la connaissance du GT, au moment de la rédaction du rapport, aucun cas de TBE canine n'a été rapporté en France. Un chien vivant dans une région de Belgique où le TBEV n'a jamais été décrit et présentant un historique de voyage en Alsace a été détecté séropositif<sup>69</sup> mais l'origine de la contamination n'a jamais été clairement établie (Roelandt et al. 2011).

- L'encéphalite équine à TBEV

Des enquêtes de séroprévalence montrent que les chevaux sont souvent infectés par le TBEV dans les zones endémiques, avec des séroprévalences variables de 0,8 % au nord de l'Allemagne à 37,5 % en Lituanie (De Heus et al. 2023), de 26,1 % en 2011 à 15,5 % en 2017 en Autriche (C. Klaus et al. 2013; De Heus et al. 2021). En Allemagne, des séroprévalences de 20 à 30 % avaient également été rapportées (Rushton et al. 2013). Les cas cliniques d'encéphalite équine à TBEV sont pourtant rares (Salat et Ruzek 2020), possiblement sous-diagnostiqués en raison de réactions sérologiques croisées avec d'autres virus induisant des encéphalites chez le cheval comme le virus West Nile ou le virus Usutu (C. Beck et al. 2013; 2015; Cleton et al. 2017; De Heus et al. 2023). Le tableau clinique de la TBE équine est similaire à celui de la TBE canine : anorexie, ataxie, douleur cervicale, mydriase, convulsions, nervosité, paralysie, etc. (Salat et Ruzek 2020; De Heus et al. 2023).

Lors d'une enquête de séroprévalence menée dans le sud-ouest de la France (région Nouvelle-Aquitaine), les données ont montré un faible pourcentage d'individus séropositifs vis-à-vis du TBEV (0,3 %) sans observation de signes cliniques (Chevalier et al. 2024). Cette région n'étant pas une zone de circulation connue du TBEV, des investigations supplémentaires sont nécessaires pour confirmer la présence du TBEV dans cette région.

---

<sup>67</sup> Parésie : perte de motricité d'une partie du corps entraînant une diminution de la force musculaire

<sup>68</sup> Hyperesthésie : accentuation de la sensibilité qui transforme certaines sensations (tactiles, thermiques) en sensations de douleur.

<sup>69</sup> A été détecté positif lors d'une enquête sérologique rétrospective portant sur 880 échantillons de sérum de chien issu des sérothèques de trois laboratoires belges.

## 5.2 Méthode de détection du TBEV et des infections à TBEV

Dans cette section sont présentées les différentes techniques de détection utilisables pour rechercher le TBEV en fonction des différentes matrices : dans les tiques, chez les animaux sauvages et domestiques et dans le lait.

### 5.2.1 Détection du TBEV dans les tiques

La recherche du TBEV dans les tiques est réalisée à la suite des collectes de tiques dans une zone où des cas humains ont été décrits ou dans le cadre des collectes menées par les différentes équipes de recherche réparties sur l'ensemble du territoire hexagonal.

La mise en évidence du TBEV au sein de la tique peut être réalisée selon deux stratégies : la détection du génome viral (ARN) ou l'isolement du virus. Ces deux stratégies nécessitent que les tiques soient conservées dans les conditions optimales avant les analyses : soit à - 80°C, sans cycle de congélation/décongélation, pour une détection par biologie moléculaire, soit vivantes dans des tubes conservés à + 4°C pour une détection par isolement viral.

#### 5.2.1.1 Détection du génome viral

La détection du génome viral (ARN) est la méthode la plus couramment utilisée pour déterminer la présence d'infection des tiques par le TBEV. Cette méthode est appliquée sur tique individuelle ou sur des *pools* de tiques. Lorsque l'analyse est réalisée sur des *pools* de tiques, la prévalence de l'infection est soit exprimée en taux minimal d'infection (qui considère qu'un signal positif d'un *pool* provient d'une seule tique infectée), soit estimée à l'aide de méthodes statistiques fréquentistes (par une méthode de maximum de vraisemblance).

La détection du génome viral dans les tiques requiert au préalable une homogénéisation des tiques (broyage mécanique) puis une extraction de l'ARN viral qui est alors rétrotranscrit en ADN complémentaire avant d'être amplifié par PCR.

Plusieurs protocoles d'amplification par PCR ont été développés : ils utilisent des couples d'amorces ciblant différentes régions du génome viral. Les amplifications sont simples ou nichées<sup>70</sup>, conventionnelles ou en temps réel. Les PCR en temps réel peuvent utiliser des sondes dites TaqMan® ou de dégradation qui permettent d'augmenter la spécificité de la détection. Cette méthode permet également la quantification de l'ARN viral en copies de génome par microlitre.

Il existe également un outil de multi-criblage, fondé sur une technologie microfluidique permettant de rechercher simultanément 48 à 96 cibles (génomés d'agents pathogènes) au sein de 48 à 96 échantillons (Gondard et al. 2018; Michelet et al. 2014).

#### 5.2.1.2 Isolement viral

L'isolement viral nécessite que l'échantillon contienne une charge virale importante (au moins 10<sup>3</sup> à 10<sup>4</sup> pfu/mL). Toutefois, une fois le virus isolé, cette technique présente l'avantage de pouvoir caractériser le virus par des analyses plus poussées, telles que le séquençage du génome viral entier.

---

<sup>70</sup> La PCR nichée consiste en deux PCR successives, la seconde PCR utilise un couple d'amorces qui encadre une séquence incluse dans la première séquence amplifiée par un premier couple d'amorces. Cette technique permet d'augmenter à la fois la spécificité mais également le taux d'amplification lorsque le matériel génétique est présent en faible quantité.

À partir de broyat de tique, le virus peut être isolé soit :

par infection de cellules permissives, telles que les cellules Vero<sup>71</sup>, vis-à-vis du TBEV. Le virus est collecté dans les surnageants de culture suite à la visualisation d'effets cytopathiques. Les surnageants de cultures sont alors aliquotés et conservés à - 80°C (Gonzalez et al. 2022) ;

par inoculation intracrânienne de souriceaux âgés de deux à six jours. Les souriceaux sont observés deux fois par jour jusqu'à l'apparition de signes nerveux, d'apathie ou d'activité accrue. Ces signes cliniques peuvent apparaître jusqu'à 15 jours après l'inoculation du virus. Les souriceaux sont alors euthanasiés, et les cerveaux sont conservés à - 80°C (Tang et al. 2023). Malgré sa grande sensibilité, cette technique est plus rarement utilisée pour des raisons éthiques ;

par inoculation d'œufs embryonnés. Cette technique est aujourd'hui peu utilisée du fait de sa faible sensibilité (Ergunay et al. 2016).

### 5.2.2 Détection du TBEV chez les animaux domestiques et sauvages

Le génome viral de TBEV peut être détecté par RT-qPCR dans le sang de l'animal lorsque celui-ci est en phase virémique, mais celle-ci est d'une durée courte de l'ordre de quelques jours. Par la même méthode, le génome viral peut être aussi détecté dans les organes des animaux (cerveau, rate, poumon, foie) (Tonteri et al. 2013), et même à partir de biopsies de peau d'oreille chez les rongeurs (Pascoe et al. 2023).

Les anticorps persistant plusieurs semaines à plusieurs années chez les animaux, la détection d'anticorps anti-TBEV est la méthode de choix pour détecter une exposition des animaux au virus. La méthode de référence est la séroneutralisation, qui permet d'identifier l'orthoflavivirus responsable de la séroconversion. Cependant, elle ne permet pas de distinguer entre eux les orthoflavivirus appartenant au sérocomplexe TBEV, par exemple le virus Louping-ill du TBEV (Holding et al 2020), ni de détecter la présence d'anticorps non neutralisants, ce qui peut être source de faux-négatifs.

D'autres méthodes sérologiques existent pour identifier les anticorps anti-TBEV : ELISA<sup>72</sup>, HAI<sup>73</sup>, etc. Ces tests présentent toutefois des réactions positives croisées avec d'autres orthoflavivirus. En recherche, ce sont souvent des méthodes « maison » qui ont été utilisées. Actuellement, trois tests ELISA commerciaux, recommandés pour un usage vétérinaire, sont les plus souvent utilisés pour la détection d'anticorps anti-TBEV dans les études sérologiques chez les animaux : l'ELISA ID Screen® West-Nile Competition, l'ELISA Immunozyg® FSME (TBEV) IgG all species et l'EIA TBE Virus IgG®. Ce sont tous des ELISA de compétition. Le premier, l'ELISA ID Screen® West-Nile Competition, a été développé initialement pour la détection des anticorps anti-West-Nile et cible la protéine E qui est conservée parmi les orthoflavivirus. Les deux autres sont des tests développés pour le diagnostic chez l'être humain qui ont été secondairement proposés pour le dépistage/diagnostic chez les animaux. Les performances de ces tests (sensibilité et spécificité) pour la détection des anticorps anti-TBEV chez différentes espèces animales sont faibles (ID Screen® West-Nile Competition), modérément satisfaisante (Immunozyg® FSME (TBEV) IgG all species) ou n'ont pas été testées (EIA TBE Virus IgG). L'ELISA ID Screen® West-Nile Competition présente de très faibles performances pour la détection des anticorps anti-TBEV en comparaison avec la

<sup>71</sup> Les cellules Vero sont une lignée cellulaire utilisée pour les cultures cellulaires. La lignée Vero fut isolée à partir de cellules épithéliales de rein extraites d'un singe vert africain (*Chlorocebus esp.*)

<sup>72</sup> *Enzyme-Linked Immuno Assay* - technique de dosage d'immunoabsorption par enzyme liée.

<sup>73</sup> *Hemagglutination inhibition assay* – test d'inhibition de l'hémagglutination.



séroneutralisation (Trozzi et al. 2023; Mathews-Martin et al. 2024). Les performances de l'ELISA Immunozyg® sont meilleures mais la sensibilité relative par rapport à la séroneutralisation est généralement faible, variant selon les études entre 23 % et 85 % (C. Klaus et al. 2011; Haut et al. 2020; Gird et al. 2021; Trozzi et al. 2023). Cette variabilité peut s'expliquer par des variations entre espèces (les études ayant été conduites chez des chèvres, bovins, renards roux et sangliers) mais aussi par des situations épidémiologiques différentes. En effet, la capacité de ELISA Immunozyg® à détecter les positifs varierait avec la séroprévalence locale : elle serait plus faible lorsque la séroprévalence est faible, car la proportion d'animaux avec de faibles titres neutralisants est plus élevée et la capacité de l'ELISA à détecter les individus porteurs d'anticorps est plus faible pour les sérums présentant de faibles titres neutralisants (Trozzi et al. 2023). Les ELISA commerciaux par rapport à des ELISA à façon présentent l'avantage de donner des résultats comparables entre les études et permettent une prise en main facile par les acteurs comme les laboratoires vétérinaires départementaux. Toutefois, ceux actuellement disponibles pour la détection des anticorps anti-TBEV chez les animaux ont des performances peu satisfaisantes, qui sont à prendre en compte pour la réalisation des enquêtes épidémiologiques à large échelle (par exemple, prise en compte de la sensibilité du test pour déterminer le nombre d'échantillons à analyser pour être sûr de détecter au moins un échantillon positif dans une zone où le virus circule) et ne permettent pas d'effectuer un suivi du statut sérologique des animaux au sein d'un élevage. Ces tests permettent néanmoins de comparer des situations épidémiologiques dans le temps et dans l'espace.

### 5.2.3 Détection du TBEV dans le lait et les produits laitiers

La mise en évidence de la contamination des produits laitiers par le TBEV se fait principalement par des méthodes de biologie moléculaire. Toutefois, l'isolement de TBEV peut être réalisé sur cellules Vero lorsque des échantillons de lait montrent un résultat positif pour la présence de génomes viraux afin d'évaluer le risque infectieux.

La détection du génome viral (ARN) par RT-qPCR (i.e. retro-transcription suivie d'une PCR en temps réel avec sondes TaqMan®) est la méthode la plus utilisée pour rechercher la présence de TBEV dans les produits laitiers (i.e. lait et fromages) et quantifier l'ARN viral en copies de génome par microlitre. En amont de la détection par RT-qPCR, l'extraction des génomes viraux est une étape clé et différents protocoles ont été décrits dans la littérature. Les génomes viraux ont été extraits soit à partir d'un homogénat total (Gonzalez et al. 2022), soit à partir d'un homogénat clarifié par centrifugation (Cisak et al. 2010; Paulsen et al. 2019; Pautienius et al. 2021a), soit à partir d'un homogénat traité à la protéinase K et clarifié par centrifugation (Hennechart-Collette et al., 2022). Cette dernière méthode avait été précédemment développée pour la détection des norovirus humains dans les produits laitiers en optimisant la méthode ISO 15216 décrite pour la détection de virus entériques dans les coquillages bivalves (Hennechart-Collette et al. 2017). La sensibilité de la méthode de détection a été déterminée lors d'expériences de contamination artificielle de produits laitiers avec TBEV; la LOD<sub>95</sub><sup>74</sup> est de  $2,84 \times 10^4$  génome copies / g ou / mL de produits laitiers (Hennechart-Collette et al. 2022). De plus, la méthode a été validée pour la détection des génomes de TBEV dans du lait cru de vache et de chèvre, ainsi que dans 14 différents types de fromages, en suivant la norme ISO 16140 lors d'expériences réalisées avec des matrices artificiellement contaminées.

<sup>74</sup> LOD<sub>95</sub> : la limite de détection (LOD) ayant une contamination à TBEV correspondant à une probabilité de détection de 95 %.



Ces méthodes ont été utilisées pour rechercher la présence de génomes de TBEV dans des matrices naturellement contaminées lors d'investigations menées suite à une TIAC (Gonzalez et al. 2022; Brockmann et al. 2018) ; ou lors d'études de prévalence (Paulsen et al. 2019; Cisak et al. 2010; Pautenius et al. 2021a).

Une étude a été menée récemment pour évaluer les performances analytiques de différentes méthodes pour la détection de génomes du virus Langat (LGTV<sup>75</sup>) dans des échantillons de lait et de fromage artificiellement contaminés (Müller et al. 2023). Pour la matrice lait, l'extraction des ARN viraux à partir du lait clarifié par centrifugation permet d'obtenir les meilleurs rendements d'extraction du LGTV ( $31,8 \pm 4,9$  %) et la plus grande sensibilité (LOD  $6,7 \times 10^3$  LGTV copies de génome /mL). Pour la matrice fromage, la méthode fondée sur le traitement des échantillons avec un mélange de phénol (TRI Reagent®) et de chloroforme avant l'extraction des ARN viraux a permis d'obtenir les rendements d'extraction les plus élevés ( $4,7 \pm 1,6$  %) et la meilleure sensibilité (LOD  $9,4 \times 10^4$  LGTV copies de génome/g). Ces méthodes n'ont pas été testées pour des matrices naturellement contaminées par le TBEV.

Il existe également un outil haut-débit multi-criblage basé sur la technologie microfluidique permettant de rechercher simultanément les génomes de 19 virus d'intérêt en virologie alimentaire, dont le TBEV, au sein de 48 à 96 échantillons en un test de RT-qPCR (Coudray-Meunier et al. 2016).

À l'heure actuelle, la réalisation d'analyses virologiques n'est pas obligatoire pour s'assurer de la sécurité des produits alimentaires. En effet, l'ensemble de ces méthodes fondées sur la détection des génomes viraux permet d'inférer un risque sans en connaître la probabilité. Ceci car la détection de génome viral démontre la présence de virus sans donner d'information sur leur infectiosité.

La mise en évidence de TBEV infectieux nécessite une charge virale élevée et l'isolement viral peut être réalisé à partir de modèles *in vivo* murin ou *in vitro* de cellules permissives pour le TBEV comme décrit précédemment (paragraphe 5.2.1.2). Le modèle *in vivo* a été utilisé pour mettre en évidence du TBEV infectieux dans du lait de chèvres infectées expérimentalement (Balogh et al. 2012). Pour le modèle *in vitro*, en raison de la cytotoxicité potentielle des échantillons de lait sur les cellules, il est indispensable d'ajouter à ces dernières un homogénat clarifié de lait ou de fromage testé négatif pour l'ARN du TBEV. De plus, pour les échantillons à tester, une augmentation du titre viral est recherchée par RT-qPCR dans les surnageants de cellules infectées entre le temps suivant l'adsorption virale (T0) et après cinq jours d'infection, en parallèle de l'observation d'un effet cytopathique (ECP), afin de confirmer la réplication du TBEV (Hennechart-Collette et al. 2024). Le modèle *in vitro* a permis de mettre en évidence des virus infectieux dans des échantillons de lait de chèvre et de brebis, et de fromage, naturellement contaminés par TBEV (Pautenius et al. 2021a; Brockmann et al. 2018). Plus précisément, parmi les échantillons donnant des résultats positifs pour les ARN viraux, la méthode d'isolement viral a permis de mettre en évidence la présence de TBEV infectieux dans 13/58 échantillons de lait de chèvre et 1/14 échantillons de lait de brebis (Pautenius et al. 2021a) ; et dans 2/5 échantillons de fromages (Brockmann et al. 2018).

Si la méthode d'isolement viral utilisée précédemment pour la détection du TBEV dans les fromages est peu décrite (Brockmann et al. 2018), une étude récente a comparé différentes méthodes pour la détection du TBEV infectieux dans les fromages (i.e. faisselle et tomme de chèvre) (Hennechart-Collette et al. 2024).

---

<sup>75</sup> Le LGTV est un orthoflavivirus étroitement apparenté au TBEV et appartient au même complexe viral. Il est souvent utilisé comme un modèle expérimental ou un contrôle méthodologique dans des études impliquant le TBEV.

L'isolement viral réalisé sur cellules permissives pour le TBEV permet de mesurer qualitativement son caractère infectieux. Pour quantifier les particules virales infectieuses de TBEV à partir de la matrice lait, la méthode de titrage par TCID<sub>50</sub><sup>76</sup> a été appliquée pour réaliser une étude de persistance virale et d'inactivation thermique à partir d'échantillons artificiellement contaminés (Mathews-Martin et al. soumis).

### 5.3 Stratégies de surveillance

La surveillance épidémiologique est une méthode d'observation, fondée sur des enregistrements en continu, permettant de suivre l'état de santé ou les facteurs de risque d'une population définie. Grâce à cette méthode il est possible en particulier de détecter l'apparition de processus pathologiques et d'en étudier le développement dans le temps et dans l'espace, en vue de l'adoption de mesures de gestion appropriées (Toma 1991). Ainsi, la surveillance est un outil destiné à suivre l'évolution tendancielle des maladies, adapter les méthodes de contrôle, fournir les données nécessaires aux analyses de risque dans le cadre des objectifs de santé animale ou de santé publique, justifier le bien-fondé des mesures sanitaires et fournir des assurances aux partenaires commerciaux (WHO, 2017)<sup>77</sup>.

Les modalités de surveillance appliquées dépendent des sources de données disponibles et des résultats recherchés. Elles peuvent prendre diverses formes qui peuvent être combinées pour assurer le suivi d'une maladie.

Dans le cas de maladies à transmission vectorielle, comme la TBE, la complexité des cycles épidémiologiques faisant intervenir des réservoirs, plusieurs hôtes et plusieurs vecteurs rendent la surveillance plus compliquée (Dufour, Hendriks, et Leblond 2015).

Dans cette section sont présentés et discutés les différents systèmes de surveillance du TBEV utilisés : la surveillance des populations de tiques et des zones de présence du virus dans les tiques ou chez d'autres animaux vertébrés.

#### 5.3.1 Surveillance des populations de tiques

La surveillance des vecteurs (ici les tiques), permet de faire un inventaire des espèces présentes sur les lieux de collecte et d'avoir une représentation de la répartition spatiale et de la dynamique des populations (Wint et al. 2023). Cette surveillance présente toutefois quelques limites :

- techniques, du fait de la lourdeur des aspects organisationnel et logistique des opérations de collecte et de traitement des échantillons ;
- méthodologique, du fait de la méthode du drap<sup>78</sup> qui est fréquemment utilisée mais qui ne reflète qu'imparfaitement le nombre de tiques en circulation dans le milieu examiné (Boyard et al. 2007) et qui est difficile à mettre en place sur une large zone géographique. Il est estimé que cette méthode permet d'échantillonner environ 10 %

<sup>76</sup> La méthode des dilutions limites, combinée à des approches telles que les calculs de Spearman-Kärber ou Reed-Muench, est utilisée pour quantifier la dose infectieuse médiane de culture tissulaire (TCID<sub>50</sub>). Cette méthode mesure la dilution nécessaire d'un virus pour infecter 50 % des cultures cellulaires dans un système donné.

<sup>77</sup> [https://www.woah.org/fileadmin/Home/fr/International\\_Standard\\_Setting/docs/pdf/F\\_TAHSC\\_Sept\\_2017\\_Partie\\_B.pdf](https://www.woah.org/fileadmin/Home/fr/International_Standard_Setting/docs/pdf/F_TAHSC_Sept_2017_Partie_B.pdf)

<sup>78</sup> La collecte des tiques à l'affût est réalisée par passage d'un drap de 1m sur 1m sur la végétation sur une ligne de 10 mètres (ou 10 pas) qu'on appelle « transect »

des tiques présentes au sol<sup>79</sup> et entraîne un biais sur la représentativité des espèces et des stases collectées.

Les objectifs de la surveillance des tiques sont de déterminer les zones géographiques où une espèce donnée de tique est présente et les périodes pendant lesquelles elle infeste ses hôtes, de suivre sa progression géographique, d'identifier les espèces infestant les animaux selon la région et d'évaluer le pourcentage de tiques infectées par divers microorganismes infectieux. Cette surveillance peut se faire de manière programmée (dite aussi active) ou événementielle (ou passive). La surveillance programmée englobe l'ensemble des activités de collecte des tiques dans l'environnement ou sur les hôtes qui peuvent être réalisées de manière plus ou moins standardisée et régulière. La surveillance événementielle, quant à elle, mobilise un ou plusieurs réseaux afin de recueillir des tiques ou des signalements de présence ou de piqûre.

### 5.3.1.1 En France

- Surveillance programmée des populations de tiques

Actuellement, il n'existe pas en France de surveillance programmée et organisée à l'échelle nationale des tiques, quelle que soit l'espèce de tique. Toutefois, diverses enquêtes ponctuelles ou projets de recherche sont, ou ont été mis en place, afin de collecter des données sur les espèces de tiques présentes en France sur des durées plus ou moins longues. Cependant, la plupart de ces recueils de données sont soit non pérennes, soit réalisés sur des territoires limités et ne sont pas représentatifs de l'ensemble du territoire car souvent réalisés dans des lieux proches des laboratoires porteurs de ces projets (Perez et al. 2023).

Ainsi, des suivis longitudinaux de populations de tiques *I. ricinus* sont effectués. Par exemple, le CNR *Borrelia* réalise depuis 2012, dans le cadre de ses missions, un suivi mensuel de l'activité des tiques *I. ricinus* dans différents sites en Alsace (Bas-Rhin et Haut-Rhin) et en Bretagne. Le CNR *Borrelia* suit également les populations de *Dermacentor* spp. dans la région Grand Est depuis 2020. En 2014, dans le cadre du projet CC-EID-Climatick<sup>80</sup>, un réseau d'observatoires répartis dans huit sites, localisés dans des zones correspondant à des climats variés, a également été mis en place pour le suivi mensuel de l'activité des tiques, principalement de l'espèce *I. ricinus*. Bien que ce projet soit maintenant terminé, les laboratoires impliqués dans le réseau d'observatoires continuent ce suivi mensuel sans financements alloués.

- Surveillance événementielle des observations de tiques

Dans le cadre du plan national contre la maladie de Lyme<sup>81</sup>, le programme de recherche participative CiTIQUE<sup>82</sup> a été déployé en 2017. Ce programme vise à surveiller, de manière participative, l'exposition des populations humaine et animales en France aux tiques. Le recueil de signalements de piqûres de tiques se réalise par une application sur mobile ou directement sur le site internet. Depuis l'initiation du projet, plus de 82 000 signalements de piqûres ont été récoltés<sup>83</sup>. Les informations collectées lors de ces signalements, éventuellement couplées à l'envoi des tiques, permettent d'accumuler des données sur la

<sup>79</sup> Tälleklint-Eisen et Lane (2000) sur *I. pacificus* : 9,6%, mais 6,3% sur *I. scapularis* (Daniels et al., 2000) ;

<sup>80</sup> <https://climatick.epia.clermont.inrae.fr/>

<sup>81</sup> [https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/plan\\_lyme\\_180117.pdf](https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/plan_lyme_180117.pdf)

<sup>82</sup> <https://www.citique.fr/>

<sup>83</sup> Chiffres d'avril 2024.

répartition géographique des piqûres de tiques et des microorganismes potentiellement pathogènes qu'elles sont susceptibles de transmettre (recherches non systématiques, ciblant uniquement l'ADN de bactéries et de parasites spécifiquement recherchés), en fonction des milieux, de la météorologie et des saisons.

Il convient toutefois de noter que ces programmes de recherche participatives, comme CiTIQUE, doivent être considérés comme complémentaires des méthodes de surveillance programmées de terrain. Ils permettent de couvrir un plus vaste territoire, souvent à l'échelle d'un pays ou d'une région, et de détecter d'éventuelles introductions de nouvelles espèces de tiques. Ils impliquent toutefois un effort important de communication auprès du public, une mise à disposition régulière des nouveaux résultats au public, aux autorités de santé et aux acteurs de la recherche et également des biais inhérents au caractère déclaratif des données collectées.

#### 5.3.1.2 En Europe

Chaque pays présente un contexte particulier et consacre des ressources variables à la surveillance des tiques ou des maladies liées aux tiques. Toutefois, de nombreux pays conduisent une surveillance avec des modalités très différentes et non standardisées entre eux, voire diverses au sein d'un même pays.

D'après une enquête réalisée par l'ECDC auprès des 50 pays membres du réseau VectorNet<sup>84</sup>, 33 des 43 pays répondants déclarent avoir un système de surveillance pour les tiques (ECDC 2021). Ces systèmes de surveillance sont pour la plupart des systèmes de surveillance événementielle. La surveillance programmée est principalement limitée à des échelles locales (Figure 23).

---

<sup>84</sup> VectorNet est un réseau européen de partage de données sur la distribution géographique de vecteurs arthropodes transmettant des agents pathogènes humains et animaux. Ce projet ambitionne de construire un réseau européen permettant le partage de données sur la distribution géographique des différents groupes de vecteurs (tiques, moustiques, culicoides et phlébotomes) à l'échelle européenne.

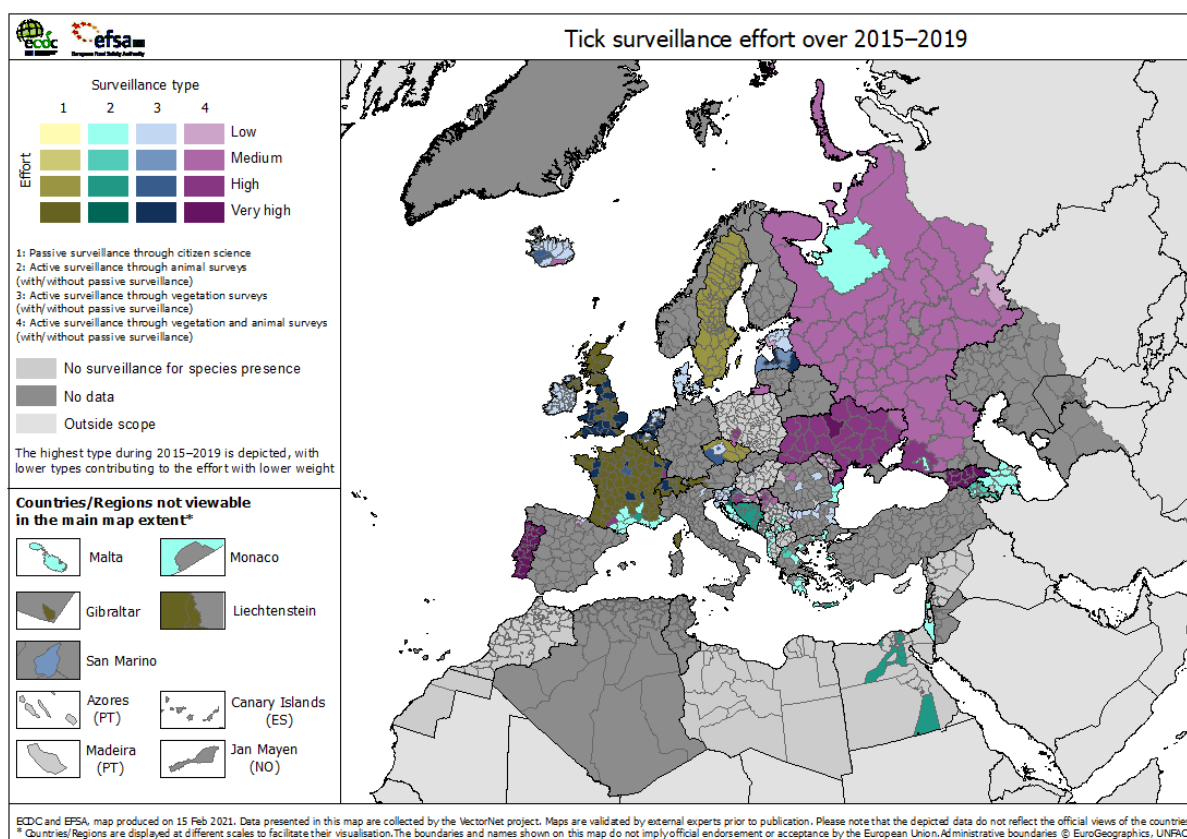


**Figure 23 : Carte présentant les pays ayant mis en place un système de surveillance active ou passive des tiques, sur la période 2015-2019 et l'effort mis dans la surveillance parmi les pays membres du réseau VectorNet (50 pays concernés).**

Source : ECDC, 2021

### 5.3.2 Surveillance du TBEV

En France, il n'y a pas, au moment de la rédaction du rapport, de dispositif de surveillance du TBEV chez les tiques ou chez les animaux. La mise en place d'un dispositif de surveillance pourrait cependant être intéressant pour répondre à deux objectifs : l'identification des zones de présence du virus et l'identification des élevages à risque pour la transmission du TBEV à l'être humain par voie alimentaire.

En effet, en France, la distribution du TBEV n'est pas clairement déterminée. Il est cependant important de connaître les zones de présence du virus pour améliorer le diagnostic, sensibiliser les populations exposées ainsi que les cliniciens et les pharmaciens, et adapter les mesures de prévention. La détermination des zones de présence s'appuie surtout sur les cas humains (voir §3.4). Cependant, ces derniers ne reflètent pas la distribution réelle du virus du fait du faible nombre de cas. D'autres méthodes doivent donc être utilisées pour connaître les zones de présence du virus afin d'améliorer le diagnostic et d'adapter les mesures de prévention.

Ces méthodes peuvent inclure :

- des enquêtes relatives à la présence du virus chez les tiques ou chez les micromammifères ;
- des enquêtes sérologiques à partir de prélèvement de sang chez les méso- et macromammifères domestiques (ce qui permet également d'identifier les élevages à

risque en tant que source de transmission du TBEV à l'être humain par voie alimentaire) ou sauvages pour identifier des zones avec une potentielle circulation du virus ;

- des enquêtes pour déterminer la présence du virus dans le lait ou des enquêtes sérologiques dans le lait.

En ce qui concerne l'objectif d'identification d'élevages à risque en tant que source de transmission du TBEV à l'être humain par voie alimentaire, il est pertinent de cibler des élevages présentant des facteurs de risque vis-à-vis de l'exposition aux tiques (par exemple, la pratique du pâturage en lisière forestière) et de la transmission alimentaire (e.g. production au lait cru, produits laitiers connus comme pouvant être à l'origine de contamination). Les méthodes permettant de répondre à cet objectif de surveillance sont :

- des enquêtes sérologiques à partir de prélèvements de sang ou de lait chez les ruminants domestiques pour identifier les élevages exposés au virus ;
- des enquêtes pour déterminer la présence du virus dans le lait et les produits laitiers des ruminants domestiques pour identifier des élevages et des productions à risque de contamination pour l'être humain.

La pertinence de ces différentes méthodes à des fins de surveillance sont discutées dans les paragraphes suivants.

#### 5.3.2.1 Pertinence de la stratégie de surveillance du TBEV dans les tiques ou les petits mammifères

**Les prévalences du TBEV dans les tiques** *I. ricinus* sont faibles avec une présence du virus localisée en micro-foyers (Perez-Eid, Hannoun, et Rodhain 1992; Bournez et al. 2020a). Considérant une prévalence entre 0,3 et 1 % dans les tiques, il faudrait analyser au moins 500 à 1 000 tiques localement pour avoir 95 % de chances de détecter le virus d'après la formule de Cannon (2001). Des collectes d'un tel nombre de tiques à une large échelle seraient particulièrement lourdes à mettre en place et coûteuses. Ainsi, même si des tiques sont collectées dans le cadre du programme CiTIQUE, celles-ci sont en nombre insuffisant pour une région donnée pour avoir une bonne image de la distribution du TBEV. De plus, leurs conditions de conservation (température ambiante pendant plusieurs jours avant envoi de la tique, puis à - 20°C au laboratoire CiTIQUE) réduisent les chances de conserver et détecter le virus. En effet, s'agissant d'un virus à ARN, il est plus difficile à détecter que les agents infectieux à ADN, l'ARN se dégradant plus rapidement. Il faut donc une logistique importante pour pouvoir conserver les échantillons (congélation à - 80°C). Un important effort d'échantillonnage et une logistique plus importante que pour les agents infectieux à ADN sont donc nécessaires pour détecter le virus dans une population de tiques.

Ainsi, dans un objectif de détection des zones de présence du virus, la recherche du TBEV faite en première intention dans les tiques collectées dans l'environnement ou sur des animaux dans une zone géographique large n'est pas la méthode la plus pertinente à mettre en place. Il n'y a donc pas en France pour l'instant un programme de surveillance du TBEV dans les tiques.

De même, **la détection de zones de présence du virus par l'analyse de prélèvements de rongeurs** (détection d'anticorps ou génome viral) nécessiterait de mettre en œuvre des campagnes de piégeage particulièrement lourdes. Les rongeurs se déplaçant peu, cela donnerait une idée de la circulation très locale du virus. Il faudrait réaliser des prélèvements à



de très nombreux endroits pour bien estimer la circulation à une échelle plus large (département ou région).

Chez les micromammifères, quelques études sérologiques et virologiques ont été conduites en Alsace, pour étudier les dynamiques temporelles de transmission du virus entre les tiques et les micromammifères (Bournez et al. 2020a; Perez-Eid, Hannoun, et Rodhain 1992). La séroprévalence annuelle chez les micromammifères était de 1 à 5 % dans les zones de présence du virus (Bournez et al. 2020a; Perez-Eid, Hannoun, et Rodhain 1992). Néanmoins, en ce qui concerne les micromammifères, le prélèvement à large échelle est difficile.

Ainsi, dans un objectif de détection des zones de présence du virus, la recherche de TBEV faite en première intention chez des rongeurs n'est pas la méthode la plus pertinente à mettre en place.

#### 5.3.2.2 Pertinence de la surveillance du TBEV chez les méso- et macromammifères sauvages et domestiques

Pour les méso- et macromammifères sauvages et domestiques, la recherche du TBEV ne peut pas s'appuyer sur la détection de signes cliniques, comme ceux-ci n'en présentent en général pas, contrairement à l'être humain. De plus, la virémie étant de courte durée, la recherche du virus dans le sang n'est pas une méthode envisageable. En revanche, ces animaux développent des anticorps anti-TBEV qui peuvent persister dans le sang plusieurs années.

C'est pourquoi la méthode qui paraît la plus appropriée pour déterminer les zones de présence du TBEV est de réaliser des enquêtes sérologiques chez les méso- et macromammifères pour identifier des zones avec une circulation potentielle du virus. Même si cette méthode ne permet pas d'identifier précisément le TBEV ni d'estimer sa prévalence chez les hôtes, elle permet de mettre en évidence une exposition au virus des vertébrés testés, indiquant ainsi sa présence. Si des réponses sérologiques sont observées dans des zones où le virus n'a pas encore été décrit, il est nécessaire de conduire des investigations complémentaires en recherchant le virus dans des tiques (tiques à l'affût ou tiques se nourrissant sur leurs hôtes) ou dans les organes d'animaux (rongeurs, cervidés, etc.) afin d'isoler et confirmer l'identification du virus. En effet, étant donné les réponses croisées entre virus du même sérocomplexe, il est nécessaire de confirmer l'identité du virus détecté par des méthodes de biologie moléculaire ou d'isolement viral.

Les enquêtes sérologiques peuvent être réalisées à partir de sérum ou bien à partir de prélèvements de lait pour les animaux domestiques. La pertinence de la détection de TBEV dans le lait à des fins de surveillance est discutée dans le §5.3.2.3.

C'est cette méthode d'enquête sérologique qui a été suivie par exemple au Royaume-Uni et qui a permis de mettre en évidence pour la première fois le TBEV sur le territoire ((Holding et al. 2020). Une enquête sérologique conduite sur 1 309 cervidés prélevés dans plusieurs régions d'Angleterre et d'Écosse a permis d'identifier des zones potentielles de circulation du virus. Des tiques prélevées sur des cervidés dans ces zones ont ensuite été analysées par RT-PCR pour la détection du génome viral et identifiées positives au TBEV.

Pour ces enquêtes, l'espèce sentinelle doit être choisie en considérant un certain nombre de critères (Roelandt et al. 2017), comme par exemple le taux d'infestation par les tiques, la persistance des anticorps anti-TBEV après infection, la taille du domaine vital ou de la zone d'activité adéquate par rapport à la taille de la zone de foyer TBE que l'on souhaite détecter,



la répartition sur le territoire étudié, l'abondance, la faisabilité de la réalisation des prélèvements sur le terrain (Tableau 13).

En Europe, des enquêtes sérologiques ont été conduites sur un large nombre d'espèces, incluant chevreuils, cerfs élaphe, sangliers, renards roux, chiens, bovins, chèvres, moutons et chevaux (Springer et al. 2020; Imhoff et al. 2015).

En France :

- **les ongulés sauvages** (chevreuils, sangliers) sont des espèces sauvages de choix pouvant être utilisées comme sentinelles pour l'étude de la distribution du virus à une large échelle spatiale (Tableau 13). En effet, les ongulés sauvages ont un domaine vital localisé et une large distribution. Ils sont également très infestés par les tiques *I. ricinus* du fait de leur habitat forestier, et des prélèvements peuvent être réalisés facilement lors de la chasse. Chez ces macro-mammifères, quelques études sérologiques ont été conduites en France pour mieux connaître la distribution du TBEV et leur exposition vis-à-vis de ce virus. Une étude a recherché la présence d'anticorps anti-flavivirus de manière globale chez des chevreuils et sangliers dans 16 départements (avec l'ELISA ID Screen® West-Nile Competition dont la sensibilité est très faible) et a permis de détecter des anticorps du complexe TBEV dans cinq départements : Savoie, Marne, Jura, Yvelines et Hautes-Pyrénées (Bournez et al. 2019). Avec les outils sérologiques utilisés pour cette étude, il est impossible de déterminer quel est le virus responsable de la séroconversion au sein du sérocomplexe TBEV<sup>85</sup>, les tests présentant des réactions positives croisées avec d'autres orthoflavivirus (§5.2.2). Cependant, du fait de leur localisation dans l'est de la France, où *a priori* seul le TBEV circule, il est plus probable que, dans les trois premiers départements, les traces sérologiques soient celles du TBEV. Pour les deux autres départements, en l'absence d'isolement du virus, il est impossible de déterminer avec certitude de quel virus il s'agit ;
- **les bovins domestiques**, bien que moins infestés par les tiques que les ongulés sauvages, présentent une large répartition sur le territoire. En raison d'une exposition accrue aux tiques, les élevages de bovins allaitants naisseurs sont particulièrement intéressants à cibler, en particulier ceux qui pratiquent majoritairement le pâturage. De plus, les prélèvements sanguins réalisés annuellement dans le cadre de la prophylaxie d'autres maladies comme la rhinotrachéite infectieuse bovine (IBR) ou la brucellose peuvent être facilement utilisés. Toutefois, la surveillance des élevages allaitants ne permet pas d'estimer, par extrapolation, le risque de transmission du TBEV par le lait car ce dernier est collecté dans des exploitations qui présentent des pratiques d'élevages différentes. Il est également possible de cibler des élevages ayant des pâtures situées à proximité de zones forestières, favorables à la présence de tiques et du TBEV afin d'augmenter les chances de détecter les anticorps anti-TBEV chez les bovins (Mathews-Martin et al. 2024). Par ailleurs, il existe une base de données Française d'identification individuelle des bovins (Base de données nationale d'identification - BDNI) qui permet de faire un échantillonnage aléatoire des animaux à prélever en fonction des objectifs recherchés et d'avoir les informations sur les déplacements des animaux. Une étude sur des échantillons de sérum collectés en 2018 et 2019 a évalué l'exposition des bovins allaitants en Alsace et dans l'est de la Lorraine (Mathews-Martin et al. en préparation). La séroprévalence des bovins allaitants y est de 7,5 % dans toute la zone, variant

<sup>85</sup> Le sérocomplexe TBEV regroupe notamment le TBEV, LIV, OHFV, KFDV, AHFV et POWV (Calisher et al. 1989). Voir p30 (6), pour le nom détaillé des virus.

localement de 0 à 73 %. Cette étude a permis d'identifier une distribution plus étendue du virus que ce qui est observé avec les cas humains.

Dans l'objectif de connaître la distribution du TBEV, l'intérêt des autres espèces est limité du fait de leur répartition non uniforme sur le territoire (ovins, caprins, chevaux), des déplacements élevés sur un large territoire spatial (chiens, chevaux) et la difficulté d'accès à des prélèvements en nombre suffisamment élevé (renards, ovins, caprins, chevaux).

Toutefois, concernant le risque de transmission du TBEV par consommation de produits à base de lait cru et dans l'objectif d'identifier les élevages exposés au virus, la surveillance des troupeaux d'ovins ou de caprins laitiers pourrait être pertinente. Le lait cru de ces derniers est la principale source des cas de transmission alimentaire du TBEV (§9.2). Cette surveillance pourrait apporter des informations localement en utilisant les échantillons prélevés dans le cadre des campagnes de prophylaxie de la brucellose caprine. Elle pourrait être intégrée dans une stratégie de surveillance globale, du fait notamment de la répartition hétérogène de ces types de production sur le territoire en corrélant les analyses avec les facteurs de risques locaux et les pratiques d'élevage (pâturage en extérieur).

Tableau 13 : Critères de choix de l'espèce à prélever pour la mise en place d'enquêtes sérologiques à large échelle en vue de déterminer la distribution de TBEV en France

| Espèce                                              | Exposition aux tiques ( <i>I. ricinus</i> , <i>Dermacentor</i> spp.)                  | Domaine vital, déplacements                                                                  | Abondance et répartition sur le territoire | Facilité de prélèvements et échantillonnage                                                                                                                                                                                                                                                                          | Intérêt comme espèce sentinelle (Oui/non) |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Animaux sauvages</b>                             |                                                                                       |                                                                                              |                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                           |
| <b>Chevreuril</b><br>( <i>Capreolus capreolus</i> ) | Élevée                                                                                | Localisés (quelques kilomètres)                                                              | Large répartition, abondance élevée        | Possibilité lors de la chasse, mais nombre de prélèvements pouvant être réalisés souvent limités localement et pouvant être de mauvaise qualité (conditions de terrain, prélèvements par des non professionnels), contraintes organisationnelles, organisation à mettre en place (prélèvements non faits en routine) | Oui                                       |
| <b>Sanglier</b><br>( <i>Sus scrofa</i> )            | Modérée                                                                               | Localisés le plus souvent, des individus pouvant faire des déplacements > 100 km             | Large répartition, abondance élevée        | Possibilité lors de la chasse, mais le nombre de prélèvements pouvant être réalisés est souvent limité localement et pouvant être de mauvaise qualité (conditions de terrain, prélèvements par des non professionnels), contraintes organisationnelles, organisation à mettre en place (non fait en routine)         | Discutable                                |
| <b>Renard</b><br>( <i>Vulpes vulpes</i> )           | Faible                                                                                | Localisés (quelques kilomètres)                                                              | Large répartition, abondance élevée        | Peu facile, prélèvements possibles à la chasse, organisation à mettre en place, contraintes organisationnelles et difficultés majeures pour avoir une bonne représentativité                                                                                                                                         | Non                                       |
| <b>Animaux domestiques</b>                          |                                                                                       |                                                                                              |                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                           |
| <b>Bovin</b><br>( <i>Bos taurus</i> )               | Modérée, pratique courante du pâturage surtout chez les éleveurs allaitants naisseurs | Localisés, déplacements inter-élevages notés dans la base de données d'identification (BDNI) | Large répartition, abondance élevée        | Facile, prélèvements réalisés annuellement pour la prophylaxie IBR et brucellose, échantillonnage aléatoire possible à organiser en amont avec sélection d'élevages selon des critères d'exposition                                                                                                                  | Oui                                       |

| Espèce                                            | Exposition aux tiques ( <i>I. ricinus</i> , <i>Dermacentor</i> spp.)                             | Domaine vital, déplacements                                                | Abondance et répartition sur le territoire              | Facilité de prélèvements et échantillonnage                                                                                                                                                   | Intérêt comme espèce sentinelle (Oui/non) |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Chèvre</b><br>( <i>Capra aegagrus hircus</i> ) | Modérée, pratique courante du pâturage seulement dans quelques régions (moitié est de la France) | Localisés, mouvements inter-élevages non disponibles à l'échelle nationale | Localisé à certaines régions, nombre d'élevages faible  | Nombre d'animaux prélevés chaque année pour la prophylaxie de la brucellose*                                                                                                                  | Oui<br>(localement sous conditions)       |
| <b>Mouton</b><br>( <i>Ovis aries</i> )            | Modérée, pratique du pâturage en France                                                          | Localisés, mouvements inter-élevages non disponibles à l'échelle nationale | Localisé à certaines régions, nombre d'élevages faibles | Nombre d'animaux prélevés chaque année pour la prophylaxie de la brucellose* probablement insuffisant pour disposer d'une bonne répartition spatiale                                          | Oui (localement sous conditions)          |
| <b>Cheval</b><br>( <i>Equus caballus</i> )        | Modérée, pratique du pâturage en France                                                          | Mouvements très réguliers et non tracés                                    | Localisé à certaines régions, nombre d'élevages faibles | Prélèvements possibles par les vétérinaires ou les laboratoires vétérinaires mais nécessiterait de mettre en place une organisation ou de mobiliser des réseaux déjà existants comme le RESPE | Non                                       |
| <b>Chien</b><br>( <i>Canis lupus familiaris</i> ) | Modérée, pratique de traitement anti-tiques                                                      | Mouvements très réguliers et non tracés                                    | Large répartition, abondance élevée                     | Prélèvements possibles par les vétérinaires ou les laboratoires vétérinaires mais nécessiterait de mettre en place une organisation spécifique et complexe                                    | Non                                       |

\* : prélèvements ayant lieu tous les ans pour les cheptels réalisant de la vente des produits au lait cru, les centres d'insémination et les exploitations diffusant des reproducteurs; et tous les cinq ans pour les autres cheptels.

### 5.3.2.3 Pertinence de la surveillance du TBEV dans le lait

- Recherche du virus dans le lait

L'excrétion du virus dans le lait semble ne durer que quelques jours (de 2 à 23 jours) (Balogh et al. 2012). Ainsi, la détection du génome viral dans le lait (et notamment le lait de tank) est un moyen d'évaluer plus directement le risque d'infection pour le consommateur qu'une recherche d'anticorps dans le lait ou le sérum des animaux d'élevage. En revanche, dans un objectif de détection des zones de présence du TBEV, la recherche d'anticorps dans le sérum ou le lait semble plus pertinente car ceux-ci persistent plus longtemps.

Au moment de la rédaction du rapport, il n'y a pas de surveillance organisée de la présence de TBEV dans le lait en France. La surveillance sanitaire du lait<sup>86</sup>, quelle que soit l'espèce, s'appuie sur deux paramètres :

- la concentration en cellules somatiques<sup>87</sup>, utilisée pour définir la qualité du lait en excluant la contribution d'animaux présentant des mammites. C'est un critère de qualité sur lequel se base le paiement du lait aux producteurs ;
- les dangers bactériologiques : la réglementation fixe deux types de dangers bactériens à surveiller dans le lait ou les produits à base de lait, l'un dit de sécurité (incluant *Salmonella* et *Listeria monocytogenes*) l'autre dit d'hygiène des procédés incluant notamment, selon les produits, les entérobactériacées dont *Escherichia coli*, ou les staphylocoques à coagulase positive. Il n'y a aucune analyse virologique conduite dans le lait.

En France, les professionnels décrivent leur prise en charge des données microbiologiques considérées dans un guide de bonnes pratiques d'hygiène pour la collecte du lait cru et la fabrication de produit laitiers<sup>88</sup>. Dans ce guide, les virus sont considérés comme des dangers biologiques uniquement en ce qu'ils peuvent être introduits par des manipulateurs en cas de défaut d'hygiène (contamination manuportée). Aucune référence spécifique au TBEV n'apparaît dans ce guide validé par le Ministère en charge de l'agriculture.

*A contrario*, en zones de forte endémie comme en Lituanie et Slovaquie, une surveillance fondée sur la détection du virus dans le lait a été proposée (Pautienius et al. 2021a). En Lituanie, Pautienius et al. (2021a) rapportent la présence d'ARN viral dans environ 4,5 % des laits de tanks (issus des chèvres comme des brebis testées). Sur deux années de surveillance, plus de 60 % des fermes présentent au moins un résultat positif (au total, 58/1 363 et 14/312

<sup>86</sup>Règlement (CE) 853/2004 : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32004R0853>

Règlement (CE) 2073/2005 : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=CELEX:32005R2073>

Arrêté du 13 juillet 2012 relatif aux conditions de production et de mise sur le marché de lait cru de bovins, de petits ruminants et de solipèdes domestiques remis en l'état au consommateur final <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000026208547/>

<sup>87</sup> Le taux de cellules somatiques du lait est un indicateur de qualité sanitaire et technologique. Plus le nombre de cellules somatiques dans le lait est élevé, plus la probabilité de contamination de la mamelle par un agent pathogène est forte. Ces cellules somatiques sont soit des cellules épithéliales qui se détachent de la muqueuse au cours de la traite, soit des cellules immunitaires. Ces dernières sont des cellules de défense produites par l'organisme pour détruire les bactéries responsables d'une infection de la mamelle, que l'on qualifie de mammite (<https://www.groupe-techna.com/>). Le nombre et le type de cellules dans le lait ne dépendent pas seulement de l'état de santé des animaux, mais aussi de leur race, du stade de lactation et de l'échantillonnage (Widmer et al., 2022).

<sup>88</sup>[https://agriculture.gouv.fr/sites/default/files/documents/pdf/gph\\_lait\\_cru\\_produits\\_laitiers\\_20135957\\_0001\\_p000\\_cle82a6a2.pdf](https://agriculture.gouv.fr/sites/default/files/documents/pdf/gph_lait_cru_produits_laitiers_20135957_0001_p000_cle82a6a2.pdf)

échantillons de lait de tank de chèvre et mouton, respectivement) (Pautenius et al. 2021a). En outre, la distribution géographique du TBEV dans les échantillons de lait coïncidait avec la zone d'endémie connue de la TBE et était en corrélation avec l'incidence de la maladie chez l'être humain en 2019. Selon les auteurs, la détection du TBEV dans les échantillons de lait est une méthode aussi efficace que la détection du virus dans les tiques collectées dans l'environnement, avec l'avantage d'obtenir des échantillons de lait plus fréquemment et plus régulièrement que des échantillons de tiques. De plus, le taux infectieux minimal dans les tiques était de 0,34 % (IC 95 % 0,15-0,64), plus faible que dans le lait, confirmant que l'analyse du lait est un outil précieux pour étudier la distribution spatiale du TBEV à une résolution plus élevée et à moindre coût que la collecte de tiques (Pautenius et al. 2021b). Toutefois, les auteurs d'une étude réalisée en Suède considèrent que dans un objectif de détection du TBEV, la recherche d'ARN viral présente une sensibilité diagnostique insuffisante du fait de la courte durée de la virémie et proposent de se reporter sur une détection sérologique (Wallenhammar et al. 2020b).

- Recherche d'anticorps dans le lait

Au-delà d'une surveillance spécifique du lait de consommation en tant que source de transmission du TBEV à l'être humain par voie alimentaire, un autre intérêt de la recherche d'anticorps dans le lait apparaît depuis quelques années, à savoir les utiliser comme indicateur.

Des anticorps anti-TBEV sont détectés dans le lait des ruminants d'élevage ayant été infectés par le TBEV. Cependant la durée de persistance des anticorps (quelques semaines, mois ou années) dans le lait est insuffisamment connue. Toutefois, le lait de ruminants est un échantillon plus facile à collecter que les prélèvements de sang.

Dans les pays du nord de l'Europe, où l'incidence des cas humains est faible, mais où la circulation croissante du virus sur une aire géographique en extension est constatée, les organismes en charge de la surveillance constatent la difficulté de la détection de zones à risque TBEV par la surveillance d'échantillons tels que les sérums de rongeurs ou de grands ongulés sauvages ou les tiques elles-mêmes. Une stratégie de surveillance du lait de ruminants d'élevage a été proposée, consistant dans un premier temps à valider l'utilisation de la sérologie sur le lait de ruminants d'élevage sentinelles, considérés comme pertinents pour évaluer le risque de transmission du TBEV à l'être humain (Wallenhammar et al. 2020a).

Ainsi, en Suède pays considéré endémique pour le TBEV mais dans lequel aucun cas d'origine alimentaire n'a été rapporté au moment de la rédaction du rapport<sup>89</sup>, une enquête s'appuyant sur la détection d'anticorps dans les laits de tank de bovins et des laits individuels a été réalisée. Les auteurs soulignent la possibilité de coupler cette surveillance avec le programme de surveillance sanitaire du lait de vache, déjà en place (Blomqvist et al. 2021). La plus faible sensibilité des analyses sérologiques dans les laits de tank par rapport au sérum est reconnue, d'une part du fait d'une durée de vie plus courte des anticorps ou de leur moindre concentration dans le lait que dans le sérum au niveau individuel, et d'autre part par l'effet dilution dans le tank, en raison de la présence de lait d'animaux séronégatifs. De plus, les différentes études documentent des occurrences de laits de tank négatifs dans un élevage de vache où un ou des individus présentent un fort titre d'anticorps anti-TBEV (Blomqvist et al. 2021; Omazic et

---

<sup>89</sup> Il convient toutefois de noter qu'en Suède, la consommation de produits à base de lait cru n'est pas courante dans l'alimentation quotidienne. La réglementation stricte en matière de sécurité alimentaire et les campagnes de sensibilisation concernant les risques sanitaires liés à la consommation de lait cru ont réduit sa popularité. La majorité des produits laitiers en Suède sont pasteurisés pour garantir leur sécurité.

al. 2023). Ces études indiquent que l'utilisation de la sérologie comme outil de surveillance dans les laits de tank, de préférence collectés à l'automne, pourrait être pertinente pour objectiver la circulation du virus dans une zone géographique. Toutefois pour ceci, la méthode d'échantillonnage et la sensibilité des tests restent à être évaluées et des seuils de positivité dans le lait de tank doivent également être définis (des seuils ayant déjà été définis pour le lait individuel) (Blomqvist et al. 2021).

L'infection par le TBEV est majoritairement asymptomatique chez les méso- et macro-mammifères, avec quelques rares cas cliniques signalés chez les chiens et les chevaux. Les ruminants domestiques, bien qu'asymptomatiques, posent un risque zoonotique par l'excrétion du virus dans leur lait.

La détection du TBEV repose principalement sur des analyses moléculaires comme la RT-qPCR, utilisées pour identifier le génome viral dans les tiques, les animaux et les produits laitiers. Les méthodes sérologiques (ELISA, tests de neutralisation) permettent de détecter les anticorps et sont utiles pour identifier les zones à risque de circulation virale.

Concernant la surveillance, en France, il n'y a actuellement pas de dispositif de surveillance de la TBE chez les animaux ou les tiques. La détection du virus dans les tiques ou les micromammifères nécessite des échantillons volumineux et une logistique complexe, rendant ces méthodes coûteuses. Quelques enquêtes sérologiques chez des macro-mammifères ont été conduites dans le cadre de projets de recherche. Selon les experts du GT, les enquêtes sérologiques chez les ongulés sauvages (chevreuils) et domestiques (bovins) sont des outils pertinents pour cartographier la présence du TBEV. Ces espèces, largement réparties, servent d'indicateurs pour déterminer les zones de présence du virus grâce à leur exposition élevée aux tiques. Cependant, dans l'objectif d'identifier des élevages présentant un risque de transmission alimentaire de TBEV, le lait, notamment celui de caprins, est une matrice d'intérêt. Les études nord-européennes montrent que la détection d'anticorps ou de génomes viraux dans les laits de tank est une méthode prometteuse pour surveiller la présence du TBEV. Toutefois, du fait de la distribution hétérogène des élevages caprins en France, et des limites méthodologiques des outils sérologiques qu'il reste à améliorer pour s'assurer de la fiabilité et l'interprétation des résultats, ceux-ci ne semblent pas pertinents selon les experts du GT pour cartographier la présence du TBEV. Concernant les méthodes sérologiques, il y a un besoin de développement ou de calibration de ces outils aux espèces et matrices ciblées.

En conclusion, la surveillance est un élément essentiel d'anticipation des risques d'émergence. Des stratégies de surveillance intégrant les animaux, les tiques et les produits laitiers sont essentielles pour évaluer le risque TBEV et orienter les mesures de prévention en France.



## 6 Facteurs de variations spatio-temporelles de la transmission du TBEV par piqûre de tiques

Afin d'estimer le risque de maladies à tiques, comme la TBE, il est essentiel de comprendre les facteurs qui influencent et conditionnent ce risque. Les maladies à tiques font intervenir un complexe d'interactions écologiques entre l'agent pathogène, les espèces hôtes et les tiques, influencées par les conditions environnementales et le comportement des hôtes (LoGiudice et al. 2008).

Dans une première partie, les experts du GT ont réalisé un état des connaissances actuelles sur les trois principaux facteurs pouvant influencer le risque de transmission du TBEV : la dynamique des populations de tiques (§6.1), la dynamique de transmission du TBEV (§6.2), et l'exposition humaine aux piqûres de tique (§6.3). Seul la tique *I. ricinus* est considérée dans ce chapitre. L'exposition par voie alimentaire sera traitée dans le chapitre 9, et l'influence du changement climatique sera traitée dans le chapitre 10.2.

Enfin, dans une seconde partie, les outils de prédiction du risque TBEV existants sont discutés (§6.4) afin d'estimer les zones favorables à la transmission du TBEV à l'être humain en France.

### 6.1 Facteurs de variations spatio-temporelles des populations de tiques *I. ricinus*

Dans cette partie les experts s'appuient sur des éléments de bio-écologie décrits au chapitre 2 afin d'évaluer les facteurs de variations de l'abondance de la tique *I. ricinus* en France. Cette tique est présente dans les parties tempérées de l'hémisphère Nord. Son développement et sa survie dépendent de facteurs abiotiques (température, humidité). Elle est en effet sensible à la dessiccation. Elle se développe dans la végétation où l'humidité relative ne descend pas en dessous de 80-85 % d'humidité (Kahl et Gray 2023). Des conditions environnementales sèches, comme en été, vont augmenter sa mortalité, excepté si les conditions locales d'humidité liées à son habitat lui permettent de survivre. La température influence le développement des tiques entre les différentes stases. Hoch et al. (2024) ont montré que le pic printanier d'activité des tiques était d'autant plus précoce que les températures cumulées depuis le début de l'année étaient élevées. Dans un site à 800 m d'altitude (Massif central), le pic est décalé en été. De plus, ces auteurs montrent que l'activité des tiques est faible mais non négligeable en période hivernale dans les régions tempérées (en climat océanique notamment).

En termes de facteurs biotiques, le couvert végétal offre une hygrométrie favorable, essentielle à la survie et au développement des tiques *I. ricinus*. Globalement, ce sont les forêts de feuillus ou les forêts mixtes qui sont les plus favorables avec une litière de feuilles permanentes, mais les tiques peuvent également se trouver dans les forêts de conifères si les précipitations sont suffisantes (Kahl et Gray 2023). Les densités d'hôtes, notamment des rongeurs et des ongulés sauvages, ont une forte influence sur les densités de tiques. Les cervidés et en particulier les chevreuils, étant les hôtes préférentiels des tiques adultes, jouent un rôle clef dans le maintien des populations de tiques et la variation spatiale de la densité de ces hôtes peut être importante (Figure 24). Les variations inter-annuelles de la densité en hôtes, notamment en ce qui concerne les rongeurs, peuvent influencer les populations de tiques. En milieu forestier, les abondances des rongeurs varient fortement d'une année sur l'autre, en lien avec les

variations annuelles de leurs sources de nourriture, glands ou faînes. Bregnard, Rais, et Voordouw (2020) ont par ailleurs montré une corrélation positive entre la faînée et la densité de nymphes d'*I. ricinus* deux années plus tard. En effet, les rongeurs étant les hôtes préférentiels des larves d'*I. ricinus*, l'abondance de larves se nourrissant sur les rongeurs est plus élevée les années à forte abondance de rongeurs par rapport aux années à faible abondance. Il en résulte généralement un pic d'abondance de nymphes dans l'environnement l'année qui suit (il faut compter 8 à 12 mois entre le repas sanguin des larves et les nymphes qui en résultent recherchant un hôte), lorsque les conditions météorologiques sont favorables.

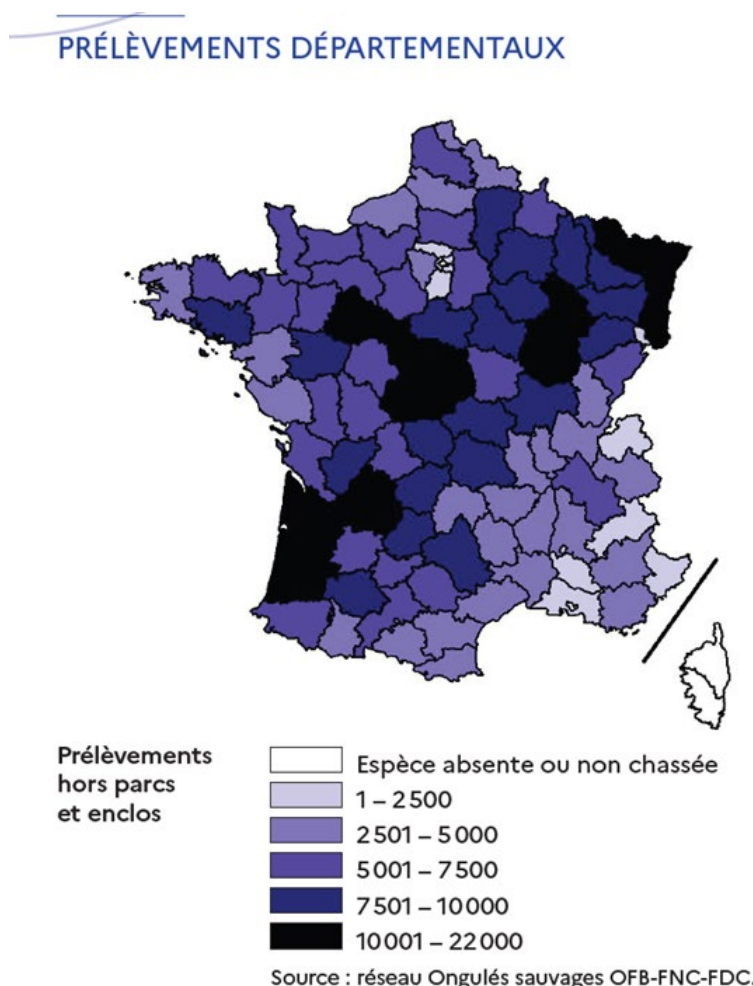


Figure 24 : Carte des prélèvements de chevreuils en 2021-2022

Lebert et al. (2022) ont synthétisé les variations spatiales des facteurs influençant les densités de tiques en établissant une carte d'indice d'habitat favorable par l'utilisation d'une méthode d'analyse de décision multi-critères (MCDA). Les régions de l'est et du centre de la France paraissent favorables aux populations d'*I. ricinus* (Figure 25). Cette carte ne comporte toutefois pas d'estimation pour certaines régions, dont l'Alsace, du fait du mode de recueil particulier de données des populations de chevreuils pour cette région. De plus, elle ne rend pas compte des variations inter-annuelles des densités de tiques.

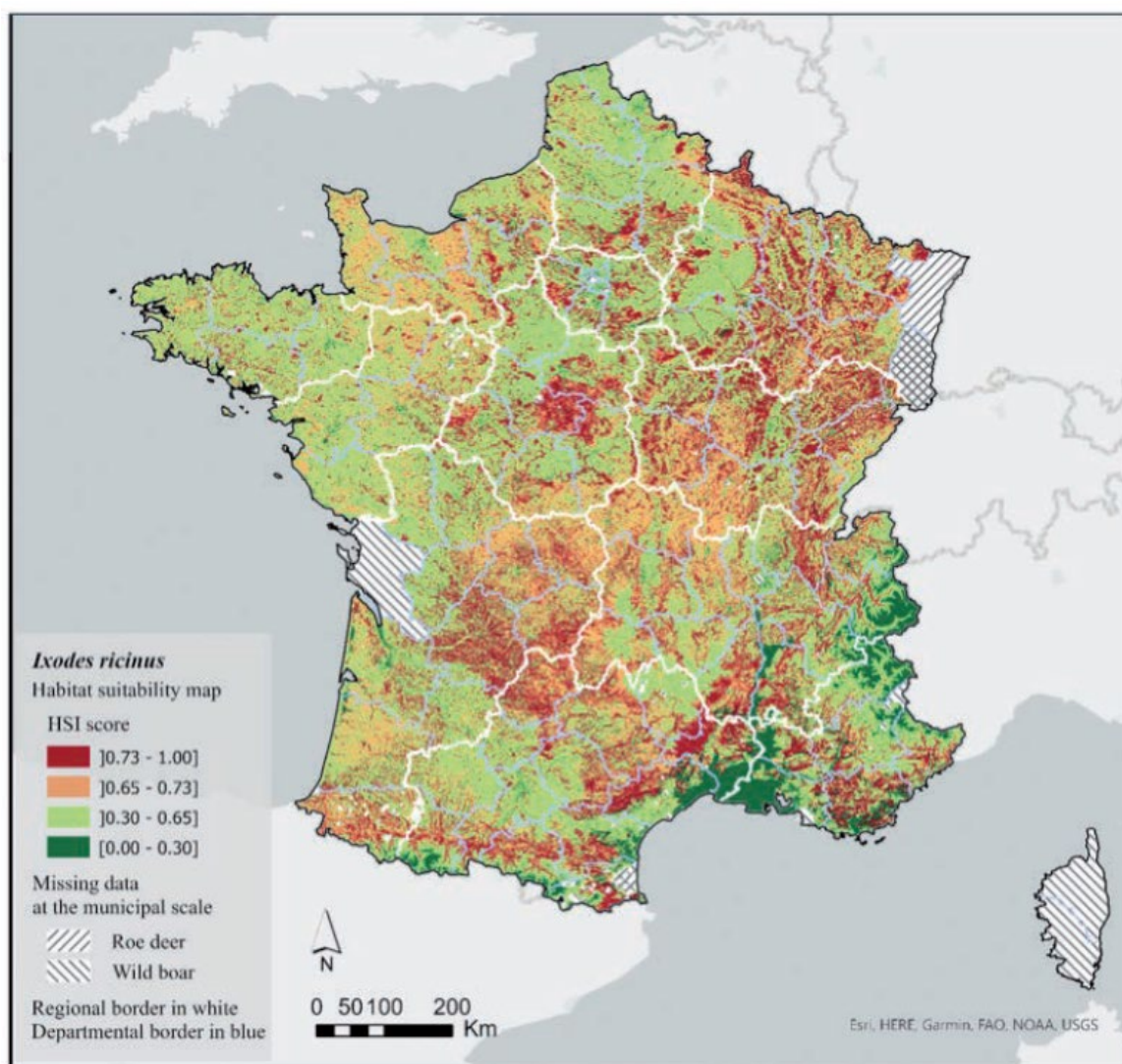


Figure 25 : Carte de l'indice de qualité de l'habitat (*Habitat Suitability Index* - HSI) pour les tiques *I. ricinus* en France hexagonale (source : Lebert et al 2022).

## 6.2 Facteurs associés à la présence et abondance de TBEV dans les tiques

Le TBEV en Europe a une distribution plus restreinte que celles de ses vecteurs, *I. ricinus* et *I. persulcatus*. Ce virus n'a pas encore été détecté dans une grande partie de l'ouest de l'Europe (Figure 2), alors qu'*I. ricinus* y est présent. De plus, au sein de son aire de distribution, le virus a une répartition en micro-foyers, avec une circulation parfois très locale. Cette distribution est très probablement liée aux conditions biotiques et abiotiques spécifiques nécessaires pour favoriser la transmission du virus entre les tiques par l'hôte vertébré, comme par exemple en favorisant le nombre de larves et de nymphes d'*I. ricinus* se nourrissant plus ou moins en même temps sur les rongeurs. Ainsi, la distribution du virus à large échelle en Europe serait déterminée en premier lieu par **des facteurs climatiques**, en particulier ceux liés à la température ou à l'humidité ou aux précipitations (Randolph 2001; Walter et al. 2020) (Figure 26). Plus localement, la présence du virus dans une zone serait aussi influencée par l'interaction complexe entre les **facteurs microclimatiques** (comme l'humidité relative), **paysagers et biotiques** (comme les densités des différents hôtes de tiques) (Randolph et

Storey 1999; Burri et al. 2011; Cagnacci et al. 2012; Bolzoni et al. 2012) (Figure 26). Ces différents facteurs feraient varier spatialement différents paramètres nécessaires à la circulation virale : (i) la synchronicité de l'activité des larves et des nymphes de *I. ricinus*, (ii) l'abondance de tiques (larves et nymphes) se nourrissant sur les rongeurs, (iii) la persistance du virus dans les tiques, (iv) la transmission du virus aux tiques par la présence d'hôtes plus compétents ou de populations d'*I. ricinus* plus compétentes à être infectées et transmettre le virus. Ces différents paramètres et leurs influences sur la présence du TBEV sont détaillés ci-dessous.

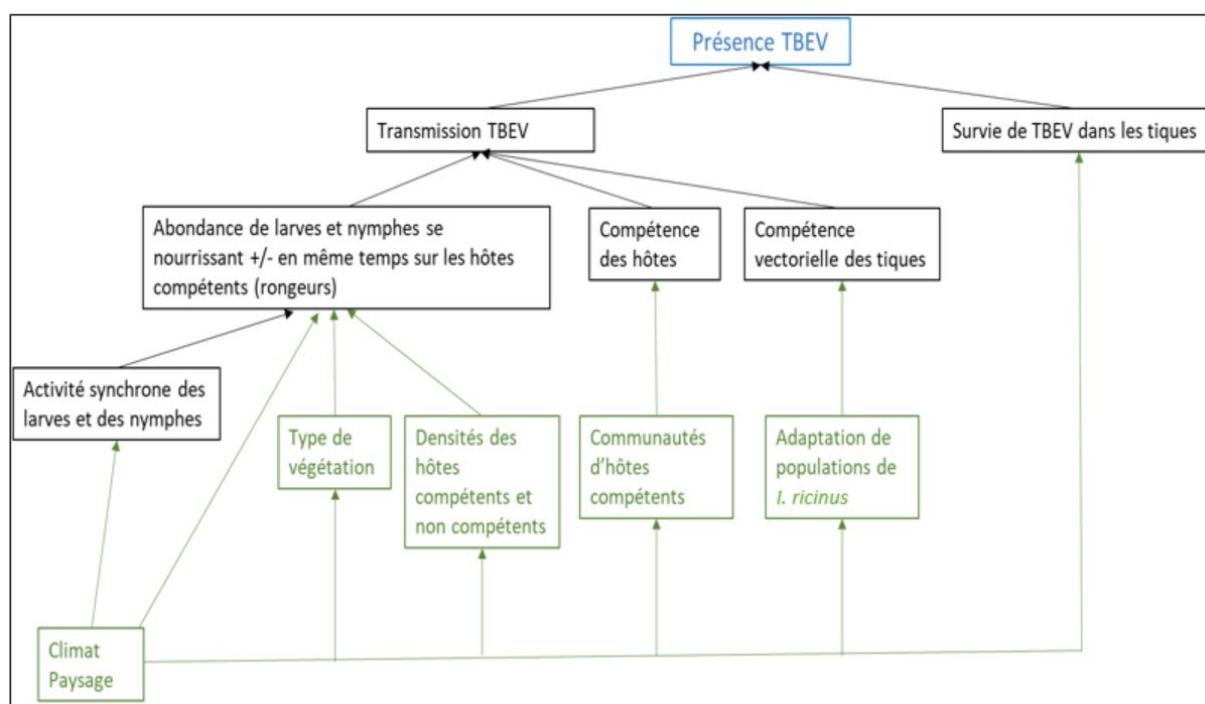


Figure 26: Schéma simplifié des facteurs influençant la présence de TBEV.

## 6.2.1 Facteurs explicatifs de la distribution du TBEV

### 6.2.1.1 Activité synchrone des larves et des nymphes de *I. ricinus*

La virémie étant de courte durée chez les rongeurs (§2.2), la transmission du virus entre nymphes infectées et larves naïves par voie de co-repas, ou par voie horizontale n'est possible que si les larves et les nymphes sont actives au même moment (Randolph et al. 2000; Hartemink et al. 2008). La synchronicité de l'activité des larves et des nymphes déterminerait la distribution de TBEV à l'échelle continentale en Europe (Randolph et al. 2000). L'activité des larves et des nymphes serait décalée à l'ouest de l'Europe par rapport à l'est de l'Europe. À l'ouest de l'Europe, les nymphes sont actives plus précocement avec un pic au début de printemps (mars-mai) alors que les larves sont actives en fin de printemps-été voire en automne (juin à octobre). À l'est de l'Europe, les nymphes sont actives plus tardivement (mai-juin) et les larves plus précocement (mai à octobre) (Randolph et al. 2000). L'hypothèse a été émise qu'un printemps et un été suffisamment chauds, suivis d'une baisse rapide des températures au sol en automne favoriseraient l'émergence synchrone des larves avec les nymphes au printemps de l'année suivante en induisant une diapause comportementale des



larves en automne (Randolph et al. 2000; Randolph 2001; Carpi et al. 2008; Rosà et al. 2019). De plus, la période d'activité des nymphes serait corrélée aux températures cumulées depuis le début de l'année (Hoch et al. 2024).

#### 6.2.1.2 Abondance des larves et des nymphes d'*I. ricinus* se nourrissant sur les micromammifères

Une abondance suffisamment élevée de tiques *I. ricinus* se nourrissant sur les micromammifères, en particulier des nymphes, pourrait jouer un rôle sur le maintien du TBEV localement. Étant donné que les prévalences d'infection des tiques par TBEV sont très faibles, le nombre de nymphes et de larves se nourrissant en même temps (notamment en co-repas) sur les micromammifères seraient des paramètres clés du maintien de la circulation virale (Burri et al. 2011; Cagnacci et al. 2012; Bolzoni et al. 2012; Cull et al. 2017; Rosà et al. 2019). Peu d'études ont été conduites pour comprendre la variation spatiale de la densité de tiques se nourrissant sur les micromammifères et ses déterminants. Cette densité de tiques pourrait varier très localement au sein d'une même zone ou à une large échelle géographique comme à l'échelle continentale, en fonction des facteurs abiotiques (climat : température et humidité), et biotiques (paysages : fragmentation du milieu, densités de forêts et communautés d'hôtes présents et leurs abondances) et de leurs interactions (e.g. la communauté d'hôtes dépend du climat et du paysage). Ainsi, par exemple en Suisse, Burri et al. (2011) observent à une échelle locale de 5-10 km de distance, une plus faible proportion de rongeurs infestés par les larves et les nymphes dans un site par rapport à trois autres, ce qui pourrait en partie expliquer l'absence de TBEV dans ce premier site. À l'échelle de l'Europe, il y aurait une tendance à une infestation plus élevée par les larves et les nymphes d'*I. ricinus* des micromammifères capturés dans des sites situés au centre et à l'est de l'Europe et notamment dans les sites endémiques TBEV (e.g. Suisse, Slovaquie, Allemagne, Pologne) par rapport à ceux capturés à l'ouest de l'Europe (France, Royaume-Uni) (Randolph et al. 1999; Randolph et Storey 1999; Burri et al. 2011; Cull et al. 2017; Bournez et al. 2020a; Kurtenbach et al. 1995; Galfsky et al. 2019; Paziowska et al. 2010; Humair, Rais, et Gern 1999; L'Hostis et al. 1995; Gray, Robertson, et Key 2000). Il est cependant difficile de comparer ces études entre elles car elles utilisent des méthodes différentes de comptage de tiques sur les micromammifères et elles sont réalisées à différentes périodes de l'année. De plus, le faible nombre de sites de capture limite la généralisation des observations. Cela mériterait cependant d'être étudié davantage pour confirmer cette tendance.

Les densités de tiques se nourrissant sur les micromammifères varient spatialement en fonction de la fréquence de contact entre les tiques et les micromammifères. Cette fréquence dépend notamment de la hauteur à laquelle les tiques attendent leurs hôtes dans la végétation ; cette hauteur varie en fonction du taux d'humidité relative de l'air et du type de végétation (Burri et al. 2011; Randolph et Storey 1999; Perret, Rais, et Gern 2004). La hauteur de quête dans la végétation varie selon les stades, les nymphes attendant généralement leurs hôtes plus en hauteur que les larves, entre 20 à 80 cm pour les nymphes et entre 0 à 10 cm pour les larves. Étant sensibles à la dessiccation, les larves et les nymphes ont tendance à être plus proches du sol (humus), lorsque les conditions météorologiques sont chaudes et sèches. Inversement, lorsque l'humidité de l'air est plus élevée, elles ont tendance à attendre leurs hôtes plus haut sur la végétation, en particulier pour les nymphes qui seraient alors moins fréquemment en contact avec les micromammifères par rapport aux autres hôtes. En conditions expérimentales, Randolph et Storey (1999) ont ainsi observé chez les rongeurs une infestation plus importante par les nymphes dans l'enceinte avec des conditions sèches par rapport à celle en conditions humides. Ainsi, le climat variant entre climat océanique plus

humide à l'ouest de l'Europe et climat continental plus sec au printemps et en été, cela pourrait jouer sur la hauteur de quête des nymphes et la transmission d'agents pathogènes portés par les tiques.

La fréquence de contacts entre les tiques et les micromammifères dépend à la fois de l'abondance des tiques et de l'abondance et de la diversité des micromammifères et des autres hôtes de tiques présents. Une abondance élevée de micromammifères va favoriser les contacts entre les stases immatures de tiques et les micromammifères, augmentant le nombre de tiques (larves surtout) prenant leur repas sanguin sur les micromammifères. Cependant, cette abondance va aussi entraîner une réduction de l'infestation des larves et des nymphes sur les mêmes individus, qui est un des paramètres clés de la transmission de TBEV (Rosà et al. 2007; Kiffner et al. 2011; Perez et al. 2017). Ainsi la transmission de TBEV dépend de l'équilibre de ces deux paramètres, l'infestation des larves sur les micromammifères et l'agrégation des larves et nymphes sur les mêmes individus. Ces paramètres varient en sens opposé en fonction de l'abondance des micromammifères (Randolph et Storey 1999; Perkins et al. 2003; Hartemink et al. 2008).

De plus, l'abondance et la diversité de la communauté des autres hôtes de tiques présents localement influencent aussi la fréquence de contacts et l'abondance de larves et de nymphes se nourrissant sur les micromammifères (Cagnacci et al. 2012; Bolzoni et al. 2012). Par exemple, une densité élevée de cervidés (non compétents pour retransmettre le TBEV) pourrait avoir un effet négatif, dit de dilution, sur la transmission du TBEV en augmentant le nombre de tiques (larves et nymphes) se nourrissant sur les cervidés au lieu des micromammifères (Cagnacci et al. 2012; Bolzoni et al. 2012).

#### 6.2.1.3 Persistance du virus dans les tiques

La persistance du virus dans les tiques pourrait être influencée par les conditions climatiques et météorologiques comme indiqué dans le chapitre 2 (§2.1.4).

#### 6.2.1.4 Rôle des rongeurs dans la circulation du virus

La communauté de micromammifères présents et notamment la présence d'hôtes dont la compétence en termes d'infection et de transmission du TBEV varie, pourrait également influencer la circulation du virus localement. Par exemple, il est démontré expérimentalement que le mulot à collier est plus compétent pour transmettre le TBEV et est plus infesté par les tiques sur le terrain que le campagnol roussâtre (Dizij et Kurtenbach 1995; Kurtenbach et al. 1995; Labuda et Randolph 1999; Pérez et al. 2012). Il est intéressant de noter que cette espèce est absente à l'ouest de la France (e.g. pourtour de la côte atlantique).

La compétence vectorielle des tiques *I. ricinus* varierait localement en fonction des populations de tiques et de la souche virale selon une étude faite sur du gorgement *in vitro* (Liebig et al. 2020). La faible compétence vectorielle de certaines populations d'*I. ricinus* pourrait limiter l'introduction du virus dans des zones non encore endémiques. La variation de compétence vectorielle en fonction des populations d'*I. ricinus* mériterait d'être étudiée plus amplement.

### 6.3 Facteurs d'exposition humaine aux piqûres de tiques et au TBEV

L'exposition correspond à la probabilité de rencontre d'un être humain avec des tiques. Elle dépend de la densité et de la distribution spatiale des tiques dans l'environnement. Toutefois, si une zone géographique présente des fortes densités de tiques mais qu'elle n'est pas

fréquentée par l'être humain, la probabilité de piqûre sera faible. L'exposition dépend donc de la fréquentation des êtres humains dans les habitats où des tiques sont présentes et de leur comportement dans ces habitats. Des projets de recherche, encore très expérimentaux, s'attachent à identifier et développer des marqueurs biologiques permettant de mesurer l'exposition des individus aux piqûres de tiques (Vu Hai et al. 2013; Dziedziech et al. 2024).

### 6.3.1 Rôle des activités humaines

Les forêts sont des lieux privilégiés d'activités récréatives (loisirs, détente, tourisme, découverte de la faune et de la flore, chasse) mais également d'activités professionnelles (forestiers, etc.). Chaque année, les forêts françaises reçoivent des centaines de millions de visites. Le risque d'exposition dépend de plusieurs facteurs qui favorisent la rencontre tique-être humain, comme certaines activités de loisir ou professionnelles (Randolph 2008; Grillon, Sauleau, et Boulanger 2024). Par exemple, à l'échelle du micro-habitat, l'exposition dépend des zones fréquentées par les êtres humains et de leur gestion. Autre exemple, dans les zones forestières, fréquenter des chemins entretenus expose moins aux piqûres de tiques que fréquenter des sentiers enherbés ou circuler hors de tout sentier. L'entretien de la végétation joue ainsi un rôle sur l'exposition aux piqûres de tiques (Boyer et al. 2022).

D'autres facteurs d'exposition font intervenir la relation entre les saisons, les conditions météorologiques et le comportement humain. Par exemple, les piqûres de tiques seraient plus fréquentes les week-ends de beau temps suivant une semaine de pluie, période favorable à la recherche de champignons (Randolph 2010).

L'exposition aux piqûres de tiques dépend également de la phénologie de la densité de nymphes d'*I. ricinus* en quête d'un hôte, ainsi elle est en France continentale, plus importante au printemps et en début d'été (paragraphe 2.3.1.1), ce qui correspond aussi à la période de plus grande fréquentation humaine des zones forestières.

#### ***Élicitation d'experts scientifiques en vue d'identifier les principales activités humaines associées à un risque de piqûre de tiques en forêt***

Afin de caractériser les facteurs de risques d'exposition aux piqûres de tiques liés aux activités humaines (professionnelles ou récréatives) en forêt et de pouvoir orienter les messages de prévention aux populations les plus à risque, les experts du GT ont proposé de hiérarchiser différentes activités pratiquées en forêt sur la base du risque d'exposition aux piqûres de tiques qu'elles présentent.

Ce travail de hiérarchisation n'a pas pu s'appuyer uniquement sur la littérature scientifique qui n'est pas suffisamment informative sur le sujet, ni sur les seules connaissances des experts du GT. C'est pourquoi, le GT a décidé d'avoir recours à une élicitation des connaissances, consistant à recueillir l'opinion d'experts scientifiques sur les activités en forêt à risque d'exposition aux piqûres de tiques, leur opinion étant fondée sur leurs connaissances et leur expérience. L'objectif était de contribuer à évaluer la probabilité de se faire piquer par une tique (potentiellement infectée) pendant la pratique d'une activité dans un espace boisé ou végétalisé.

Le GT a établi une liste des activités d'intérêt, des critères à prendre en compte pour les hiérarchiser et des scores à attribuer pour chacun des critères (Annexe 4 – Tableaux A et B). Les détails méthodologiques de ce travail d'élicitation sont présentés en Annexe 4.



Après analyses des réponses reçues (25 répondants dont 13 français), les activités considérées comme les plus à risque d'exposition aux piqûres de tiques sont par ordre décroissant d'ordonnement :

a) trois activités professionnelles :

A03. activités de protection de la forêt

A02. activités forestières et de l'industrie du bois

A01. activités scientifiques et/ou analytiques

b) cinq activités récréatives et une activité de chasse :

A12. cueillette de champignons

A27. chasse en tant que tir et battue

A26. passer la nuit dans la forêt

A11. cueillette de baies ou de fruits

A05. randonnée

A23. s'allonger/s'asseoir sur l'herbe

Des messages de prévention vis-à-vis des piqûres de tiques pourraient être ciblés sur les personnes qui pratiquent les activités considérées dans cette analyse comme les plus à risque d'exposition aux tiques. En outre, des études complémentaires seraient nécessaires afin de diminuer l'incertitude autour de l'estimation des critères pris en compte dans cette élicitation.

### 6.3.2 Facteurs sociaux et économiques

La situation économique d'un pays ou d'une région peut faire varier l'exposition aux tiques et l'incidence des maladies transmissibles par ces dernières. Par exemple, au début des années 1990 le démantèlement de l'ex-URSS a provoqué une recrudescence des cas de TBE en Europe de l'est (Kilpatrick et Randolph 2012). La transition politique qui s'en est suivie en Europe de l'est a en effet conduit la population de certains pays à une plus grande pauvreté, imposant un retour vers la pratique de la cueillette et de la chasse comme source d'approvisionnement, et provoquant ainsi une plus forte exposition aux tiques et donc au TBEV (Sumilo, Asokliene, et al. 2008). La déprise agricole a peut-être aussi permis la prolifération de rongeurs et donc une augmentation de la transmission du virus dans les zones péri-domestiques (Sumilo, Bormane, et al. 2008).

Le lieu de résidence et le statut social peuvent influencer également l'exposition aux tiques. D'après une étude en Pologne, les ruraux seraient généralement plus exposés aux tiques que les citadins, mais étant mieux informés ils utiliseraient plus de mesures de protection personnelle contre les tiques (Bartosik et al. 2008).

En Scandinavie, le niveau d'éducation est associé positivement au risque de piqûre de tiques au Danemark, mais pas en Norvège, ni en Suède (Jore et al. 2020). Cependant, il peut s'agir là d'un facteur confondant, les personnes bénéficiant d'un niveau d'éducation plus élevé pratiquant plus d'activités en extérieur.

Certains métiers sont un facteur important d'exposition aux tiques. Des études d'incidence des maladies vectorielles à tiques et des enquêtes de séroprévalence ont permis de comparer l'exposition des personnes de professions différentes à plusieurs agents infectieux transmis

par les tiques. Ainsi, l'incidence ou la séroprévalence vis-à-vis de *B. burgdorferi* s.l. (agent de la borréliose de Lyme) des agriculteurs et des forestiers est généralement plus élevée que pour le reste de la population, indiquant une exposition aux piqûres de tiques plus importante (Zhioua et al. 1997; Rojko et al. 2005; Tomao et al. 2005; Thorin et al. 2008). Une étude portant sur des patients admis pour des soins médicaux à la suite d'une piqûre de tique a montré que près d'un tiers avait une profession ou une activité en extérieur : agriculteurs, forestiers, horticulteurs et chasseurs (Bartosik et al. 2011). En France, une étude de l'incidence de la borréliose de Lyme a montré que les personnes la contractant sont généralement des personnes de plus de 50 ans, vivent à la campagne, et sont plus souvent des agriculteurs que des employés salariés (Letrilliart et al. 2005; Septfonds et al. 2023).

L'âge est un autre facteur d'exposition aux piqûres de tiques. En France, deux pics d'incidence de la borréliose de Lyme par classe d'âge sont observés : un premier pic d'incidence pour les 5-9 ans et un second pic plus important pour les 60-69 ans (Fournier et al. 2018; Septfonds et al. 2018).

La possession d'animaux de compagnie dans un foyer serait d'après certaines études, associée positivement au risque d'exposition aux tiques des membres de ce foyer. Cela pourrait être dû à des sorties en forêt plus fréquentes des propriétaires de chiens ou à des tiques pouvant être ramenées sur le pelage des chats vagabondant librement (Jones et al. 2018; Nygren et al. 2022). Cependant, aucune association n'a été trouvée dans d'autres études (Jore et al. 2020).

## 6.4 Outils de prédiction du risque de transmission du TBEV

### 6.4.1 Revue des modèles et outils existants pour le risque de transmission du TBEV

Les modèles développés concernant la TBE sont de plusieurs types et poursuivent des objectifs différents mais complémentaires. Ainsi, certains modèles ont été développés en vue de tester des hypothèses biologiques, notamment l'importance des différentes voies de transmission dans la dynamique d'infection par piqûre de tiques. Ces modèles ont été développés en intégrant les différents processus impliqués dans cette transmission. Des modèles statiques se sont focalisés sur le calcul du  $R_0^{90}$ , et les facteurs de variation de celui-ci. Ainsi, Hartemink et al. (2008) ont montré que la valeur estimée du  $R_0$  pour la TBE était inférieure à 1 (valeur seuil au-dessus de laquelle un agent pathogène se propage dans une population d'hôtes) si la transmission par co-repas n'était pas prise en compte. Ces résultats ont été confirmés par Matser et al. (2009) qui ont réalisé une analyse d'élasticité par rapport au  $R_0$  pour différents agents potentiellement pathogènes vectorisés. Ces auteurs montrent une contribution forte des transmissions directes et par co-repas. Nah et al. (2019) ont développé un modèle dynamique, ajusté sur des données de cas en Hongrie, dont les résultats montrent également une augmentation forte des valeurs estimées de  $R_0$  avec un modèle considérant la transmission par co-repas.

Par ailleurs, des modèles statistiques ont été ajustés sur des données issues de suivis temporels ou collectées à large échelle spatiale. De ces modèles sont issus les outils de

---

<sup>90</sup> Taux de reproduction de base : fait référence à la contagiosité et à la transmissibilité des agents pathogènes infectieux.  $R_0$  varie en fonction de divers facteurs et est essentiel dans la gestion de la santé publique pour garantir que les épidémies infectieuses (ou pandémies mondiales) sont contrôlées.

prédiction du risque, par extrapolation de ce risque à des périodes ultérieures ou des zones non échantillonnées.

Concernant les **modèles ajustés sur des données longitudinales** de cas humains de TBE Rubel et al. (2020), par l'application d'un modèle linéaire généralisé, ont montré que la tendance et les oscillations observées de cas en Autriche rapportés pendant 40 ans pouvaient s'expliquer par des facteurs démographiques, climatiques ou liés à la faînée et/ou à la glandée. Pour cette dernière, il existe en effet une corrélation entre la glandée en année N et le nombre de cas en année N+2. Ce modèle a été appliqué à l'Allemagne, l'Autriche et la Suisse pour prédire un nombre de cas en 2019 et 2020, à partir de données de cas sur la période 1991-2018 (Rubel et Brugger 2020). Ces auteurs ont mis en place une prédiction opérationnelle, c'est-à-dire en intégrant au cours du temps les nouvelles données pour vérifier les prédictions et ré-ajuster le modèle (Rubel et Brugger 2021).

Concernant **la modélisation spatiale**, Rácz et al. (2006) ont mis en relation la distribution géographique des cas de TBE en Hongrie avec différentes variables explicatives, parmi lesquelles la proportion de forêt dans chaque région du pays qui joue un rôle significatif. À l'échelle du sud de l'Allemagne, Kiffner et al. (2010) ont mis en évidence par un modèle logistique non seulement l'influence de la proportion de forêts mais également l'effet de la fragmentation forestière qui augmenterait le risque. Ces auteurs attribuent cet effet à une augmentation des densités de tiques (telle qu'observé par Allan, Keesing, et Ostfeld (2003)) ou à un accroissement des contacts entre êtres humains et tiques. Une étude récente réalisée en Moselle confirme ces observations (Boulanger et al. 2024). Uusitalo et al. (2020) ont réalisé une modélisation d'ensemble et ajusté différents modèles de distribution d'espèces (*Species distribution model* – SDM) afin d'identifier la niche écologique correspondant à l'apparition de cas de TBE en Finlande. La modélisation a mise en évidence des variables biotiques et abiotiques significatives et permis l'établissement de cartes de risque. D'après ces cartes, le risque est plus élevé dans les régions côtières du sud et de l'ouest de la Finlande. Des auteurs ont extrapolé leurs résultats de modélisation en simulant l'effet du changement climatique, suivant différents scénarios. Leurs simulations indiquent une expansion de la niche écologique du TBEV, sans montrer pour autant une augmentation de celui-ci (Figure 27).

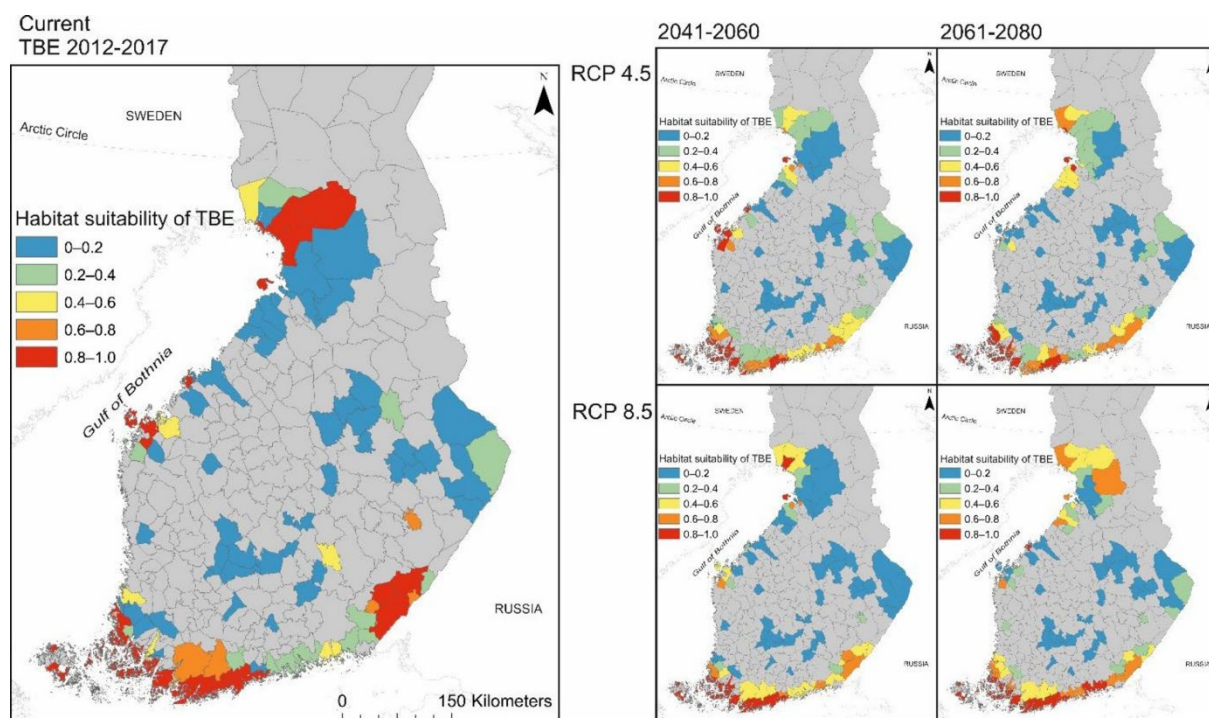


**Figure 27 : Carte de niche écologique pour les cas de TBE en Finlande et simulation de cette variable pour différents scénarios de changement climatique (Uusitalo, 2020).**

Ici, est montré l'adéquation moyenne de l'habitat prévue du TBEV dans les scénarios climatiques actuels (à gauche, pour la période 2012-2017) et futurs (2041-2060 pour les cartes du milieu et 2061-2080 à droite) avec des voies de concentration représentatives (RCP) 4,5 (en haut) et RCP 8,5 (en bas) basées sur six variables bioclimatiques.

À l'échelle européenne, Walter et al. (2020) ont utilisé des données, issues de la littérature, de détection du TBEV chez les tiques et les animaux, quelle que soit la méthode de détection (directe ou indirecte). En incluant des variables explicatives bioclimatiques et de couverture du sol, ils ont ainsi établi une carte de risque, à l'aide d'un modèle de type *random forest* (Figure 28). Le faible nombre de données utilisé pour la France rend cependant la prédiction très incertaine pour toute la zone située à l'ouest sur la carte.



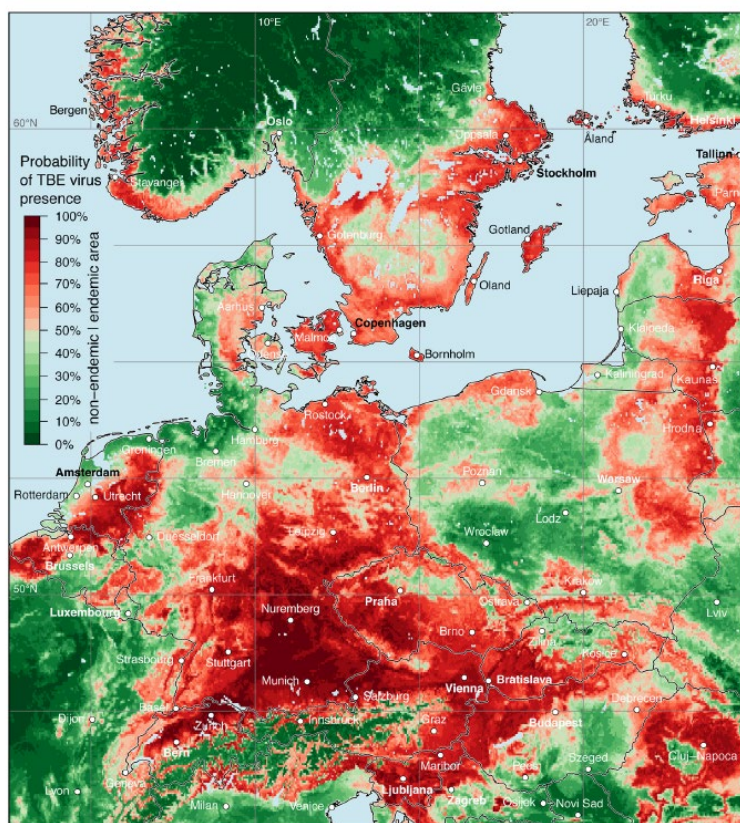


**Figure 28 : Carte de risque, estimé par la probabilité de présence du TBEV, établie par Walter et al. (2020).**

Le projet MOOD<sup>91</sup> (*Monitoring Outbreaks for Disease surveillance in a data science context*) vise à améliorer la surveillance vis-à-vis de l'apparition de maladies en utilisant des méthodes liées à la science des données. Dans le cadre du projet MOOD, Dagostin et al. (2023) ont mis en relation des données de cas de TBE à l'échelle européenne et des covariables climatiques, environnementales ou liées aux hôtes ou aux vecteurs. L'analyse issue d'une modélisation linéaire mixte du logarithme de l'incidence de la TBE a mis en évidence huit prédicteurs de cette incidence (Figure 29). De manière intéressante, l'association entre la présence de micromammifères et l'incidence de la TBE diffère entre les deux espèces identifiées comme étant les hôtes principaux amplificateurs du TBEV : le mulot à collier est associé positivement à l'incidence de la TBE alors que, le campagnol roussâtre, est associé négativement. Ceci s'expliquerait par l'acquisition par cette dernière espèce d'une résistance vis-à-vis de l'infestation par les tiques ou par une meilleure capacité de transmission par le mulot à collier du TBEV aux tiques comme observé expérimentalement par Labuda et al. (1997). Les cervidés ont un rôle amplificateur du nombre de tiques mais n'étant pas des hôtes compétents pour le TBEV, ils peuvent contribuer à une diminution de la prévalence chez les tiques, ce qui explique que leur effet est maximal pour des probabilités de présence intermédiaires. Plus récemment, Dagostin et al. (2024) ont ajusté les données de cas de TBE avec des estimations de richesse des habitats à l'échelle européenne (HRI, *Habitat Richness Index*) (Cervellini et al. 2021). Ils montrent un effet parabolique du HRI sur le nombre de cas, soulignant un effet de l'indice pour des valeurs intermédiaires.

<sup>91</sup> <https://mood-h2020.eu/tbe-case-study/>

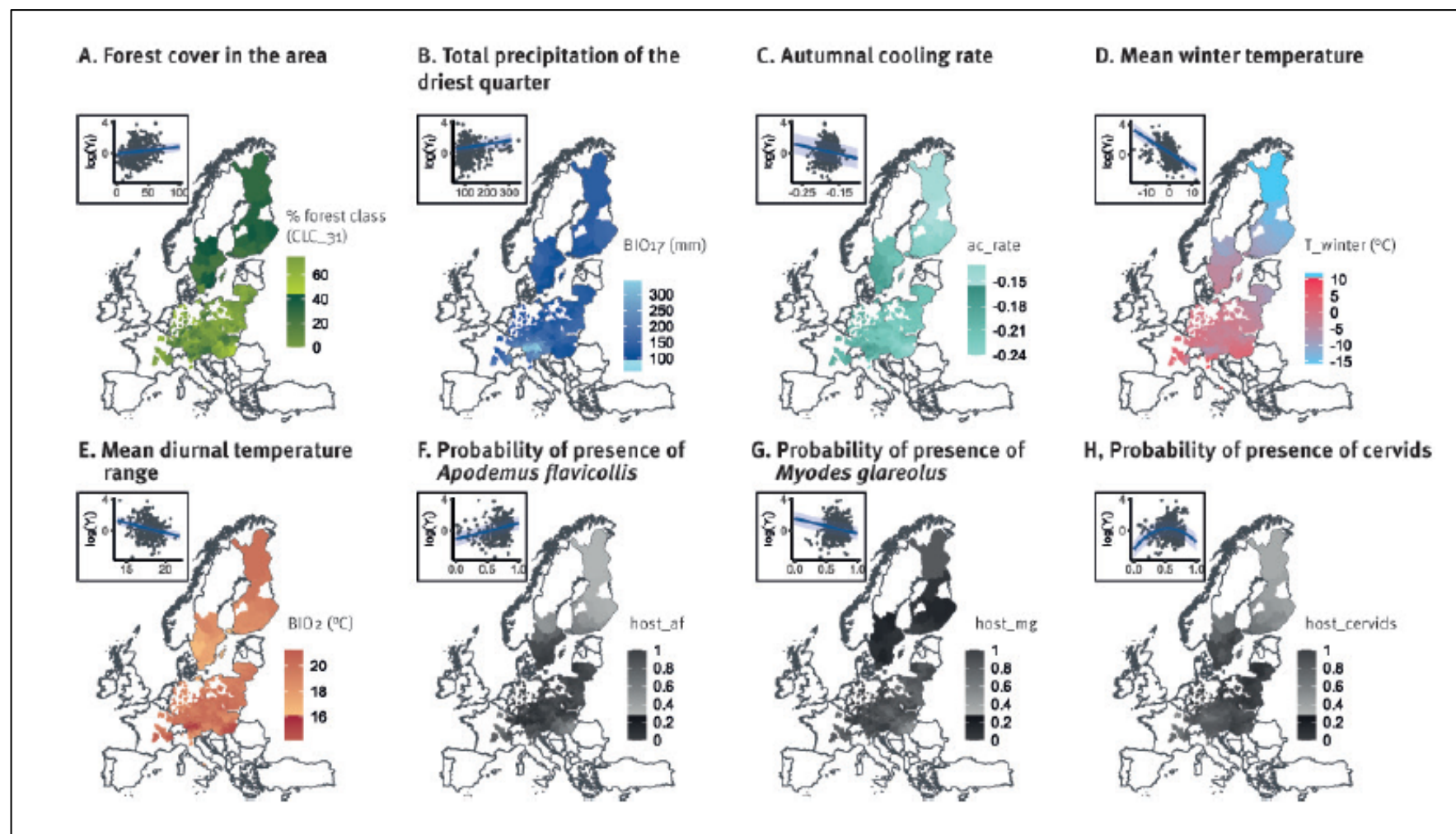


Figure 29 : Carte des différents prédicteurs identifiés dans des cas de TBE en Europe, et estimation de l'effet de ces prédicteurs (Dagostin et al. 2023).

#### 6.4.2 Intérêts et limites des modèles de prédiction du risque de contracter la TBE

Les différents modèles et outils mettent en évidence les facteurs influençant le risque TBEV et permettent d'identifier des zones favorables pour la probabilité d'infection. Les modèles ont évolué, notamment de par leur emprise (zone considérée), et aboutissent dorénavant à des cartes à l'échelle de l'Europe.

Cependant, la lecture brute de telles cartes ne permet pas d'apprécier l'incertitude associée aux points qui la composent. Une probabilité d'infection faible en un point ne signifie pas que le risque y est nul. L'autre limite majeure réside dans les jeux de données ayant permis l'établissement des cartes. En effet, les modèles reposent souvent sur les données de cas de TBE rapportés, probablement parce qu'elles sont plus facilement disponibles. Mais elles sont en général agrégées à des échelles spatiales parfois larges, ce qui rend difficile l'interprétation de relations avec des variables de l'environnement mesurées à un grain plus fin. Les facteurs liés à l'exposition humaine, ne sont par ailleurs en général pas renseignés dans les modèles. D'après Walter et al. (2020), l'utilisation de données de cas humains peut conduire à une sous-estimation du risque dans certaines zones. De ce fait, ces auteurs ont travaillé sur le risque lié à la présence du virus dans les tiques, par la détection du virus dans le vecteur ou des anticorps anti-TBEV dans les hôtes. Ces données s'avèrent cependant plus éparses et difficiles à collecter notamment dans les zones non endémiques telles que la majorité de la France hexagonale.

Concernant la France, l'établissement de cartes de risque pour la TBE se heurte notamment à la rareté des données concernant la présence du virus et à un niveau d'agrégation fort des données de cas, par ailleurs en nombre plus faible par rapport aux pays voisins à l'est. Dans ce contexte, l'établissement de cartes de risque fondé sur des modèles statistiques paraît peu pertinent.

Différents facteurs influencent et conditionnent le risque de transmission du TBEV, notamment la dynamique des populations de tiques. Cette dernière dépend de conditions environnementales comme la température et l'humidité, qui influencent le développement et la survie des tiques. Les habitats favorables aux tiques incluent les forêts feuillues et mixtes avec une hygrométrie élevée. La densité des hôtes, tels que rongeurs et cervidés, est également cruciale pour maintenir les populations de tiques et favoriser la transmission du virus. Selon certains scientifiques, la dynamique de transmission du TBEV repose sur une synchronicité entre les larves et les nymphes se nourrissant sur des micromammifères. Ce phénomène est de plus influencé par des facteurs climatiques et biotiques (abondance et diversité des hôtes), ceci explique la distribution du TBEV, hétérogène dans son aire de distribution et souvent limitée à des micro-foyers.

L'exposition humaine, c'est-à-dire la fréquentation par les êtres humains des habitats où des tiques sont présentes et leur comportement dans ces habitats, est un paramètre important à prendre en compte dans la transmission du TBEV. L'exposition humaine dépend de la pratique d'activités en forêt (récréatives ou professionnelles), mais également de facteurs sociaux et économiques. Les activités professionnelles forestières favorisent aussi l'exposition aux piqûres de tiques.



Des modèles statistiques et dynamiques ont été développés afin d'aider à prédire le risque de transmission du TBEV. Pour la plupart, ils tentent de prédire les zones à risque, mais leur fiabilité est limitée du fait notamment d'un manque de données. Les différents modèles et outils mettent en évidence les facteurs influençant le risque TBE et permettent d'identifier des zones associées à une plus forte probabilité d'infection mais l'incertitude reste élevée.

Enfin dans les zones non endémiques, qui représentent la majeure partie de la France, le manque de données sur la présence du virus limite la fiabilité des cartes de risque et des modèles prédictifs.

## 7 Estimation du risque pour l'être humain de développer une TBE avec des manifestations cliniques à la suite de piqûres de tiques

### 7.1 Schéma événementiel

Dans la démarche du GT d'estimer le risque de développer une TBE en France, les experts ont considéré que le danger était le virus de l'encéphalite à tique. Dans ce chapitre, les experts évalueront la probabilité de développer une TBE avec des manifestations cliniques à la suite de piqûres de tiques, en considérant la probabilité de survenue d'une infection par TBEV à la suite de piqûres de tiques et la probabilité d'apparition de manifestations cliniques de TBE consécutive à cette infection.

Le GT a identifié un enchaînement de trois événements conduisant à la survenue de manifestations cliniques de TBEV chez l'être humain par piqûres de tique. Elles sont représentées dans le schéma suivant (Figure 30) :

- l'être humain considéré a un contact (piqûre) avec au moins une tique *I. ricinus* ou *D. reticulatus*, infectée par le TBEV ;
- l'être humain devient infecté par le virus ;
- l'être humain développe des manifestations cliniques.

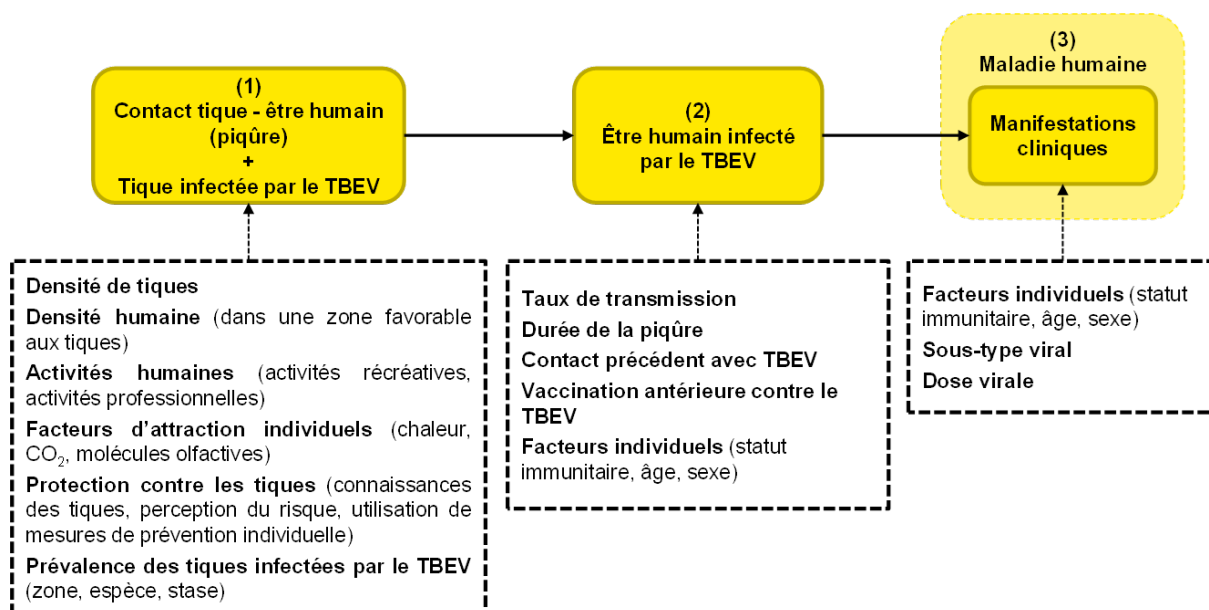


**Figure 30 : Schéma événementiel permettant d'estimer la probabilité de présenter des symptômes de TBE pour l'être humain à la suite de piqûres de tiques et les facteurs qui influencent ces événements.**

Divers facteurs influencent ces événements :

(1) la piqûre d'un être humain par les tiques dépend de nombreux facteurs. Elle dépend d'une part de la densité de tiques dans la zone fréquentée, qui varie en fonction des saisons, des années, de la densité d'hôtes et des milieux ; le milieu forestier étant le milieu le plus favorable

à *I. ricinus* (voir § 6.1). Elle dépend d'autre part des comportements humains, en termes de fréquentation des zones où des tiques sont à l'affût (voir § 6.3.1), des activités conduites dans ces zones (type d'activité, durée, etc.), des mesures de protection individuelle appliquées, ou de facteurs d'attraction individuels, etc. En particulier, les personnes se font le plus piquer dans les milieux forestiers (cela représente environ 50 % des piqûres d'après les données « Baromètre de Santé 2019 »<sup>92</sup> de Santé publique France (Septfons et al. 2021; 2022) et les données CiTIQUE 2021-2024). Au-delà des travailleurs forestiers, qui font l'objet d'une sensibilisation et de protections spécifiques, le risque de piqûre associé aux pratiques d'activités en espace forestier a été évalué par le GT par une élicitation d'experts (voir §6.3.1). Enfin, l'infection par le TBEV des tiques susceptibles de piquer un être humain dépend de la zone fréquentée par ce dernier, de l'espèce et de la stase de la tique (voir §2.3) ;

(2) l'infection par le TBEV d'un être humain suite à une piqûre par une tique infectée dépend du taux de transmission du virus de la tique infectée à l'être humain, de la durée de la piqûre (plus la tique reste longtemps, plus le risque de transmission est élevé mais cette transmission est rapide après la piqûre (cf. voir §2.5.1), de facteurs individuels modulant la réponse immunitaire et du statut immunitaire de la personne vis-à-vis du TBEV (immunité acquise par la vaccination ou un contact précédent avec le TBEV) ;

(3) la manifestation et l'intensité des signes cliniques de TBE chez l'être humain après infection dépend notamment du sous type viral, de la dose virale infectieuse et de facteurs individuels (statut immunitaire, âge, sexe) (cf. § 3.1).

## 7.2 Estimation de la probabilité de présenter des symptômes de TBE pour l'être humain à la suite de piqûres de tiques

Une approche probabiliste a été développée par le GT afin d'estimer la probabilité (P) de développer une TBE avec des manifestations cliniques à la suite de piqûres de tiques. Cette approche est fondée sur le schéma événementiel présenté en Figure 30 ci-dessus, décomposant les étapes conduisant à l'infection d'un être humain depuis son exposition à une tique dans l'environnement.

Cette estimation a été réalisée pour la France dans le cadre de la situation épidémiologique de 2024 de la TBE. Elle prend en compte le sous-type européen de TBEV et les mesures de surveillance et de prévention existantes. Il convient de noter que les mesures de prévention, relevant le plus souvent d'initiatives personnelles, présentent une grande diversité de pratiques. Ces mesures sont décrites et discutées dans le chapitre 11.

Comme présenté dans le chapitre 3, la grande majorité des infections par le TBEV sont asymptomatiques. Ces dernières, n'impactant pas le système de santé, n'ont pas été considérées par le GT pour cette estimation. Le GT s'est intéressé uniquement à la probabilité de développer des symptômes de TBE à la suite de piqûres de tiques. Deux cas de figure ont été envisagés : le développement d'un syndrome pseudo-grippal (phase 1) et le développement de symptômes neurologiques accompagnés de fièvre (phase 2), dus à une infection par TBEV (voir §3.1).

Compte tenu des données disponibles au moment de la rédaction du rapport, les experts ont fait le choix de se placer dans une zone de forte endémicité de TBEV, l'Alsace. En effet, le TBEV n'étant pas présent sur l'ensemble du territoire hexagonal, très peu de données existent

---

<sup>92</sup> [Baromètre santé 2019](#)

à l'échelle nationale concernant la séroprévalence chez l'être humain, la prévalence du TBEV dans les tiques, etc. Du fait de son endémicité historique depuis 1968, l'Alsace est la collectivité territoriale pour laquelle il y a le plus de connaissances et de données disponibles. De plus, l'Alsace est la collectivité territoriale qui déclare le plus de cas annuellement (voir §3.5.2).

La probabilité de présenter des symptômes de TBE à la suite de piqûres de tiques a été estimée pour deux populations en Alsace : la population générale et la population des forestiers (professionnels assurant la gestion des forêts). Ce choix repose sur le fait que certaines catégories professionnelles travaillant à l'extérieur et en particulier en milieu forestier sont plus à risque en termes d'exposition aux piqûres de tiques et de maladies transmises par les tiques<sup>93</sup>. Les forestiers passant généralement plus de 20h par semaine en forêt sont très régulièrement piqués par des tiques (Septfonds et al. 2023). La probabilité d'exposition aux tiques est donc sensiblement différente entre ces deux populations. D'ailleurs, la séroprévalence à *Borrelia burgdorferi* s.l. (bactérie de la maladie de Lyme) est plus élevée chez les forestiers et les agriculteurs par rapport à la population générale (Magnavita et al. 2022; Piacentino et Schwartz 2002; Schielein et al. 2022), avec un risque augmenté d'un facteur 2 à 3 d'après les données d'une méta-analyse faite à partir d'études conduites de 2000 à 2021 en Europe (Magnavita et al. 2022).

L'objectif de la démarche de modélisation développée plus loin est **de simuler l'incidence et les déterminants de sa variabilité en Alsace**, ceci dans le cadre de la situation épidémiologique de 2024 de la TBE en se plaçant dans la situation la plus défavorable. L'estimation du nombre de cas chez les forestiers pourrait appuyer la mise en place des mesures de gestion spécifiques pour cette population plus exposée aux piqûres de tique. Aussi, le modèle proposé pourrait être utilisé pour estimer l'effet de certaines options d'action visant à limiter le nombre de piqûres de tiques de l'être humain.

## 7.2.1 Méthode

La probabilité (P) de développer une TBE avec des manifestations cliniques à la suite de piqûres de tiques dépend de (i) la probabilité de survenue de l'infection par TBEV à la suite de piqûres de tiques (P1) et (ii) la probabilité d'apparition de manifestations cliniques consécutives à cette infection chez l'être humain (P2).

La probabilité P a été estimée sur une année, permettant d'estimer une incidence annuelle de TBE clinique, même si certaines périodes de l'année sont plus à risque en lien avec l'activité saisonnière des tiques.

### 7.2.1.1 Estimation de P1

**La probabilité P1** peut être estimée grâce à la formule (1), combinant la probabilité pour un être humain d'avoir au moins une piqûre de tique par an (P1a) et la probabilité qu'au moins une des tiques piqueuses sur cette période soit infectante (tique infectée et capable de transmettre le virus) (P1b), avec :

$$(1) P1 = P1a \times P1b$$

<sup>93</sup>Les éleveurs pourraient être plus exposés aux piqûres de tiques que la population générale, toutefois le GT ne dispose pas de données chiffrées concernant les piqûres de tiques chez les éleveurs permettant d'estimer P, cette population n'a donc pas été étudiée.

**P1a** est estimée par la proportion de personnes piquées par au moins une tique par an ( $P_{\text{piq}}$ ).

**P1b** est estimée de la manière suivante :

sachant qu'une personne se fait piquer en moyenne  $N_{\text{piq}}$  fois par an, la probabilité qu'une personne soit infectée par le virus est égale à la probabilité qu'une tique piqueuse soit infectante au moins une fois parmi les  $N_{\text{piq}}$  fois. Cette probabilité est donc le complémentaire de la probabilité que la tique piqueuse ne soit pas infectante à chaque événement de piqûre :  $(1 - P_{\text{inf}})^{N_{\text{piq}}}$  où  $P_{\text{inf}}$  correspond à la proportion de tiques infectantes.

Ainsi, 
$$(2) P1b = 1 - (1 - P_{\text{inf}})^{N_{\text{piq}}}$$

La proportion de tiques infectantes  $p_{\text{inf}}$  dépend quant à elle :

- de la proportion de piqûres ayant eu lieu dans une zone où le TBEV est présent ( $P_{\text{piq zone}}$ ) ;
- de la proportion de tiques infectées par TBEV dans une zone où le TBEV est présent. Les deux espèces de tiques, *I. ricinus* et *D. reticulatus*, sont des vecteurs de TBEV et ont donc été considérées. Pour *D. reticulatus*, étant donné que ce sont essentiellement les adultes qui piquent l'être humain, seuls les adultes ont été considérés pour le calcul ;
- de la proportion de tiques infectées transmettant TBEV à l'être humain ( $P_{\text{trans}}$ ) : les experts ont considéré que  $P_{\text{trans}}$  est invariable quelle que soit l'espèce ou la stase de tique.

Pour finir, à chaque événement de piqûre, la probabilité qu'une tique soit infectante  $p_{\text{inf}}$  est donc la somme des probabilités que des tiques de chaque stase soient infectantes :

$$(3) P_{\text{inf}} = P_{\text{piq zone}} \times P_{\text{trans}} \times (P_{\text{LI}} \times P_{\text{TBEVLI}} + P_{\text{NI}} \times P_{\text{TBEVNI}} + P_{\text{AI}} \times P_{\text{TBEVAI}} + P_{\text{AD}} \times P_{\text{TBEVAD}})$$

avec :

$P_{\text{LI}}$ ,  $P_{\text{NI}}$ ,  $P_{\text{AI}}$ ,  $P_{\text{AD}}$  : la proportion de piqûres chez l'être humain due respectivement à des larves, des nymphes et des adultes d'*I. ricinus*, et à des adultes de *D. reticulatus* ;

$P_{\text{TBEVLI}}$ ,  $P_{\text{TBEVNI}}$ ,  $P_{\text{TBEVAI}}$  et  $P_{\text{TBEVAD}}$  : respectivement, la proportion de larves, de nymphes et d'adultes de *I. ricinus* et la proportion de *D. reticulatus* adultes infectés par TBEV dans une zone où le TBEV est présent.

#### 7.2.1.2 Estimation de P2

Les manifestations cliniques s'expriment sous forme de syndrome pseudo-grippal sans signes neurologiques (phase 1) ou sous forme de signes neurologiques accompagnés de fièvre (phase 2) (voir §3.1). Pour la **probabilité P2 d'apparition de manifestations cliniques suite à l'infection par TBEV chez l'être humain**, les experts du GT ont considéré la probabilité P2a de développer un syndrome pseudo-grippal sans signes neurologiques et la probabilité P2b de développer des signes neurologiques de TBE accompagnés de fièvre suite à une infection par TBEV. P2 est estimée par la formule (4) :

$$(4) P2 = P2a + P2b$$

- P2a est estimée d'après la formule (5) :

$$(5) P2a = P_{\text{naïf}} \times P_{\text{sympto}} \times (1 - P_{\text{neuro}})$$

- P2b est estimée d'après la formule (6) :

$$(6) P2b = P_{\text{naïf}} \times P_{\text{sympto}} \times P_{\text{neuro}}$$

avec :

$P_{\text{naïf}}$  : la proportion de personnes n'ayant pas produit des anticorps anti-TBEV par un précédent contact ou par la vaccination ;

$P_{\text{sympto}}$  : la proportion de cas symptomatiques suite à une infection par TBEV ;

$P_{\text{neuro}}$  : parmi les cas symptomatiques, la proportion de personnes développant des signes neurologiques accompagnés de fièvre suite à une infection par TBEV.

Ainsi la proportion de personnes développant uniquement un syndrome pseudo-grippal sans signes neurologiques est  $P_{\text{sympto}} \times (1 - P_{\text{neuro}})$ .

#### 7.2.1.3 Estimation de P

**La probabilité annuelle P de développer une TBE avec des manifestations cliniques à la suite de piqûres de tiques** résulte de la combinaison de deux probabilités P1 et P2 d'après la formule (7) :

$$(7) P = P1 \times P2$$

Les experts considéreront ensuite séparément :

- **la probabilité Pa de développer uniquement un syndrome pseudo-grippal de TBE à la suite de piqûres de tique** calculée selon la formule (8) :

$$(8) Pa = P1 \times P2a$$

- **la probabilité Pb de développer des signes neurologiques de TBE accompagnés de fièvre à la suite de piqûres de tique** calculée selon la formule (9) :

$$(9) Pb = P1 \times P2b$$

### 7.2.2 Paramétrage des données

Le GT a considéré que seuls trois paramètres diffèrent entre les deux populations considérées (la population générale et la population des forestiers) : la proportion de personnes piquées

( $P_{\text{piq}}$ ), le nombre de piqûres par personne ayant été piquée ( $N_{\text{piq}}$ ), et la proportion de personnes qui ne sont pas immunisées vis-à-vis du virus ( $P_{\text{naïf}}$ ). La proportion de piqûres ayant eu lieu dans une zone endémique de TBEV ( $P_{\text{piq zone}}$ ) peut aussi différer entre les deux populations considérées, mais étant donné le manque de données, la même variation de ce paramètre a été considérée pour les deux populations. Le paramétrage des données est présentée ci-dessous.

Chaque paramètre a été simulé 10 000 fois selon sa loi de distribution définie dans le Tableau 13. La loi Beta a été utilisée pour les paramètres estimés à partir des données de l'enquête CiTIQUE uniquement. Les proportions sont estimées à partir des effectifs connus de cette unique enquête (numérateur et dénominateur). Pour les autres paramètres, la loi uniforme a été préférée, car plusieurs études permettent de caractériser l'incertitude (études avec différents effectifs). Le calcul a été fait avec le logiciel R version 4.2.1.

#### 7.2.2.1 Proportion de personnes piquées par au moins une tique ( $P_{\text{piq}}$ )

##### **Données pour la population générale**

D'après les données de l'enquête de Baromètre Santé en 2019, 30,2 % (IC95 %: [29,1-31,3]) de la population française déclarait s'être fait piquer au moins une fois dans leur vie par une tique et 5,9 % (IC95 %: [5,4-6,5]) au cours des douze mois précédents l'enquête. La proportion de piqûres de tiques, quelle que soit l'espèce, est variable selon les régions, et elle est notamment plus élevée dans le nord-est de la France (Bourgogne, Franche-Comté, Champagne-Ardenne, Lorraine et Alsace). La proportion de piqûre de tiques au cours des douze mois précédant l'enquête est de plus de 12 % en Bourgogne, 9-12 % en Franche-Comté, Champagne-Ardenne, Lorraine et Alsace et de 3 à 6 % en Auvergne et Rhône-Alpes (Figure 31).

Lors de l'enquête du Baromètre Santé en 2016, ces proportions étaient légèrement plus faibles qu'en 2019 avec 25,4 % (IC95 %: [24,6-26,2]) de la population générale piquée au moins une fois et 4,1 % (IC95 %: [3,7-4,4]) piquée au cours des douze mois précédant l'enquête, pouvant suggérer des variations interannuelles proches de 2 %.

Pour le calcul, le modèle prend en compte la proportion de personnes piquées. Les experts du GT ont considéré les valeurs hautes de la proportion de personnes piquées par an estimées en Alsace (12 %). L'incertitude sur cette valeur a été établie en considérant l'incertitude sur la proportion observée (+/-2 %). En considérant ces valeurs, l'incertitude sur  $P_{\text{piq}}$  a été décrite à l'aide d'une distribution uniforme avec des bornes inférieure et supérieure de 10 et 14 %.



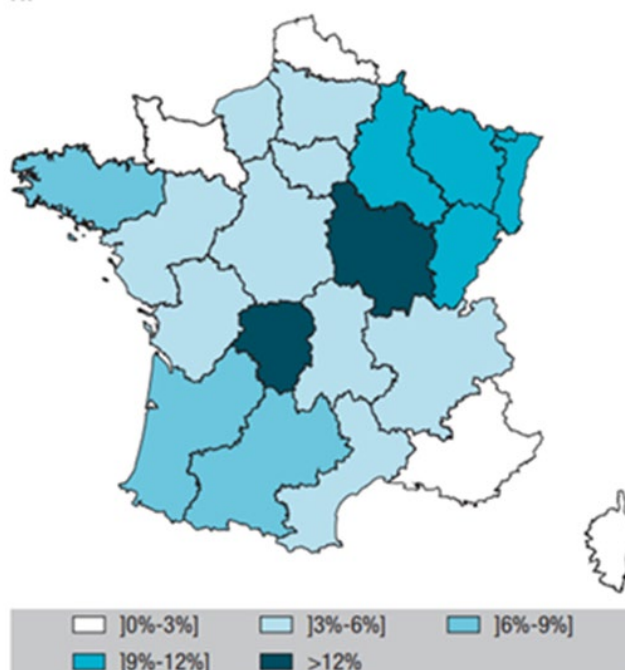


**Figure 31 : Proportion annuelle de personnes piquées par une tique, par région de résidence.**

Source : enquête Baromètre Santé 2019, d'après Septfonds et al. (2022).

### **Données pour les forestiers**

En France, 90,5 % (IC95 %: [89,1–91,8]) des forestiers interrogés lors d'une enquête auprès de 1 778 forestiers de la moitié nord de la France déclarent avoir été piqués au moins une fois et 69,3 % (IC95 %: [66,9–71,6]) dans les douze derniers mois (Septfonds et al. 2023). C'est donc onze fois plus fréquent que pour la population générale. Ces données sont très similaires à celles d'une étude conduite en Wallonie en Belgique auprès de 310 forestiers (De Keukeleire et al. 2018) : 96 % d'entre eux estimaient avoir déjà été piqués par une tique lors de leur activité professionnelle et 52 % déclaraient être piqués plus d'une fois par mois.

Pour le calcul,  $P_{\text{piq}}$  a été considérée, pour les forestiers, comme étant égale à 69 % d'après les données observées par Septfonds et al. (2023). L'incertitude sur cette valeur a été établie en considérant l'incertitude sur la proportion observée de l'ordre de  $\pm 2$  % d'une part et une variation interannuelle d'autre part de  $\pm 2$  %. En considérant ces valeurs, l'incertitude sur  $P_{\text{piq}}$  pour les forestiers a été décrite à l'aide d'une distribution uniforme avec des bornes inférieure et supérieure de 65 et 73 %.

#### **7.2.2.2 Nombre de piqûres par personne pour les personnes ayant été piquées ( $N_{\text{piq}}$ )**

### **Données pour la population générale**

Les personnes piquées sur une période de douze mois l'ont été en moyenne par 3,3 (écart-type de 5,9, médiane de 2) tiques dans la population générale en France et dans la région Grand-Est (Enquête Baromètre Santé 2019 (Septfonds et al. 2021; 2022)).

Pour le calcul,  $N_{\text{piq}}$  a été considérée comme égale à 3,3, d'après les données observées par Septfonds et al. (2023). L'incertitude sur cette valeur a été décrite par les experts à l'aide d'une distribution uniforme avec des bornes inférieure et supérieure de 1,3 et 5,3.

### Données pour les forestiers

Dans la publication de Septfonds et al. 2023, le nombre de piqûres de tiques par forestier par an n'était pas renseigné. Dans un suivi sur deux ans de sept forestiers en Alsace (Grillon, Sauleau, et Boulanger 2024), six se sont faits piquer en 2015 avec une moyenne de 4,6 piqûres de tiques par personne et quatre se sont faits piquer en 2016 avec 9,8 piqûres de tiques par personne, soit une moyenne de 7,2 piqûres de tique par personne sur les deux années.

Pour le calcul,  $N_{\text{piq}}$  a été considérée comme étant égale à 7,2. Considérant l'incertitude associée à cette valeur étant donné le faible nombre de personnes prises en considération et la très probable variation interannuelle associée, l'incertitude sur cette valeur a été décrite par les experts à l'aide d'une distribution uniforme avec des bornes inférieure et supérieure de 4,2 et 10,2.

#### 7.2.2.3 Proportion de piqûres dues à des larves ( $P_{\text{LI}}$ ), des nymphes ( $P_{\text{NI}}$ ) et des adultes ( $P_{\text{AI}}$ ) d'*I. ricinus* et à des adultes de *Dermacentor* spp. ( $P_{\text{AD}}$ )

Les données du Baromètre Santé ne permettent pas de savoir quelle espèce ou stase a piqué les personnes interrogées. Cependant, dans les zones où *I. ricinus* est présente, cette espèce représente la très grande majorité des piqûres. D'après les données de CiTIQUE<sup>94</sup>, dans le Nord-Est ( $n=1\,990$  tiques identifiées entre 2017 et 2023), 93,8 % des piqûres signalées le sont par *I. ricinus* avec 3,5 % de larves, 72,1 % de nymphes et 18,2 % d'adultes. *Dermacentor* spp. représente 5,2 % des piqûres comprenant 3,4 % *D. reticulatus*, 1,5 % *D. marginatus* et 0,3 % *Dermacentor* non identifié, majoritairement des adultes (98 % des *Dermacentor* spp.) pour les deux espèces. Parmi les tiques identifiées en France dans le cadre de CiTIQUE ( $n=3\,868$  entre 2017 et 2020), ces proportions sont assez similaires (variations de 3-4 %) si elles sont calculées avec ou sans les données du Grand-Est.

Pour le calcul :

- $P_{\text{LI}}$  a été considérée comme égale à 3,5 %, l'incertitude autour de cette valeur a été décrite à l'aide d'une distribution Beta (69+1, 1 990-69+1) ;
- $P_{\text{NI}}$  a été considérée comme égale à 72,1 %, l'incertitude autour de cette valeur a été décrite à l'aide d'une distribution Beta (1435+1, 1 990-1 435+1) ;
- $P_{\text{AI}}$  a été considérée comme égale à 18,2 %, l'incertitude de cette valeur a été décrite à l'aide d'une distribution Beta (626+1, 1 990-626+1) ;
- $P_{\text{AD}}$  a été considérée comme égale à 3,4 %, l'incertitude de cette valeur a été décrite à l'aide d'une distribution Beta (67+1, 1 990-67+1).

#### 7.2.2.4 Proportion de piqûres ayant eu lieu dans une zone où le TBEV est présent ( $P_{\text{piq zone}}$ )

La proportion de piqûres ayant eu lieu dans une zone où le virus est présent est difficile à estimer. A l'heure actuelle, les connaissances sur les zones de présence du virus sont très éparpillées. Mises à part quelques enquêtes de séroprévalence réalisées chez des mammifères, la localisation des zones de présence du virus est déterminée uniquement par les cas humains rapportés et confirmés et est donc partielle.

<sup>94</sup>Données issues du programme national de recherche participative CiTIQUE.

Étant donné le manque de données sur ce paramètre, les experts ont considéré une variation de ce paramètre entre 0,01 et 0,8 selon une loi de distribution uniforme pour représenter une large gamme des valeurs possibles.

#### 7.2.2.5 Prévalence de tiques infectées par le TBEV ( $P_{TBEVLI}$ , $P_{TBEVNI}$ , $P_{TBEVAI}$ et $P_{TBEVAD}$ )

Dans les zones de présence de TBEV en Europe, les prévalences du virus dans les tiques à l'affût varient généralement entre 0,01 et 2 %, avec quelques exceptions où les prévalences varient entre 2 et 14 % (voir § 2.3.1.3). Des études dans des pays voisins de la France (Allemagne, Suisse) ayant analysé plus de 8 000 tiques dans plus de 9 sites différents montrent une prévalence moyenne de TBEV dans l'ensemble des sites endémiques échantillonnés variant de 0 % à 0,6 % (variation par site échantillonné entre 0 et 2 %) chez les nymphes et de 0,09 % à 1,5 % (variation par site entre 0 et 3 %) chez les adultes (Gäumann et al. 2010; Bingsohn et al. 2013; Rieille et al. 2014; Ott et al. 2020; Zubriková et al. 2020). Étant donné que la transmission transovarienne de la femelle infectée aux larves est considérée comme faible, peu d'études ont testé les larves. La prévalence dans les larves à l'affût était de 0,3 % (n=646) dans une étude en République Tchèque (Danielová et al. 2010). En France, les données d'enquêtes réalisées dans des sites endémiques du TBEV en Alsace et dans l'Ain ont mis en évidence des prévalences entre 0,03 et 0,3 % chez les nymphes *I. ricinus* et 0,6 à 1,8 % chez les adultes *I. ricinus* (Perez-Eid, Hannoun, et Rodhain 1992; Bestehorn et al. 2018; Bournez et al. 2020b; Gonzalez et al. 2022). Il n'y a pas de données en France sur les prévalences du TBEV dans les larves ni pour les adultes de *D. reticulatus*. Dans des études en Allemagne ou en Pologne faites dans des zones d'endémie du TBEV, la prévalence chez les adultes de *D. reticulatus* était aussi élevée voire parfois plus élevée que chez des adultes d'*I. ricinus* (voir §2.3.2.3).

Ces données de prévalence s'appuient sur la détection du génome viral et ne permettent pas de déterminer si le virus est infectieux dans la tique et donc pourraient surestimer le risque de transmission. A l'inverse, les données de prévalence du TBEV dans les tiques pourraient être sous estimées en raison d'une sous-détection du virus dans les tiques par les méthodes utilisées, les quantités de particules virales détectables dans la tique pouvant être inférieures à la sensibilité de détection des méthodes utilisées.

Dans l'analyse, les données françaises étant similaires à celles observées dans les études citées en Allemagne et en Suisse réalisées sur un plus grand nombre de sites, les experts ont considéré une prévalence chez les nymphes et les adultes d'*I. ricinus* variant respectivement entre 0 et 0,6 % et entre 0,09 et 2 % suivant une distribution uniforme. Pour les larves, dans un objectif d'évaluer un risque maximal, les experts du GT ont considéré une prévalence similaire à celle des nymphes comme observée par Danielova et al. (2010). Concernant *D. reticulatus*, dans un objectif d'évaluer un risque maximal, les experts du GT ont considéré que les adultes sont infectés par TBEV à des niveaux semblables à ceux observés pour les adultes *I. ricinus* en France, variant selon une distribution uniforme entre 0,09 et 2 %.

#### 7.2.2.6 Fréquence de transmission du virus d'une tique infectée à l'être humain lors d'une piqûre ( $P_{trans}$ )

Il est difficile d'estimer le taux de transmission du virus entre une tique infectée et l'être humain. En effet, ce taux varie en fonction de différents paramètres liés à la durée de repas, la charge virale dans la tique, etc. Il faut cependant noter que la transmission est considérée comme

rapide et se ferait en quelques heures (cf. §2.5.1). Expérimentalement, une étude ancienne suggère que la transmission du virus entre les tiques et les rongeurs est rarement systématique et pourrait varier entre 60 et 90 % des individus piqués (Benda, 1958). Il n'y a pas de données informant sur des variations entre stase de développement ou d'espèces. En l'absence de données, les experts du GT ont considéré la même valeur de transmission  $P_{trans}$  quelles que soient la stase et l'espèce.

Pour le calcul, les experts du GT ont considéré que ce paramètre varie entre 0,6 et 0,9 selon une distribution uniforme.

#### 7.2.2.7 Proportion de personnes n'ayant pas produit des anticorps anti-TBEV par un précédent contact ou par la vaccination ( $P_{naif}$ )

##### **Données pour la population générale**

La proportion de personnes vaccinées en France n'est pas connue mais est probablement faible, étant donné que ce n'est pas une maladie bien connue par le grand public ou les médecins généralistes, que le protocole vaccinal nécessite plusieurs doses et que le vaccin n'est pas pris en charge par l'assurance maladie. De plus, la vaccination n'est pas actuellement recommandée en France ; elle est en revanche recommandée pour les voyages durant la période d'activité des tiques en zone rurale dans les pays où le TBEV est endémique (Ministère de la Santé 2024).

Étant donnée la faible proportion de personnes vaccinées et la faible exposition annuelle des personnes au virus, les experts du GT ont considéré dans le calcul  $P_{naif} = 1$  pour la population générale.

##### **Données pour les forestiers**

Les études de séroprévalence permettent d'estimer l'exposition passée des personnes au virus sur plusieurs années. Deux études de séroprévalence vis-à-vis de TBEV ont été faites chez les forestiers en France. La première étude a été réalisée auprès de 2 941 forestiers (non vaccinés contre la TBE ou l'encéphalite japonaise ou la fièvre jaune) en 2002-2003 dans le nord-est de la France (Alsace, Lorraine, Champagne-Ardenne, Bourgogne, Franche-Comté) en utilisant un test ELISA (Thorin et al. 2008). La séroprévalence était de 3,4 % variant entre 2,2 et 5,5 % en fonction des régions. La deuxième enquête a été réalisée chez 1 778 forestiers de la moitié nord de la France en 2019-2020, incluant 673 personnes dans les cinq régions du nord-est de la France (mêmes régions que l'étude précédente en utilisant un test ELISA et séroneutralisation sur les résultats positifs et douteux) (Septfonds et al. 2023). La séroprévalence était de 0,14 % (IC95 % : [0,05-0,42], 3/1 778) en excluant les forestiers séropositifs qui ont été vaccinés (0,6 % (10/1 778)). Les personnes séropositives travaillaient en Franche-Comté (n=2) ou dans la région Pays de la Loire (n=1) où la présence du virus n'a pas encore été mise en évidence. Aucun forestier d'Alsace ou de Lorraine n'était séropositif dans cette étude. Les tests sérologiques réalisés étaient différents entre les deux études et peuvent expliquer en partie la différence de séroprévalence observée. En effet, aucun test de séroneutralisation permettant de déterminer le virus responsable de la séroconversion n'a été réalisé dans la première étude, et donc il y a pu avoir des faux positifs liés à une exposition à d'autres orthoflavivirus. De plus, le nombre de forestiers dans l'est de la France et notamment en Alsace et Lorraine était sans doute trop faible dans la deuxième étude pour mettre en évidence au moins un séropositif. En effet, pour avoir 95 % de chances de mettre en évidence au moins un séropositif, considérant une séroprévalence attendue de 1 %, il faut analyser au

moins 300 échantillons (Cannon 2001). Ainsi, l'étude de Septfons et al. (2023) indique une séroprévalence très probablement faible chez les forestiers dans le nord-est.

Pour le calcul, les experts du GT ont considéré que 0,5 à 3 % des forestiers ont été immunisés vis-à-vis de TBEV par un précédent contact ou par la vaccination. En conséquence, les valeurs de  $P_{\text{naïf}}$  considérées varient entre 0,97 et 0,995 selon une distribution uniforme.

#### 7.2.2.8 Proportion de cas symptomatiques suite à une infection par TBEV ( $P_{\text{sympto}}$ )

Il est difficile d'estimer la part des cas symptomatiques faisant suite à une infection par TBEV. Il est généralement considéré que 10 à 30 % des cas sont symptomatiques (cf § 3.1, Bogovic et Strle 2015). Pour le calcul, les experts du GT ont considéré que  $P_{\text{sympto}}$  suit une distribution uniforme entre 0,1 et 0,3.

#### 7.2.2.9 Proportion de personnes développant des signes neurologiques accompagnés de fièvre suite à une infection par TBEV ( $P_{\text{neuro}}$ )

Il est généralement considéré que parmi les cas symptomatiques, 20 à 40 % développent des symptômes neurologiques entraînant une hospitalisation (cf § 3.1). Pour le calcul, les experts du GT ont considéré que  $P_{\text{neuro}}$  suit une distribution uniforme entre 0,2 et 0,4.

Tableau 14 : Paramètres utilisés pour le calcul de la probabilité de manifestations cliniques de TBE suite à une piqûre de tique pour la population générale et les forestiers en Alsace.

| Paramètre             | Description                                                                                                                                | Population | Valeur observée             | Référence                                                                                                | Valeur paramétrée           |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| P <sub>piq</sub>      | Proportion de personnes piquées par an par au moins une tique : larve , nymphe ou adulte <i>I. ricinus</i> ou adulte <i>D. reticulatus</i> | Générale   | 9-12 %                      | Baromètre Santé 2019 (Septfons et al. 2021)                                                              | Uniforme (0,10 ; 0,14)      |
|                       |                                                                                                                                            | Forestiers | 69 %<br>[66,9–71,6]         | (Septfons et al. 2023)                                                                                   | Uniforme (0,65 ; 0,73)      |
| N <sub>piq</sub>      | Nombre de piqûres par an par personne pour celles ayant été piquées                                                                        | Générale   | 3,3                         | Baromètre Santé 2019 (Septfons et al. 2021)                                                              | Uniforme (1,3 ; 5,3)        |
|                       |                                                                                                                                            | Forestiers | 4,6 et 9,8                  | (Grillon, Sauleau, et Boulanger 2024)                                                                    | Uniforme (4,2 ;10,2)        |
| P <sub>LI</sub>       | Proportion de piqûres dues à des larves <i>I. ricinus</i>                                                                                  | Les deux   | 3,5 %                       | CiTIQUE,2024                                                                                             | Beta (69+1, 1 990-69+1)     |
| P <sub>NI</sub>       | Proportion de piqûres dues à des nymphes <i>I. ricinus</i>                                                                                 | Les deux   | 72,1 %                      | CiTIQUE,2024                                                                                             | Beta (1435+1, 1 990-1435+1) |
| P <sub>AI</sub>       | Proportion de piqûres dues à des adultes <i>I. ricinus</i>                                                                                 | Les deux   | 18,2 %                      | CiTIQUE,2024                                                                                             | Beta (626+1, 1 990-626+1)   |
| P <sub>AD</sub>       | Proportion de piqûres dues à des adultes <i>D. reticulatus</i>                                                                             | Les deux   | 3,4 %                       | CiTIQUE,2024                                                                                             | Beta (67+1, 1 990-67+1)     |
| P <sub>piq zone</sub> | Proportion de piqûres ayant eu lieu dans une zone où le virus est présent                                                                  | Les deux   | <i>inconnu</i>              |                                                                                                          | Uniforme (0,01 ; 0,8)       |
| P <sub>TBEV LI</sub>  | Proportion de larves <i>I. ricinus</i> infectées par TBEV dans une zone où le virus est présent                                            | Les deux   | <i>Rep. Tchèque : 0,8 %</i> | (Danielová et al. 2010)                                                                                  | Uniforme (0 ; 0,006)        |
| P <sub>TBEV NI</sub>  | Proportion de nymphes <i>I. ricinus</i> infectées par TBEV dans une zone où le virus est présent                                           | Les deux   | France : 0,03-0,3 %         | (Perez-Eid, Hannoun, et Rodhain 1992; Bestehorn et al. 2018; Bournez et al. 2020a; Gonzalez et al. 2022) | Uniforme (0 ; 0,006)        |
| P <sub>TBEV AI</sub>  | Proportion d'adultes <i>I. ricinus</i> infectées par TBEV dans une zone où le virus est présent                                            | Les deux   | France : 0,6-1,8 %          | (Perez-Eid, Hannoun, et Rodhain 1992; Bestehorn et al. 2018; Bournez et al. 2020a; Gonzalez et al. 2022) | Uniforme (0,0009 ; 0,02)    |

|                      |                                                                                                                                                    |            |                              |                                                                                                                   |                          |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| $P_{\text{TBEV AD}}$ | Proportion d'adultes <i>D. reticulatus</i> infectés par TBEV dans une zone où le virus est présent                                                 | Les deux   | Pologne : 2,12 %             | (Biernat et al. 2014; Wójcik-Fatla et al. 2011; Mierzejewska et al. 2015; Chitimia-Dobler, Lemhöfer, et al. 2019) | Uniforme (0,0009 ; 0,02) |
| $P_{\text{trans}}$   | Proportion de tiques infectées transmettant TBEV à l'être humain                                                                                   | Les deux   | 60-90 %                      | (Benda, 1958)                                                                                                     | Uniforme (0,6 ; 0,9)     |
| $P_{\text{naïf}}$    | Proportion de personnes n'ayant pas produit des anticorps anti-TBEV par un précédent contact ou par la vaccination                                 | Générale   | <i>inconnu - négligeable</i> |                                                                                                                   | 1                        |
|                      |                                                                                                                                                    | Forestiers | 97-99,5 %                    | (Thorin et al. 2008; Septfons et al. 2023)                                                                        | Uniforme (0,97 ; 0,995)  |
| $P_{\text{sympto}}$  | Proportion de cas symptomatiques suite à une infection par TBEV                                                                                    | Les deux   | 10-30 %                      | (Bogovic et Strle 2015)                                                                                           | Uniforme (0,1 ; 0,3)     |
| $P_{\text{neuro}}$   | Parmi les cas symptomatiques, la proportion de personnes développant des signes neurologiques accompagnés de fièvre suite à une infection par TBEV | Les deux   | 20-40 %                      | (Bogovič et al. 2022)                                                                                             | Uniforme (0,2 ; 0,4)     |



### 7.2.3 Analyse de sensibilité

Une analyse de sensibilité a été conduite afin de déterminer l'influence de certains paramètres sur l'estimation de la probabilité d'avoir des symptômes de TBE à la suite de piqûres de tiques pour la population générale et les forestiers.

L'analyse de sensibilité a été réalisée en utilisant les indices de Sobol (Sobol 2001) et l'analyse de sensibilité selon Saltelli (Saltelli 2002). Les indices de Sobol sont des mesures de sensibilité basées sur la décomposition de la variance de la sortie d'un modèle. Ils permettent d'évaluer l'importance relative de chaque paramètre d'entrée (et de leurs interactions) sur la variabilité de la sortie du modèle. Ces indices se divisent en deux catégories principales : (i) les indices de premier ordre qui mesurent l'effet direct de chaque paramètre d'entrée sur la sortie, indépendamment des autres entrées et (ii) les indices totaux qui mesurent l'effet total d'une entrée sur la sortie, incluant à la fois son effet direct et tous les effets dus aux interactions avec d'autres entrées. L'analyse de sensibilité selon Saltelli est une technique robuste qui améliore l'efficacité de la génération d'échantillons pour l'analyse de sensibilité basée sur les indices de Sobol, en particulier pour les modèles comportant un grand nombre de facteurs d'entrée. L'utilisation de cette méthode se justifie par sa capacité à quantifier avec précision la contribution de l'incertitude de chaque entrée à la variabilité globale de la sortie. Le package R sensobol a été utilisé pour estimer les indices (Puy et al. 2022). L'indice de Sobol varie entre 0 et 1, une valeur proche de 1 pour un paramètre donné indique une forte influence de la variation de ce paramètre sur l'estimation de la probabilité.

L'analyse de sensibilité a été faite en tenant compte des incertitudes de chaque paramètre inclus dans le modèle.

### 7.2.4 Résultats : estimation de la probabilité (P) de développer des symptômes de TBE à la suite de piqûres de tiques en Alsace

Les résultats présentés ci-dessous correspondent à des estimations de différentes probabilités dans les conditions les plus à risque d'exposition au TBEV pour le choix des paramètres.

#### 7.2.4.1 Estimation pour la population générale

##### ***Estimation de la probabilité d'infection par le TBEV (P1)***

Considérant les incertitudes de chaque paramètre, la probabilité annuelle d'infection par le TBEV dans la population générale en Alsace est estimée avec une moyenne de  $5,8 \cdot 10^{-4}$  (médiane de  $4,5 \cdot 10^{-4}$ ) assortie d'un intervalle d'incertitude à 95 % compris entre  $3,1 \cdot 10^{-5}$  et  $1,8 \cdot 10^{-3}$ . **Autrement dit, il y aurait 5,8 (médiane de 4,6) personnes infectées par le TBEV pour 10 000 habitants par an**, avec un intervalle d'incertitude à 95 % compris entre **0,3 et 18** (Figure 31A).

##### ***Estimation de la probabilité de développer des symptômes de TBE à la suite de piqûres de tique (P)***

Considérant les incertitudes pour chaque paramètre, **la probabilité annuelle de développer des symptômes de TBE à la suite de piqûres de tiques dans la population générale en Alsace** est estimée à une moyenne de  $1,2 \cdot 10^{-4}$  (médiane de  $8,7 \cdot 10^{-5}$ ), avec un intervalle d'incertitude

(II) à 95 % compris entre  $5,6 \cdot 10^{-6}$  et  $4,1 \cdot 10^{-4}$ , ce qui représente **un nombre moyen de 1,2 (médiane de 0,87) personnes pour 10 000 habitants (II95% 0,05-4,1 pour 10 000 habitants)** Figure 31B).

Considérant les incertitudes de chaque paramètre, **la probabilité annuelle de développer uniquement des symptômes pseudo-grippaux (sans signes neurologiques) de TBE** à la suite de piqûres de tiques dans la population générale en Alsace est estimée en moyenne à  $8,1 \cdot 10^{-5}$  (médiane de  $6,0 \cdot 10^{-5}$ ), avec un intervalle d'incertitude à 95 % compris entre  $3,8 \cdot 10^{-6}$  et  $2,8 \cdot 10^{-4}$ , ce qui représente **un nombre moyen de 0,81 (médiane de 0,60) personne pour 10 000 habitants (II95% 0,03-2,8 pour 10 000 habitants)** Figure 31C).

Considérant les incertitudes de chaque paramètre, la probabilité annuelle **de développer des symptômes neurologiques de TBE accompagnés de fièvre** à la suite de piqûres de tiques dans la population générale en Alsace est estimée à une moyenne de  $3,5 \cdot 10^{-5}$  (médiane de  $2,5 \cdot 10^{-5}$ ), avec un intervalle d'incertitude à 95 % compris entre  $1,6 \cdot 10^{-6}$  et  $1,3 \cdot 10^{-4}$ , ce qui représente **un nombre moyen de 0,35 (médiane de 0,22) personnes pour 10 000 habitants (II95% 0,02-1,3 pour 10 000 habitants)** (Figure 31D).

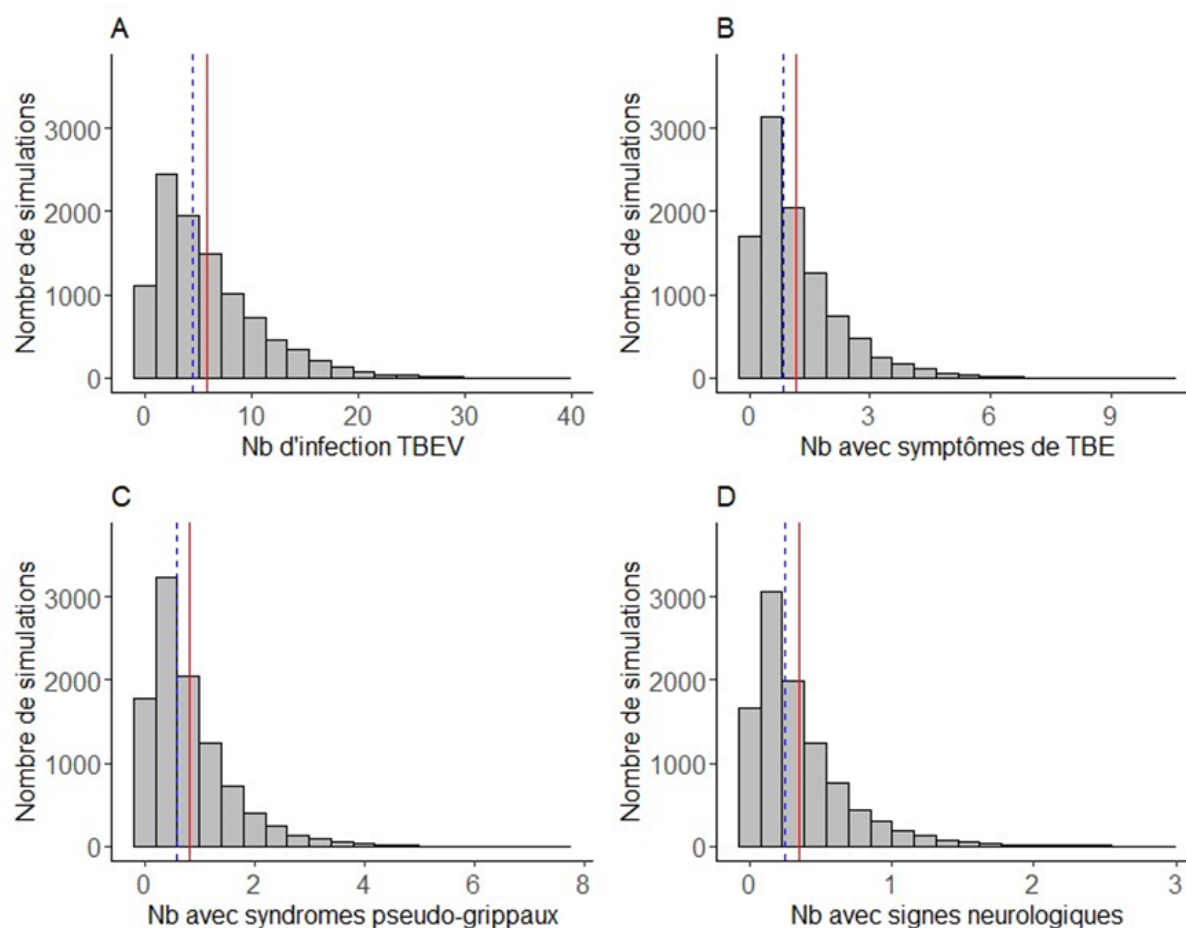


**Figure 31 : Simulations du nombre de cas pour 10 000 habitants faisant suite à une piqûre de tique (A) infectée par TBEV ; (B) avec des symptômes de TBE ; (C) avec syndromes pseudo-**

grippaux sans signes neurologiques de TBE ; (D) avec des signes neurologiques de TBE accompagnés de fièvre.

La moyenne est représentée par la ligne verticale solide rouge et la médiane par la ligne verticale bleue pointillée.

### Résultats de l'analyse de sensibilité

Les résultats de l'analyse de sensibilité montrent que la proportion de piqûres dans une zone endémique de TBEV ( $P_{\text{piq zone}}$ ) est le paramètre ayant les effets les plus élevés sur l'estimation du nombre de cas incidents de TBE. Les autres paramètres influençant fortement cette estimation sont : le nombre moyen de piqûres de tiques pour les personnes ayant été piquées ( $N_{\text{piq}}$ ), la proportion de cas symptomatiques ( $P_{\text{sympto}}$ ), la proportion d'adultes *I. ricinus* infectées par le TBEV dans une zone où le virus est présent ( $P_{\text{TBEV AI}}$ ), la proportion de nymphes *I. ricinus* infectées par le TBEV dans une zone où le virus est présent ( $P_{\text{TBEV NI}}$ ), et la proportion de personnes développant des signes neurologiques accompagnés de fièvre ( $P_{\text{neuro}}$ ) après une infection à TBEV (Figure 32).

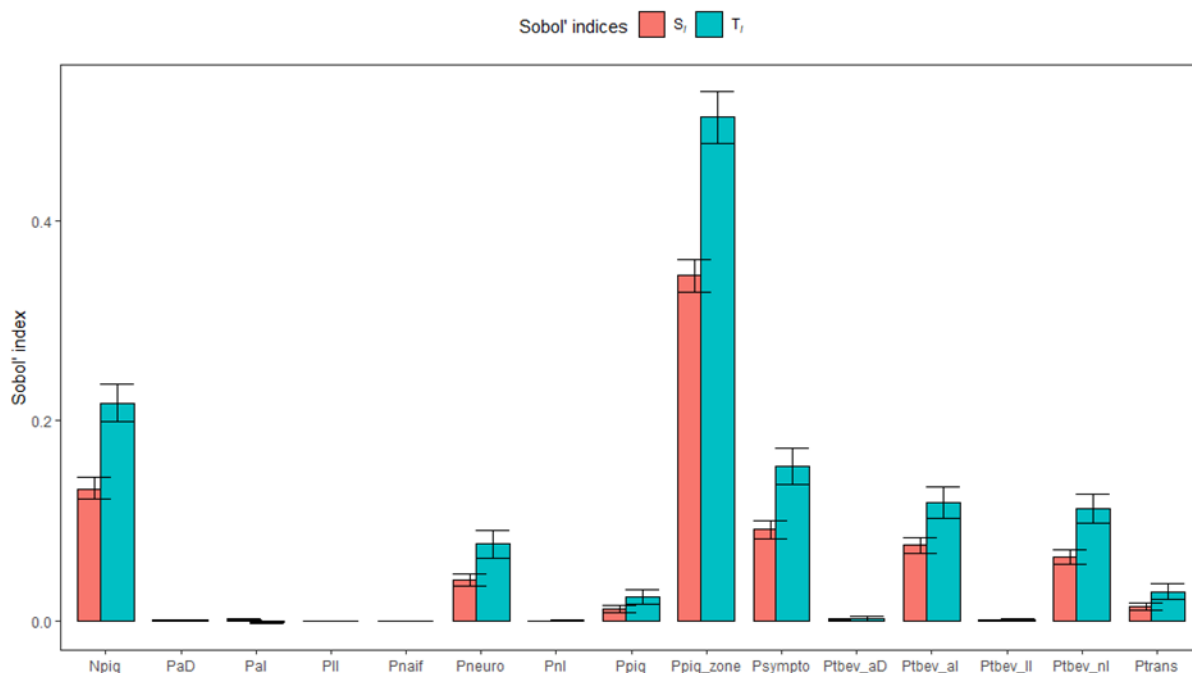


**Figure 32 : Résultats de l'analyse de sensibilité de l'estimation de la probabilité d'avoir des symptômes neurologiques dus au TBEV à la suite de piqûres dans la population générale :** indices de Sobol,  $S_i$  incluant les effets directs uniquement, et  $T_i$  incluant les effets d'interactions entre les paramètres, et leurs intervalles de confiance par paramètre.

### Discussion

La moyenne de l'incidence annuelle de cas neurologiques, estimée par la modélisation, qui prend en compte des valeurs maximales de chaque paramètre, est supérieure à l'incidence observée en Alsace. Néanmoins, les valeurs de l'incidence observée en Alsace sont comprises entre les valeurs minimales et maximales estimées par le modèle. En effet, étant donné qu'il y a entre 10 et 30 cas rapportés par an en Alsace (voir §3.5.2) pour une population de 1,9 millions d'habitants (INSEE, 2023), l'incidence annuelle de cas neurologiques de la TBE observée en Alsace est entre 0,05 à 0,15 cas pour 10 000 habitants.

En particulier, les experts du GT ont considéré une très large variation (de 0,01 jusqu'à 0,8) du paramètre « proportion de piqûres dans une zone infectée de TBEV » ( $P_{\text{piq zone}}$ ), celui-ci étant inconnu. Compte tenu du fait que ce paramètre ressort comme majeur dans l'analyse de sensibilité, des recommandations spécifiques sont proposées en fin de rapport concernant l'acquisition de connaissances sur les proportions de piqûres dans les zones à risque. Il est intéressant de noter que le nombre moyen de cas prédits par le modèle pour 10 000 habitants est inférieur à 0,15 (i.e. à l'incidence maximale observée en Alsace) lorsque ce paramètre est inférieur à 0,2 (Figure 33). De plus, même si ce paramètre est élevé avec 80 % de piqûres ayant lieu dans des zones où TBEV circule, il est également intéressant de noter que l'incidence moyenne serait **au maximum de 0,35 cas/10 000 habitants, soit 67 cas/an en Alsace**.

Entre les différentes régions de France, ce sont notamment les paramètres proportion de piqûres dans une zone endémique de TBEV ( $P_{\text{piq zone}}$ ) et proportion de personnes piquées ( $P_{\text{piq}}$ ) qui varient. A l'heure actuelle, il n'est pas possible de déterminer  $P_{\text{piq zone}}$  dans les différentes régions. La proportion de personnes piquées varie entre 3 et 15 % en fonction des régions. Si le TBEV est présent, dans les régions où la proportion de personnes piquées est de 3 à 6 % (comme en région Rhône-Alpes), l'incidence de cas neurologiques de TBE estimée est de 0,12 [II95 % : 0,01-0,33] à 0,24 [II95 % : 0,02-0,67] cas pour 10 000 habitants (Figure 34), soit deux à trois fois moins que dans la région Alsace.

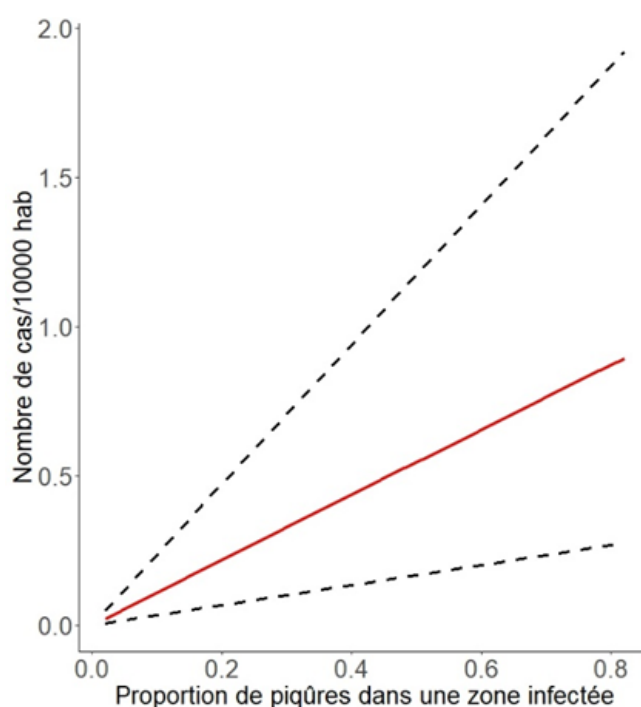


**Figure 33 : Incidence de cas neurologiques de TBE prédite en nombre de cas/10 000 habitants en fonction de la proportion de piqûres ayant lieu dans une zone infectée par le TBEV.**

La ligne rouge en trait plein représente la moyenne, les lignes noires en pointillés l'intervalle d'incertitude à 95 %.

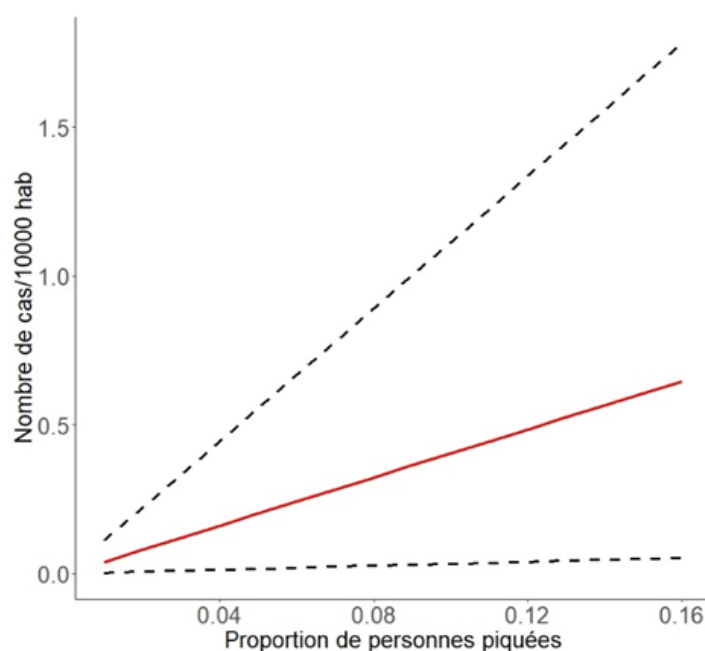


**Figure 34 : Incidence de cas neurologiques de TBE prédite en nombre de cas/10000 habitants en fonction de la proportion de personnes piquées.**

La ligne rouge en trait plein représente la moyenne, les lignes noires en pointillés l'intervalle d'incertitude 95 %.

#### 7.2.4.2 Estimation pour les catégories professionnelles à risque – exemple des forestiers

##### ***Estimation de la probabilité d'infection par le TBEV***

Considérant les incertitudes de chaque paramètre, la probabilité annuelle d'infection par le TBEV chez les forestiers en Alsace est estimée en moyenne de  $7,4 \cdot 10^{-3}$  (médiane de  $6,4 \cdot 10^{-3}$ ), avec un intervalle d'incertitude à 95 % compris entre  $4,0 \cdot 10^{-4}$  et 0,02. **Autrement dit, il y aurait un nombre moyen de 77 (médiane de 64) forestiers en Alsace infectés chaque année par le TBEV pour 10 000 forestiers (I95% compris entre 4 et 226 pour 10 000 forestiers)** (Figure 35A).

##### ***Estimation de la probabilité de développer des symptômes de TBE à la suite de piqûres de tique (P)***

Considérant les incertitudes de chaque paramètre, la probabilité annuelle de développer des symptômes de TBE à la suite de piqûres de tiques chez les forestiers en Alsace est estimée en moyenne de  $1,6 \cdot 10^{-3}$  (médiane de  $1,2 \cdot 10^{-3}$ ), avec un intervalle d'incertitude à 95 % compris entre  $8,5 \cdot 10^{-5}$  et un maximum de  $5,0 \cdot 10^{-3}$ , ce qui représente **un nombre moyen de 15,5 (médiane de 12,0) personnes pour 10 000 forestiers (I95% 0,9-49,9 pour 10 000 forestiers)** (Figure 35B).

Considérant les incertitudes de chaque paramètre, la probabilité annuelle de développer uniquement des symptômes pseudo-grippaux de TBE (sans signes neurologiques) à la suite de piqûres de tiques chez les forestiers en Alsace est estimée en moyenne de  $1,1 \cdot 10^{-3}$

(médiane de  $8,2 \cdot 10^{-4}$ ), avec un intervalle d'incertitude à 95 % compris entre  $5,4 \cdot 10^{-5}$  et  $3,5 \cdot 10^{-3}$ , ce qui représente **un nombre moyen de 11 (médiane de 8) personnes pour 10 000 forestiers (II95% 0,5-35,1 pour 10 000 forestiers)** (Figure 35C).

Considérant les incertitudes de chaque paramètre, la probabilité annuelle de développer des symptômes neurologiques de TBE à la suite de piqûres de tiques chez les forestiers en Alsace est estimée en moyenne de  $4,5 \cdot 10^{-4}$  (médiane de  $3,4 \cdot 10^{-4}$ ), avec un intervalle d'incertitude à 95 % compris entre  $2,2 \cdot 10^{-5}$  et  $1,5 \cdot 10^{-3}$ , ce qui représente **un nombre moyen de 4,5 personnes (médiane de 3,4) pour 10 000 forestiers (II95% 0,2-15,4 pour 10 000 forestiers)** (Figure 35D).

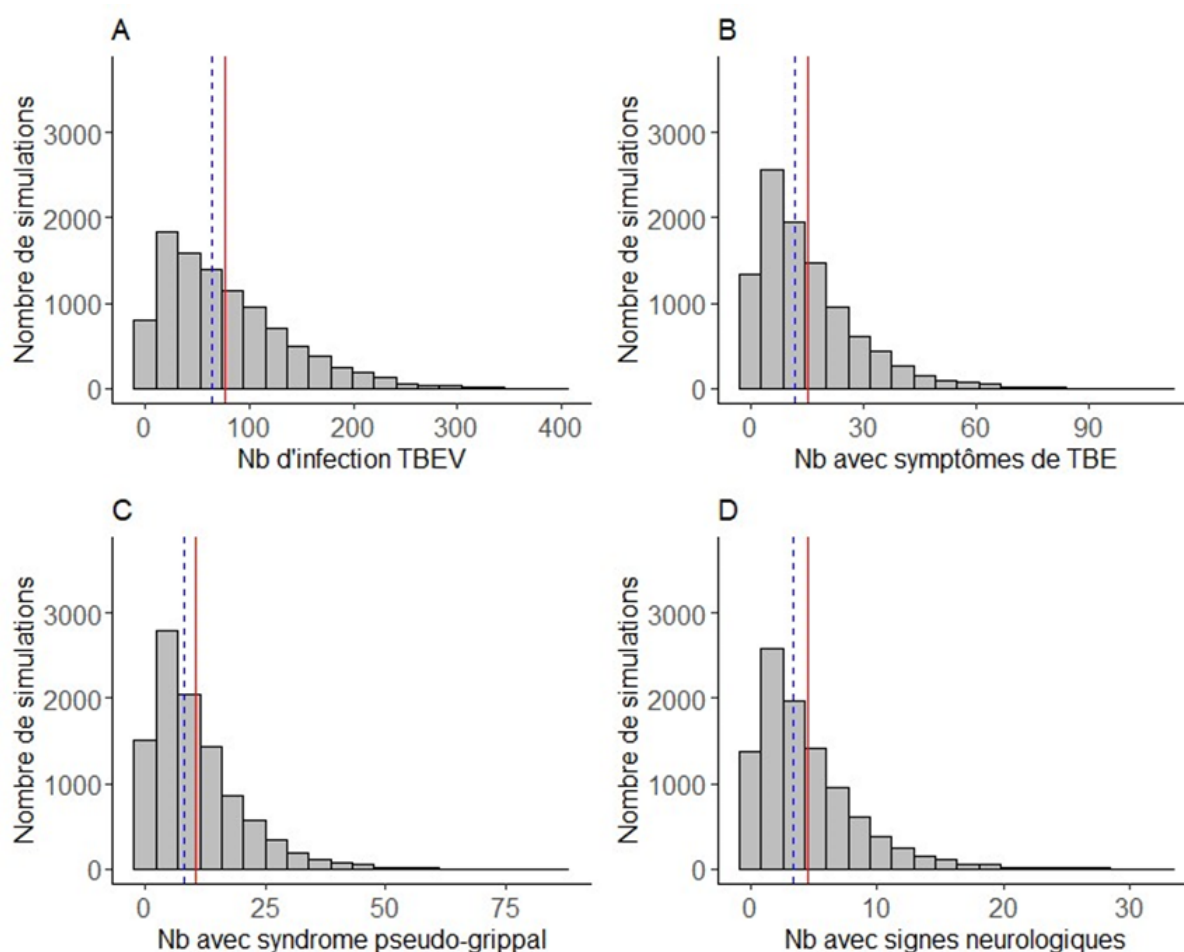


**Figure 35 : Simulations du nombre de cas pour 10 000 habitants (A) infectés par TBEV ; (B) avec des symptômes de TBE ; (C) avec un syndrome pseudo-grippal sans signes neurologiques de TBE ; (D) avec des signes neurologiques de TBE accompagnés de fièvre, faisant suite à une piqûre en Alsace (10 000 simulations) chez les forestiers.**

La moyenne est représentée par la ligne verticale solide rouge et la médiane par la ligne verticale bleue pointillée.

### Résultats de l'analyse de sensibilité

Les résultats de l'analyse de sensibilité montrent que la proportion de piqûres dans une zone endémique de TBE ( $P_{\text{piq zone}}$ ) est le paramètre ayant les effets les plus élevés sur l'estimation du nombre de cas incidents de TBE. Les autres paramètres influençant fortement cette estimation sont : le nombre moyen de piqûres de tiques pour les personnes ayant été piquées

( $N_{\text{piq}}$ ), la proportion de cas symptomatiques ( $P_{\text{sympto}}$ ) et la proportion de personnes développant des signes neurologiques accompagnés de fièvre ( $P_{\text{neuro}}$ ) après une infection à TBEV (Figure 36).

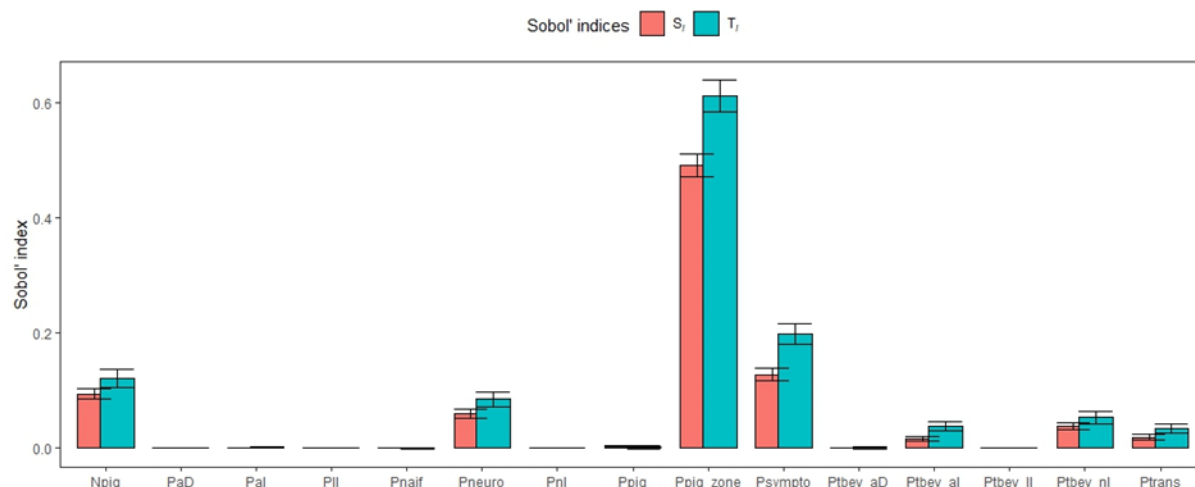


**Figure 36 : Résultats de l'analyse de sensibilité de l'estimation de la probabilité d'avoir des symptômes neurologiques dus au TBEV à la suite à de piqûres chez les forestiers : indices de Sobol,  $S_i$  incluant les effets directs uniquement, et  $T_i$  incluant les effets d'interactions entre les paramètres, et leurs intervalles de confiance par paramètre.**

### Discussion

Par rapport à la population générale, les forestiers ont environ 13 fois plus de risque d'être infectés par le TBEV et de développer des signes neurologiques de TBE suite à une piqûre de tique. Étant donné que le secteur forestier emploie en Alsace au maximum 1 500 à 2 000 personnes pouvant être exposées aux tiques de par leurs activités professionnelles (chiffres INSEE, 2019)<sup>95</sup>, il y aurait en moyenne un cas par an. Ce risque est probablement surestimé considérant les valeurs élevées des paramètres du modèle, notamment la proportion de piqûres dans une zone infectée par TBEV. Par exemple, si cette proportion est inférieure à 0,2, il y aurait 1,7 cas de TBE avec symptômes neurologiques pour 10 000 habitants, soit 0,2-0,3 cas par an en moyenne.

<sup>95</sup> <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4237011>



D'après la démarche de modélisation développée par le GT, l'incidence annuelle de cas neurologiques de TBE faisant suite à des piqûres de tiques en Alsace serait au maximum de 67 cas en population générale et un cas chez les forestiers. Par ailleurs, d'après le modèle également, les forestiers ont environ 13 fois plus de risque d'être infectés par le TBEV et de développer des signes neurologiques suite à cette infection que la population générale.

En Alsace, l'incidence annuelle de cas neurologiques de TBE estimée par modélisation est plus élevée que celle observée en population générale (10 à 30 cas). L'analyse de sensibilité montre que le paramètre « proportion de piqûres ayant eu lieu dans une zone infectée par le TBEV » a un effet majeur sur la variation de cette estimation. En l'absence de données concernant ce paramètre, les experts du GT ont considéré un intervalle de valeurs extrêmes pour l'estimation du nombre de cas. Ce choix peut expliquer la surestimation des incidences calculées. Ainsi, l'acquisition de données sur les proportions de piqûres dans les zones à risque est indispensable pour affiner le modèle proposé. Par la suite, ce modèle pourrait être adapté à d'autres régions ou groupes professionnels pour prédire les risques et guider les politiques de santé publique.

## 8 Pratiques d'élevages et facteurs de risque d'introduction du TBEV dans les élevages caprins français

La filière caprine apparaît comme une préoccupation prioritaire au regard de la proportion importante de cas humains associés à la consommation de produits qui en sont issus, en Europe notamment (cf.§9.2.1).

### 8.1 Filière laitière caprine et pratiques d'élevage en France

Le cheptel français de chèvres laitières est principalement constitué de deux races : l'Alpine et la Saanen représentant respectivement 52 % et 40 % des chèvres françaises. Des races locales à petits effectifs existent toutefois<sup>96</sup> (Napoleone et al. 2022).

#### 8.1.1 Organisation de la filière

Au recensement agricole 2020, la filière caprine laitière est composée de 5 700 élevages (chacun comprenant au moins 10 chèvres) dont :

- 3 300 exploitations avec transformation fromagère à la ferme (production fermière) (87 chèvres en moyenne par élevage)
- 2 400 exploitations livreuses de lait aux laiteries (251 chèvres en moyenne/par élevage).

A noter que certains élevages livreurs de lait possèdent également un atelier de transformation fromagère à la ferme.

La production laitière caprine est estimée à 709 millions de litres en 2023 dont 73,5 % est livrée aux laiteries. Bien que les exploitations caprines soient réparties sur tout le territoire métropolitain (Figure 37), les deux principaux bassins de production sont la Nouvelle-Aquitaine (35 % de la production et 42 % des livraisons nationales) et les Pays de la Loire (17 % de la production et 20 % des livraisons nationales). La production fermière concerne principalement les bassins Auvergne-Rhône-Alpes (AURA) et Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) avec respectivement 59 % et 79 % de la production transformée à la ferme.

---

<sup>96</sup> On peut citer notamment la Chèvre de Savoie, la Chèvre du Massif Central, les Caprins du Rove, la Chèvre Poitevine, la Chèvre Corse, la Chèvre de Race pyrénéenne, la Chèvre Commune Provençale, la Chèvre des Fossés, la Chèvre de Lorraine, la chèvre Angora.

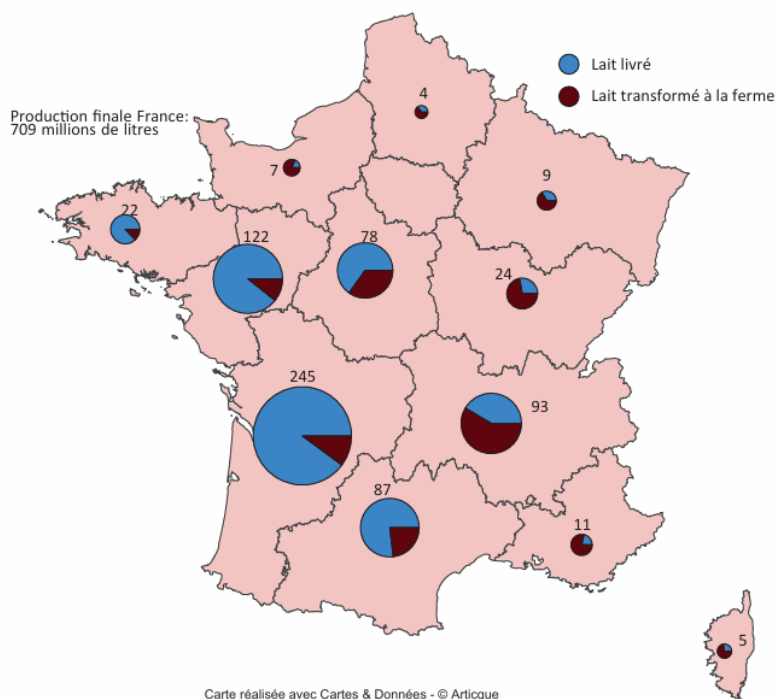


**Figure 37 : Répartition géographique de la production de lait de chèvre en France en 2023.**  
Estimations GEB-Institut de l’Élevage d’après Agreste (Idele, 2024).

Le Tableau 15 montre le nombre d’exploitations et la taille moyenne des troupeaux par région de production.

**Tableau 15 : Nombre d’exploitations, effectifs et taille moyenne des troupeaux caprins par région.**  
Estimations GEB-Institut de l’Élevage d’après Agreste (Idele, 2024)

| LES PRINCIPALES RÉGIONS CAPRINES SELON LE NOMBRE D'EXPLOITATIONS* ET DE CHÈVRES ET CHEVRETTES |                        |            |                     |            |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------|---------------------|------------|----------------|
| Source : GEB-Institut de l’Élevage d’après Agreste - Enquête cheptel 2023                     |                        |            |                     |            |                |
|                                                                                               | Nombre d’exploitations | % du total | Effectif de chèvres | % du total | Taille moyenne |
| Nouvelle-Aquitaine                                                                            | 1 476                  | 17 %       | 363 500             | 29 %       | 246            |
| Pays de la Loire                                                                              | 543                    | 6 %        | 170 400             | 14 %       | 314            |
| Auvergne-Rhône-Alpes                                                                          | 2 017                  | 23 %       | 149 700             | 12 %       | 74             |
| Occitanie                                                                                     | 1 364                  | 15 %       | 167 500             | 13 %       | 123            |
| Centre-Val de Loire                                                                           | 539                    | 6 %        | 123 100             | 10 %       | 228            |
| Bourgogne-Franche-Comté                                                                       | 549                    | 6 %        | 34 800              | 3 %        | 63             |
| Autres régions                                                                                | 2 338                  | 26 %       | 138 380             | 11 %       | 59             |
| France métropolitaine                                                                         | 8 826                  | -          | 1 150 000           | -          | 130            |

\* Exploitations détenant au moins une chèvre.

## 8.1.2 Pratiques d'élevage

Il existe une grande diversité de systèmes de conduite d'élevage des chèvres.

La Figure 39 présente la distribution spatiale des élevages sur la base des données recensées par l'Agreste lors du recensement de 2010<sup>97</sup> selon trois typologies (pastorales, pâturantes, fourragères) :

Les systèmes des types pastoral et pâturant sont pratiqués essentiellement (mais pas exclusivement) par les exploitations transformant le lait à la ferme (64 % des élevages fromagers en 2010) en régions AURA, PACA, Occitanie et Corse avec différents niveaux d'utilisation des parcours (Figure 38). Les périodes et durées moyennes de pâturage sont respectivement de 86 jours pour les livreurs (majoritairement au printemps et selon les années à l'automne), 102 jours pour les fromagers « Pâturage », et 142 jours pour les fromagers « pastoraux ». Elles varient en fonction des ressources et suivant les zones géographiques.

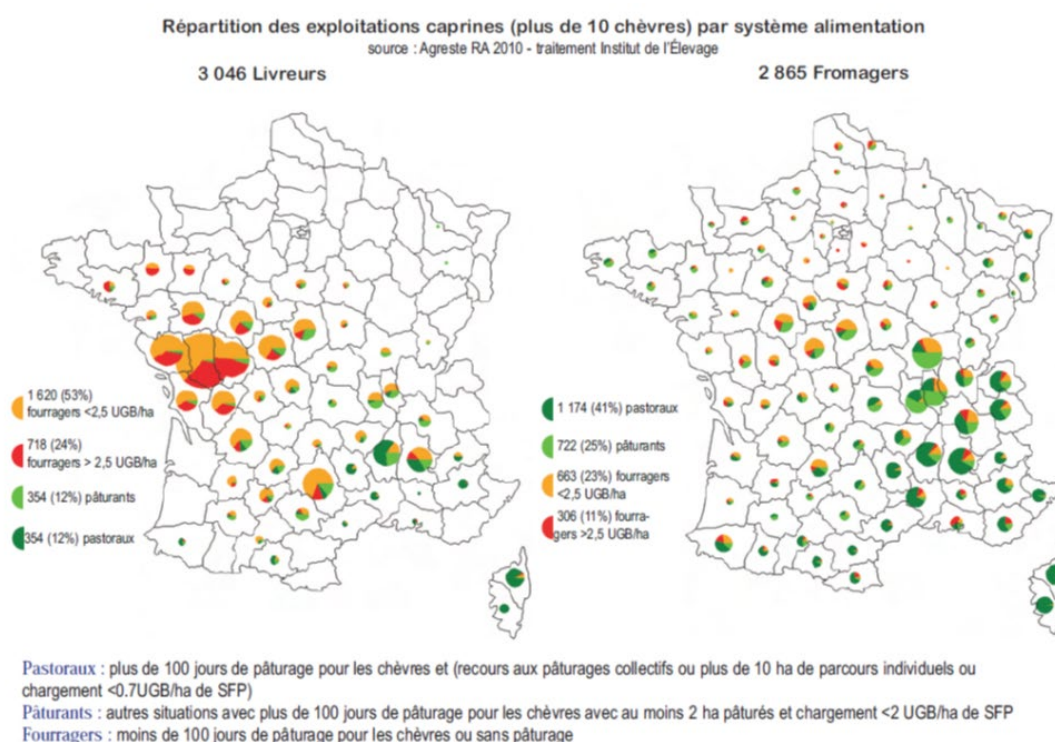


Figure 38 : Répartition des exploitations caprines par système d'alimentation ((Agreste 2010).

### Types de parcours et de pâture

La grande diversité des territoires régionaux va induire des disponibilités fourragères et des biotopes très variés (surfaces cultivées, prairies naturelles, pelouses d'altitude, landes, garrigue ou sous-bois). Dans l'ouest de la France, on retrouve des pâtures très herbacées, mais il existe toujours des zones boisées (bosquets, etc.) (Napoleone et al. 2022). En région AURA, les pâtures des élevages caprins sont réparties sur les différents massifs montagneux

<sup>97</sup> La question concernant le mode de pâturage des chèvres n'a pas été incluse dans le recensement agricole de 2020. D'après les informations recueillies lors des auditions, la répartition observée n'a pas connu de changements significatifs depuis 2010.

et dans les plaines, à proximité de zones boisées. Par exemple, d'après les données du parcellaire agricole, 59,6 % (n=2 596) et 70,1 % (n=2 231) des pâtures sont situées à moins de 50 m de zones boisées dans l'Ain et le Puy-de-Dôme respectivement (Benfrid et al. 2024).

Certains élevages mettent en place des aires d'exercice, principalement pour les raisons de bien-être des animaux, à la demande de la filière. L'aire d'exercice est une aire de vie extérieure proposée aux animaux en plus de celles en bâtiment : les différents types d'aire d'exercice (bétonnée, enherbée, terre battue, boisée) et leurs modalités d'utilisation sont décrites dans un guide de l'Association Nationale interprofessionnelle Caprine (ANICAP) (Anicap 2020). Les aires d'exercice enherbées ou boisées peuvent s'apparenter à du pâturage lorsque les surfaces sont suffisamment grandes pour ne pas être surexploitées. Cette pratique tend à se développer notamment dans l'ouest de la France où certaines grandes laiteries ont pour objectif un accès à l'extérieur de 50 à 100 % des troupeaux d'ici 2030 (N. Ehrhardt, com. pers.).

Afin d'optimiser la production laitière et de limiter le parasitisme<sup>98</sup>, le pâturage tournant (rotation des parcelles) est le plus pratiqué. Le pâturage fixe concerne uniquement des élevages avec de très grandes surfaces et peu d'animaux.

### ***Pratiques de co-pâturage***

La mixité des productions « caprins – bovins (viandes ou lait) » est fréquente dans certaines régions, avec parfois un partage des pâtures, soit en alternance, soit ensemble en mixité permanente. Par ailleurs, l'élevage pastoral ou pâturant conduit à des interactions avec d'autres espèces domestiques (bovins, ovins) et sauvages (chevreuil par exemple).

### ***Motifs de renouvellement des troupeaux***

Le taux de renouvellement des troupeaux caprins est d'environ 25 à 30 % par an. Il s'agit essentiellement d'autorenouveaulement<sup>99</sup>. Les principales causes de sortie sont la réforme (53 %), la vente de reproducteurs (29 %) et la mortalité (17 %) (R. de Crémoux, com. pers.). Les principaux motifs de réforme des animaux sont la production insuffisante de lait, le niveau élevé de cellules somatiques dans le lait, les troubles de la reproduction (chèvres « vides », mises bas difficiles, avortement, etc.) et l'âge (4 à 5 ans en élevage livreur, 6 à 8 ans en élevage fermier).

### ***Mesures de biosécurité***

Des difficultés d'application de certaines mesures de biosécurité telles que préconisées par GDS France<sup>100</sup> ont été signalées au cours des auditions. Cela concerne en particulier la gestion des introductions d'animaux, l'accueil des visiteurs et la gestion des contacts avec des animaux d'autres troupeaux (au pâturage) et la faune sauvage.

<sup>98</sup> Particulièrement problématique chez les caprins car la résistance aux antiparasitaires est très fréquente.

<sup>99</sup> Remplacement des chèvres par des chevrettes nées dans le même élevage.

<sup>100</sup> <https://www.gdsfrance.org/wp-content/uploads/Livret-guide-pratique-biosecurite-caprins.pdf>

### 8.1.3 Production de fromages de chèvre

En 2023, la fabrication industrielle de fromages de chèvre est estimée à 96 886 tonnes et celle de fromages fermiers à 24-28 000 tonnes<sup>101</sup> (Idele, 2024). Plus de 80 % de la production des fromages de chèvre est consommée en France. Seule 11,7 % de la production industrielle de fromages de chèvre est au lait cru (Agreste, Enquête annuelle laitière 2022).

La quasi-totalité des exploitations fermières transforme au moins une partie de sa production de lait en fromages au lait cru (C. Chartier, com. pers.). La vente directe (marchés et à la ferme) est le circuit de distribution dominant (76 % des éleveurs fromagers caprins, recensement agricole 2010). Quinze fromages de chèvre bénéficient d'une appellation d'origine protégée (AOP), représentant un volume de production estimé à 7 292 tonnes en 2022 (8 % du volume de production), majoritairement en lait cru.

### 8.1.4 L'environnement institutionnel et réglementaire

L'élevage des caprins et la production de produits laitiers sont soumis à un certain nombre de dispositions réglementaires visant à assurer le bien-être et la santé des animaux, et la sécurité sanitaire des produits fermiers (Rèlements (CE) N°852/2004, 853/2004, 2073/2005).

La filière caprine est organisée autour de fédérations professionnelles et interprofessionnelles (FNEC, FNIL, ANICAP<sup>102</sup>) qui sont chargées de la représentation, de l'animation et du développement de la filière. Par ailleurs, différentes structures aux niveaux régional et local assurent un accompagnement des agriculteurs sur les aspects techniques, économiques et sanitaires : le réseau des chambres d'agriculture, les groupements de défense sanitaire (GDS), le réseau Conseil élevage. Néanmoins, il est à noter que les petites exploitations fermières ont peu ou pas de contacts avec les GDS (voir Annexe 9).

## 8.2 Facteurs de risque d'introduction du TBEV dans les élevages

Le risque d'introduction du TBEV dans les élevages caprins est directement lié au risque de transmission du TBEV à une chèvre suite à une piqûre de tique *I. ricinus* ou *D. reticulatus* infectée. Comme mentionné au chapitre 6 pour l'espèce humaine, le risque de transmission du TBEV par piqûre de tique est déterminé par trois principaux facteurs : la dynamique des populations de tiques, la dynamique de transmission du TBEV, et l'exposition de l'espèce cible (ici, les caprins) aux piqûres de tique.

En symétrie du travail fait pour l'être humain au chapitre 7, le GT a identifié un enchaînement de trois événements conduisant à la possibilité d'excrétion dans le lait du TBEV par une chèvre infectée suite à une piqûre de tique. Ils sont représentés dans le schéma événementiel suivant (Figure 39, voir aussi le schéma conceptuel en Annexe 5) :

- la chèvre considérée a un contact (piqûre) avec au moins une tique vectrice (*I. ricinus* ou *D. reticulatus*), infectée par le TBEV ;
- la chèvre devient infectée par le TBEV ;

<sup>101</sup> Source Idele 2024 : [idele.fr/detail-article/les-chiffres-cles-du-geb-caprins-2024](https://idele.fr/detail-article/les-chiffres-cles-du-geb-caprins-2024)

<sup>102</sup> FNEC : Fédération nationale des éleveurs de chèvres ; FNIL : Fédération de l'industrie laitière ; ANICAP : Association Nationale interprofessionnelle Caprine

- la chèvre excrète le TBEV dans son lait.

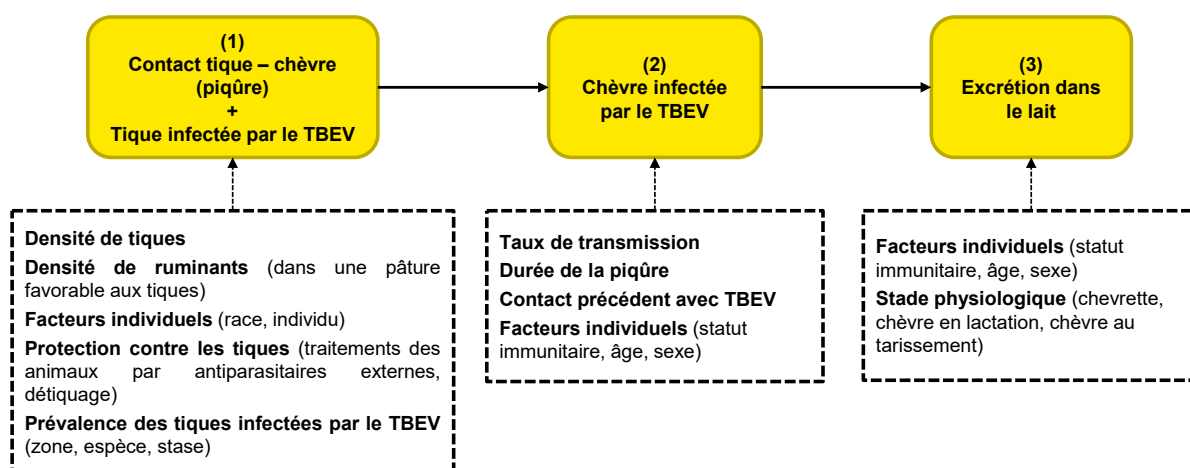


**Figure 39 : Schéma événementiel conduisant à la possibilité d'excrétion dans le lait de TBEV par une chèvre infectée suite à une piqûre de tique.**

Divers facteurs influencent les événements décrits dans le schéma événementiel :

### **(1) Contact tique infectée par le TBEV-chèvre**

La piqûre d'une chèvre par les tiques n'est possible que pour les chèvres qui ont accès à un pâturage incluant des milieux ou des micro-habitats favorables à la bioécologie des tiques, notamment ceux situés en lisière de forêt (cf. §2.3). A l'échelle de la France, la nature des pâturages est très variée (cf. §8.1) avec notamment dans l'ouest de la France des pâturages très herbacés, mais il existe toujours des zones boisées (bosquets, etc.) qui apportent une diversité de biotopes. Les pâtures boisées sont recherchées en élevage caprin car c'est dans la nature des chèvres de s'alimenter sur des arbustes ou arbres et non pas de pâturer de l'herbe au sol. Arbres et arbustes apportent aussi de l'ombre et des abris contre la pluie et le vent.

Pour un pâturage donné, le risque d'exposition pour une chèvre dépend de la densité de tiques, qui varie en fonction du moment de la journée, des conditions météorologiques, des saisons et des années (cf. §2.3). Le risque pour une chèvre donnée d'être piquée au pâturage dépend par ailleurs de la densité d'animaux présents sur la pâture ainsi que de la durée et des horaires de pâturage. La surface de pâture favorable aux tiques, de même que l'attractivité pour les chèvres de ces zones spécifiques de la pâture sont à prendre en considération : par exemple, il peut s'agir des zones ombragées leur permettant de se protéger du soleil ou comprenant des chênes dont les chèvres consomment les glands. La probabilité pour une chèvre d'être piquée peut en outre être influencée par des facteurs individuels (comportement alimentaire favorisant plus ou moins le contact avec les tiques<sup>103</sup>), par la race (épaisseur du cuir et du pelage) et par l'application de traitements antiparasitaires externes, mais ces derniers sont rarement réalisés (cf. chapitre 11).

Le risque de piqûre par une tique est au contraire considéré comme nul dans les systèmes d'élevage en bâtiment (appelés également « zéro pâturage ») puisque les animaux ne sont

<sup>103</sup> Par exemple, compétition hiérarchique pour l'accès à certaines ressources ou besoin spécifique d'un individu qui recherche telle ou telle plante dans un contexte donné.



pas susceptibles d'être exposés à des tiques à l'affût. Néanmoins, les experts du GT se sont posé la question d'un possible risque d'exposition dans les élevages en bâtiment qui pratiquent l'affouragement en vert. Une piqûre par une tique dans ce contexte particulier est théoriquement possible mais elle est vraisemblablement très peu probable ; à ce jour, aucune observation de tiques dans des élevages pratiquant l'affouragement en vert n'a été rapportée à l'OMACAP<sup>104</sup> (N. Ehrhardt, com. pers.) alors qu'il est connu que des larves de strongles peuvent être transmises par ce biais à des chèvres élevées exclusivement en bâtiment. En outre, la pratique de l'affouragement en vert est extrêmement limitée car elle est compliquée à mettre en œuvre et demande beaucoup de temps de travail ainsi que des investissements matériels spécifiques (C. Chartier, com. pers.).

Concernant les systèmes d'élevage en bâtiment disposant d'une aire d'exercice, qui sont aujourd'hui encouragés par la filière pour répondre à des enjeux de bien-être animal, l'exposition à des tiques ne peut être exclue si l'aire d'exercice est végétalisée. La probabilité d'exposition à des piqûres de tiques dépend alors de la nature du milieu (type de végétation, faune sauvage, etc.) utilisé pour le parcours des animaux. A l'échelle de la France, la nature des parcours utilisés est très diversifiée (C. Chartier, com.pers.).

En filière lait cru, qui est concernée par le risque de transmission alimentaire du TBEV, les systèmes d'élevage les plus courants à l'échelle de la France sont les systèmes pâturant et pastoral qui ont recours à une alimentation essentiellement à l'herbe (C. Chartier, com. pers.). Les chèvres de ces élevages sont donc en général potentiellement exposées aux piqûres de tiques.

Par ailleurs, la probabilité pour qu'une tique qui pique une chèvre soit infectée par le TBEV dépend de l'espèce et de la stase de la tique impliquée (cf. §2.3). Comme mentionné plus haut, cette probabilité dépend par ailleurs de la bio-écologie des pâtures ou estives concernées, elle-même fortement liée à la zone géographique où se trouve l'élevage. Or, en France, la répartition des élevages de type pâturant ou pastoral est très hétérogène sur le territoire (cf §8.1).

## ***(2) Infection par le TBEV d'une chèvre suite à une piqûre par une tique infectée***

Comme pour l'être humain, la probabilité d'infection d'une chèvre par le TBEV suite à une piqûre par une tique infectée dépend du taux de transmission du virus de la tique infectée à son hôte (cf. chapitre 2), de la durée de la piqûre (plus la tique reste longtemps, plus le risque de transmission est élevé – mais cette transmission est probablement très rapide, en quelques heures – cf. chapitre 2), et potentiellement de facteurs individuels modulant la réponse immunitaire même si ces facteurs sont très peu connus. La probabilité d'infection peut également être influencée par une éventuelle variabilité de la virulence entre souches de TBEV. Enfin, la probabilité d'infection dépend également du statut immunitaire de la chèvre vis-à-vis du TBEV résultant de la mise en place d'une réponse immunitaire spécifique lors d'une exposition antérieure au virus. Les experts du GT considèrent que l'immunité d'une chèvre vis-à-vis du TBEV est de longue durée, comme cela est observé pour l'être humain, mais les données scientifiques méritent d'être consolidées (cf. §4.2).

## ***(3) Excrétion dans le lait***

---

<sup>104</sup> Observatoire des maladies caprines de la région Poitou-Charentes

La transmission du virus dans le lait n'est possible que si la chèvre infectée est en phase de lactation. De nombreuses incertitudes existent à ce jour concernant les points d'influence suivants :

- durée de la piqûre (qui conditionne potentiellement la dose virale inoculée) ;
- délai entre la piqûre et l'excrétion dans le lait.

L'excrétion dans le lait par une chèvre ayant été infectée par le TBEV dépend de facteurs individuels (statut immunitaire, âge) qui restent à investiguer par des travaux de recherche.

La filière laitière caprine se structure autour de deux types d'exploitations : les producteurs livreurs et les producteurs fermiers. Dans l'ouest de la France, les exploitations sont majoritairement des producteurs livreurs, avec une moyenne de 300 chèvres par élevage avec une densité importante. Les systèmes fourragers sont divers. La claustration avec un accès extérieur quelques jours de l'année semble majoritaire. La production fermière concerne principalement les bassins AURA et PACA. Les pratiques pastorales et de pâturage y prédominent avec différents niveaux d'utilisation des parcours.

Les élevages caprins à risque de transmission du TBEV sont les élevages producteurs de produits au lait cru et dont les chèvres ont accès à la végétation dans des zones de circulation du TBEV. La plupart des élevages qui correspondent à ces caractéristiques sont localisés dans la région AURA. Dans cette région, 75 % des exploitations transforment la totalité de leur lait (1 000 exploitations ; 35 % de la transformation fermière française). Les élevages « fromagers » détiennent en moyenne 65 animaux et le système d'alimentation est basé sur l'utilisation de parcours une partie de l'année. Les chèvres sont potentiellement exposées aux piqûres de tiques en raison du pâturage et de l'environnement boisé des zones de pâture.

L'évaluation de l'exposition par voie alimentaire (chapitre 9) et les options d'actions (chapitre 11) ciblent donc prioritairement ces élevages.

## 9 Evaluation de l'exposition humaine au TBEV par voie alimentaire

### 9.1 Schéma événementiel

Dans le cadre d'une démarche classique d'évaluation des risques microbiologiques alimentaires, le schéma événementiel présenté en Figure 40 illustre les différents paramètres et facteurs qui influent sur la prévalence et la concentration du TBEV dans les produits laitiers, de l'élevage à la consommation.

Ce schéma organisé dans une approche filière, démarre au niveau de l'élevage par la contamination du lait issu d'un animal excréteur (pour cette dernière les facteurs de modulation à l'élevage sont traités dans le chapitre 8). L'évaluation de l'exposition considérera donc les étapes de stockage du lait, de transport éventuel et prendra ensuite en compte les étapes de transformation et distribution, puis de consommation. Le risque de transmission par voie alimentaire est éventuellement modulé par l'influence de mesures technologiques et/ou préventives susceptibles de limiter l'exposition du consommateur au virus.

#### 1. En élevage

L'excrétion du TBEV dans le lait est la principale préoccupation dans une perspective d'analyse de transmission du virus par la voie alimentaire. La phase d'excrétion pour un animal donné (durée *a priori* courte et charge virale variable) correspond à une période à risque, post-inoculation et précédant la phase de protection immunitaire.

Deux angles sont à considérer pour apprécier le risque lié à cette filière : (1) la proportion d'animaux excréteurs du virus au moment de la traite et (2) l'intensité de l'excrétion (charge virale) par individu excréteur. La proportion d'animaux excréteurs et l'intensité de l'excrétion sont des paramètres majeurs influant sur la concentration du virus dans le lait de tank, en tenant compte du facteur de dilution lié au volume total produit simultanément dans l'élevage (et donc la taille du troupeau).

#### 2. Transformation/Distribution

La phase de transformation/distribution du produit débute à partir du moment où le lait est collecté. Dès cette collecte, certains facteurs doivent être documentés eu égard à leur impact sur l'infectiosité du virus.

Le rôle de la composition biochimique du lait et sa variabilité (p. ex. taux en matières grasses, taux de protéines ; selon l'alimentation des animaux et la saison), au-delà de son importance technologique pour le produit, doit être questionné vis-à-vis de la stabilité des particules infectieuses du TBEV. Au-delà des considérations biochimiques, le lait contient également des cellules somatiques susceptibles d'être infectées par le TBEV (cf. §9.2.2.2), ainsi que d'autres microorganismes (bactéries, levures, autres virus, etc.) qui pourraient également affecter la persistance du TBEV et moduler la charge virale (par exemple par compétition ou prédation entre les microorganismes). Si possible, ces paramètres doivent être considérés avec l'effet potentiel de leur interaction (éventuellement synergique) sur la stabilité ou au contraire l'inactivation du TBEV dans le temps. Naturellement avec cette notion de cinétique

apparaissent des considérations d'impact des procédés qui peuvent être résumées comme l'action successive des différentes étapes de la fabrication. En technologie fromagère, la nature des étapes du procédé (coagulation/égouttage, affinage), ainsi que les souches microbiennes (ensemencées ou indigènes) intervenant dans la fermentation (notamment par leur capacité d'acidification) et les conditions physico-chimiques correspondantes (pH,  $a_w$ <sup>105</sup>, température, taux de sel) peuvent avoir un impact sur l'infectiosité du virus. De plus, la persistance du virus dans les produits laitiers pose la question de la contamination de l'environnement de l'atelier de production, donc de l'efficacité des produits et des procédures mis en œuvre lors du nettoyage et de la désinfection. La persistance de certains virus enveloppés a déjà été constatée au sein de biofilms (Von Borowski et Trentin 2021) et pourrait donc être également envisagée pour le TBEV. La prise en compte de l'ensemble de ces paramètres conduit à une estimation de la quantité de virus infectieux dans le produit mis à disposition du consommateur.

### 3. Consommation

L'appréciation de l'exposition s'appuie sur l'estimation de la dose ingérée. Celle-ci est évaluée en tenant compte de paramètres parfois difficiles à quantifier. Il s'agit de déterminer la fréquence de consommation du produit considéré (lait ou type de fromage) et la quantité ingérée, qui varie également selon les produits. En plus de la sensibilité particulière de certaines catégories de consommateurs, il faut déterminer localement ou nationalement si certaines habitudes alimentaires peuvent influencer le risque.

### 4. Risque

Au-delà de l'exposition qui est déterminée par les données de contamination et de consommation, le risque d'infection dépend de la relation dose-réponse par voie orale, non connue à ce jour. Toutes les données disponibles pour établir une relation dose-réponse sont à considérer, notamment par la collecte des données quantitatives sur les différentes matrices alimentaires impliquées dans des cas groupés. Les données issues de modèles animaux pourront également être utilisées avec des facteurs de sécurité qui tiennent compte de la variabilité inter-espèce et de la variabilité intra-espèce, telle qu'elle peut être rencontrée chez l'être humain. Le statut immunitaire initial du consommateur est susceptible de moduler le risque d'infection par le TBEV (contact naturel préalable ou vaccination) et l'intensité de l'expression clinique associée. Ainsi la vaccination constitue un levier de protection à qualifier. La prise de médicaments modulant le statut immunitaire, ou l'acidité gastrique, devra être considérée dans l'évaluation du risque associé à la transmission de TBEV par voie alimentaire.

---

<sup>105</sup> Unité de mesure de l'activité de l'eau (*activity of water* en anglais)

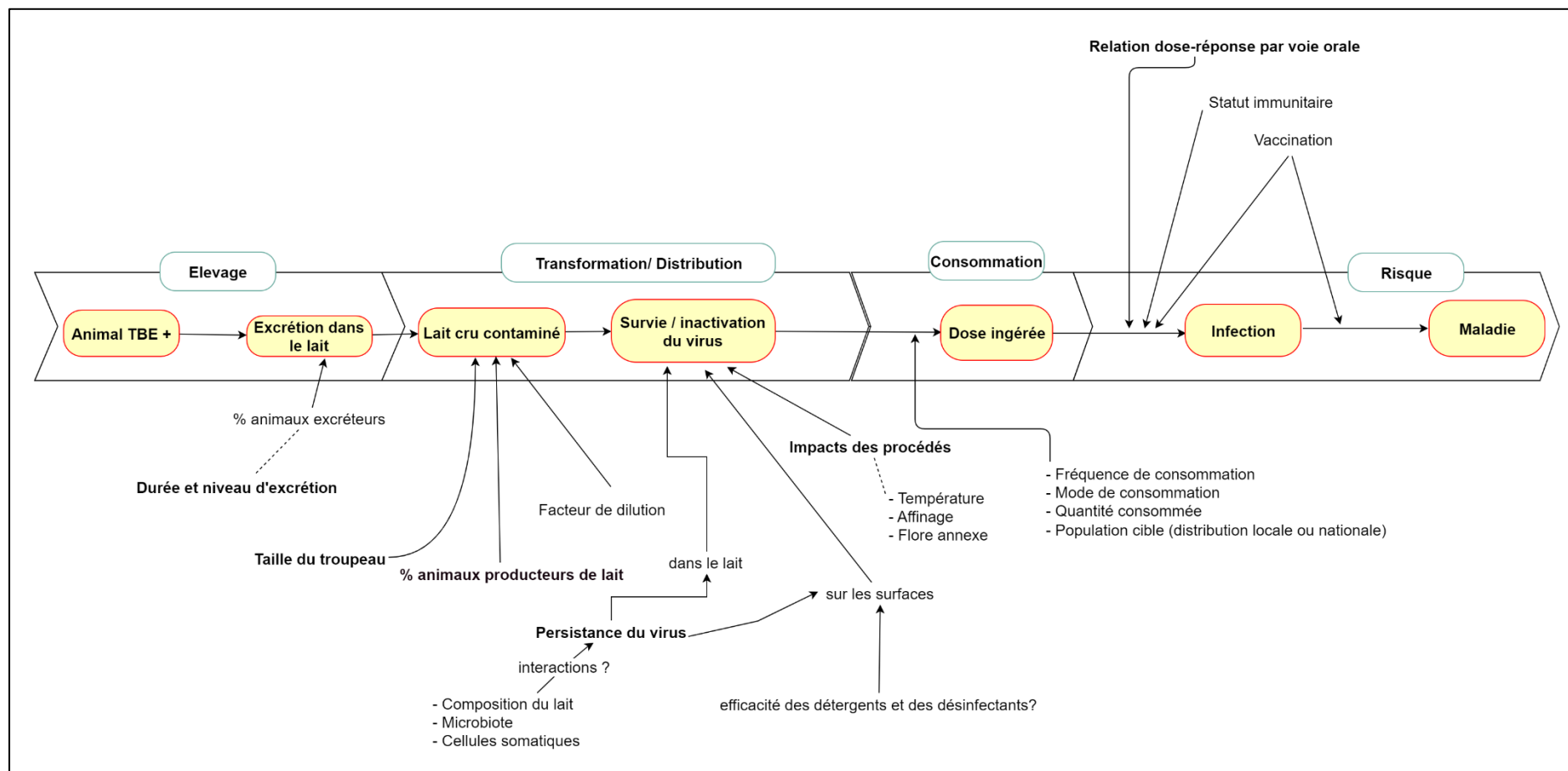


Figure 40 : Schéma événementiel de la transmission du TBEV à l'être humain par la consommation de produits laitiers

## 9.2 Denrées alimentaires impliquées

### 9.2.1 Bilan des données épidémiologiques sur les cas de transmission alimentaire de TBEV

Deux revues systématiques de la littérature, publiées en 2022, recensent les études rapportant les cas et les foyers de transmission alimentaire du TBEV en Europe sur la période 1951 – 2021. Trente-six études (publiées entre 1976 et 2021) ont été incluses par Martello *et al.* (2022) et 19 (publiées entre 1980 et 2021) par Elbaz *et al.* (2022). Des recherches bibliographiques complémentaires réalisées en juillet 2023 et en août 2024 ont permis d'identifier 5 études supplémentaires. Par ailleurs, des informations sur les caractéristiques des foyers alimentaires de TBE ont été transmises par certains États membres de l'UE, dans le cadre d'une enquête réalisée en octobre 2023 auprès du réseau des points focaux de l'EFSA<sup>106</sup> (Annexe 6).

Au total, quarante-deux études publiées entre 1974 et 2024 rapportent des foyers et des cas de transmission alimentaire (1 313 cas) survenus en Europe jusqu'en août 2022. Les principales caractéristiques des foyers sont décrites dans le tableau 16. Au cours de cette période, les pays rapportant les cas de transmission alimentaire sont la Slovaquie (8 études, 671 cas), la République tchèque (7 études, 141 cas), la Hongrie (5 études, 180 cas), la Pologne (5 études, 78 cas), l'Allemagne (3 études, 65 cas), la Croatie (3 études, 15 cas), l'Autriche (3 études, 11 cas), l'Estonie (2 études, 45 cas), la Lituanie (1 étude, 33 cas), la Slovénie (1 étude, 4 cas), la France (1 étude, 44 cas), la Lettonie (1 étude, 20 cas), l'Italie (1 étude, 1 cas), et la Suisse (1 étude, 5 cas).

Les aliments incriminés lors des investigations sont du lait cru et des produits laitiers (fromage, yaourt) non pasteurisés au lait cru de chèvre (44 % des cas), de chèvre/brebis (31 %), de brebis (19 %), de chèvre/vache (3 %), et de vache (3 %). La consommation de lait cru de chèvre et/ou de brebis a été à l'origine d'au moins 67 % des cas. S'agissant des produits transformés, les informations issues des publications ne permettent pas d'avoir une information précise sur les technologies fromagères impliquées. Lorsque l'information est disponible, les fromages frais sont mentionnés comme source de contamination.

---

<sup>106</sup> L'EFSA dispose dans chaque État membre d'un point focal national, qui sert d'interface entre l'EFSA et les autorités nationales en charge de la sécurité des aliments, les instituts de recherche et autres parties prenantes. Les points focaux contribuent à l'échange d'informations scientifiques, notamment par les « requêtes multilatérales », permettant la diffusion de questions techniques spécifiques émanant d'un point focal national d'un État membre vers les homologues des autres États membres.

Tableau 16 : Données de transmission alimentaire de TBEV rapportées dans la littérature

| Référence                     | Pays      | Période        | Nombre de foyers | Nombre de cas | Source                                                                                                                                                                        | Lieu d'exposition                |
|-------------------------------|-----------|----------------|------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| (Benz et al. 2024)            | Suisse    | Avril Mai 2020 | 1                | 5             | lait cru de brebis                                                                                                                                                            | Ferme (exploitation familiale)   |
| (Nagańska et al. 2023)        | Pologne   | Août 2022      | 1                | 5             | lait cru de chèvre                                                                                                                                                            | Ferme                            |
| (Wójcik-Fatla et al. 2023)    | Pologne   | Août 2022      | 1                | 8             | lait cru de chèvre                                                                                                                                                            | Ferme                            |
| (Mylonaki et al. 2022)        | Autriche  | Juin 2022      | 1                | 3             | lait cru de chèvre                                                                                                                                                            | Ferme                            |
| (Gonzalez et al. 2022)        | France    | Mai Juin 2020  | 1                | 44            | fromage au lait cru de chèvre                                                                                                                                                 | Ferme                            |
| (Egyed et al. 2021)           | Hongrie   | Juin 2018      | 1                | 1             | lait cru de chèvre                                                                                                                                                            | /                                |
| (Chitimia-Dobler et al. 2021) | Allemagne | Avril 2017     | 1                | 13            | lait cru de chèvre                                                                                                                                                            | Ferme                            |
| (Ilic et al. 2020)            | Croatie   | Juin 2019      | 1                | 5             | lait cru de chèvre                                                                                                                                                            | Ferme                            |
| (Camprubí et al. 2020)        | Estonie   | Juillet 2019   | 1                | 1             | lait cru de chèvre et de brebis                                                                                                                                               | Ferme                            |
| (Knežević et al. 2020)        | Croatie   | Juin 2019      | 1                | 5             | lait cru de chèvre                                                                                                                                                            | Ferme                            |
| (Król et al. 2019)            | Pologne   | Juin 2017      | 1                | 4             | lait cru de chèvre                                                                                                                                                            | /                                |
| (Brockmann et al. 2018)       | Allemagne | Mai 2016       | 1                | 2             | lait cru de chèvre et fromage (fromage frais et, affiné)                                                                                                                      | Ferme                            |
| (Zavadska et al. 2018)        | Lettonie  | 2007- 2016     | ND               | 20            | lait cru de chèvre                                                                                                                                                            | Non spécifié                     |
| (Bušová et al. 2018)          | Slovaquie | Juillet 2014   | ND               | 5             | lait cru de chèvre et de brebis                                                                                                                                               | Non spécifié                     |
| (Dorko et al. 2018)           | Slovaquie | 2012-2016      | 13               | 110           | lait cru de brebis (65) lait cru ou fromage de brebis (2), lait cru de chèvre (12), lait cru ou fromage de chèvre (15), fromage de chèvre (14) ; fromage de lait de vache (2) | Ferme, restaurant ou supermarché |
| (Kerlik et al. 2018)          | Slovaquie | 2007-2016      | 53*              | 169           | fromage de brebis au lait cru                                                                                                                                                 | Non spécifié                     |
| (Markovinović et al. 2016)    | Croatie   | Avril 2015     | 1                | 5             | lait cru et fromage au lait cru de chèvre                                                                                                                                     | Ferme (exploitation familiale)   |



| Référence                                     | Pays               | Période                                                                                                     | Nombre de foyers | Nombre de cas | Source                                                                                  | Lieu d'exposition               |
|-----------------------------------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| (Krbková, Štroblová, et Bednářová 2015)       | République tchèque | 1993 à 2012                                                                                                 | ND               | 4             | lait cru de chèvre et produits laitiers                                                 | /                               |
| (Dorko et al. 2014)                           | Slovaquie          | 2007-2011                                                                                                   | ND               | 27            | lait cru de chèvre et produits laitiers                                                 | /                               |
| (Zöldi, Emokey, et Egyed 2013)                | Hongrie            | 1953 -2011                                                                                                  | 27**             | 111           | lait cru de chèvre (101), lait cru de vache (9), lait cru de chèvre ou de brebis (1)    | Ferme, exploitations familiales |
| (Hudopisk et al. 2013)                        | Slovénie           | 2012                                                                                                        | 1                | 4             | lait cru de chèvre                                                                      | Ferme                           |
| (Pazdiora, Štruncová, et Švecová 2012)        | République tchèque | 1960-2007                                                                                                   | ND               | 11            | lait cru de chèvre                                                                      | Non spécifié                    |
| (Caini et al. 2012)                           | Hongrie            | Août 2011                                                                                                   | 1                | 11            | lait cru de vache                                                                       | Ferme                           |
| (Nicolini 2011) cité par Martello et al. 2021 | Italie             | ND                                                                                                          | 1                | 1             | lait cru de vache                                                                       | Non spécifié                    |
| (Balogh et al. 2010)                          | Hongrie            | Août 2007                                                                                                   | 1                | 31            | lait cru de chèvre                                                                      | Ferme caprine                   |
| (Holzmann et al. 2009)                        | Autriche           | Juillet 2008                                                                                                | 1                | 6             | lait cru de chèvre et de vache                                                          | /                               |
| (Kříž, Beneš, et Daniel 2009)                 | République tchèque | 1997 - 2008                                                                                                 | ND               | 64            | lait cru de chèvre (36)<br>fromage au lait cru de brebis (21),<br>lait cru de vache (7) | Ferme.                          |
| (Pazdiora et al. 2008)                        | République tchèque | 1993-2005                                                                                                   | ND               | 40            | lait cru de chèvre                                                                      | Non spécifié                    |
| (Szeles 2008) cité par Martello et al. 2021   | Hongrie            | ND                                                                                                          | 1                | 26            | lait cru et fromage de chèvre                                                           | Distribution                    |
| (Donchenko et al. 2005)                       | Estonie            | 1990, 1992, mai 2005                                                                                        | 4                | 44            | lait cru de chèvre et de vache                                                          | Distribution                    |
| (Juceviciene et al. 2002)                     | Lituanie           | 2000                                                                                                        | ND               | 33            | lait cru de chèvre et de vache et produits dérivés                                      | /                               |
| (Labuda et al. 2002)                          | Slovaquie          | Mai 1951, avril 1974, mai 1984, août 1989, septembre 1993, mai 1996, mai 1997, mai 1999, mai 1999, mai 2000 | 10               | 334           | lait cru de chèvre et de brebis et produits dérivés                                     | /                               |
| (Rieger et al. 1998)                          | Allemagne          | 1994-1996                                                                                                   | ND               | 50            | lait cru de chèvre                                                                      | Ferme                           |

| Référence                                     | Pays               | Période                    | Nombre de foyers | Nombre de cas | Source                                               | Lieu d'exposition                |
|-----------------------------------------------|--------------------|----------------------------|------------------|---------------|------------------------------------------------------|----------------------------------|
| (Matuszczyk et al. 1997)                      | Pologne            | Mai 1995                   | 1                | 48            | lait cru de chèvre                                   | Ferme                            |
| (Aendekerk, Schrijvers, et Koehler 1996)      | République tchèque | ND                         | 1                | 1             | lait cru de chèvre                                   | NA                               |
| (Kohl et al. 1996)                            | Slovaquie          | Septembre 1993             | 1                | 7             | fromage au lait cru de chèvre                        | Non spécifié                     |
| (Pazdiora 1994) cité par Martello et al. 2021 | République tchèque | juillet 1992               | 1                | 3             | yaourt au lait cru de chèvre (fabrication familiale) | Ferme                            |
| (Zaludko et al. 1994)                         | Slovaquie          | Août 1989 ; septembre 1993 | 2                | 14            | lait cru de chèvre                                   | /                                |
| (Sixl et al. 1989)                            | Autriche           | ND                         | 1                | 2             | lait cru de chèvre                                   | /                                |
| (Kohl et al. 1989)                            | Slovaquie          | Mai à juin 1984            | 1                | 5             | lait cru et fromage de chèvre                        | Ferme (exploitations familiales) |
| (Gresikova et Sekeyova 1976)                  | République tchèque | ND                         | ND               | 18            | produits laitiers de brebis                          | /                                |
| (Jezyna et al. 1976)                          | Pologne            | Juin 1974                  | 1                | 13            | lait cru de vache                                    | Ferme                            |

ND : non disponible ; \*26 foyers et 27 cas sporadiques ; \*\*18 foyers et 9 cas sporadiques ;

## 9.2.2 Prévalence et persistance du virus dans le lait

### 9.2.2.1 Prévalence et concentration du TBEV dans le lait cru

En l'absence de signes cliniques chez les ruminants, l'infection est révélée soit *a posteriori* par la détection d'anticorps dirigés contre le virus, dans le sérum ou le lait des animaux (cf. §5.2.3), soit par la détection du génome viral dans le lait (Tableau 17).

**Tableau 17 : Estimation de la prévalence du TBEV (basée sur la présence du génome viral) dans le lait en Europe en fonction des espèces animales**

| Ref                       | Lieu                                                                                  | Echantillon                                                                                          | cible       | Méthode de détection | Nombre de fermes | Nombre animaux échantillonnés        | Nombre d'animaux positifs          |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------|------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| (Cisak et al. 2010)       | province de Lublin, au centre Est de la Pologne                                       | lait individuel                                                                                      | génom viral | RTqPCR               | 8                | 63 vaches<br>29 chèvres<br>27 brebis | 7(11,1%)<br>6 (20,7%)<br>6 (22,2%) |
| (Paulsen et al. 2019)     | Norvège : Skedsmo, Arendal, Mandal, Finnøy and Brønnøy (du sud au nord de la Norvège) | lait individuel                                                                                      | génom viral | RTqPCR               | 5                | 112 vaches                           | 6 (5,4 %)                          |
| (Pautienius et al. 2021a) | Lituanie                                                                              | lait de tank indiqué dans la publication mais la prévalence semble être calculée sur lait individuel | génom viral | RTqPCR               | 17               | 1 363 chèvres                        | 58 (4,3%)                          |
|                           |                                                                                       |                                                                                                      |             |                      | 4                | 312 brebis                           | 14 (4,5%)                          |

Très peu d'études ont rapporté des données quantitatives de contamination par le TBEV dans le lait (voir Tomassone et al. 2025). En Lituanie, sur deux années (avril – novembre 2018 et 2019) de surveillance de lait de tank, les niveaux de contamination variaient de  $10^2$  cg.mL<sup>-1</sup> à  $5.10^5$  cg.mL<sup>-1</sup> selon le nombre d'animaux par ferme (Pautienius et al. 2021a).

Deux études rapportent des données de quantification du virus dans les matrices impliquées dans les épidémies. La concentration moyenne de TBEV mesurée dans cinq échantillons de lait impliqué dans deux foyers de contamination humaine en Hongrie était de l'ordre de  $3 \log_{10}$  pfu.mL<sup>-1</sup> (Rónai et Egyed 2020). Le génome de TBEV a été quantifié à  $1,8.10^5$  cg.mL<sup>-1</sup> dans du lait de chèvre (4 échantillons analysés) incriminé dans un cluster en Slovénie (Hudopisk et al. 2013).

#### 9.2.2.2 Persistance du virus dans le lait cru

La persistance du TBEV dans le lait pourrait être influencée par la température, le pH (cf §2.1.4 et §9.2.3), certains constituants du lait (protéines, lipides, cellules somatiques et microorganismes indigènes du lait).

Aucune étude n'a été réalisée à ce jour pour investiguer l'effet des constituants du lait sur l'infectiosité du TBEV. Pour un autre flavivirus, le virus Zika, il a été montré que la lactoferrine et la lactalbumine ne réduisaient pas l'infectiosité du virus tandis que certains acides gras présents dans le lait maternel (C18 :0, C18 :1, C18 :2, également présents dans le lait de chèvre) pouvaient réduire de  $6 \log_{10}$  la charge virale infectieuse après un temps de contact de 6 h à 37°C (Desgraupes et al. 2022). Une autre étude montre un effet antiviral de composants du lait maternel humain (vésicules extracellulaires, glycosaminoglycanes) sur les flavivirus Zika et Usutu (Francese et al. 2020).

**Multiplication dans les cellules somatiques<sup>107</sup>**

Il existe plusieurs études sur la transmission des lentivirus (*Retroviridae*) et des flavivirus (*Flaviviridae*) par le lait et sur la capacité des virus à se multiplier dans la glande mammaire.

Blacklaws (2012) a décrit l'infection des brebis ou des chèvres par les lentivirus de petits ruminants (SRLV), le visna-maedi (VMV) et le virus de l'encéphalite arthritique caprine (CAEV). Le tropisme principal du lentivirus prototypique VMV est pour les macrophages et les cellules dendritiques, mais il montre également un tropisme marqué pour les lymphocytes. Toutefois, dans les tissus, d'autres types de cellules peuvent également être infectés et servir de réservoir de virus, notamment les cellules épithéliales de la glande mammaire qui constituent une source importante de cellules infectées et de particules virales libres pour la transmission des SRLV des femelles à leurs petits. De nombreux autres lentivirus sont transmis au nouveau-né par le colostrum.

Bolea et al. (2006) ont décrit plus en détail un mécanisme possible d'infection *in vivo* de la glande mammaire par le VMV. L'infection dans le tissu mammaire est probablement initiée par la différenciation en macrophages de monocytes sanguins infectés. Une fois différenciés, un contact direct entre les macrophages et les cellules épithéliales mammaires ovines (OMEC) peut être un mécanisme d'infection des OMEC ou des macrophages dans la glande mammaire. Des études *in vitro* sur l'infektivité du CAEV ont suggéré que les OMEC peuvent être les cibles du CAEV dans la glande mammaire de la brebis. Cela est compatible avec les résultats d'études *in vitro* qui suggèrent que la cellule myoépithéliale pourrait agir comme une cellule réservoir et qu'après l'infection, la cellule luminale mature (OMEC) acquiert la capacité de lier les leucocytes facilitant ainsi les interactions cellulaires et la transmission virale. Les observations citées sont en accord avec les résultats (Bolea *et al.* 2006) selon lesquels non seulement les macrophages mais aussi les OMEC peuvent jouer un rôle dans la réplication et comme réservoir du virus dans cet organe et dans la pathogenèse du VMV. De même, le virus de la leucose bovine (rétrovirus) peut se répliquer dans les cellules épithéliales mammaires lors d'une infection naturelle (Buehring, Kramme, et Schultz 1994).

Urbańska et al. (2022) ont présenté des résultats qui confirment leur hypothèse antérieure selon laquelle la réponse immunitaire dans la mamelle est locale et agit indépendamment de la réponse immunitaire systémique. En outre, certains des microARN<sup>108</sup> étudiés peuvent influencer la réplication du virus dans les cellules hôtes en régulant l'expression de leurs gènes cibles.

Une revue systématique a examiné la transmission des flavivirus par le lait maternel (Mann et al. 2018) : des études d'observation ont permis de confirmer la transmission de la mère à

---

<sup>107</sup> Le taux de cellules somatiques du lait est un indicateur de qualité sanitaire et technologique. Plus le nombre de cellules somatiques dans le lait est élevé, plus la probabilité de contamination de la mamelle par un agent pathogène est forte. Ces cellules somatiques sont soit des cellules épithéliales qui se détachent de la muqueuse au cours de la traite, soit des cellules immunitaires. Ces dernières sont des cellules de défense produites par l'organisme pour détruire les bactéries responsables d'une infection de la mamelle, que l'on qualifie de mammite (<https://www.groupe-techna.com/>). Le nombre et le type de cellules dans le lait ne dépendent pas seulement de l'état de santé des animaux, mais aussi de leur espèce, race, du stade de lactation et de l'échantillonnage (Widmer et al., 2022).

<sup>108</sup> Les micro-ARN (abréviation : miARN ou miR) constituent une catégorie de petits ARN (en) simple brin, non codants et propres aux cellules eucaryotes. Les miARN sont des régulateurs post-transcriptionnels capables d'extinction de l'expression d'un gène; leur appariement à un ARN messager (ARNm) cible peut conduire à l'inhibition de sa traduction ou à sa dégradation, selon le degré de complémentarité entre la séquence du miARN et celle de son ARNm cible.

l'enfant pendant l'allaitement pour le virus Zika et de la suspecter pour d'autres (virus de la dengue, virus West-Nile). Des études chez l'animal (hamster : dengue ; chèvre : Powassan; souris et hamster : West-Nile) ont montré la transmission par le lait maternel pour ces virus.

Kerlik et al. (2022) ont rapporté un cas de transmission possible du TBEV d'une mère non vaccinée à l'enfant par le lait maternel, mais cette voie n'a pas encore été confirmée par des modèles expérimentaux. Des études ont montré que le TBEV peut rester infectieux dans le suc gastrique (pH : 1,49-1,80) jusqu'à deux heures lorsqu'il est mélangé au lait, ce qui indique une voie potentielle de transmission par le tractus gastro-intestinal (Levkovich et Pogodina 1958; Schreier, Cebulski, et Kröger 2021). Dans leur étude, Miao et al. (2024) ont utilisé un modèle de souris pour démontrer la présence de virus infectieux dans le lait maternel et les cellules épithéliales de la glande mammaire. Pour confirmer la transmission par le lait des flavivirus transmis par les tiques (TBF), ils ont utilisé la souche TP21 du virus TBF Langat (LGTV), naturellement atténuée, comme modèle. Le LGTV partage 82-88 % d'identité en acides aminés avec le TBEV, mais ne provoque pas de maladie chez l'être humain. Ils ont détecté l'ARN viral du LGTV dans les caillots de lait de l'estomac des souriceaux et dans leur sang, ce qui indique que le virus peut être transmis de la mère au petit par le lait maternel entraînant alors un taux de mortalité élevé chez les petits. Ils ont également observé que l'infection par le LGTV provoque des lésions tissulaires dans la glande mammaire et que des particules virales sont présentes dans les cellules épithéliales de la glande mammaire. Ces résultats suggèrent donc que le LGTV peut infecter différents types de cellules épithéliales de la glande mammaire. Les changements histopathologiques et le tropisme cellulaire observés ont permis de mieux comprendre la pathogenèse du LGTV chez les mammifères. En outre, ils ont constaté que le lait de souris infectées inoculé à des souris adultes par voie intragastrique pouvait infecter ces dernières, ce qui se traduit par une durée d'infection plus longue et un taux de perte de poids plus faible que pour les autres modes d'infection. Leur étude a fourni des preuves complètes de la transmission du LGTV par le lait maternel chez la souris et a contribué à fournir des données utiles pour l'étude des voies de transmission de la TBF. Ces auteurs n'ont pas encore réussi à comprendre le mécanisme de la transmission de la TBF par le lait maternel et notent que des études sur ce sujet sont nécessaires.

Il serait également intéressant d'étudier comment le TBEV peut infecter les cellules des glandes mammaires et quel(s) type(s) cellulaires est (sont) infecté(s) (identifier son tropisme) ; et, si les chèvres, les brebis et les bovins sont affectés de la même manière, à quel moment, pendant combien de temps et avec quelle dynamique, et quelle influence cela a sur la quantité de virus infectieux excrétée dans le lait.

### **9.2.3 Impact des procédés de transformation et des mesures de maîtrise applicables tout au long de la chaîne alimentaire**

Les fromages et spécialités fromagères au lait cru sont définis par la réglementation comme des « *produits fabriqués à partir de lait non chauffé au-delà de 40 °C ni soumis à un traitement non thermique d'effet équivalent notamment du point de vue de la réduction de la concentration en micro-organismes* » (Anonyme, 2015). Dans son avis « relatif aux modalités de maîtrise du risque lié à la présence de dangers microbiologiques dans les fromages et autres produits laitiers fabriqués à partir de lait cru », l'Anses a choisi de faire une classification des fromages sur la base des procédés technologiques qui leur sont appliqués (Anses 2022a). Les principales étapes technologiques, telles que la coagulation, l'égouttage et l'affinage sont conduites différemment en fonction des fromages, ce qui engendre des variations dans

l'évolution des paramètres physico-chimiques de la matrice fromage ( $a_w$ , pH, etc.) au cours du temps (Almena-Aliste et Mietton 2014; Anses 2022a). Cette classification permet de prévoir le comportement des microorganismes contaminants (bactéries en particulier) en fonction de la cinétique d'évolution de ces paramètres physico-chimiques. Sont ainsi définies six catégories de fromages : à pâte lactique fraîche (PLF), à pâte molle à croûte fleurie (PMCF) ou lavée (PMCL), à pâte persillée, à pâte pressée non cuite (PPNC) à affinage court (PPNCC) ou long (PPNCL), à pâte mi-cuite (PDC) et à pâte cuite (PC). Sur l'ensemble du territoire français, les fromages au lait cru de chèvre des catégories PLF, PMCF et PPNCC sont respectivement produits à raison de 2 824, 7 860, et 85 tonnes par an (Annexe 3 rapport GT FALC1). Dans l'est de la France, les productions de fromage au lait cru de chèvre sont des productions fermières (lait transformé à la ferme) (Audition Christophe Chartier). *A priori*, dans cette région, les PLF seraient majoritaires mais d'autres technologies, telles que les PMCF ou PPNC pourraient également exister.

D'un point de vue général, le lait de chèvre présente une plus grande variabilité physico-chimique (notamment en taux de protéines) que le lait de vache (Goudédranche et al. 2001). De plus, l'industrie fromagère caprine pratique la technique du report de caillé (stockage du lait congelé sous forme de caillé égoutté) pour permettre la poursuite de la production après la période de lactation. Par ailleurs, le lait de chèvre ne nécessite pas d'homogénéisation<sup>109</sup> car il ne contient pas d'agglutinines (Goudédranche et al. 2001).

Les fromages PLF (ex : faisselles) sont obtenus par coagulation lente du lait (12 à 18 h entre 20 et 28 °C) sous l'action de ferments lactiques. Le pH atteint des valeurs de 4,5-4,6 avant l'égouttage ((Mietton et Chablain 2018). Ces fromages ne subissent aucun affinage. Les fromages PLF au lait cru de chèvre sont produits dans de nombreuses zones géographiques en France. Le seul fromage PLF de chèvre en AOP, le Brousse du Rove, est produit en Provence-Alpes-Côte d'Azur.

La fabrication des fromages PMCF est conduite par fermentation mixte à dominante lactique en 16-24 h à 20-24 °C. Le pH du caillé atteint 4,4-4,5 (Goudédranche et al. 2001). L'affinage est ensuite conduit grâce au développement en surface de moisissures qui consomment l'acide lactique présent dans le caillé, ce qui engendre une remontée du pH de surface au cours du temps (Mietton et Chablain 2018). Cet affinage dure en moyenne entre 8 et 12 jours (Goudédranche et al. 2001). Des PMCF au lait cru de chèvre à pâte molle AOP sont produits dans de nombreux départements, mais ne sont pas représentés dans l'est de la France.

Le fromage PPNC a un caillé à dominante présure. La coagulation a lieu en 30-40 min à une température comprise entre 30 et 38 °C. Le pH au démoulage est de 5,15-5,30. Le pressage dure de 6 à 12 heures et comporte au moins un retournement (Mietton et Chablain 2018). L'affinage est conduit sur différents supports dont des planches en bois d'épicéa, à une température comprise entre 8 et 18 °C, à une hygrométrie supérieure à 85 %. La durée totale des phases de séchage et d'affinage est au minimum de 21 jours à compter du jour d'emprésurage. Le Chevrotin, PPNCC AOP au lait cru de chèvre, est produit en Savoie et Haute-Savoie.

À partir d'*inocula* de TBEV dans le lait cru de chèvre à des concentrations d'environ  $10^3$  pfu/mL ou  $10^5$  pfu/mL, le TBEV reste infectieux pendant respectivement 5-10 jours et 20-25 jours à 4 °C (Rónai et Egyed 2020). Une étude réalisée avec du lait cru de chèvre artificiellement contaminé avec  $10^5$  pfu/mL montre que le titre infectieux du TBEV reste stable pendant deux

<sup>109</sup> L'homogénéisation du lait est un procédé mécanique utilisé dans l'industrie laitière pour uniformiser la texture et éviter la séparation de phase (remontée de la crème).



jours à 4 °C tandis qu'une légère diminution est observée à température ambiante (1,3 log<sub>10</sub>) (Mathews-Martin et al. soumis).

Le titre viral de LGTV (Langat virus) dans du lait cru de chèvre stocké à 4 °C est stable (moins de 1 log<sub>10</sub> de réduction) sur 72 h (Offerdahl, Clancy, et Bloom 2016). À l'inverse, au bout de 45 h, le titre viral de LGTV a été réduit de plus de 5 log<sub>10</sub> dans le lait de chèvre stocké à 22°C (Offerdahl, Clancy, et Bloom 2016). Soumise à une cinétique thermique similaire à celle utilisée lors de la fabrication de fromages (montée lente jusqu'à 30 °C, puis refroidissement à 22 °C et incubation pendant 16 h), le titre viral de flavivirus a également été réduit de 3 log<sub>10</sub> (Offerdahl, Clancy, et Bloom 2016).

En revanche, l'acidification des caillés en début de technologie fromagère ne permet pas d'inactiver le TBEV, qui reste infectieux après 20 min à pH 4 à 37 °C (Wiesner, Schmutte, et Steffen 2021). Une étude plus ancienne suggère que le TBEV est également insensible au pH sur un plus long terme (24 h) dans des gammes de 2,7 à 11,5 (Gresikova-Kohutova 1959).

L'immersion des fromages dans une solution de sel à 25 % pendant 24 h à 4 °C paraît être un traitement d'inactivation efficace puisque les virus infectieux sont indétectables (réduction supérieure à 5 log<sub>10</sub>) dès la fin de ce procédé fromager utilisé dans certains pays (Rónai et Egyed 2020), mais pas en France. En revanche, l'ajout d'épices (mélange ail cumin poivre basilic - concentration non précisée) lors du procédé fromager ne semble pas inactiver le TBEV (Rónai et Egyed 2020).

Toutes les technologies sont donc également concernées par la persistance du TBEV lors du procédé de transformation. La vitesse d'acidification n'a pas d'impact sur l'infectiosité du virus. En revanche, le maintien d'une température de fermentation supérieure à 20°C pendant la durée de la coagulation lactique est plus favorable à l'inactivation du virus en comparaison à des procédés utilisant une coagulation à dominante présure qui est plus rapide.

Pour conclure, sur la base d'un nombre très limité de publications, et sur la base des profils de température au cours de la coagulation, les experts considèrent que le titre viral pourrait être réduit de 1 à 3 log<sub>10</sub> pour les PLF et PMCF. L'effet de la coagulation semble limité pour les PPNC (réduction de 0 à 1 log<sub>10</sub>).

## **9.3 Évaluation des risques de transmission alimentaire de la TBE**

### **9.3.1 Revue du modèle suisse publié**

Le risque de transmission alimentaire du TBEV par du lait contaminé dépend de différents facteurs. Ingenhoff et al. (2020) ont essayé d'estimer ce risque lié à la consommation de lait de chèvre dans les régions alpines de Suisse. Actuellement, il s'agit de la seule estimation de la transmission alimentaire publiée.

Des rapports sur des transmissions alimentaires en Autriche (Holzmann et al. 2009) et dans le sud de l'Allemagne (Brockmann et al. 2018) ont constitué l'élément déclencheur de ce travail. L'hypothèse a été émise qu'une telle transmission pouvait également être possible en Suisse, mais qu'elle était probablement rare et très limitée localement. Le coût d'une campagne d'échantillonnage à grande échelle a été jugé trop important et une estimation basée sur les données de séroprévalence du canton du Valais a été privilégiée (Riëlle et al.



2017). Entretemps, d'autres cas ont été signalés en Suisse et dans les pays voisins : Autriche (Mylonaki et al. 2022), France (Gonzalez et al. 2022) et Suisse (Benz et al. 2024). Il s'agit toujours de foyers locaux avec peu ou très peu d'animaux et avec du lait et des produits laitiers fabriqués dans une ferme ou un alpage (absence de dilution avec un autre lait).

Le modèle est basé sur les hypothèses et paramètres décrits dans le tableau 18. La séroprévalence individuelle chez les chèvres dans le canton du Valais est de 4,25 % [paramètre **d**]. Cette prévalence indique le pourcentage d'animaux qui ont été infectés suite à la pique d'une tique infectée par le TBEV. Les chèvres peuvent avoir été infectées au cours de l'année en cours ou précédemment. Par ailleurs il n'est pas possible de savoir si l'infection a eu lieu avant la lactation considérée.

Le paramètre **b** représente la durée de vie moyenne d'une chèvre séropositive dans le canton du Valais, en partant d'un âge moyen de 3,4 ans (intervalle de confiance de 95 % : 2,8 – 4,1 ans) (Rieille et al. 2017). La probabilité  $p_1$  (probabilité d'infection moyenne par année et par animal dans une situation donnée (troupeau, zone, région, etc.)) s'élève ainsi à :

$$p_1 = \frac{d}{b} = \frac{0,0425}{3,4} = 0,0125$$

La probabilité que le troupeau ( $p_{\text{troupeau}}$ ) soit contaminé est fonction de la taille moyenne du troupeau. Dans le calcul, les auteurs considèrent que la taille moyenne du troupeau est de 14,85 animaux [paramètre **m**] (Rieille et al. 2017). La valeur de  $p_{\text{troupeau}}$  se calcule alors comme suit :

$$p_{\text{troupeau}} = 1 - (1 - p_1)^m = 1 - (1 - 0.0125)^{14.852} = 0,170407$$

Pour les faibles séroprévalences, jusqu'à environ 10 %, il est aussi possible d'utiliser le calcul simplifié suivant utilisé dans l'étude de Ingenhoff et al. (2020):

$$p_{\text{troupeau}} = p_1 \times m = 0,0125 \times 14,852 = 0,18565$$

Les auteurs estiment qu'après une infection, une chèvre excrète le virus (quantité de virus excrété croissante puis décroissante) dans son lait pendant sept jours [paramètre **a**] (Van Tongeren 1955), mais pas durant les autres jours des 240 jours de lactation attendus par an [paramètre **c**] et qu'elle n'excrète plus le virus pendant tout le reste de sa vie (Ringdorfer 2009) (Figure 41).

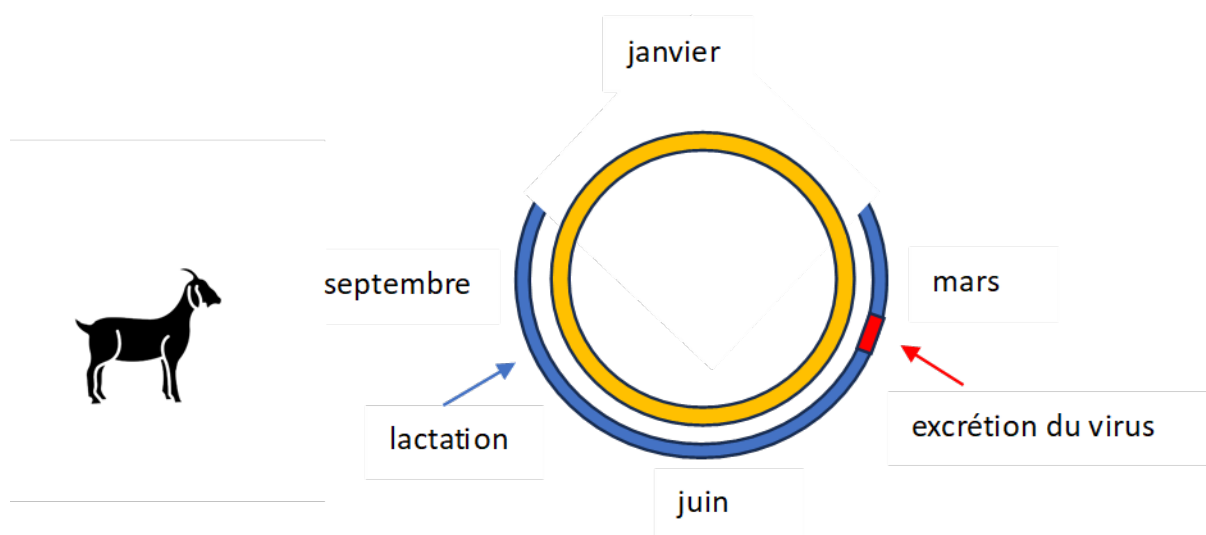


**Figure 41 : Représentation schématisque de l'excrétion virale au cours de 7 des 240 jours de lactation pour une chèvre initialement indemne.**

La proportion de jours de lactation dans l'année au cours desquels l'excrétion est possible est ainsi la suivante :

$$p_2 = \frac{a}{c} = \frac{7}{240} = 0,029167$$

Si l'on multiplie  $p_{\text{troupeau}}$  par  $p_2$  on obtient la probabilité  $p_3$  que le lait d'un troupeau (un tank) soit contaminé. Étant donné que seule une partie des animaux excrètent des virus, le lait est certes contaminé, mais la concentration de virus diminue en raison de la dilution avec le lait des autres animaux, ce qui n'est pas pris en compte ici.

$$p_3 = p_{\text{troupeau}} \times p_2 = 0,170407 \times 0,029167 = 0,004970$$

Si, pour la séroprévalence  $d$ , on ne se base pas sur la séroprévalence d'un troupeau mais sur celle d'une zone, d'une région, etc.,  $p_3$  représente alors la probabilité moyenne que le lait d'un troupeau moyen de cette zone soit contaminé.

Une grande partie du lait de chèvre produit en Suisse est surtout transformée en fromage et pour cela subit un traitement thermique ou est transformée en fromage à affinage long. Il ne faut pas s'attendre à ce que de tels produits contiennent des TBEV (Saier et al. 2015; BfR 2016; Saier, Kömpf, et Hinrichs 2019) (voir également le paragraphe 9.2.2).

Ainsi selon les statistiques de la TSM Fiduciaire Sàrl, sur la quantité totale de lait de chèvre produite en Suisse [paramètre  $e$ ], seule une fraction (désignée lait de ménage" [paramètre  $f$ ]) est le plus souvent consommée crue à la ferme ou transformée en produits laitiers frais crus et éventuellement partagée au sein de la famille ou vendue à des amateurs.

On peut donc calculer  $p_{\text{cru}}$  ( $n$  dans la publication - tableau 17), i.e. la proportion de lait de chèvre potentiellement consommé cru (lait ou fromage au lait cru) :

$$p_{\text{cru}} = \frac{f}{e} = \frac{0,9}{23,3} = 0,038627$$

Si l'on multiplie la probabilité  $p_3$  (tank contaminé (le lait d'un troupeau)) par la proportion de lait de chèvre consommé cru  $p_{cru}$  on obtient la probabilité d'exposition au lait cru et aux produits à base de lait cru contaminé  $p_4$ .

$$p_4 = p_3 \times p_{cru} = 0,004970 * 0,038627 = 0,000192$$

La probabilité moyenne de 0,0192 % correspond bien à l'intervalle de 0,018 à 0,024 % calculé de manière simplifiée dans l'étude de Ingenhoff et al. (2020).

En ce qui concerne la situation particulière de la Suisse, il résulte que la probabilité qu'un lait cru de chèvre contaminé (ou un produit à risque contaminé) parvienne au consommateur est très faible.

Cette estimation se base sur de nombreuses hypothèses et valeurs moyennes. Les auteurs ont donc essayé de la comparer aux cas connus de transmission alimentaire en Suisse, en Allemagne et en Autriche et sont arrivés à une probabilité annuelle moyenne d'exposition de 0,018 % pour l'Allemagne et l'Autriche (huit cas de transmission alimentaire sur 4 422 cas de TBE, 2009 - 2018) et de 0,012 % pour la Suisse (trois cas sur 2 307, 2010 - 2020). Bien que le nombre de cas de transmission alimentaire soit probablement sous-estimé, il s'agit de valeurs d'un ordre de grandeur similaire à celles calculées dans l'étude.

Si l'on part du principe que la durée d'excrétion du virus (a), l'âge moyen d'une chèvre (b) et la durée annuelle de lactation (c) sont plutôt fixes et similaires dans toutes les régions d'Europe, les paramètres variables que sont la séroprévalence (d), la taille du troupeau (m) et la proportion de produits à risque ( $p_{cru}$ , n dans la publication) consommés influencent le plus fortement le calcul.

Si la séroprévalence dans une région n'est que de 0,1 % (C. Klaus et al. 2012), la probabilité d'exposition est réduite à 0,0005 %. Dans l'hypothèse d'une séroprévalence de 50 % (C. Klaus et al. 2014), d'une taille de troupeau de 52 animaux, et d'une proportion de consommation de produits au lait cru de 0,4 %, la probabilité d'exposition pourrait augmenter et atteindre 1,2 %. Les hypothèses influencent donc fortement le résultat et devraient si possible être vérifiées quant à leur plausibilité.

**Tableau 18 : Valeurs prises en compte pour l'évaluation des risques par Ingenhoff et al. (2020).**

| Variable                                 | Description                                                                                                          | Valeur      | Unité             | Référence                                                          |
|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------|
| A                                        | Durée présumée de l'excrétion virale                                                                                 | 7           | jour              | (Van Tongeren 1955)                                                |
| B                                        | Âge moyen (= 3,4 ans; 95 % confidence limits [CL]: 2,8 – 4,1 ans) d'une chèvre séropositive dans le canton du Valais | 3-4         | ans               | (Rieille et al. 2017)                                              |
| C                                        | Durée de lactation moyenne d'une chèvre                                                                              | 240         | jour              | (Ringdorfer 2009)                                                  |
| D                                        | Séroprévalence dans le canton du Valais                                                                              | 4,25        | %                 | (Rieille et al. 2017)                                              |
| E<br>F                                   | Quantité annuelle de lait de chèvre produite (Suisse, 2018)<br>Lait de ménage (lait cru)                             | 23,3<br>0,9 | 10 <sup>3</sup> t | (Thebault et al. 2013;<br>Teunis et al. 2020,<br>USP et al., 2019) |
| G                                        | Nombre de sérums de chèvre analysés dans le canton du Valais                                                         | 4 114       | -                 | (Rieille et al. 2017)                                              |
| H                                        | Nombre de troupeaux examinés dans le canton du Valais                                                                | 277         | -                 | (Rieille et al. 2017)                                              |
| <i>n (p<sub>cru</sub> dans le texte)</i> | Pourcentage de lait potentiellement consommé cru par rapport à la production locale totale (f/e)                     | 0,038       | %                 | /                                                                  |
| M                                        | Taille moyenne du troupeau (g/h)                                                                                     | 14,85       | -                 | /                                                                  |

Le calcul d'exposition est fondé sur des valeurs moyennes et ne tient pas compte, faute de données, de la variabilité de la prévalence inter et intra-troupeau. De même, la dynamique de transmission au sein d'un élevage et la variabilité du niveau de contamination dans le lait de tank au cours de la période à risque ne sont pas pris en considération dans le modèle. Ces limites justifient le développement d'un nouveau modèle dans le cadre de cette expertise.

### 9.3.2 Évaluation quantitative de l'exposition au TBEV par la consommation de fromage au lait cru de chèvre

#### 9.3.2.1 Description du modèle

L'objectif du modèle est d'évaluer l'exposition humaine au TBEV (proportion de portions contaminées et pourcentage des consommateurs exposés à des niveaux élevés de virus) par la consommation de fromages au lait cru de chèvre issu d'un élevage situé dans une zone de circulation du virus. D'après les auditions, le lait cru est majoritairement transformé en fromage. Le modèle s'appuie sur les données de la littérature et sur celles de l'investigation épidémiologique de 2020 afin de mieux comprendre cette épidémie et les dynamiques de transmission. Les valeurs, les lois de distribution retenues et les relations entre les variables du modèle d'exposition sont présentées en détail dans le Tableau 19. Le modèle reproduit les

caractéristiques de certains élevages fromagers fermiers (nombre d'animaux) de la zone Auvergne-Rhône-Alpes. À terme, ce modèle pourrait être utilisé par les gestionnaires pour faciliter la gestion des situations d'élevages touchés par le TBEV. Le scénario de référence correspond à un élevage de 50 chèvres naïves exposées pendant une durée de 60 jours aux piqûres de tiques dans une zone de circulation du virus.

Le modèle développé est de type « *agent-based* ». Les agents principaux sont les chèvres. Chaque chèvre peut être dans un des quatre états : susceptible (S), infectée non excrétrice (I), excrétrice (E) et résistante (R). Le modèle commence avec une proportion donnée de chèvres résistantes ( $p_{\text{résistant}}$ , fixée à 0 dans le scénario de référence). Le statut des chèvres ( $goat_{\text{status}}$ ) est redéfini chaque jour, et dépend de la transmission du TBEV par les piqûres de tiques. La probabilité de piqûre journalière a été estimée à partir des données de l'épidémie de 2020 (Gonzalez et al. 2022).

Pendant l'épidémie, sur 45 chèvres, deux ont développé une séroconversion au cours d'une période de sept jours. Un script en R a été utilisé pour modéliser cette probabilité, en ajustant une fonction de vraisemblance pour estimer la probabilité quotidienne de piqûre conduisant à une infection ( $p_{\text{biteday}}$ ) par optimisation. La probabilité de piqûre quotidienne conduisant à une infection ( $p_{\text{biteday}}$ ) est estimée à 0,0065 avec un intervalle de confiance à 95% compris entre 0,0016 et 0,026.

Après l'infection, il y a une période de latence (variable par chèvre et comprise entre  $lag_{\text{min}}$  et  $lag_{\text{max}}$  jours) avant que la chèvre ne commence à excréter le virus. La durée de l'excrétion (entre  $shed_{\text{duration\_min}}$  et  $shed_{\text{duration\_max}}$ ) ainsi que la quantité de virus excrétés (définie par une loi Triangulaire ( $milk_{\text{shed\_min}}$ ,  $milk_{\text{shed\_mode}}$ ,  $milk_{\text{shed\_max}}$ )) varient également d'une chèvre à l'autre. Concernant l'infectiosité, le modèle considère que la majorité des virus excrétés dans le lait sont infectieux ( $f_{\text{vif}}$ ). Le modèle dynamique enregistre chaque jour le statut SEIR (susceptible-exposé-infectieux-rétabli) des chèvres, la quantité/concentration de virus dans le tank de lait.

Le lait collecté chaque jour (proportionnel au nombre de chèvres et au volume produit par chèvre) est transformé en fromage. Le modèle calcule la concentration de virus dans le fromage en prenant en compte la transformation du volume de lait en volume de fromage, la proportion du virus qui passe du lait au fromage, l'effet de la coagulation et de l'affinage. Trois types de fromages sont considérés (fromages à pâte lactique fraîche - PLF, fromages à pâte molle et croûte fleurie - PMCF et fromages à pâte pressée non cuite et affinage court - PPNCC). Le volume de lait utilisé pour fabriquer un fromage et l'effet de la coagulation est spécifique à chaque type de fromage. L'effet du salage n'a pas été testé en raison du manque de données. Passé l'étape de coagulation, le modèle considère que l'affinage a un effet sur l'infectiosité des virus. En l'absence de données dans la littérature sur l'évolution de l'infectiosité pendant l'affinage, les experts ont retenu pour les fromages à PMCF et à PPNCC des valeurs incertaines de réduction logarithmique allant de l'absence d'effet à une réduction de  $2 \log_{10}$ . À partir de la concentration en virus (exprimée en copie génome / g) et de la limite de détection de la méthode ( $LOD_{\text{TBEV}}$ ), le modèle calcule la probabilité de lots positifs. Enfin, l'exposition des consommateurs au virus infectieux ( $Dose_{\text{fromage}}$ ) est appréciée en considérant la répartition aléatoire des particules virales et les tailles des portions de chaque type de fromage ( $m_{\text{fromage}}$ ). Le mode de consommation du fromage (p. ex après cuisson) n'est pas pris en compte dans le modèle.

Le modèle dynamique enregistre chaque jour le statut du lot de fromage, le nombre de consommateurs consommant au moins 1,  $10^2$ ,  $10^4$  TBEV infectieux.

L'évaluation des expositions conduite dans cette étude s'appuie sur des distributions de probabilités pour décrire un grand nombre de variables d'entrée du modèle ce qui la rend trop complexe pour calculer algébriquement les sorties ; elle a donc nécessité l'utilisation de simulations de Monte Carlo. Plus précisément, des simulations de Monte Carlo de 2<sup>nd</sup> ordre ont été utilisées pour distinguer les sources d'incertitude (Tableau 18) de l'hétérogénéité naturelle (la variabilité) de certaines entrées du modèle. Cinq cent itérations sont réalisées pour les paramètres incertains. Pour chaque itération dans le domaine d'incertitude, 1000 itérations sont réalisées dans les distributions liées aux paramètres variables. Les résultats du modèle sont résumés par la médiane dans le domaine de variabilité et par l'intervalle d'incertitude à 95 % de cette valeur médiane.

Tableau 19 : Paramètres du modèle d'exposition au TBEV par la consommation de fromage au lait cru de chèvre

| Étape du modèle                            | Paramètre                       | Description                                                                | Valeurs                                                                                                                                                                                                                        | Nature<br>(I : Incertain,<br>F : Fixe, V :<br>Variable) | Références                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estimation de la prévalence intra-troupeau | $n_{\text{goat}}$               | Nombre total de chèvres dans un élevage                                    | 50 pour le scénario de référence<br>autres scénarios : 20, 70                                                                                                                                                                  | F                                                       | Institut de l'Élevage (différents scénarios)                                                                                                                                                        |
|                                            | $p_{\text{presistant}}$         | Prévalence intra-élevage                                                   | 0 pour le scénario de référence<br>Autres scénarios : 25, 50, 75                                                                                                                                                               | F                                                       | Revue de la littérature                                                                                                                                                                             |
|                                            |                                 | Durée en jours de la période d'exposition à la piqûre de tique / TBEV      | 60                                                                                                                                                                                                                             | F                                                       | (Gonzalez et al. 2022) (valeur établie d'après les données de l'investigation de l'épidémie de 2020).                                                                                               |
|                                            | lag                             | Temps de latence en jours de l'excrétion virale à la suite d'une infection | Uniforme (2 - 5)                                                                                                                                                                                                               | V                                                       | (Balogh et al. 2012)                                                                                                                                                                                |
|                                            | $p_{\text{biteday}}$            | Probabilité d'infection par animal par jour                                | Triangulaire (0,0016 ; 0,0065 0,026)                                                                                                                                                                                           | I                                                       | (Gonzalez et al. 2022) (établies sur le nombre de chèvres pour lesquelles une séroconversion a été observée sur une période donnée : 2 chèvres sur 45 ont séroconverti sur une période de 7 jours). |
|                                            | $\text{goat}_{\text{status}}$   | Statut SEIR (susceptible-exposé-infectieux-rétabli) des chèvres            | Au temps $t=0$ S dépend de $p_{\text{presistant}}$ . E, I et R sont à 0<br>Le modèle ABM génère chaque jour le statut SEIR en fonction du statut initial et de $p_{\text{biteday}}$ , lag et $\text{shed}_{\text{duration}}$ . | V,I                                                     |                                                                                                                                                                                                     |
| Excrétion du pathogène                     | $\text{shed}_{\text{d\_min}}$   | Durée d'excrétion minimale en jours                                        | 3                                                                                                                                                                                                                              | F                                                       | (Balogh et al. 2012)                                                                                                                                                                                |
|                                            | $\text{shed}_{\text{d\_max}}$   | Durée d'excrétion maximale en jours                                        | 23                                                                                                                                                                                                                             | F                                                       | (Balogh et al. 2012)                                                                                                                                                                                |
|                                            | $\text{shed}_{\text{duration}}$ | Durée de l'excrétion virale par chèvre en jours                            | Uniforme( $\text{shed}_{\text{d\_min}}$ $\text{shed}_{\text{d\_max}}$ )                                                                                                                                                        | V                                                       |                                                                                                                                                                                                     |
|                                            | $p_{\text{shedding}}$           | Probabilité d'excrétion virale chez les chèvres                            | 1                                                                                                                                                                                                                              | I                                                       |                                                                                                                                                                                                     |
|                                            | $N_{\text{lait}}$               | Nombre de chèvres excrétrices dans le lait par jour                        | somme( $\text{goat\_status}=E$ )                                                                                                                                                                                               | V,I                                                     |                                                                                                                                                                                                     |



| Étape du modèle                               | Paramètre                        | Description                                                                                         | Valeurs                                                                                                       | Nature<br>(I : Incertain,<br>F : Fixe, V :<br>Variable) | Références                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                               | $C_{\text{exlaitmin}}$           | Concentration minimale du TBEV dans le lait pour les chèvres excrétrices $\log_{10}(\text{pfu/mL})$ | 2,5                                                                                                           | F                                                       | (Pautienius et al. 2021)                                                                                                                      |
|                                               | $C_{\text{exlaitmod}}$           | Mode de concentration du TBEV dans le lait pour les chèvres excrétrices $\log_{10}(\text{pfu/mL})$  | 4,5                                                                                                           | F                                                       | (Pautienius et al. 2021)                                                                                                                      |
|                                               | $C_{\text{exlaitmax}}$           | Max de concentration du TBEV dans le lait pour les chèvres excrétrices $\log_{10}(\text{pfu/mL})$   | Uniforme (5,0 ; 6,0)                                                                                          | I                                                       | (Pautienius et al. 2021)                                                                                                                      |
|                                               | $C_{\text{exlait}}$              | Concentration du TBEV dans le lait pour les chèvres excrétrices (pfu/mL)                            | $10^{\text{Triangulaire}(C_{\text{exlaitmin}}, C_{\text{exlaitmod}}, C_{\text{exlaitmax}})}$                  | I, V                                                    |                                                                                                                                               |
|                                               | $f_{\text{vinf}}$                | Proportion des virus infectieux parmi les virus excrétés                                            | Uniforme(0,1 ; 1)                                                                                             | I                                                       |                                                                                                                                               |
|                                               | $V_{\text{lait}}$                | Volume de lait par jour et par chèvre (mL)                                                          | 2500                                                                                                          | F                                                       | Valeur du contrôle laitier Rhône-Alpes                                                                                                        |
| <b>Contamination du lait dans les tanks</b>   | $C_{\text{Mtlait}}$              | Concentration de TBEV dans le lait de tank (pfu/mL)                                                 | $(N_{\text{lait}} \cdot V_{\text{lait}} \cdot C_{\text{exlait}}) / (V_{\text{lait}} \cdot N_{\text{chevre}})$ | I, V                                                    |                                                                                                                                               |
| <b>Fromages au lait cru (PLF, PMCF, PPNC)</b> | $F_{\text{npl}}$                 | Fraction de la contamination non éliminée avec le petit lait                                        | 0,90                                                                                                          | F                                                       |                                                                                                                                               |
|                                               | $V_{\text{laitfro}}$             | Volume (en mL) de lait pour en obtenir un fromage frais de 100 g                                    | PLF : 500<br>PMCF : 700<br>PPNCC : 857                                                                        | F                                                       |                                                                                                                                               |
|                                               | $N_{\text{Mtfro}} \text{ frais}$ | quantité de TBEV par fromage frais (pfu/ g)                                                         | $F_{\text{npl}} \times V_{\text{laitfro}} \times C_{\text{Mtlait}} / 100$                                     | I, V                                                    |                                                                                                                                               |
|                                               | $\text{LOD}_{\text{TBEV}}$       | Limite de détection de TBEV dans le lait et les fromages (en $\log_{10}(\text{cg/g})$ )             | 4                                                                                                             | I                                                       | (Hennechart-Collette et al. 2022)                                                                                                             |
|                                               | $I_{\text{coagulation}}$         | Inactivation pendant la coagulation ( $\log_{10}$ )                                                 | PMCF/PLF Uniforme (1, 3)<br>$\log_{10}$<br>PPNCC Uniforme (0,1)                                               | I                                                       | Selon la température à associer à la technologie<br>PLF : 12 h à 18 h 20-28 °C<br>PMCF : 16 h à 24 h 20-24 °C<br>PPNCC : 30 à 40 min 30-38 °C |
|                                               | $I_{\text{affinage}}$            | Inactivation pendant l'affinage ( $\log_{10}$ )                                                     | PLF : 0<br>PMCF/PPNCC Uniforme (0,2)                                                                          | I                                                       |                                                                                                                                               |

| Étape du modèle | Paramètre               | Description                                           | Valeurs                                                                                   | Nature<br>(I : Incertain,<br>F : Fixe, V :<br>Variable) | Références                                                                              |
|-----------------|-------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | $m_{\text{fromage}}$    | Quantité de fromage consommé (g)                      | PLF : 34,2<br>PMCF : 31,6<br>PPNCC : 53,7                                                 | F                                                       | INCA3 (« chèvre frais », « bûche de chèvre », « chevrotin ») (taille de portion adulte) |
|                 | $Dose_{\text{fromage}}$ | Quantité de TBEV ingérée (pfu) dans le fromage affiné | Poisson ( $N_{\text{Mtfrofrs}} \times m_{\text{fromage}} \times 10^{-\text{laffinage}}$ ) | I, V                                                    |                                                                                         |

### 9.3.2.2 Résultats du modèle

Les sections suivantes montrent les différents résultats du modèle. La première partie montre les résultats qui sont obtenus au niveau des itérations (une itération correspond à une ferme sur 60 jours d'exposition des animaux aux piqûres de tiques). Ensuite, les différences liées aux technologies fromagères sont explorées. Enfin l'effet de la séroprévalence des animaux vient illustrer l'utilisation du modèle quant au statut des animaux.

#### Résultats intermédiaires

La Figure 42 illustre l'évolution du statut des 50 chèvres pour la situation de référence (100% chèvres naïves) (pour deux itérations parmi les 1000 x500 réalisées) tout au long de la période de simulation, avec une distinction entre les chèvres susceptibles, infectées non excrétrices, excrétrices, et résistantes. Les lignes verticales pointillées rouges marquent le début et la fin de la période pendant laquelle les chèvres peuvent être piquées par des tiques et donc potentiellement infectées. Sur la période considérée (comprenant 60 jours d'exposition aux tiques), le nombre de chèvres concernées par une piqûre dans les deux itérations présentées sont de 21 et 14 chèvres. Le nombre médian de chèvres infectées et l'incertitude associée sont précisés dans le Tableau 19.

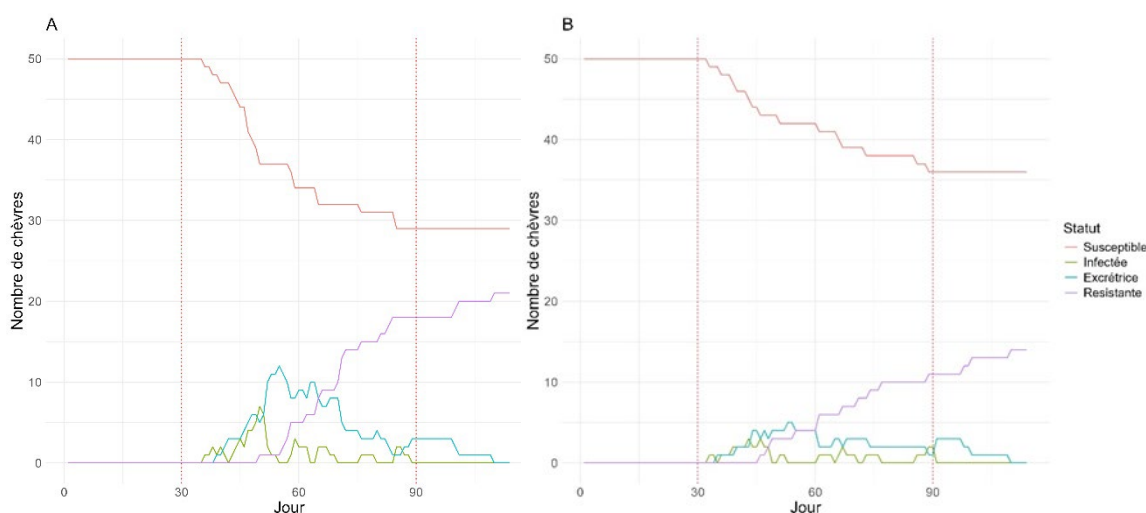


**Figure 42 : Évolution du statut des chèvres au fil du temps pour la situation de référence (A et B : exemples de deux simulations du modèle développé par le GT).**

La Figure 43 présente les niveaux de contamination en TBEV dans les laits de tank. Les niveaux sont liés au nombre de chèvres excrétrices ainsi qu'au niveau d'excrétion propre à chaque animal. Aussi le maximum de contamination des laits de tank n'est pas toujours associé aux jours pour lesquels il y a le plus d'animaux excréteurs (Figure 43 droite). Au Jour J50, le nombre de chèvres excrétrices est deux fois plus grand dans la première itération que dans la seconde (Figure 43). Pour autant la concentration en TBEV dans les laits de tanks est relativement proche (Figure 44). Cette observation peut s'expliquer par la variabilité individuelle des niveaux d'excrétion dans le lait des chèvres, où les fortes excrétrices jouent un rôle déterminant dans les concentrations globales dans les laits de tanks.

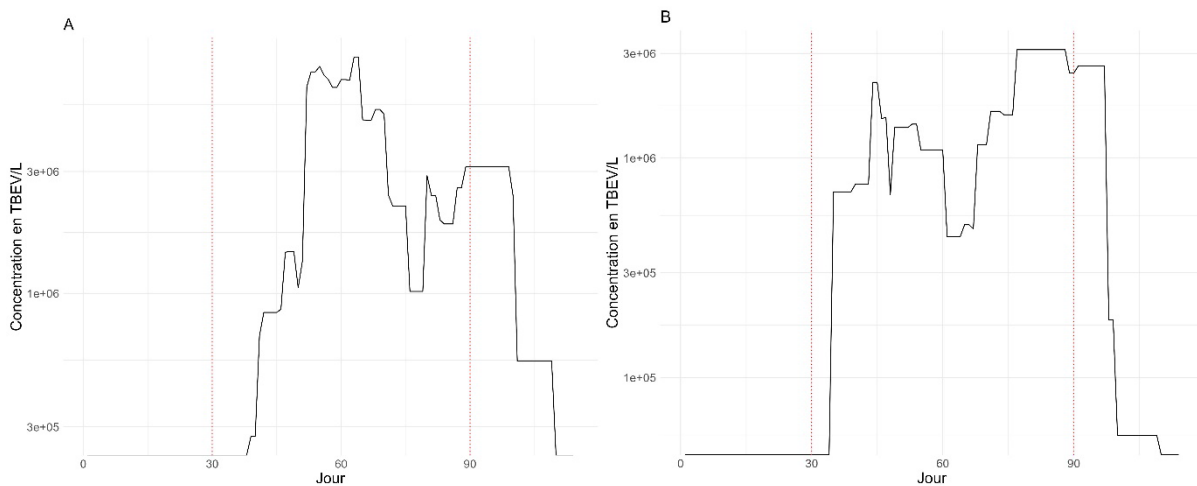


**Figure 43 : Évolution de la contamination journalière en TBEV dans les laits de tank pour la situation de référence (A et B deux simulations du modèle sont présentées, associées aux dynamiques dans les troupeaux présentées sur la Figure 42).**

La Figure 44 (colonne de gauche) présente deux exemples d'évolution des concentrations en TBEV infectieux dans les fromages PLF ou PMCF au cours de la période d'exposition des chèvres aux tiques. Ces concentrations dépendent des niveaux de contamination dans les laits de tanks ainsi que de l'effet de perte de l'infectiosité pendant la coagulation. Le modèle estime également la concentration en copies génomes, afin de déterminer la probabilité de détection des lots de fromages contaminés par des méthodes moléculaires (sachant la limite de détection  $LOD_{TBEV}$ ).

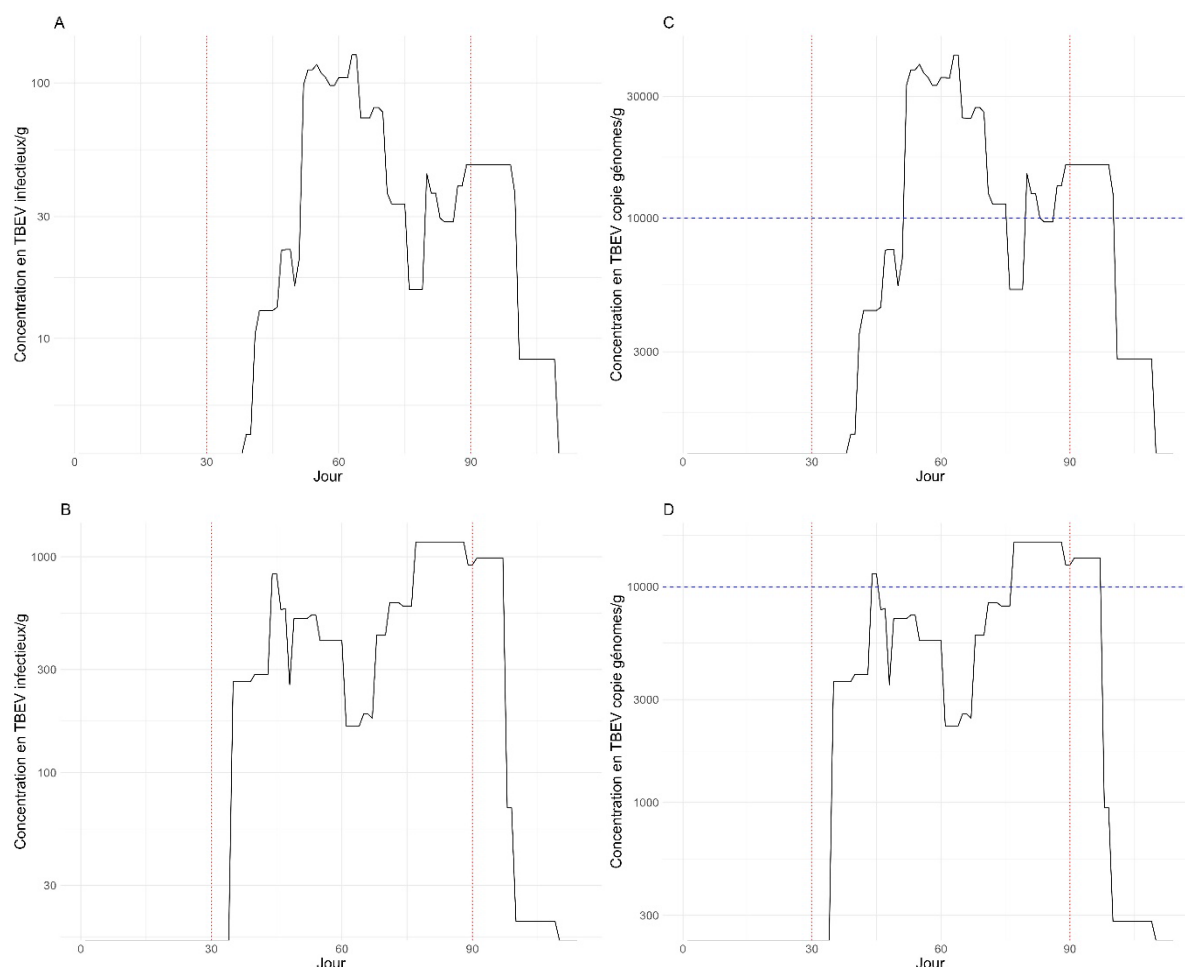


**Figure 44 : Évolution de la contamination journalière en TBEV dans les fromages pour la situation de référence.**

Deux simulations du modèle sont présentées, associées aux dynamiques dans les troupeaux présentées sur la Figure 42 et aux concentrations dans les tanks de la Figure 43 (A et C sont associées à 43A et 44B ; B et D à 43B et 44B). La colonne de gauche présente les données exprimées en TBEV infectieux/g. La colonne de droite en TBEV copies génome/g. Les lignes pointillées horizontales matérialisent la LOD.

### ***Impact du type de fromage sur les niveaux d'exposition***

Le tableau 20 présente les résultats du modèle pour évaluer les caractéristiques de contamination des lots (proportion des lots de fromages qui présenteraient des niveaux détectables) ainsi que d'exposition au TBEV pour trois types de fromages (PMCF, PPNC, PLF) issus d'un troupeau de 50 chèvres naïves.

**Tableau 20 : Comparaison des sorties du modèle pour les trois types de fromage (fromages à pâte lactique fraîche - PLF, fromages à pâte molle et croûte fleurie - PMCF et fromages à pâte pressée non cuite et affinage court - PPNCC) pour le scénario d'élevage de 50 chèvres naïves (valeurs médianes et intervalle d'incertitude à 95 % ; résultats pour 500 x1000 itérations)**

| Variable                                                          |                      | PMCF             | PPNCC            | PLF              |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------|------------------|------------------|
| Nombre de chèvres infectées                                       |                      | 12 [2-31]        |                  |                  |
| Nombre maximum de chèvres excrétrices                             |                      | 5 [1-12]         |                  |                  |
| Pourcentage de tank positifs > LOD (%)                            |                      | 0 [0-10,3]       |                  |                  |
| Pourcentage de lots de fromages > LOD (%)                         |                      | 29,2 [0-67,9]    | 35,7 [0-71,4]    | 21,4 [0-62,5]    |
| Probabilité médiane d'exposition à une dose supérieure ou égale à | 1 TBEV               | 0,34 [0,03-0,82] | 0,36 [0,03-0,83] | 0,33 [0,02-0,79] |
|                                                                   | 100 TBEV             | 0,17 [0-0,75]    | 0,35 [0,03-0,83] | 0,29 [0,02-0,78] |
|                                                                   | 10 <sup>4</sup> TBEV | 0 [0-0,18]       | 0,15 [0-0,72]    | 0,0 [0-0,43]     |
|                                                                   | 10 <sup>5</sup> TBEV | 0 [0-0]          | 0 [0-0,47]       | 0 [0-0]          |

La situation d'un troupeau de 50 chèvres naïves exposées sur une période de 60 jours à la piqure de tique (avec une probabilité journalière de piqure de 0,012) conduit à un nombre relativement important de chèvres infectées avec un nombre médian d'animaux de 12 chèvres et un intervalle d'incertitude compris entre 2 et 31 chèvres (compte tenu de l'incertitude sur la probabilité de piqure). Le nombre maximum de chèvres excrétrices varie lui entre 1 et 12 considérant que l'ensemble des animaux infectés ne va pas nécessairement excréter le virus dans le lait. La probabilité de détection du TBEV dans les tanks (considérant une limite de détection de 10<sup>4</sup>) est presque nulle (Tableau 19). Les comparaisons entre les trois types de fromages mettent en évidence plusieurs différences. La proportion médiane de fromages qui présenteraient des niveaux de TBEV détectables pendant la période d'exposition des animaux aux tiques est plus importante pour les fromages PPNCC avec 35,7 %, suivi de PMCF avec 29,2 % et de PLF avec 21,4 %. Ces différences s'expliquent par la quantité de lait utilisée pour la fabrication des trois types de fromage (respectivement de 857, 700 et 500 mL pour 100 g de fromage). Quel que soit le type de fromage, la proportion médiane de portions consommées contenant au moins 1 TBEV infectieux est de l'ordre de 30 %. Les probabilités d'exposition à des niveaux plus élevés de TBEV (supérieurs à 100) sont plus fortes pour les fromages PPNCC et PLF compte tenu du plus faible effet de la coagulation pour le premier et de l'absence d'affinage pour le second. La probabilité médiane d'exposition devient nulle pour les fromages PMCF et les PLF pour le seuil de 10<sup>4</sup> TBEV alors qu'elle reste à 0,15 pour PPNCC. Pour le seuil de 10<sup>5</sup> TBEV, les probabilités médianes sont nulles pour les trois types de fromage, mais on remarque que le PPNCC conserve un intervalle d'incertitude légèrement plus étendu (jusqu'à 0,47), indiquant une très faible probabilité de contamination à ce niveau pour certains scénarios extrêmes.

### **Effet de la séroprévalence au sein des troupeaux**

Le Tableau 21 présente l'influence des valeurs de la proportion  $p_{\text{résistant}}$  de chèvres résistantes à l'infection à TBEV (suite à une exposition antérieure à la période considérée d'exposition aux tiques infectées par le TBEV) sur plusieurs indicateurs de contamination et d'exposition pour des lots de fromages de type PLF<sup>110</sup> issus des troupeaux de 50 animaux. Le nombre de chèvres infectées diminue avec l'augmentation de  $p_{\text{résistant}}$ . Par exemple, pour des troupeaux naïfs, le nombre médian

<sup>110</sup> Type de fromage majoritairement produit par les producteurs fermiers de l'est de la France

de chèvres infectées est de 12 (intervalle de 2 à 31), alors qu'il tombe à 3 (0 à 7) pour des valeurs de  $p_{\text{résistant}}=0,75$ .



**Tableau 21 : Influence du statut sérologique des chèvres du troupeau (de 50 animaux) sur les sorties du modèle pour les fromages à pâte lactique fraîche (PLF) (valeurs médianes et intervalle d'incertitude à 95 % ; résultats pour 500 x1000 itérations)**

| Variable                                                          |                      | Proportion de chèvres résistantes à l'infection ( $p_{\text{résistant}}$ ) |                  |                  |               |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|---------------|
|                                                                   |                      | 0                                                                          | 0,25             | 0,50             | 0,75          |
| Nombre de chèvres infectées                                       |                      | 12 [2-31]                                                                  | 9 [2-22]         | 6 [1-15]         | 3 [0-7]       |
| Nombre maximal de chèvres excrétrices                             |                      | 5 [1-12]                                                                   | 4 [1-9]          | 3 [1-7]          | 2 [0-4]       |
| Pourcentage de lots de fromages > LOD                             |                      | 21,4 [0-64,5]                                                              | 13,1 [0-49,4]    | 0 [0-35,1]       | 0 [0-15,5]    |
| Probabilité médiane d'exposition à une dose supérieure ou égale à | 1 TBEV               | 0,33 [0,02-0,79]                                                           | 0,31 [0,02-0,76] | 0,24 [0,01-0,70] | 0,15 [0-0,52] |
|                                                                   | 100 TBEV             | 0,29 [0,02-0,78]                                                           | 0,26 [0,02-0,70] | 0,20 [0-0,68]    | 0,11 [0-0,46] |
|                                                                   | 10 <sup>4</sup> TBEV | 0,0 [0-0,43]                                                               | 0 [0-0,31]       | 0 [0-0,24]       | 0 [0-0,09]    |
|                                                                   | 10 <sup>5</sup> TBEV | 0 [0-0]                                                                    | 0 [0-0]          | 0 [0-0]          | 0 [0-0]       |

De manière similaire, le nombre maximal de chèvres excrétrices diminue quand  $p_{\text{résistant}}$  augmente. Il est de 5 pour  $p_{\text{résistant}}=0$  et de 2 pour  $p_{\text{résistant}}=0,75$ .

Le nombre d'animaux potentiellement touchés pendant une période d'exposition a des conséquences sur la contamination des fromages : le pourcentage de lots de fromages dépassant la LOD diminue également de manière marquée avec l'augmentation de  $p_{\text{résistant}}$ . Pour  $p_{\text{résistant}}=0$ , environ 21,4 % des lots dépassent la LOD, alors que pour  $p_{\text{résistant}}=0,75$ , ce pourcentage tombe à 0 (les lots contaminés ne seraient plus aussi facilement détectables).

La probabilité médiane d'exposition pour différents seuils de TBEV est également affectée. Pour les seuils plus élevés (100, 10<sup>4</sup> et 10<sup>5</sup> TBEV), la probabilité d'exposition est encore plus faible que celle calculée avec les troupeaux naïfs, avec des valeurs proches de 0 pour des valeurs de  $p_{\text{résistant}}$  élevées. Par exemple, pour 100 TBEV, la probabilité médiane d'exposition passe de 0,29 à 0,11 lorsque  $p_{\text{résistant}}$  augmente de 0 à 0,75.

**L'augmentation de la résistance des chèvres à l'infection réduit donc non seulement la contamination du lait, mais aussi la probabilité d'exposition des consommateurs à des niveaux de TBEV élevés et semble donc une mesure de maîtrise d'intérêt pour limiter le risque lié à la consommation de fromages au lait cru.**

### **Effet de la taille du troupeau**

Le tableau 22 résume les différents indicateurs de risque pour la production de lots de fromages de type PLF en fonction de trois tailles de troupeaux ( $n = 20$ ,  $n = 50$ ,  $n = 70$ ) d'animaux naïfs ( $p_{\text{résistant}}=0$ ) pour des lots de fromages de type PLF. Le nombre de chèvres infectées et de chèvres excrétrices augmente logiquement avec la taille des troupeaux. Les intervalles de confiance sont larges pour le nombre de chèvres excrétrices (par exemple, 1-12 pour  $n=20$ ), ce qui souligne comme pour les autres situations une forte incertitude.

Le pourcentage de tanks contenant une charge virale supérieure à la limite de détection (10<sup>4</sup>) reste très bas ou nul (0 % avec un intervalle supérieur d'incertitude allant jusqu'à 12,5 % pour  $n=20$ ).

Les probabilités médianes d'exposition à au moins 1 TBEV ou au moins 100 TBEV augmentent également avec la taille des troupeaux. Pour des charges virales plus élevées ( $10^4$ ,  $10^5$  TBEV), l'effet de la taille des troupeaux sur la probabilité d'exposition n'est pas perceptible pour les simulations réalisées. Les larges intervalles d'incertitude pour ces probabilités expliquent en partie cette difficulté à distinguer l'effet de la taille des troupeaux.

**Tableau 22. Influence de la taille des troupeaux sur les sorties du modèle (situation des pâtes lactiques fraîches (PLF) avec l'ensemble des animaux naïfs  $p_{\text{résistant}}=0$ ) (valeurs médianes et intervalle d'incertitude à 95 % ; résultats pour 500 x1000 itérations)**

| Variable                                                        |             | Nombre de chèvres dans les troupeaux ( $n_{\text{goat}}$ ) |                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------------------------------|------------------|------------------|
|                                                                 |             | 20                                                         | 50               | 70               |
| Nombre de chèvres infectées                                     |             | 4 [1-12]                                                   | 12 [2-31]        | 16 [3-44]        |
| Nombre maximal de chèvres excrétrices                           |             | 2 [1-5]                                                    | 5 [1-12]         | 7 [2-16]         |
| Pourcentage de tanks contaminés > LOD                           |             | 0 [0-12,5]                                                 | 0 [0-10,3]       | 0 [0-9,5]        |
| Pourcentage de lots de fromages > LOD                           |             | 16,7 [0-46,4]                                              | 21,4 [0-64,5]    | 20,2 [0-66,2]    |
| Probabilité médiane d'exposition à une dose supérieure ou égale | 1 TBEV      | 0,20 [0,01-0,61]                                           | 0,33 [0,02-0,79] | 0,38 [0,03-0,82] |
|                                                                 | 100 TBEV    | 0,18 [0-0,60]                                              | 0,29 [0,02-0,78] | 0,33 [0,02-0,81] |
|                                                                 | $10^4$ TBEV | 0 [0-0,33]                                                 | 0,0 [0-0,43]     | 0 [0-0,49]       |
|                                                                 | $10^5$ TBEV | 0 [0-0,01]                                                 | 0 [0-0]          | 0 [0-0]          |

### 9.3.2.3 Analyse de sensibilité

La Figure 45 présente l'analyse de sensibilité, réalisée par la méthode de Spearman (calcul des coefficients de corrélation par rang entre les variables d'entrée et la variable de sortie), de la probabilité d'exposition à plus de  $10^4$  TBEV pour les trois types de fromages, dans un scénario impliquant des troupeaux de 50 chèvres, toutes naïves.

Pour les fromages à PMCF (Figure 45A), l'effet de la coagulation ( $I_{\text{coagulation}}$ ) et l'affinage ( $I_{\text{affinage}}$ ) ressortent comme les paramètres les plus influents sur l'estimation de la proportion de personnes exposées au-delà du seuil défini de  $10^4$  TBEV. L'incertitude liée à la fraction des virus infectieux parmi les particules virales excrétées ( $fv_{\text{inf}}$ ) et à la probabilité d'excrétion virale chez les chèvres ( $p_{\text{shedding}}$ ) a un impact modéré. La probabilité de morsure par jour ( $pb_{\text{bite\_day}}$ ) présente une influence moindre mais positive sur la sortie du modèle, contribuant ainsi légèrement à augmenter la proportion de consommateurs fortement exposés. Enfin, la quantité maximale d'excrétion du TBEV dans le lait de chèvre ( $C_{\text{exlaitmax}}$ ) a un effet presque neutre.

Pour les fromages à PLF (Figure 45B), les effets sont similaires (à l'exception de l'affinage qui ne fait pas partie du procédé pour les PLF et qui n'a donc ici aucun impact).

Pour les fromages à PPNCC (Figure 45C), l'incertitude sur les paramètres liés à la coagulation et à l'affinage est moins importante que pour les fromages à PMCF.



**Figure 45 : Diagramme en tornade d'analyse de sensibilité pour la probabilité d'être exposé à des niveaux supérieurs à  $10^4$  TBEV infectieux.**

Les barres oranges indiquent les corrélations négatives, et les bleues, les corrélations positives. Analyse réalisée pour les fromages à PMCF (A), PLF (B) et PPNCC (C).

Le modèle développé permet d'estimer l'exposition humaine au TBEV par la consommation de fromages au lait cru issu de caprins infectés par le TBEV provenant d'un élevage situé dans une zone de circulation du virus. Sur la base des caractéristiques des élevages fermiers de la zone Auvergne-Rhône-Alpes, le modèle reproduit la dynamique de la transmission (durée d'exposition aux tiques et probabilité d'infection par animal) observée lors du foyer survenu dans un élevage de l'Ain en 2020. Des scénarios supplémentaires pourraient être envisagés pour mieux évaluer l'impact des pratiques d'élevage sur la probabilité d'infection par animal.

Dans le scénario de référence (élevage de 50 animaux tous naïfs), le modèle estime, sur une période d'exposition à la piqure de tique de 60 jours, un nombre médian de 12 chèvres infectées (entre deux et 31 chèvres). Les résultats du modèle montrent une différence de niveau d'exposition en fonction des catégories de fromages. Les probabilités d'exposition à des niveaux élevés de TBEV sont plus fortes pour les fromages à pâte pressée non cuite à affinage court (PPNCC) et les pâtes lactiques fraîches (PLF). L'augmentation de la séroprévalence intra-troupeau réduit significativement la probabilité d'exposition. Par conséquent, le renforcement de l'immunité spécifique au TBEV des animaux pourrait constituer une mesure d'intérêt pour limiter le risque lié à la consommation de fromages au lait cru.

L'évaluation a intégré une analyse quantitative des incertitudes. Parmi les paramètres analysés, ceux ayant le plus d'impact sur les résultats du modèle sont, selon les types de fromages, l'effet de la coagulation et de l'affinage, la fraction de virus infectieux parmi ceux excrétés et la probabilité d'excrétion virale chez les chèvres. Aussi, il apparaît nécessaire d'acquérir des données spécifiques sur l'effet des procédés de fabrication des fromages sur l'infectiosité du virus, en incluant des paramètres non introduits dans le modèle (p.ex. taux de sel).

En l'absence d'une relation dose/réponse établie pour la transmission orale du TBEV, l'estimation quantitative du risque n'a pas pu être réalisée à ce stade. Pour combler cette lacune, le GT recommande vivement l'acquisition de données expérimentales ou épidémiologiques qui permettraient d'établir une telle relation. Les relations dose/réponse pour la plupart des agents pathogènes sont aujourd'hui établies à partir de données tirées d'épidémies (Thebault et al. 2013; Teunis et al. 2020). Afin de pouvoir estimer de manière précise les paramètres des lois dose-réponse pour la transmission orale du TBEV, une caractérisation approfondie des épidémies est nécessaire. Cette caractérisation comprend la quantification du titre infectieux au sein et entre les lots de fromages incriminés. De plus, il est important de documenter la taille des lots de produits consommés lors des épidémies et de recueillir des données détaillées sur le nombre et le profil des consommateurs affectés, incluant leur âge et leurs habitudes alimentaires.

À terme, le modèle développé pourrait servir d'outil pertinent pour le gestionnaire afin de mieux gérer les situations d'élevages touchés par le TBEV. En intégrant des variables spécifiques telles que la séroprévalence intra-troupeau, les pratiques d'élevage et les procédés de fabrication du fromage, le modèle pourrait être utilisé pour simuler différents scénarios d'intervention.

L'utilisation de modèles d'appréciation quantitative des risques peut également servir à établir des mesures d'urgence pour une épidémie en cours. En spécifiant les caractéristiques du troupeau concerné (nombre d'animaux, séroprévalence, durée de l'exposition aux tiques), il est possible d'apprécier le nombre de consommateurs exposés à des niveaux élevés et ainsi de préparer une intervention proportionnée aux risques prédits.

## 10 Analyse prospective de l'évolution du risque d'infection humaine par le TBEV

Ce chapitre décrit l'évolution possible du risque d'infection humaine par le TBEV en se basant sur une élicitation d'experts ciblant les facteurs (*drivers*) influençant l'augmentation de l'incidence humaine de la TBE (§10.1) et sur une revue narrative de l'effet des changements climatiques sur le risque d'infection par le TBEV (§10.2).

### 10.1 Élicitation d'experts en vue d'identifier les principaux facteurs associés à une augmentation d'incidence des cas humains de TBE

En vue d'estimer l'évolution du risque associé à l'infection humaine par le TBEV en France, le GT a tenu compte des résultats récents d'une élicitation d'experts concernant 59 facteurs (*drivers*) influençant l'augmentation de l'incidence de la TBE chez l'être humain en Europe (Saegerman et al. 2023). Cette étude était basée sur une élicitation des connaissances de 40 experts européens. Les résultats spécifiques concernant la France (18 experts) en ont été extraits et sont présentés ci-dessous.

La liste des 59 facteurs ainsi que leurs modalités de notation sont disponibles dans Saegerman et al. (2023). Notons que ces facteurs ont été choisis en considérant diverses maladies transmises par les tiques *Ixodes ricinus*. Ils ont été regroupés dans huit domaines (D) qui sont :

- D1 - caractéristiques de la maladie/de l'agent pathogène (12 facteurs) ;
- D2 - distance par rapport à l'Europe et en particulier la France (échelles spatio-temporelles) (3 facteurs) ;
- D3 - capacité à surveiller, traiter et contrôler la maladie (11 facteurs) ;
- D4 - caractéristiques des exploitations agricoles européennes (5 facteurs) ;
- D5 - changements globaux (4 facteurs) ;
- D6 - interface avec la faune sauvage (5 facteurs) ;
- D7 - activités humaines (8 facteurs) ;
- D8 - activités économiques et commerciales (11 facteurs).

Les experts ont été sollicités pour préciser leur profil, attribuer un score par facteur, donner un poids relatif à chaque domaine de facteurs et estimer l'incertitude associée à chacun de ces domaines. Ensuite, un score global pondéré a pu être calculé pour chacun des facteurs et pour chaque expert. Les détails concernant la méthodologie utilisée pour ce travail d'élicitation sont présentés en Annexe 7.

En appliquant un test de classement de Kruskal-Wallis pour l'égalité des populations, il a été observé que les scores de différents facteurs étaient significativement différents (Chi<sup>2</sup> avec 58 degrés de liberté = 460,48 et valeur de P = 0,0001). Le classement des facteurs les uns par rapport aux autres a ensuite été réalisé en se basant sur les médianes des scores globaux obtenus par facteur (Figure 46). Finalement, les facteurs ont été agrégés en quatre groupes à l'aide d'un arbre de régression (facteurs d'importance relative très élevée, élevée, moyenne et faible). Chaque groupe est identifié

par une moyenne donnée et en minimisant autant que faire se peut son écart-type. L'ordonnement et le regroupement des activités sont présentés dans la Figure 46.

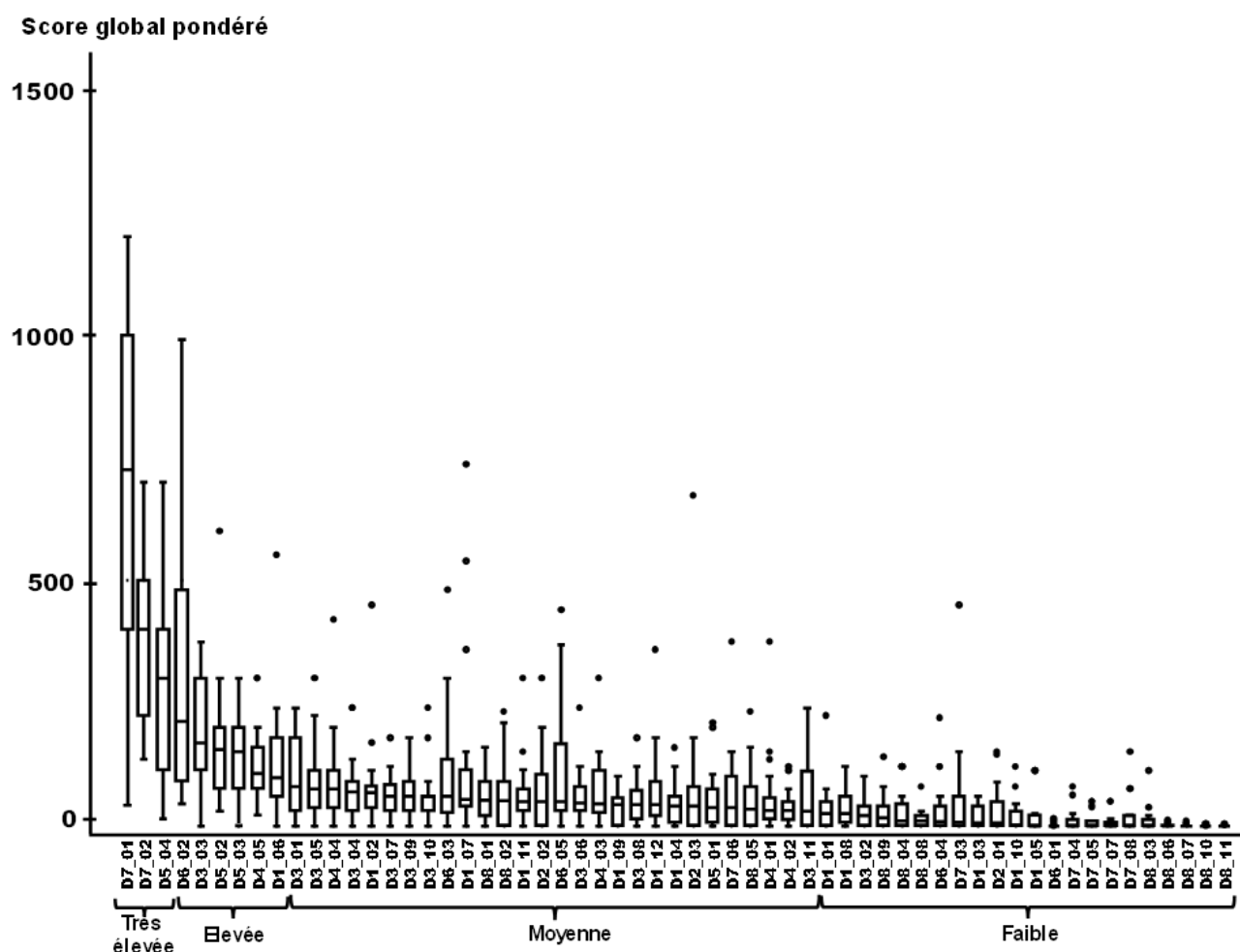


**Figure 46 : Boîte à moustaches permettant de visualiser le classement des facteurs influençant l'augmentation d'incidence des cas humains de TBE (ordre décroissant basé sur la médiane du score global obtenu par les experts).**

En abscisse sont repris les facteurs (01 à 59 (voir Saegerman et al., 2023) et leur domaine d'appartenance (D1 à D8). Ces facteurs ont été regroupés en fonction de leur importance relative estimée (très élevée, élevée, moyenne et faible).

Les facteurs d'importance relative très élevée et élevée en regard du risque d'une augmentation d'incidence des cas humains de TBE sont, par ordre décroissant d'importance :

a) Importance relative très élevée :

D7-01. Changements dans le comportement humain ; les activités entraînant un contact accru avec l'agent pathogène dans les zones géographiques à haut risque d'exposition aux piqûres de tiques ;

D7-02. Changements dans les habitudes alimentaires conduisant à un risque accru d'exposition par consommation de produits au lait cru ;

D5-04. Modifications du paysage susceptibles d'impacter la densité de tiques et d'hôtes réservoirs (ex. fragmentation des habitats) ;

## b) Importance relative élevée :

D6-02. Augmentation de la densité des populations de mammifères sauvages autochtones en Europe et dans les pays limitrophes ;

D3-03. Difficultés dans la gestion de(s) réservoir(s) et/ou de(s) vecteur(s) ;

D5-02. Influence de l'humidité relative ;

D5-03. Influence de la température ;

D4-05. Interface entre le milieu rural (exploitation agricole) et la faune sauvage ;

D1-06. Nombre d'espèces animales (compartiments) de la faune sauvage jouant un rôle de réservoir ou d'hôte amplificateur pour l'agent pathogène et sa propagation potentielle.

Le GT a identifié différents facteurs permettant de mieux comprendre l'augmentation observée d'incidence des cas humains de TBE. Dans le cadre du travail d'élucidation auprès d'experts, ces facteurs ont été agrégés en quatre groupes d'importance relative décroissante. Les facteurs d'importance relative maximale sont les changements dans le comportement humain, les changements dans les habitudes alimentaires et les modifications du paysage telles que la fragmentation des habitats. Le premier facteur apparaissant comme significativement plus important que les autres, le GT a conduit une seconde élucidation portant spécifiquement sur les risques de piqûre de tiques associés aux activités humaines en forêt (voir §6.3).

## 10.2 Changements climatiques et risque d'infection par le TBEV

Les variations de l'incidence des maladies transmises par les tiques sont multifactorielles et largement liées aux facteurs climatiques et aux activités humaines (Figure 47) (E. Lindgren 1998; Gilbert 2021). Les facteurs climatiques en particulier ceux liés à la température ou à l'humidité sont susceptibles d'intervenir à différents niveaux en modifiant : (i) la dynamique des populations de tiques, (ii) l'habitat des tiques, (iii) les comportements de leurs hôtes réservoir ou non, ou (iv) les activités humaines (Figure 48) (Elisabet Lindgren 1998). Les experts du GT se sont focalisés sur les impacts directs du climat sur la tique *I. ricinus* et sur la transmission des agents pathogènes, pour lesquels plus d'éléments sont disponibles au moment de la rédaction du rapport.



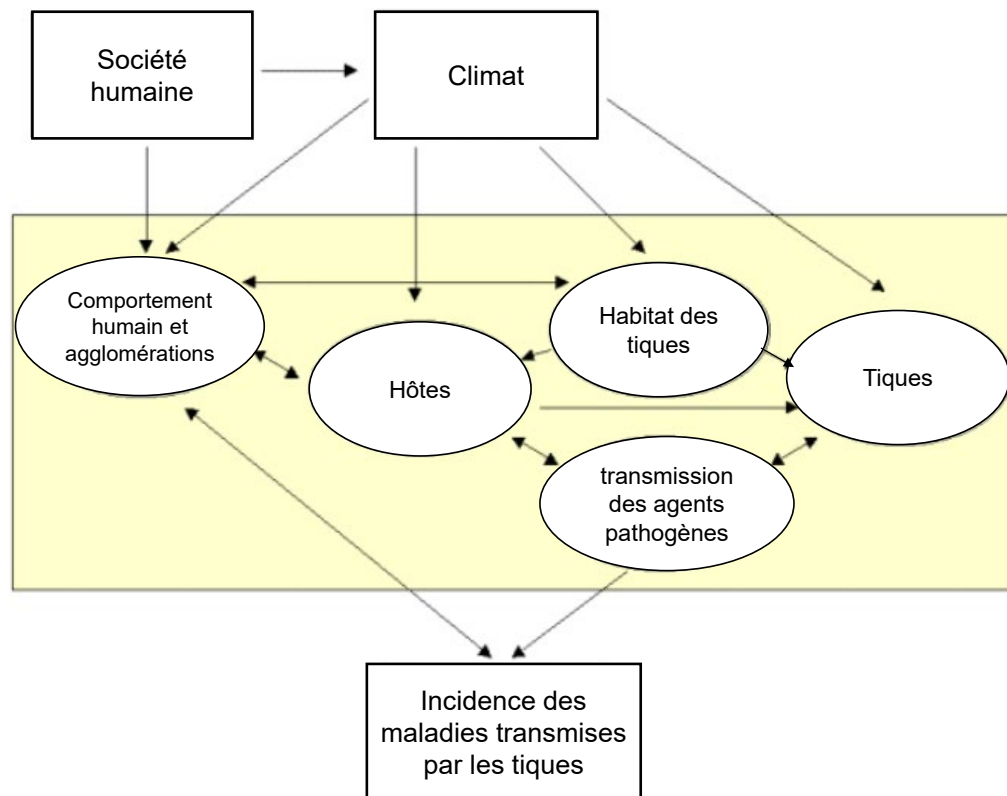


**Figure 47 : Schéma récapitulatif des interconnexions entre la société humaine, le changement climatique, les changements écologiques et démographiques, et les variations de l'incidence des maladies transmises par les tiques.**

Source : Lindgren 1998.

Les tiques étant des arthropodes ectothermes, elles sont très sensibles aux variations de température et d'humidité de leur microhabitat (De Souza et Weaver 2024). La tique *I. ricinus* est une tique exophile et télotrope qui vit essentiellement en espace forestier (voir chapitre §2.3.1 et §6.1). Elle a besoin d'une humidité relative de 80 %, qui lui est apportée par une végétation herbacée ou de la litière de feuilles et un couvert forestier. En deçà de cette valeur, la survie de la tique est impactée. Cette tique passe 98 % de sa vie libre sur la végétation (Kahl et Gray 2023). En climat continental, une tique observe une diapause hivernale dès que les températures baissent en dessous de 7°C (Kahl et Gray 2023). En climat océanique, elle est active toute l'année compte tenu des températures douces. La température ambiante est le facteur le plus important susceptible d'affecter son activité, plus que la photopériode et l'humidité (Milan Daniel et al. 2015). Le réchauffement climatique est donc susceptible d'affecter sa dynamique de population à différents niveaux.

Le climat est également susceptible d'affecter la **capacité vectorielle** des tiques telles que la survie des agents pathogènes chez les tiques infectées en fonction de la température et de l'humidité et l'efficacité de la transmission des microorganismes potentiellement infectieux (De Souza et Weaver 2024). L'impact de la température sur le risque TBE a été mis en évidence lors de la transmission du virus sur son hôte notamment lors du processus de « co-feeding » entre larves et nymphes (Randolph et Rogers 2000; Burri et al. 2011). En effet, le repas sanguin simultané de larves non infectées et nymphes infectées sur rongeurs, est corrélé avec les cas de TBE et dépend de la

réduction rapide de la température au sol en automne (après un été chaud) qui pousse les larves à se mettre en diapause hivernale. Elles se réactivent alors en même temps que les nymphes infectées, ce qui favorisera la transmission du TBEV lors du co-feeding (Randolph et Rogers 2000).

L'impact des changements climatiques sur les tiques a déjà été observé dans les années 2000 dans les pays nordiques où leur aire de répartition a augmenté, avec une extension latitudinale de la tique *I. ricinus* (Figure 48) (E. Lindgren, Tälleklint, et Polfeldt 2000). Ceci est dû à l'augmentation des jours où la **température** est supérieure à 7°C, mais également à la modification de la flore et de la faune ces 30 dernières années (Tälleklint et Jaenson 1998). De même, cette tique est désormais observée plus haut en altitude, au-delà de 1000 m (De Pelsmaeker, Korslund, et Steifetten 2021; Voyiatzaki et al. 2022). Par ailleurs, il est à noter que dans les régions plus tempérées dont le climat est déjà propice à la vie des tiques, l'augmentation des températures induirait une réduction des habitats favorables aux tiques.

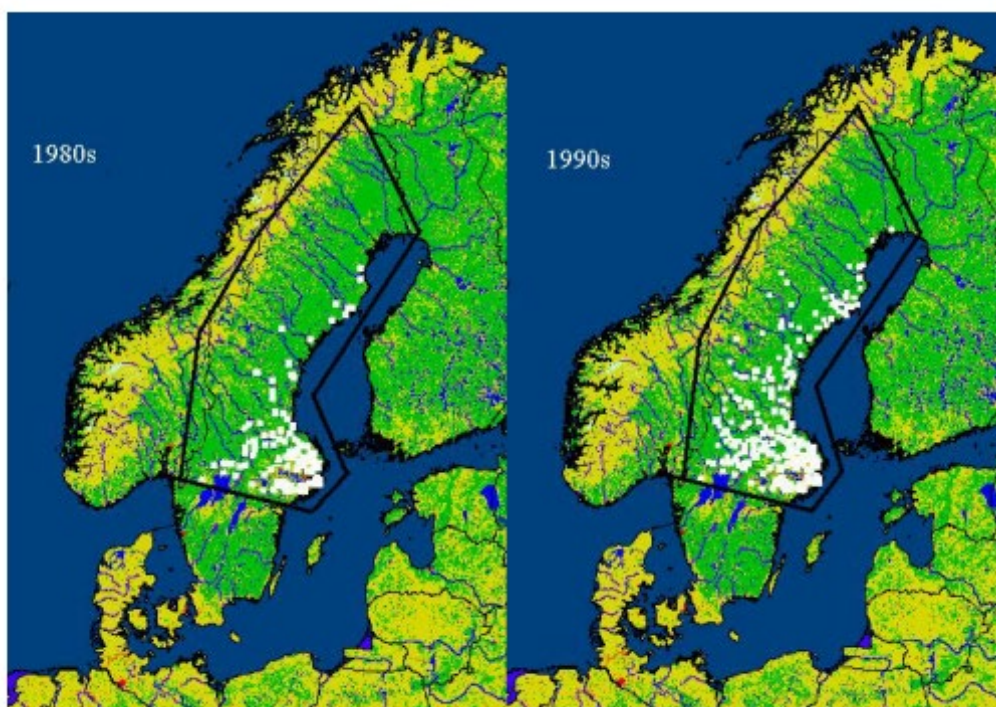


**Figure 48 : Différences dans la prévalence des tiques en Suède centrale et septentrionale (parties méridionales non incluses).**

La carte de gauche illustre les conditions avant 1980, et la carte de droite illustre la distribution des tiques après le milieu des années 1990. Source : (E. Lindgren, Tälleklint, et Polfeldt 2000)

Concernant le risque d'infection chez l'être humain, l'augmentation des cas de TBE a déjà été observée dans les années 2000 en Suède où les cas sont enregistrés depuis les années 1950. Lindgren, Tälleklint, et Polfeldt (2000) montrent clairement une augmentation significative des cas humains due à une présence plus importante de la tique *I. ricinus* dans un contexte d'hivers plus doux (E. Lindgren, Tälleklint, et Polfeldt 2000). Cette augmentation des cas est également expliquée par des températures élevées en été qui tombent rapidement en hiver induisant la diapause des larves comme mentionné ci-dessus (E. Lindgren, Tälleklint, et Polfeldt 2000). Une étude réalisée en République tchèque montre également que le risque d'être infecté par le TBEV est plus important en été-automne plutôt qu'au printemps-été même si la densité de nymphes est plus élevée au

printemps, car la charge virale des nymphes, due à une forte réplication virale, va être favorisée par l'élévation des températures en été (Milan Daniel et al. 2018). Cette étude souligne l'importance de la température et des conditions microclimatiques du développement des tiques sur l'infection par le TBEV. Dagostin et al. (2024)<sup>111</sup> ont calculé des probabilités d'occurrence de cas de TBE à l'échelle de l'Europe pour les années 2017 à 2024 et ont identifié des facteurs influant significativement sur ces probabilités : la présence d'espèces hôtes clés des tiques, une activité récréative humaine intense dans les forêts, de fortes baisses des températures de fin d'été et de fortes précipitations annuelles (valeurs non précisées dans l'étude) (Dagostin et al. 2024). L'analyse, par régression linéaire, de l'évolution de ces probabilités pour différentes unités administratives, notamment à l'échelle de la municipalité (Figure 49), suggère une augmentation de la probabilité d'infection humaine par le TBEV dans les pays du centre-ouest de l'Europe (notamment la Suisse et l'Allemagne) et l'émergence de nouvelles zones à risque au nord-ouest et au sud-ouest de l'Europe (notamment en France). Semenza et Suk (2018) ont publié une analyse prospective sur l'impact du changement climatique sur l'évolution des risques liés aux maladies vectorielles en général, celles liées aux tiques en particulier. Concernant la TBE, si le risque augmenterait d'après ces auteurs en Europe du Nord et Centrale, il pourrait diminuer dans le sud de l'Europe, en raison de périodes de sécheresse plus importantes. D'après Gray et al. (2009), la complexité de l'écologie des tiques et l'épidémiologie de la TBE rendent difficile de considérer le changement climatique comme la principale cause de l'augmentation de l'infection par le TBEV.

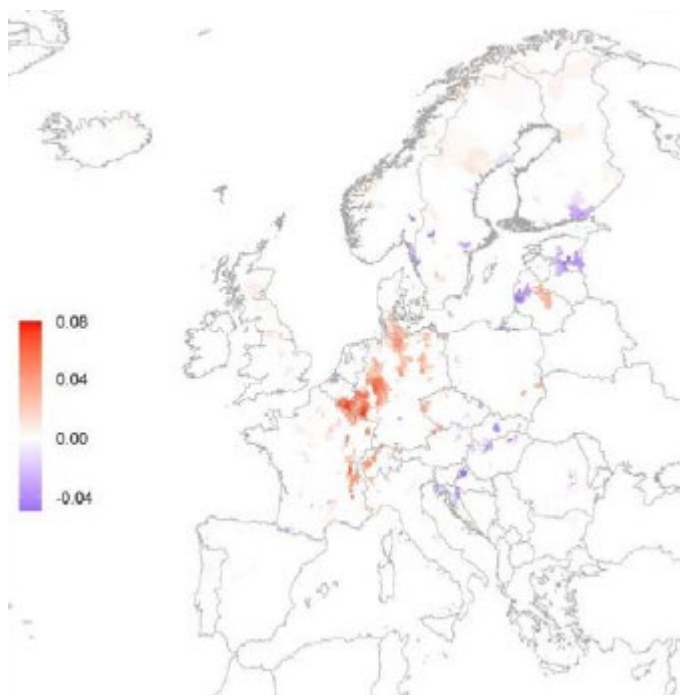


**Figure 49 : Coefficients significatifs ( $p < 0,05$ ) des modèles de régression linéaire appliqués aux probabilités d'occurrence de TBE sur 2017-2024 avec l'année comme prédicteur, au niveau administratif municipal (d'après Dagostin et al., 2024).**

Seules les zones présentant des coefficients statistiquement significatifs sont représentées sur la carte.

### Modélisation de l'effet du changement climatique sur la transmission du TBEV

Face aux modifications climatiques et afin de mieux prévenir les risques, des tentatives de modélisation ont été réalisées. Nah et al. (2020) se sont appuyés sur un modèle mécaniste pour

<sup>111</sup> Cet article a fait l'objet d'un dépôt sur le serveur bioRxiv mais n'a pas été accepté pour publication dans une revue internationale suite à une relecture par des pairs au moment de la rédaction du rapport.

tester l'effet du changement climatique sur la transmission du TBEV en Hongrie. Les simulations montrent une augmentation du risque avec le changement climatique, mais leur modèle ne considérait que la température comme variable d'entrée. De nombreux travaux de modélisation ont utilisé des modèles de type SDM (*Species Distributions Modelling*) afin de définir les habitats favorables aux tiques et effectuer des projections dans des climats futurs (Alkishe, Peterson, et Samy 2017; Porretta et al. 2013; Williams et al. 2015). Plus récemment, les projections réalisées par Cunze et al. (2022) montrent une expansion de l'aire de répartition d'*I. ricinus* vers le nord (Scandinavie) et l'est de l'Europe avec le changement climatique. Ce changement induirait cependant une réduction des habitats favorables en région méditerranéenne. Noll et al. (2023) ont comparé différentes méthodes de SDM. Ils montrent que les résultats diffèrent suivant la méthode et que la comparaison des cartes d'habitats favorables avec les connaissances des experts n'est jamais pleinement satisfaisante. Cela tient notamment d'après eux au fait que seules des données climatiques sont utilisées et qu'elles ne suffisent pas à prédire le risque : le type d'habitat, la disponibilité des hôtes et les pratiques humaines sont également des éléments clés pour une modélisation adéquate.

En résumé, la complexité de l'écologie des tiques et de l'épidémiologie de la TBE rend difficile de considérer le changement climatique comme la seule cause de l'augmentation de l'infection humaine par le TBEV. D'après certains auteurs, le risque TBE augmenterait en Europe du Nord et centrale alors qu'il pourrait diminuer au sud de l'Europe, en raison de périodes de sécheresse plus importantes. D'autres facteurs d'importance relative sont à prendre en compte, tels que les changements dans le comportement humain, les changements dans les habitudes alimentaires, les modifications du paysage telles que la fragmentation des habitats ou l'évolution des densités d'hôtes. Ces facteurs pourraient contribuer à une extension du risque TBE en France à partir de ses foyers endémiques, qu'il convient d'étudier sur une période étendue.

# 11 Identification et discussion d'options d'action

Le risque de survenue de cas humains de TBE a été analysé dans les précédents chapitres. Pour rappel, si l'incidence de la TBE reste très faible en France à ce jour, la sévérité des formes aiguës, sa double voie d'infection et l'incertitude sur sa vitesse de circulation dans le territoire appellent à anticiper les actions qui peuvent être mises en place, en situation de routine et/ou d'urgence, afin de prévenir ou freiner la circulation du virus et la dynamique d'infection.

Dans ce chapitre, une identification et une discussion des options d'action face à ce risque sont présentées. On entend ici par « options d'action » des mesures possibles, relevant de la prévention, du contrôle et de la lutte antivectorielle, visant à diminuer la probabilité de transmission du TBEV et la survenue de la maladie associée. Les dispositifs de surveillance et les recommandations de recherche scientifique ne sont pas inclus dans ce chapitre (voir §5.3 et §0).

L'objectif de ce chapitre est de mettre en lumière et en perspective le spectre d'options d'action reflétant notamment les spécificités du risque TBE (i.e. risque de survenue de cas humains de TBE). Le GT insiste particulièrement sur l'intérêt de combiner différentes options d'action, et sur l'adaptation nécessaire de celles-ci aux contextes, populations et activités auxquels elles peuvent s'appliquer. En particulier, compte-tenu de l'hétérogénéité des niveaux de risque selon les zones géographiques, une déclinaison territoriale des options d'action doit être envisagée. Finalement, le GT rappelle qu'il s'agit ici d'options d'action : leur sélection revient aux décideurs.

## 11.1 Démarche de travail

Il n'existe pas de récapitulatif exhaustif de toutes les options d'action face à l'émergence de la TBE. Au vu de ressources bibliographiques parfois limitées, la réflexion s'est fondée sur des schémas événementiels détaillés, élaborés dans le cadre de ce rapport (cf. Figure 30, Figure 39 et Figure 40), et sur des avis des experts internes et externes au GT. Ce recueil d'avis d'experts a permis de répertorier et de discuter de la manière la plus ouverte possible les options d'action disponibles à tous les stades de la chaîne événementielle de contamination, pour chacune des deux voies (alimentation et piqûres). Ce travail a été enrichi par deux autres types de sources d'information : une synthèse des travaux en sciences sociales ou pluridisciplinaires (sciences sociales/sciences de la nature) sur la gestion des maladies à tiques - dont la TBE - (voir Annexe 8), et une enquête localisée de terrain auprès d'éleveurs de caprins. En effet, pour pallier le manque de données académiques et nourrir les réflexions du GT sur les options d'action, une enquête socio-anthropologique a été réalisée par une anthropologue (externe au GT) (Annexe 9, Ramillien, 2024). Menée dans le département de la Loire et ses territoires environnants, caractérisés par une présence importante d'élevages caprins, cette enquête rend compte des expériences, des pratiques et des représentations des éleveurs et des éleveuses de chèvres, en lien avec les tiques et les risques qui leur sont associés, notamment le risque TBE. Cette enquête contribue à la pertinence des options d'action proposées par le GT, en décrivant la réalité des éleveurs caprins et producteurs de fromage au lait cru et leurs rapports avec le risque TBE.

Le GT souligne que les options ici dégagées sont relatives **à des zones et territoires concernés par le TBEV, où la présence du virus a été détectée ou est suspectée.**



Pour les options d'action connues des experts, déjà testées ou mises en place, la littérature disponible a été consultée pour en étudier la mise en œuvre et en estimer les impacts, notamment leur efficacité. Quant aux options jamais éprouvées en France, elles ont fait l'objet d'une discussion supplémentaire pour ne conserver que les plus pertinentes, sur la base de critères d'appréciation. Ces critères incluent la faisabilité, l'efficacité (i.e. efficacité sanitaire entendue comme la diminution du risque de transmission du virus chez l'animal ou de survenue de la maladie chez l'être humain), l'acceptabilité (renvoyant à des options perçues comme justes, pertinentes, etc.), l'échelle d'action, les moyens et coûts impliqués. Le GT n'a pas souhaité procéder à une stricte hiérarchisation, mais a renseigné l'importance de certaines mesures à mettre en œuvre en cas d'urgence. Une attention particulière a été apportée aux options d'action relatives à la contamination alimentaire. En effet, cette voie de contamination, spécifique à l'encéphalite à tiques, se distingue des contaminations « classiques » par piqûres, propres aux maladies vectorielles à tiques.

## 11.2 Présentation générale des options d'action considérées pertinentes par le GT

Le Tableau 23 récapitule les options d'action que le GT a estimé pertinentes en l'état actuel des technologies et des connaissances et illustre le vaste spectre d'options à différentes étapes du schéma événementiel, **en insistant sur la nécessité d'une approche intégrée, impliquant la mise en œuvre combinée de plusieurs actions**. Chaque option est détaillée et discutée individuellement dans le §11.3. Les options écartées par le GT comme n'étant pas souhaitables ou pas possibles à mettre en place, tout au moins à court terme, sont présentées en §11.4.

Tableau 23 : Liste des options d'action pertinentes retenues par le GT et classées par compartiments<sup>112</sup>

| Compartiment/étape de la chaîne événementielle              | Description de l'option d'action                                                                                          | Situation de mise en œuvre : urgence et/ou routine | Paramètre / Objectif                                                                                                            | Avantages                                                                                                                                                                    | Limites                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Transversal                                                 | <b>Dialogue, information et participation des acteurs dans les territoires concernés / affectés par le risque TBE</b>     | Urgence et routine                                 | Diffuser les connaissances sur la TBE ; appréciation de l'applicabilité des actions ; mobilisation et participation des acteurs | Facilitation de la mise en œuvre des options d'action suivantes                                                                                                              | Hétérogénéité des intérêts et limites des capacités/ressources des acteurs concernés                                                                                                         |
| Tiques dans l'environnement/<br>Densité de tiques infectées | <b>Clôtures anti-cervidés</b> pour protéger des zones ciblées (habitat urbain, zones rurales, zones forestières, pâtures) | Routine                                            | Diminuer le contact ongulés sauvages-animaux domestiques                                                                        | Efficacité sanitaire, i.e. diminution du risque de transmission, y compris sur d'autres maladies à tiques<br><br>Conséquences positives en termes de régénération forestière | Difficultés techniques, contraintes d'entretien<br><br>Incertitudes sur les coûts<br><br>Conséquences néfastes sur les dynamiques de circulation d'espèces animales non cibles               |
| Elevages                                                    | <b>Barrières permanentes ou mobiles pour empêcher l'accès des troupeaux aux zones à tiques</b>                            | Routine                                            | Diminuer les piqûres de tiques des animaux                                                                                      | Efficacité sanitaire / Réduction des maladies à tiques chez les animaux                                                                                                      | Contraintes et coûts d'entretien des clôtures (défrichage récurrent)<br><br>Réduction de la surface des pâtures et perte de ressources alimentaires, d'ombre et de protection contre le vent |

<sup>112</sup> Ces options d'action sont distinguées par quatre couleurs selon l'étape de la chaîne événementielle à laquelle elles se situent : en vert au niveau de la densité des tiques dans l'environnement, en orange au niveau de l'élevage, en bleu au niveau de la production alimentaire et en gris au niveau des humains. Un ensemble de points transversaux sont laissés en blanc dans ce tableau.



| Compartiment/étape de la chaîne événementielle | Description de l'option d'action                                                                                       | Situation de mise en œuvre : urgence et/ou routine | Paramètre / Objectif                                                             | Avantages                                                                                                                           | Limites                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elevage                                        | <b>Rotation de pâtures entre les lots</b> (primipares / taries / non taries) en fonction du risque de piqûre de tiques | Routine                                            | Diminuer les piqûres de tiques des animaux – notamment les femelles en lactation | Efficacité sanitaire / Réduction des maladies à tiques chez les animaux - notamment les femelles en lactation                       | Action possible si existence de plusieurs pâtures                                                                                                                               |
| Elevage                                        | <b>Immunisation des jeunes animaux par infection naturelle</b>                                                         | Routine                                            | Immuniser les animaux                                                            | Efficacité sanitaire (développement d'une immunité par les chèvres diminuant leur risque d'infection par le TBEV) dans certains cas | Durée et efficacité de l'immunité sur la prévention du risque de transmission du TBEV aux chèvres méconnue                                                                      |
| Elevage                                        | <b>Traitement des femelles en lactation par des antiparasitaires externes</b>                                          | Routine                                            | Diminuer les piqûres de tiques des animaux                                       | Confort pour l'animal<br>Protection vis-à-vis d'autres maladies à tiques                                                            | Incompatibilité avec élevage laitier<br>Toxicité pour le manipulateur, pour les animaux et l'environnement<br>Coût important pour l'éleveur<br>Résistances aux antiparasitaires |
| Elevage                                        | <b>Claustration des animaux</b>                                                                                        | Urgence                                            | Diminuer les piqûres de tiques des animaux                                       | Efficacité quant à l'infestation                                                                                                    | Atteinte au bien-être des animaux<br>Modification de la composition biochimique du lait liée au changement de l'alimentation<br>Coûts additionnels pour l'éleveur               |
| Production et consommation alimentaires        | <b>Informers les consommateurs sur les</b>                                                                             | Urgence et routine                                 | Informers les consommateurs                                                      | Efficacité sur un petit nombre de personnes déjà concernées <i>a priori</i> , y                                                     | Efficacité relative<br>Faible acceptabilité par les producteurs (stigmatisation ; perte de                                                                                      |

| Compartiment/étape de la chaîne événementielle | Description de l'option d'action                                                                                                                          | Situation de mise en œuvre : urgence et/ou routine | Paramètre / Objectif                       | Avantages                                                                   | Limites                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                | <b>risques d'infection liés au lait cru</b>                                                                                                               |                                                    |                                            | compris pour d'autres agents pathogènes                                     | revenus pour les producteurs si baisse de consommation)<br><br>Effets bénéfiques rapportés de la consommation de produits à base de lait cru pour la prévention de certains types d'allergie                                                                                      |
| Production et consommation alimentaires        | <b>Pasteurisation du lait</b>                                                                                                                             | Urgence                                            | Éviter l'utilisation de lait contaminé     | Efficacité en termes d'inactivation du virus dans le lait de chèvre         | Accès limité à un pasteurisateur pour certains éleveurs<br><br>Acceptabilité très faible due à un changement de catégorie de produit (lait alors pasteurisé et non plus cru), coûts de la pasteurisation<br><br>Incertitudes sur les effets de certains barèmes de pasteurisation |
| Etre humain                                    | <b>Incitation à se protéger des piqûres</b> (vêtements couvrants et inspection des vêtements et des animaux domestiques... ; usages de répulsifs cutanés) | Routine                                            | Diminuer les piqûres de tiques aux humains | Efficacité de la protection, y compris vis-à-vis d'autres maladies à tiques | Efficacité des répulsifs conditionnée à l'application par les individus<br><br>Risque de toxicité si mauvaise utilisation des répulsifs cutanés                                                                                                                                   |
| Etre humain                                    | <b>Vaccin TBEV</b>                                                                                                                                        | Urgence et routine (prévention)                    | Immunité protectrice                       | Efficacité sanitaire                                                        | Limites d'acceptabilité et du coût du vaccin<br><br>Efficience limitée si la prévalence de la maladie est faible<br><br>Choix des populations cibles                                                                                                                              |

### 11.3. Présentation détaillée des options d'action considérées pertinentes par le GT

Cette section détaille et approfondit l'analyse des options d'action synthétisées dans le Tableau 23.

#### 11.3.1 . Approches transversales et points de vigilance

- **Combinaison d'options d'action**

Globalement, le GT rappelle que, face au risque TBE, une lutte intégrée reste plus efficace qu'une mesure unique, d'où l'intérêt de mettre en œuvre différentes actions de manière parallèle et cohérente, en tenant compte de l'échelle et du contexte (Slunge et al. 2019). Etant donné la double contamination (vectorielle et alimentaire) spécifique au TBEV, une politique raisonnée devra articuler des actions relatives à chacune de ces deux modalités.

- **Une nécessaire contextualisation**

Avant de concevoir et mettre en œuvre des actions, plusieurs études (Hamman et Dziebowski 2023; Ramillien et al. 2024) ainsi que l'enquête de terrain menée en élevages caprins (Annexe 9, Ramillien 2024) incitent à comprendre les expériences, les pratiques des acteurs, leurs manières de penser (ou non) le problème et d'éventuelles solutions, leurs situations et environnements socio-économiques, institutionnels, naturels. Au vu de la grande diversité des populations, activités, contextes ici abordés – y compris au sein d'un même compartiment (tiques dans l'environnement, élevage, production/consommation alimentaire, être humain) – la mise en place d'actions appliquées uniformément n'est pas pertinente. De plus, les propositions se sont centrées sur les élevages caprins à ce stade, elles devront à terme être étendues à d'autres espèces de ruminants susceptibles d'être touchés par le TBEV.

- **Une implication en amont des parties concernées**

Dans le même temps, le GT souligne l'intérêt d'inclure le plus tôt possible les acteurs affectés par le risque TBE, comme les éleveurs ou les travailleurs forestiers, leurs éventuels représentants organisationnels (syndicats professionnels, médecine du travail par exemple) dans les réflexions relatives à la conception, au choix et à la mise en œuvre d'options d'action. Cette implication doit être négociée et favorisée *a fortiori* dans un contexte où certains acteurs, ayant une activité plus ou moins formalisée et professionnalisée, préfèrent se tenir à distance des autorités instituées (Annexe 9, Ramillien, 2024).

- **Dialogue et information**

De manière connexe, *a fortiori* en situation de méconnaissance de TBEV et/ou de non représentation de la tique comme un problème, un travail de dialogue préalable est appelé à être mis en place dans les territoires concernés. Il peut être porté par des autorités locales institutionnelles – sanitaires, agricoles, etc., de préférence relayées par des professionnels/médiateurs également locaux.

L'information et la sensibilisation des différents acteurs concernés peuvent également relever d'une option d'action d'intérêt, si elles sont combinées à d'autres et s'inscrivent dans la démarche plus large de dialogue.

En termes d'information, il faut distinguer son objet, ses approches<sup>113</sup>, ses supports, ses destinataires.

- L'objet de l'information peut porter sur les zones à tiques, les logiques de transmission/contamination, les effets du TBEV sur la santé humaine ou encore la nature des options d'action recommandées *a priori* et celles déjà éprouvées avec succès. Par ailleurs, le GT a soulevé la possibilité de pratiques illicites, telle l'importation illégale d'acaricides interdits dans l'UE pour traiter des animaux ou des environnements. Ce type de pratique illégale peut aussi faire l'objet d'information spécifique. A destination du « grand public » en particulier, des messages de prévention pourront spécifiquement être diffusés quant à la consommation de fromages au lait cru et quant à la protection vis-à-vis des piqûres de tiques (vêtements couvrants, usage de répulsifs cutanés, inspection des vêtements et des animaux domestiques, etc.) (voir *infra*). Il faut par ailleurs souligner que les enjeux techniques et sanitaires ne sont pas les seuls à aborder dans les dispositifs d'information : éclairer les risques socio-économiques (par exemple diminution/perte d'activité) d'une contamination peut être pertinent pour certains groupes professionnels (travailleurs en extérieur, forestiers, éleveurs, etc.) (Donohoe, Omodior, et Roe 2018).
- En termes d'approches, certains articles académiques soulignent la nécessité d'éviter une approche anxiogène et généraliste des risques et basée sur des interdictions (Dernat et Johany 2019). En outre, pour les professionnels déjà submergés par des informations de sécurité ou de prévention, il est nécessaire de fournir une information simple (Annexe 9, Ramillien, 2024).
- Quant aux supports d'information, l'enquête de terrain réalisée auprès d'élevages caprins comme la littérature académique ont souligné l'utilité des canaux numériques (réseaux sociaux, forums...) (Gupta et al. 2018; Marano et al. 2019) (Annexe 9, Ramillien, 2024) pour la transmission d'information entre pairs. Dans le même temps, la vigilance quant aux informations diffusées sur le web est nécessaire (Gupta et al. 2018). Un autre support d'information envisageable est la signalétique en milieu naturel, dédié à l'alerte quant à la présence de tiques et aux maladies qu'elles peuvent transmettre.
- Enfin, l'information doit être adaptée aux différents destinataires (Machtinger, Li, et Liu 2019) en tenant compte des contextes locaux. En effet, elle doit être pensée en fonction de catégories socio-économiques de populations, de territoires, d'« usages » de l'environnement (Olechnowicz et al. 2023). Il faut signaler qu'en plus du public et des professionnels travaillant en extérieur, les acteurs de santé eux-mêmes (vétérinaires, autorités de santé publique, médecins généralistes, mairies...) peuvent être destinataires d'information (Noden et al. 2020) – ces acteurs n'étant pas tous au fait des logiques de contamination par les tiques et des maladies qu'elles peuvent transmettre.

<sup>113</sup> Philosophie générale du message.

Néanmoins, le GT fait part de sa prudence quant aux campagnes d'information dont la portée reste limitée si ce n'est incertaine. Rien ne préjuge effectivement qu'une information sera transformée en mise en œuvre effective d'action par les individus ciblés (Kopsco et Mather 2022).

### 11.3.2 . Au niveau des tiques dans l'environnement

- **Clôtures anti-cervidés pour protéger les ceintures vertes et parcs urbains**

En France, les ongulés sauvages, notamment les chevreuils (*Capreolus capreolus*), sont essentiels pour le maintien des populations de tiques *Ixodes* spp. (et *Dermacentor* spp.). En tant qu'hôtes principaux de ces tiques, ils jouent un rôle central dans la propagation dans les écosystèmes de ces potentiels vecteurs.

L'utilisation de clôtures anti-cervidés peut limiter l'introduction de ces mammifères de grande taille et donc limiter les opportunités d'introduction de tiques adultes dans l'environnement de parcs urbains et de ceintures vertes (Eisen 2021). L'utilisation de ces clôtures anti-cervidés est détaillée dans le §11.3.3, quant à son application au niveau de l'élevage. En France, depuis leur suivi dans les années 1970 par l'Office français de la biodiversité (Figure 50), on observe une large expansion des populations d'ongulés sauvages, à cause de la fermeture de milieux (reforestation) dans certaines zones, de certaines pratiques de chasse (agrainage) ou d'une régulation insuffisante des populations par la chasse ou la prédation.

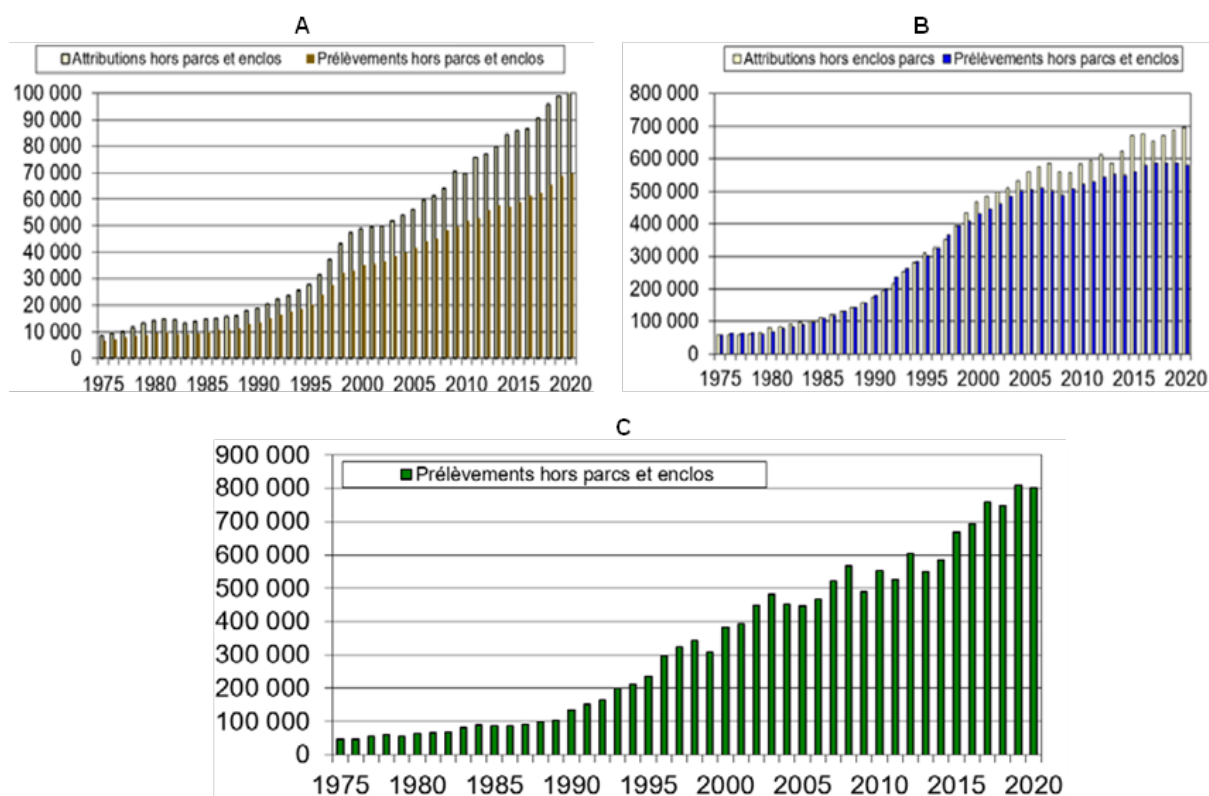


Figure 50 : Suivi des tableaux de chasse pour les Ongulés sauvages de 1973 à 2022 : A- Cerf élaphe *Cervus elaphus* (B) Chevreuil *Capreolus capreolus* (C) Sanglier *Sus scrofa*.

Source : Office français de la biodiversité

Une étude réalisée en Ecosse suggère que maintenir à distance des habitations les ongulés sauvages permet de contrôler la présence des tiques (Gilbert et al. 2012). Cependant, pour apprécier pleinement l'efficacité de clôtures, il faut garder à l'esprit que c'est la densité des ongulés sauvages, davantage que leur population absolue, qui semble jouer un rôle déterminant dans le risque de survenue de maladies à tiques. Une densité élevée d'ongulés favorise la présence de zones où les tiques se concentrent et se multiplient, augmentant ainsi la probabilité de transmission d'agents pathogènes, alors qu'une population d'ongulés dispersée limite ces regroupements (Cagnacci et al. 2012 ; Ostfeld et Keesing 2000).

### 11.3.3 . Au niveau de l'élevage

Le GT souhaite sensibiliser le lecteur à plusieurs éléments de contexte nécessaires à considérer avant la conception et la mise en œuvre d'options d'action, car ils sont susceptibles d'influencer l'appréciation de ces options.

Plusieurs constats et enseignements ressortent de l'enquête de terrain menée en élevages caprins (Annexe 9, Ramillien, 2024) : la faible voire inexistante connaissance du TBEV par les éleveurs caprins interrogés ; la diversité des rapports à l'élevage, aux animaux et aux maladies et de savoir-faire et pratiques associés. Cette diversité renvoie aux situations socio-économiques comme de positionnements par rapport aux dynamiques naturelles comme aux codes, règles et normes techniques, scientifiques et institutionnelles. La diversité des situations doit être prise en compte dans la conception et la mise en œuvre des options ici proposées pour l'élevage.

Une mise en œuvre « test » d'une ou plusieurs options d'action, à l'échelle d'un petit nombre d'éleveurs, peut constituer un levier d'intérêt. En effet, des volontés et des capacités d'expérimentation locales existent effectivement chez des éleveurs (Annexe 9, Ramillien, 2024). De telles expérimentations pourraient servir tant à l'efficacité de la prévention et du contrôle qu'à l'amélioration des relations entre éleveurs et autorités institutionnelles.

En particulier, le GT insiste sur les situations de précarité économique forte, affectant notamment de petits éleveurs. Or certaines options d'action ici retenues présentent des coûts importants pour certains éleveurs. Cette situation amène, sur la base d'un dialogue avec les éleveurs à l'échelle locale, à privilégier des alternatives ou à prendre en charge ou compenser directement la mise en œuvre d'options d'action que le gestionnaire déciderait de sélectionner.

- **Barrières permanentes ou mobiles**

La mise en place de barrières permanentes (ou mobiles) peut viser deux objectifs : d'une part éviter l'accès du troupeau à une zone « à risque » de contact avec les tiques (lisière boisée/pâturage) ; d'autre part, éviter l'accès de la pâture à des cervidés potentiellement porteurs et disséminateurs de tiques éventuellement contaminées par le TBEV.

De types variés (depuis une succession de fils de fer tendus jusque 2,5 m de haut à une barrière grillagée), électrifiées ou non, les clôtures anti-cervidés (*deer fences*) sont utilisées pour limiter l'accès des cervidés aux zones de pâturage, réduisant ainsi le risque d'introduction de tiques porteuses de maladies dans les élevages. En empêchant les cervidés de pénétrer dans les pâtures, les clôtures réduisent l'introduction de tiques adultes pouvant pondre des milliers d'œufs, limitant ainsi leur développement dans la zone de pâture. Cela peut réduire la

densité de tiques sur le long terme et minimiser les risques d'infestation des troupeaux par les tiques.

Les barrières sont efficaces pour limiter la densité de tiques sur les pâtures ou sur les animaux (Iijima et al. 2022). Elles peuvent notamment réduire l'exposition des troupeaux à *I. ricinus* et à *Dermacentor* spp. Cette efficacité dépend notamment de la robustesse de leur structure. A ce titre, leur mise en place représente un coût lié à l'achat de fournitures, leur installation et leur entretien, ces pâtures pouvant de plus être vastes et morcelées. De même, une maintenance et un défrichement réguliers sont nécessaires, représentant aussi un investissement en temps et en argent.

En ce qui concerne les recherches évaluant le risque de transmission des agents pathogènes, ces recherches considèrent avant tout des approches intégrées : elles n'étudient pas les impacts des barrières seules – mais leurs impacts cumulés avec un usage de répulsifs voire d'acaricides et avec entretien des végétations (Eisen 2021). A ce jour, le lien direct entre limitation de la densité de tiques par les barrières et fréquence de contamination des animaux d'élevage par les virus portés par les tiques (et particulièrement par le TBEV) n'est encore pas évalué.

Il faut également signaler que les barrières peuvent limiter l'immunisation naturelle notamment des jeunes animaux, immunisation qui peut être considérée souhaitable avant la lactation car elle est protectrice d'une excrétion du virus dans le lait.

- **Rotation de pâtures entre les lots de ruminants en fonction du risque « tique »**

L'option proposée serait de réserver les pâtures les plus à risque vis-à-vis des tiques aux animaux qui ne sont pas en lactation ou en gestation, en changeant les troupeaux d'enclos selon le risque « tique ». La transmission éventuelle du TBEV à ces animaux n'aurait en effet pas d'incidence ultérieure sur la présence du virus dans les produits issus de l'élevage. Les rotations entre les pâtures des lots d'animaux concernés devraient prendre en compte la nécessité d'englober la période la plus à risque vis-à-vis des piqûres de tiques. Si elle peut se révéler efficace, cette option nécessite pour l'éleveur de disposer de suffisamment de pâtures pour l'ensemble du troupeau, et que ces pâtures se différencient quant au risque lié aux tiques. Par ailleurs, outre son applicabilité, cette option est susceptible de générer une surcharge de travail et des coûts supplémentaires pour l'éleveur (gestion des déplacements d'animaux, des clôtures, de l'alimentation, etc.).

Ce type d'action entre en résonance avec un constat fait lors de l'enquête de terrain en élevages caprins (Annexe 9, Ramillien, 2024). En effet, le pâturage peut être considéré par certains éleveurs comme une condition importante, si ce n'est indispensable, d'existence des animaux. Pour ces éleveurs, le pâturage est alors à respecter et à ajuster au mieux. Cette importance accordée au pâturage est un point d'entrée possible pour la mise en place de cette rotation. Une option de rotation peut être bien accueillie par les éleveurs dans la mesure où elle permet de maintenir une logique essentielle de leur activité. Elle peut s'inscrire dans un dialogue entre autorités sanitaires et éleveurs sur les options d'action.

- **Immunisation des jeunes animaux par infection naturelle**

L'immunisation naturelle de jeunes animaux vis-à-vis des agents infectieux est une méthode recommandée pour certaines maladies à tiques comme la babésiose bovine à *Babesia bovis* ou l'anaplasmosse bovine à *A. marginale*, où les animaux infectés jeunes ne développent que



très rarement des signes cliniques et développent une immunité protectrice, d'au moins quelques années (voir § 2.6). Pour le TBEV, les jeunes animaux, qui ne sont pas en lactation, pourraient être exposés naturellement aux tiques infectées. Cela leur permettrait de développer une immunité pendant plusieurs années et d'empêcher l'excrétion virale lors de la lactation. Une exposition régulière au virus pourrait ensuite maintenir cette immunité. Cela posé, les caprins restent peu affectés par les maladies à tiques.

Cette option d'action pourrait être envisagée dans les élevages où une forte exposition virale annuelle est observée. Cela nécessite cependant d'évaluer l'exposition des jeunes par des tests sérologiques et d'avoir des lots d'animaux et une gestion de la collecte du lait différents selon leur statut sérologique si on veut s'assurer d'une absence totale de risque d'excrétion du virus dans le lait.

Cette option d'action fait également écho à certains résultats de l'enquête de terrain en élevages caprins (Annexe 9, Ramillien, 2024). Celle-ci a notamment souligné la confiance dont disposent les éleveurs caprins enquêtés en la capacité de leur élevage à rester en bonne santé grâce à leur immunité. Ce « travail d'immunité » s'inscrit notamment dans un souci « d'autonomie vétérinaire » de certains éleveurs. Ce souci d'autonomie peut constituer un levier de mise en œuvre « déléguée » aux éleveurs d'option d'action vétérinaire. Dans le même temps, il peut complexifier les relations aux autorités sanitaires instituées.

A cet égard, la mise en œuvre de cette option d'action présente différentes limites. Tout d'abord, une gestion différentielle de lots d'animaux est rarement faisable, surtout dans le contexte de petits élevages pratiquant le pâturage. De plus, la durée d'immunité des animaux n'étant pas bien connue et pouvant potentiellement ne durer que quelques années, un suivi sérologique annuel de l'ensemble des animaux serait nécessaire. Il faudrait néanmoins s'assurer au préalable de la bonne adéquation entre immunité / absence d'excrétion possible et la présence d'anticorps détectés par les tests sérologiques. De plus, la faisabilité technique de cette option d'action est limitée actuellement par la fiabilité des tests sérologiques commercialisés pour un usage vétérinaire. En effet, les deux tests ELISA (Immunozyg FSME IgG All Species, ID Screen West Nile Competition) ont une faible sensibilité par rapport à la séroneutralisation (Trozzi et al. 2023 ; Mathews-Martin et al. 2024) et ne seraient donc pas fiables à utiliser pour une détection individuelle. En outre, ces tests pourraient générer des coûts significatifs pour les éleveurs. En conclusion, l'immunisation des jeunes par infection naturelle est une option d'action pertinente mais nécessitant d'être adaptée au terrain pour en assurer l'efficacité et la faisabilité. Elle nécessite au préalable d'avoir davantage de données sur le taux annuel d'exposition des animaux en fonction de l'environnement, la durée de l'immunité, comme de disposer de tests sérologiques commerciaux fiables et d'un coût acceptable.

- **Traitement des troupeaux par des antiparasitaires externes (APE)**

Différents traitements antiparasitaires externes (APE) sont commercialisés pour protéger les animaux domestiques de l'infestation par les tiques ou éliminer les tiques déjà fixées. Ces produits représentant des risques pour la santé humaine et l'environnement (Anses 2022b), leur usage chez les animaux de rente nécessite une prescription vétérinaire. Chez les ruminants, les traitements sont effectués par aspersion/pulvérisation, par passage dans des bains ou par application topique sur le dos (avec un produit *pour-on*). Au moment de la rédaction de ce rapport, le nombre de spécialités commercialisées pour le traitement et la prévention des infestations par les tiques est de 1 chez les caprins (mais excluant les chèvres

en lactation, en période de tarissement et les futures productrices de lait dans les deux mois qui précèdent la mise-bas), quatre chez les bovins, et six chez les ovins (Dictionnaire des médicaments vétérinaires, voir Tableau 24).

Outre l'augmentation de la résistance des tiques aux acaricides, l'utilisation de ces produits vétérinaires est problématique dans les élevages laitiers du fait du risque de contamination du lait. Ainsi, chez les caprins, seul un organophosphoré, le phoxime, dispose d'une AMM (commercialisé sous le nom de SEBACIL® 50 % Solution). Comme évoqué ci-dessus, il est toutefois interdit chez les femelles en lactation, en période de tarissement et les futures productrices de lait du fait de l'absence de limite maximale de résidus définie pour le lait. L'absence de produits disposant d'AMM pour les caprins laitiers rend le traitement de ces animaux impossible, car incompatible avec la production laitière, une chèvre laitière étant en lactation 10 mois sur 12. La deltaméthrine, pyréthrianoïde autorisé pour les ovins et les bovins, peut être exceptionnellement utilisée chez la chèvre dans le cadre de la « cascade » dite du « hors AMM », sous réserve d'une évaluation bénéfice/risque par le vétérinaire traitant et de l'application d'un temps d'attente pour le lait peu compatible avec sa mise en œuvre.

En pratique, la plupart des éleveurs caprins utilisent rarement des médicaments contre les tiques, car les maladies liées aux tiques sont généralement peu problématiques pour cette espèce, sauf dans des contextes très spécifiques (en Savoie notamment). Des huiles essentielles et des produits dits d'hygiène animale, à base de terre de diatomée ou d'extraits végétaux (huile de neem, chrysanthème source de pyrèthre, etc.) sont par ailleurs commercialisés avec des allégations contre les tiques et utilisées par certains éleveurs caprins (Annexe 9, Ramillien, 2024). L'utilisation d'huiles essentielles à des fins thérapeutiques est soumise à prescription (établissement d'un protocole de soin par un vétérinaire). De plus, ne disposant pas d'AMM pour les caprins, les huiles essentielles font l'objet de temps d'attente par défaut : sept jours pour le lait, 28 jours pour la viande (le double en agriculture biologique).

A cet égard, l'étude réalisée en élevages caprins (Annexe 9, Ramillien, 2024) a notamment souligné la confiance de certains éleveurs dans le développement de l'immunité générale et naturelle de leur troupeau. De plus l'usage de traitements externes synthétiques peut poser problème à certains éleveurs, ils tendent à privilégier des méthodes qu'ils considèrent naturelles. Cette situation appelle à la mise en place d'un dialogue préalable entre autorités sanitaires et éleveurs avant toute recommandation, *a fortiori* obligation, d'usage d'APE.

**Tableau 24 : Liste des antiparasitaires externes ayant une autorisation de mise sur le marché pour la prévention et le traitement des infestations par les tiques chez les ruminants domestiques<sup>114</sup>**

| Espèces de ruminants cibles |        |       | Nom commercial        | Substance active | Groupe pharmaceutique | Forme pharmaceutique                                                       | Utilisation possible pour les femelles laitières | Temps d'attente lait                        | Temps d'attente viande & abats                   | Risques pour l'environnement                                                     | Remarques                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------|--------|-------|-----------------------|------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Caprins                     | Bovins | Ovins |                       |                  |                       |                                                                            |                                                  |                                             |                                                  |                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                        |
| x                           | x      | x     | SEBACIL® 50% Solution | Phoxime          | Organophosphorés      | Solution à diluer pour application cutanée (bain, douche ou pulvérisation) | Non                                              | Absence de LMR (interdiction d'utilisation) | 28 jours (petits ruminants) ou 40 jours (bovins) | Hautement toxique pour les organismes aquatiques, oiseaux et abeilles            | Ne pas utiliser chez les femelles productrices de lait destiné à la consommation humaine, en lactation ou en période de tarissement ni chez les futures productrices de lait de consommation dans les 2 mois qui précèdent la mise-bas |
|                             | x      |       | BAYTICOL® 1 % Pour-on | Fluméthrine      | Pyréthrinoïdes        | Solution pour-on                                                           | Oui                                              | 10 jours (bovins)                           | 5 jours (bovins)                                 | Hautement toxique pour les poissons, organismes aquatiques, bousiers et abeilles | Des tiques attachées peuvent occasionnellement être observées. Pour cette raison, la transmission de maladies infectieuses par les tiques ne peut pas être complètement                                                                |

<sup>114</sup> Voir Dictionnaire des médicaments vétérinaires, <https://www.lepointveterinaire.fr/dmv/consulter.html> Consulté le 03/10/2024 ; ANMV : index des médicaments vétérinaires autorisés en France, <https://www.ircp.anmv.anses.fr/results.aspx>, Consulté le 03/10/2024.

|  |                    |                    |                     |               |                |                                                                            |                                                                       |                                 |                                |                                                                                  | exclue si les conditions sont défavorables                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--|--------------------|--------------------|---------------------|---------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | x                  | x                  | BUTOX® 50 ‰         | Deltaméthrine | Pyréthrinoïdes | Solution à diluer pour application cutanée (bain, douche ou pulvérisation) | Oui, sous réserve d'une évaluation bénéfice/risque par le vétérinaire | 24h (ovins et bovins)           | 28 jours (ovins et bovins)     | Hautement toxique pour les poissons, organismes aquatiques, bousiers et abeilles | Les études chez les animaux de laboratoire (rats, lapins) n'ont pas mis en évidence d'effet tératogène ou embryotoxique. L'innocuité du médicament vétérinaire n'a pas été établie en cas de gravidité ou de lactation : l'utilisation de la spécialité chez les femelles en gestation ou en lactation devra faire l'objet d'une évaluation du rapport bénéfice/risque par le vétérinaire |
|  | x                  | (x) <sup>115</sup> | BUTOX® 7,5 Pour-On  | Deltaméthrine | Pyréthrinoïdes | Solution pour-on                                                           | Oui, sous réserve d'une évaluation bénéfice/risque par le vétérinaire | 2,5 jours (bovins) <sup>1</sup> | 18 jours (bovins) <sup>1</sup> |                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  | (x) <sup>116</sup> | x                  | DECTOSPOT® 10 mg/mL | Deltaméthrine | Pyréthrinoïdes | Solution pour-on                                                           | Oui, sous réserve d'une évaluation bénéfice/risque par le vétérinaire | 24h (ovins) <sup>2</sup>        | 35 jours (ovins) <sup>2</sup>  |                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|  | (x) <sup>117</sup> | x                  | DELTANIL® 10 mg/mL  | Deltaméthrine | Pyréthrinoïdes | Solution pour-on                                                           | Oui, sous réserve d'une évaluation bénéfice/risque par le vétérinaire | 0 jour (ovins) <sup>2</sup>     | 35 jours (ovins) <sup>2</sup>  |                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

<sup>115</sup> Chez les ovins, indication uniquement pour le traitement et la prévention des infestations par les poux et les mélophages (donc pas de délai d'attente précisé dans le RCP correspondant à une utilisation contre les tiques).

<sup>116</sup> Chez les bovins, indication uniquement pour le traitement et la prévention des infestations par les poux et les mouches (donc pas de délai d'attente précisé dans le RCP correspondant à une utilisation contre les tiques).

<sup>117</sup> Id.

|  |                    |   |                        |                                   |                |                       |                                                                                              |                                   |                               |                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--|--------------------|---|------------------------|-----------------------------------|----------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | (x) <sup>118</sup> | x | INSECINOR®<br>10 mg/mL | Deltaméthrine                     | Pyréthrinoïdes | Solution spot-on pour | NON (ne pas utiliser chez les brebis productrices de lait destiné à la consommation humaine) | Absence d'utilisation liée au RCP | 35 jours (ovins) <sup>2</sup> |                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|  |                    | x | ECTOFLY®<br>12,5 mg/mL | Cyperméthrine Cis : Trans (80:20) | Pyréthrinoïdes | Solution pour-on pour | Oui, sous réserve d'une évaluation bénéfice/risque par le vétérinaire                        | 5 jours (ovins)                   | 8 jours (ovins)               | Extrêmement toxique pour invertébrés aquatiques, hautement toxique pour les bousiers et abeilles | En raison des risques pour l'environnement, l'utilisation du produit doit être limitée à un traitement par an par pâturage. Les moutons doivent être maintenus éloignés des cours d'eau pendant au moins 12 heures après le traitement. Ce médicament peut être utilisé pendant la gestation des brebis |

<sup>118</sup> Id.

- **Claustration en situation d'urgence (foyers de contamination confirmés)**

Suite à l'émergence d'un foyer de contamination par transmission alimentaire, il peut être envisagé de ne pas laisser les chèvres/brebis/vaches à la pâture et de les rentrer en bâtiment quand cela est possible.

Néanmoins, cette option d'action, d'urgence uniquement et déjà mise en œuvre lors de foyers précédents, présente plusieurs inconvénients. En effet, la claustration peut affecter le bien-être des animaux. Il sera nécessaire d'y veiller, comme de satisfaire leurs besoins physiologiques et comportementaux avec notamment un enrichissement approprié de leur milieu (i.e. amélioration du bien-être, par exemple par la mise en place de ballons, balais-brosses, etc.) (De Oliveira et Boivin 2024) pour chacune des espèces considérées. De plus, cette option d'action peut avoir des impacts sur la qualité et la quantité de lait produit. Par ailleurs, le coût additionnel de nourriture que l'éleveur sera alors obligé d'apporter à ses animaux et la charge de travail supplémentaire sont également à considérer.

Enfin, compte-tenu de la part d'éleveurs tenant particulièrement aux pâturages de leurs animaux (voir *supra*), une telle option de claustration, même en situation d'urgence, peut être refusée (Annexe 9, Ramillien, 2024). Les modalités, compensations et alternatives possibles à cette mesure devront être discutées avec les éleveurs.

#### **11.3.4 Au niveau de la production et de la consommation de produits à base de lait cru**

- **Information des consommateurs sur le risque lié à la consommation de fromages au lait cru**

Informers les consommateurs sur la nature des produits consommés est de manière générale une obligation réglementaire<sup>119</sup>. L'information accrue des consommateurs sur les risques d'infection liés au lait cru et à certaines catégories de produits au lait cru pourrait diminuer la consommation et donc l'exposition au TBEV par voie alimentaire.

A ce titre, l'Anses a conduit des travaux détaillés et produit un rapport sur cette question de l'information des consommateurs face aux risques liés aux aliments (Anses 2014). Actuellement, pour l'ensemble des dangers biologiques (couples danger/aliment) la communication se concentre sur des populations à risque identifiées (e.g. les jeunes enfants, les personnes âgées, les femmes enceintes...) et sur des recommandations d'éviction de certaines catégories de produits pour ces populations. Le rapport de l'Anses souligne la difficulté de faire modifier un comportement par la communication. Même multimodale, son efficacité (lorsqu'elle est évaluée) reste faible. En effet, un changement effectif de comportement ne concerne qu'une très faible part du public sensibilisé, et ce, de façon temporaire.

Une information sur un risque TBEV avéré associé à des produits au lait cru dans une zone endémique devra tenir compte d'un tel constat. En l'absence d'une population sensible identifiée pour la TBE, une information assortie d'une recommandation d'éviction serait de plus en plus acceptable par les producteurs spécialisés dans ces produits au lait cru. En effet, ces

---

<sup>119</sup> Règlement CE n° 178/2002 du Parlement européen et du Conseil du 28 janvier 2002 établissant les principes généraux et les prescriptions générales de la législation alimentaire, instituant l'Autorité européenne de sécurité des aliments et fixant des procédures relatives à la sécurité des denrées alimentaires.

produits pourraient être stigmatisés et délaissés par les consommateurs. Les producteurs seraient exposés *a minima* à des pertes de revenus. *A maxima*, ceux dont la situation socio-économique est fragile seraient contraints d'abandonner leur activité.

Finalement, l'information avec recommandation d'éviction pourrait être restreinte aux personnes ayant plus de risque de développer une TBE sévère. Cette information/recommandation d'éviction est également appelée à considérer les bénéfices rapportés pour certaines populations de la consommation de produits à base de lait cru (Cohorte Pasture<sup>120</sup> ; (Nuzzi et al. 2022 ; Sozańska 2019; Brives et Zimmer 2021)<sup>121</sup>.

- **Pasteurisation du lait de chèvre en situation d'urgence (foyers de contamination confirmés)**

En tant qu'option d'urgence, la pasteurisation du lait de chèvre peut être efficace pour garantir la sécurité sanitaire des produits laitiers. En effet, les deux barèmes de pasteurisation du lait (72°C - 15 sec, 63°C- 30 min) permettent de réduire de 5 log la charge virale de TBEV dans du lait de chèvre artificiellement contaminé (Rónai et Egyed 2020; Mathews-Martin et al. soumis). Néanmoins, cette option d'action implique un changement de catégorie des produits commercialisés : les produits ne sont donc plus « au lait cru » et perdent l'appellation/classification *ad hoc*. Cette option d'action implique également un changement dans le process général de fabrication pour l'éleveur/transformateur. Ce changement peut conduire à la modification des choix de consommation et ainsi, à des conséquences économiques majeures pour les producteurs. Dans ce cadre, la pasteurisation apparaît comme difficilement acceptable par ces derniers. Dans cette lignée, l'enquête de terrain (Annexe 9, Ramillien, 2024) a renseigné la représentation de la pasteurisation par les éleveurs enquêtés comme un danger et une impossibilité à deux égards. Tout d'abord, la pasteurisation affecterait le sens même de leur travail auquel ils tiennent – la production de fromage au lait cru. De plus, pour les éleveurs en situation de précarité socio-économique, la mise en place de la pasteurisation représenterait une contrainte technique et un coût difficilement surmontable, alors que tous les éleveurs n'ont pas forcément accès à un pasteurisateur. Les éleveurs les moins précaires accepteraient plus facilement une pasteurisation temporaire, « *en cas d'extrême urgence* » et seulement s'ils sont aidés financièrement.

### 11.3.5 Au niveau de l'être humain

- **Protection vis-à-vis des piqûres de tiques**

Étant donné la difficulté à réguler directement l'abondance de tiques, par rapport à d'autres vecteurs comme les moustiques, les mesures de protection individuelles contre les piqûres sont essentielles dans la lutte contre les maladies à tiques (OMS, 2022)<sup>122</sup>. En France, ces mesures sont encore très inégalement adoptées par la population lorsqu'elle s'expose, voire méconnues.

<sup>120</sup> Voir Vuitton et al. 2019. Protection contre l'allergie par l'environnement de la ferme : en 15 ans, qu'avons-nous appris de la cohorte européenne « PASTURE » ?, *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 203 (7),p.618-630, <https://doi.org/10.1016/j.banm.2019.05.020>.

<sup>121</sup> Voir aussi Colloque sur le lait cru, Aurillac, <https://www.inao.gouv.fr/Nos-actualites/2e-colloque-fromages-lait-cru>

<sup>122</sup> <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>



Il existe donc ici une marge importante de réduction de l'exposition humaine aux piqûres et *de facto* à l'infection par le TBEV.

La prévention contre les piqûres de tiques en général repose majoritairement sur la prévention mécanique et chimique (Figoni et al. 2019). Les mesures préventives sont :

- porter des vêtements couvrants (manches longues, pantalons longs) et de couleur claire pour pouvoir facilement détecter les tiques ;
- utiliser des répulsifs cutanés. Les produits utilisables sont le DEET, l'IR 3535, la picaridine et l'huile d'eucalyptus citronnée ou PMD (Para-Menthane-Diol)<sup>123</sup> (HCSP 2024) ;
- vérifier régulièrement s'il n'y a pas de tiques sur les vêtements ou sur la peau et les enlever avec précaution si on en trouve (si possible avec un tire-tique ou une pince fine si la tique est déjà fixée) ;
- limiter la fréquentation des endroits où les tiques abondent aux saisons où elles sont le plus actives, notamment en restant sur les chemins.

Malgré l'existence d'une AMM concernant les vêtements imprégnés de pyréthrinoïdes, notamment avec la perméthrine, la balance bénéfice-risque de leur utilisation est désormais considérée défavorable pour une utilisation par la population générale et donc n'est plus recommandée (HCSP 2023).

Des politiques de prévention et des campagnes d'information peuvent améliorer la connaissance du risque de piqûres de tiques et de maladies associées, ainsi que l'adoption des mesures de protection efficaces. Quelques études abondent en ce sens, notamment relatives à la maladie de Lyme.

A cet égard, entre 2016 et 2019 en France, le taux d'usage d'un répulsif cutané et de vêtements longs en situation d'exposition ont augmenté respectivement de 2 et 7 points de pourcentage pour atteindre 18 % et 73 % (Septfons et al. 2021)<sup>124</sup>. Dans la mesure où le plan Lyme lancé en 2016 en France visait à améliorer la sensibilisation à ces risques, on peut faire l'hypothèse qu'une partie de cette évolution est due aux campagnes d'information. Cela étant dit, le niveau d'information sur la maladie de Lyme, pourtant mieux connue que l'encéphalite à tiques, reste seulement de 41 % en 2019 - contre 29 % en 2016 (Septfons et al. 2021). Septfons et al. (2021) établissent pour la France une corrélation positive entre le fait de se protéger et de se sentir bien informé, ici sur la maladie de Lyme. Cette corrélation a été également prouvée au Royaume-Uni (Mowbray, Amlôt, et Rubin 2014) et aux Pays-Bas (Beaujean et al. 2013).

Les politiques d'information et de prévention relatives à la protection contre les piqûres de tiques, comme celles mises en œuvre dans le plan Lyme depuis 2016 (Figoni et al. 2019), font partie d'options d'action pertinentes à recommander pour limiter les infections humaines au TBEV. Néanmoins, parmi les mesures de protection généralement préconisées contre la maladie de Lyme, certaines ne sont pas efficaces contre le TBEV. En effet les mesures "ex-post" comme l'inspection corporelle ou correctives comme l'usage d'un tire-tique pour enlever les tiques le plus rapidement possible ne permettraient pas d'éviter la transmission du TBEV, immédiatement consécutive à la piqûre (Hermance et Thangamani 2018; Pustijanac et al.

<sup>123</sup> Seuls le DEET et l'IR 3535 disposent d'une AMM.

<sup>124</sup> Le taux de contrôle *a posteriori* a également augmenté (de 47 à 54 %) mais cette mesure ne contribue pas à la protection contre TBEV.

2023), contrairement à l'infection par la bactérie responsable de la maladie de Lyme, laquelle est décalée dans le temps (Hofhuis et al. 2017).

A cet égard, une poursuite des campagnes d'information initiées dans le plan Lyme peut contribuer à augmenter davantage la protection individuelle, en insistant sur celles qui fonctionnent également pour le TBEV.

Plus largement, la mise en œuvre d'options de prévention et d'information quant aux piqûres de tiques peut s'appuyer sur les initiatives relatives aux tiques déjà mises en place (journée annuelle de sensibilisation des Centres de référence sur les maladies vectorielles à tiques ; sensibilisation par l'application CiTIQUE, etc.). Elle doit être déclinée en fonction des zones et publics visés (région endémique *versus* émergente, enfants *versus* adultes, espaces urbains *versus* espaces forestiers, etc.). Elles peuvent également prendre la forme de signalétiques dédiées, telles que des panneaux d'information, dans les espaces à risques, pour avertir de la présence de tiques.

- **Vaccination des humains**

La vaccination est un moyen efficace de prévention et a permis dans les pays à forte endémie comme en Autriche et en Lettonie, de faire baisser significativement l'incidence de l'infection par le TBEV (Heinz et al. 2013; Zavadská et al. 2023). En France, la vaccination contre le TBEV reste à ce jour uniquement recommandée pour les personnes voyageant en zone rurale ou boisée dans les pays d'endémie (zone tempérée d'Eurasie) et du printemps à l'automne (HCSP 2024). Il n'y a pas à ce jour de recommandation vaccinale chez les personnes se rendant durant la saison d'activité des tiques dans les zones d'endémie en France ni pour les personnes particulièrement exposées comme les forestiers.

Il existe actuellement trois vaccins inactivés en France. Le Ticovac<sup>®</sup> enfant est indiqué chez les enfants de 1 à 15 ans révolus, le Ticovac<sup>®</sup> adulte à partir de 16 ans et l'Encépur<sup>®</sup> qui peut être utilisé à partir de 12 ans. Le Ticovac<sup>®</sup> s'administre en trois injections à J0, puis entre M1 et M3 après la première dose et entre M5 et M12 après la deuxième injection. Le premier rappel se fait 3 ans après la troisième dose de la primo-vaccination, puis les rappels suivants tous les 5 ans (ou tous les 3 ans pour les sujets de plus de 60 ans). Pour l'Encépur<sup>®</sup> la primovaccination se fait en trois injections à J0, puis entre J14 et M3 puis entre M9 et M12 après la deuxième dose. Le rappel se fait tous les 5 ans de 12 à 49 ans, ou tous les trois ans chez les plus de 50 ans. Il existe des schémas vaccinaux accélérés en cas de voyage proche. Les deux vaccins sont interchangeables sauf en cas de schémas accélérés.

Les intervalles de réinjections varient selon les recommandations en vigueur dans les différents pays européens (Steffen, Erber, et Schmitt 2021). Dans une population jeune, certains pays ont fait le choix de proposer un intervalle de 10 ans entre chaque injection de rappel vaccinal, basé sur des résultats de plusieurs études témoignant d'une immunité humorale satisfaisante à 10 ans après la primo vaccination (Beran et al. 2023; Zens et al. 2022). Les échecs vaccinaux sont rares, évalués à 5 %, et plus fréquents dans la tranche d'âge supérieure à 50 ans (Hansson et al. 2020). On constate par ailleurs que la réponse anticorps post vaccinale est moindre dans la population de plus de 50 ans (Kantele et al. 2022).

Le vaccin contre l'encéphalite à tiques n'est pas inscrit au calendrier vaccinal et n'est pas pris en charge par l'assurance maladie en pharmacie de ville (inscription sur la liste des spécialités

remboursables aux assurés sociaux)<sup>125</sup>. Le vaccin est inscrit sur la liste des collectivités agréées, permettant l'achat du vaccin directement par l'établissement hospitalier. Il est accessible et payant<sup>126</sup>, notamment aux personnes voyageant dans les zones à risque, dans les centres de santé délivrant des consultations pour les voyageurs ou dans certains centres hospitaliers proposant des consultations de vaccination<sup>127</sup>.

Finalement, le rapport coût-efficacité de la vaccination est d'autant plus favorable au vaccin que l'incidence de la maladie est élevée, comme l'ont montré plusieurs études menées dans différents pays européens (Desjeux, Galois-Guibal, et Colin 2005; Šmit et Postma 2016). Les études, réalisées notamment en Finlande, Autriche, Suède ou Slovénie, ayant conclu à un ratio coût-utilité favorable ont généralement un taux d'incidence très supérieur au taux observé en France. L'efficacité d'un programme de vaccination dans différentes populations devrait être évaluée dans le contexte épidémiologique français pour estimer quel serait le rapport entre le bénéfice de la vaccination et le coût à consentir pour l'obtenir.

## 11.4 Options d'action écartées par le GT

Fondée sur les discussions internes au GT, cette sous-section présente rapidement quelques-unes des options d'action considérées mais finalement écartées par le collectif d'experts (Tableau 25). Avant tout, il faut préciser qu'aucune option n'a été écartée uniquement pour des raisons de coûts de mise en œuvre. En effet, les ressources qu'il serait justifié de mobiliser aujourd'hui contre un risque TBE émergent ne sont pas celles qui pourraient être utilisées en cas d'épidémie et le coût à consentir pour mettre en place une option d'action devrait être mis en regard des effets attendus de cette option. Dans certains cas, les raisons pour écarter certaines mesures relèvent d'incertitudes scientifiques trop grandes. Dans ce cas, le besoin de développer des recherches scientifiques est souligné.

---

<sup>125</sup> [Encéphalite à tiques | Vaccination Info Service \(vaccination-info-service.fr\)](#)

<sup>126</sup> A titre d'exemple, au moment de la rédaction de ce rapport (août 2024), le Centre médical de l'Institut Pasteur, le centre ELSA Paris République (anciennement Centre de Vaccinations Internationales Air France par AVS) proposent la vaccination au prix de 60 € par injection. Le centre ELSAN Marseille Bouchard le propose au prix de 50 € par injection et le centre ELSAN Lyon Parc au prix de 55 € par injection.

<sup>127</sup> [Centres de vaccination internationaux | MesVaccins](#), page consultée le 26/08/2024.

Tableau 25 : Liste des options d'action écartées par le GT (sans priorisation)

| Description de l'option d'action écartée                                         | Compartiment                                                | Paramètre / Objectif                                                                                          | Limites                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Mesure écartée mais appelant un développement des connaissances scientifiques |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Réguler la population/ densité de grands hôtes (ongulés sauvages) par la chasse  | Tiques dans l'environnement/<br>Densité de tiques infectées | Diminuer la densité des ongulés sauvages<br>nourrisseurs des tiques adultes                                   | Effet contre-productif possible (effet dilution par exemple)<br><br>Efficacité limitée sur des petits foyers<br><br>Manque de données relatives à l'échelle et aux espèces ciblées<br><br>Complexité de la relation entre densités de cervidés et de tiques infectées<br><br>Impacts à moyen et long terme sur les écosystèmes<br><br>Acceptabilité de la chasse par certains public/parties prenantes | X                                                                             |
| Favoriser la présence des prédateurs naturels (renards, loups, lynx, rapaces...) | Tiques dans l'environnement/<br>Densité de tiques infectées | Diminuer la densité d'hôtes amplificateurs du virus (rongeurs, ) ou des populations de tiques (chevreuils...) | Manque de preuves scientifiques quant aux effets sur les écosystèmes forestiers<br><br>Impacts à moyen et long terme incertains                                                                                                                                                                                                                                                                        | X                                                                             |
| Piégeage et élimination des rongeurs d'espèces ciblées à rôle                    | Tiques dans l'environnement/                                | Diminuer la densité de petits hôtes                                                                           | Efficacité non démontrée et questionnable étant donnée la dispersion d'individus et la forte reproduction des rongeurs.                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                               |

| Description de l'option d'action écartée                                     | Compartiment                                                        | Paramètre / Objectif                               | Limites                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Mesure écartée mais appelant un développement des connaissances scientifiques |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| réservoir démontré (campagnol roussâtre, mulots)                             | Densité de tiques infectées                                         | amplificateurs du virus : rongeurs                 | <p>Contrainte d'échantillonnage important et durable</p> <p>Moyens humains et financiers élevés (charge de travail amplifiée pour capture plusieurs fois par an et pluriannuel)</p> <p>Obstacles éthiques</p> <p>Incohérence biologique du fait des flux / liens</p> <p>Impact à moyen terme</p> <p>Conséquences indésirables pour les écosystèmes (impact sur les prédateurs, la forêt, la biodiversité...)</p> |                                                                               |
| Pratiques paysagères : épaisseur de la litière et défrichage (ronces)        | <p>Tiques dans l'environnement/</p> <p>Densité tiques infectées</p> | Diminuer la survie des tiques dans l'environnement | <p>Manque de moyens humains</p> <p>Impacts négatifs sur les écosystèmes (appétence des chèvres, chevreuils pour les ronces)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                               |
| Utilisation d'acaricides dans l'environnement (mise en œuvre aux Etats-Unis) | <p>Tiques dans l'environnement/</p> <p>Densité tiques infectées</p> | Diminuer la survie des tiques dans l'environnement | <p>Impacts négatifs sur les écosystèmes - résistance, toxicité pour l'environnement et l'humain</p> <p>Moyens humains et financiers élevés</p> <p>Efficacité très locale en fonction de l'acaricide utilisé et des doses et de la fréquence d'utilisation (les traitements doivent être répétés dans le temps)</p>                                                                                               |                                                                               |

| Description de l'option d'action écartée                                                                                                                        | Compartiment                                                | Paramètre / Objectif                                                                                      | Limites                                                                                                                                                            | Mesure écartée mais appelant un développement des connaissances scientifiques |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                 |                                                             |                                                                                                           | mais pas nécessairement lors d'une application à plus large échelle                                                                                                |                                                                               |
| Utilisation d'acaricides sur les cervidés sauvages (mise en œuvre aux Etats-Unis)                                                                               | Tiques dans l'environnement/<br>Densité tiques infectées    | Diminuer le taux de parasitisme des chevreuils et donc dans l'environnement                               | Coût important pour entretenir le dispositif<br>Efficacité limitée<br>Impacts négatifs sur les écosystèmes - Résistance, toxicité pour l'environnement et l'humain |                                                                               |
| Utilisation d'acaricides sur les rongeurs : traitement des rongeurs par des acaricides (boîtes avec coton imprégnées avec appât) (mise en œuvre aux Etats-Unis) | Tiques dans l'environnement/<br>Densité de tiques infectées | Diminuer la survie des tiques sur les rongeurs (hôtes des larves et nymphes) et donc dans l'environnement | Efficacité incertaine, variable en fonction des zones<br>Impacts négatifs sur les écosystèmes                                                                      |                                                                               |
| Vaccin pour les rongeurs distribué dans la nature dans les pièges (mis en œuvre pour Lyme aux Etats-Unis)                                                       | Tiques dans l'environnement/<br>Densité de tiques infectées | Vaccination des rongeurs                                                                                  | Absence de vaccin<br>Coûts de mise en œuvre<br>Efficacité variable                                                                                                 |                                                                               |
| Brûlis                                                                                                                                                          | Tiques dans l'environnement/                                | Diminuer la survie des tiques dans l'environnement                                                        | Conséquences néfastes sur les écosystèmes et la biodiversité (risque d'incendie ; pollution micro-particulaire).                                                   |                                                                               |

| Description de l'option d'action écartée                                                              | Compartiment                            | Paramètre / Objectif                                | Limites                                                                                                                                                                                                     | Mesure écartée mais appelant un développement des connaissances scientifiques |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                       | Densité de tiques infectées             |                                                     |                                                                                                                                                                                                             |                                                                               |
| Sélection génétique d'animaux peu sujets aux piqûres de tiques et identification de races résistantes | Elevage                                 | Diminuer le taux d'infection des animaux            | Manque de données scientifiques<br>Incertitude sur l'efficacité sur le terrain français<br>Impacts sur les autres traits des animaux                                                                        | X                                                                             |
| Usage de pièges à CO2 (pour attirer les tiques)                                                       | Elevage                                 | Diminuer les piqûres de tiques des animaux          | Efficacité limitée sur les espèces ciblées et effets indésirables sur des arthropodes non cibles<br>Coût temporel et organisationnel élevé                                                                  |                                                                               |
| Vaccination contre le TBEV des animaux d'élevage                                                      | Elevage                                 | Eviter la contamination du lait                     | Absence de vaccin<br>Pertinence de développer un vaccin pour les animaux qui ne souffrent pas de la maladie (alors qu'un vaccin efficace existe pour l'humain)                                              |                                                                               |
| Tests réguliers/aléatoires de tanks de lait                                                           | Production et consommation alimentaires | Eviter la consommation de lait ou fromage contaminé | Absence de méthode normalisée par rapport à la quantité de virus infectieux et protocole éprouvé<br>Difficulté de mise en œuvre par le producteur<br>Disponibilité du test en routine dans les laboratoires | X                                                                             |



| Description de l'option d'action écartée | Compartiment                            | Paramètre / Objectif                        | Limites                                                                                | Mesure écartée mais appelant un développement des connaissances scientifiques |
|------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Tests réguliers/aléatoires de fromages   | Production et consommation alimentaires | Eviter la consommation de fromage contaminé | Absence de méthode normalisée<br>Coûts et contraintes techniques et organisationnelles | X                                                                             |

Non considéré par le GT, l'agrainage<sup>128</sup> n'est pas une option d'action à proprement parler. Les conséquences négatives de cette pratique sont par ailleurs nombreuses : atteinte de la biodiversité autour des zones d'agrainage, abrutissement de la forêt, concentration et « fidélisation » des animaux dans un lieu avec augmentation des risques de contact entre animal et tique, plus largement de diffusion des agents pathogènes.

En outre, bien qu'une étude réalisée dans le Connecticut, aux Etats-Unis en 2014 montre qu'une réduction, par une chasse réglementée, des populations d'ongulés sauvages (en l'occurrence pour cette étude le Cerf de Virginie *Odocoileus virginianus*) conduit à une réduction du risque de transmission de la maladie de Lyme (Kilpatrick, Labonte, et Stafford 2014), la chasse des populations d'ongulés sauvages n'a pas été considérée par le GT comme étant une option d'action pertinente car l'épidémiologie de la TBE diffère de celle de la maladie de Lyme.

Enfin, la possibilité d'un détiqage manuel des animaux aux périodes critiques a également été écartée par les experts du GT du fait que la transmission du TBEV est potentiellement quasi immédiate suite à l'attachement de la tique sur son hôte.

Les options d'action considérées pertinentes par le GT impliquent de nombreux acteurs à différents niveaux, chacun jouant un rôle essentiel dans la prévention des infections humaines par le TBEV. Le ministère en charge de la Santé, par exemple, est responsable des campagnes de vaccination et de sensibilisation de la population quant aux risques liés à la consommation de lait cru, tandis que le ministère en charge de l'Agriculture et les éleveurs gèrent la surveillance des animaux et la mise en œuvre d'options d'action telles que la mise en place de clôtures anti-cervidés ou la rotation des pâturages. Les autorités publiques décentralisées et les collectivités territoriales sont notamment impliquées dans le dialogue avec les organisations et acteurs locaux – forestiers, agricoles pour ne citer qu'eux. Les professionnels de santé animale et publique participent activement à la mise en œuvre des traitements et à la prévention, en informant respectivement les éleveurs et le public. Cependant, cette diversité d'acteurs, chacun avec ses objectifs, ses ressources et ses contraintes propres, complexifie *a priori* leurs coordination et coopération.

A ce titre, dans le cadre systémique *One Health*, une lutte efficace, intégrée et cohérente contre la TBE appelle à croiser des dimensions sanitaires, environnementales et socio-économiques. Plus précisément, elle nécessite la compréhension de l'hétérogénéité des acteurs et de leurs situations, des spécificités propres à des contextes (micro)locaux, alliée au renforcement des mécanismes de dialogue et de coordination de l'ensemble des acteurs concernés.

<sup>128</sup> Pratique de chasse consistant à nourrir des animaux sauvages dans leur environnement, habituellement en répandant du grain, pour éloigner ces animaux de surfaces agricoles notamment.

## 12 Analyse des sources d'incertitudes

Les experts du GT ont listé les principales sources d'incertitudes dans le Tableau 26 en suivant les recommandations du rapport du GT « Méthodologie d'Evaluation des Risques » (GT MER) de l'Anses (Anses 2016).

Tableau 26 : Typologie des sources d'incertitude

| SOURCES D'INCERTITUDE                                |                    |                                          |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                           |                                                                                                 |
|------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Volet de l'expertise                                 | Origine (niveau 1) | Origine (niveau 2)                       | Description                                                                                                                                                | Modalité de prise en compte                                                                                                                                               | Impact de l'incertitude sur le résultat de l'expertise                                          |
| Planification                                        | Contexte           | Cadre de la demande                      | Elargissement et reformulation de certaines questions de la saisine (carte de risque non réalisée, développement de modèles pour l'évaluation des risques) | Manque de données françaises pour générer une carte de risque ; précision dans le texte                                                                                   | .                                                                                               |
|                                                      | Contexte           | Périmètre de l'expertise                 | Sans objet                                                                                                                                                 | .                                                                                                                                                                         | .                                                                                               |
| Evaluation économique du fardeau sanitaire de la TBE | Contexte           | Périmètre de l'expertise                 | Sans objet                                                                                                                                                 | .                                                                                                                                                                         | .                                                                                               |
|                                                      | Méthode            | Sélection des données d'entrée           | Mise en place récente de la déclaration obligatoire, ce qui pourrait limiter l'exhaustivité dans la déclaration des cas                                    | Précision dans la discussion                                                                                                                                              | L'estimation du coût est associée à une incertitude forte                                       |
|                                                      | Méthode            | Qualité et quantité des données d'entrée | Description de l'histoire de la maladie et de la prise en charge limitée dans les données issues de la déclaration obligatoire                             | Choix dans la modélisation tendant à limiter le risque de surestimation du coût, analyse de sensibilité sur le coût de la prise en charge et précision dans la discussion | L'estimation du coût est associée à une incertitude forte et le coût est sans doute sous-estimé |

| SOURCES D'INCERTITUDE                                                                    |                    |                                          |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                         |                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Volet de l'expertise                                                                     | Origine (niveau 1) | Origine (niveau 2)                       | Description                                                                                                                                                                              | Modalité de prise en compte                                                                             | Impact de l'incertitude sur le résultat de l'expertise    |
|                                                                                          | Méthode            | Exploitation des données d'entrée        | Limites du modèle (BCoDE) utilisé : le modèle repose sur des données relativement anciennes et observées dans des régions à plus forte prévalence TBE que la France                      | Précision dans la discussion                                                                            | L'estimation du coût est associée à une incertitude forte |
| Facteurs de variations spatio-temporelles de la transmission du TBEV par piqûre de tique | Méthode            | Qualité et quantité des données d'entrée | Informations qualitatives issues de la littérature scientifique ; peu de données dans la littérature pour certains facteurs (exposition aux tiques en fonction des activités pratiquées) | Conduite d'une élicitation d'experts pour pallier les manques de données de la littérature scientifique | Non caractérisable                                        |
|                                                                                          | Méthode            | Exploitation des données d'entrée        | Les connaissances et les limites actuelles sont présentées de manière transparente dans la discussion.                                                                                   | .                                                                                                       | .                                                         |
| Evaluation du risque de la transmission du TBEV par                                      | Contexte           | Périmètre de l'expertise                 | La probabilité d'avoir des symptômes de TBE à la suite de piqûres de tiques a été estimée pour une zone de forte endémicité de TBEV (l'Alsace)                                           | Précision dans le texte                                                                                 | Surestimation                                             |

| SOURCES D'INCERTITUDE                                                       |                    |                                          |                                                                                                                                                           |                                                                                                                                     |                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Volet de l'expertise                                                        | Origine (niveau 1) | Origine (niveau 2)                       | Description                                                                                                                                               | Modalité de prise en compte                                                                                                         | Impact de l'incertitude sur le résultat de l'expertise |
| piqûre de tique                                                             | Méthode            | Qualité et quantité des données d'entrée | Peu d'études permettant d'estimer les valeurs de différents paramètres du modèle                                                                          | Sélection des intervalles larges pour définir les distributions des valeurs choisies pour chaque paramètre + Analyse de sensibilité | Surestimation                                          |
|                                                                             | Méthode            | Qualité et quantité des données d'entrée | Utilisation des données déclaratives (CiTIQUE) pour estimer les proportions de piqûres dues à des larves, des nymphes et des adultes                      | Précision dans le texte                                                                                                             | Non caractérisable                                     |
|                                                                             | Méthode            | Exploitation des données d'entrée        | Utilisation d'un modèle numérique simpliste                                                                                                               |                                                                                                                                     |                                                        |
| Pratiques d'élevage et facteurs de risque d'introduction du TBEV en élevage | Contexte           | Périmètre de l'expertise                 | L'expertise s'est limitée à la filière caprine, au regard des données épidémiologiques sur la transmission alimentaire du TBEV                            | Aucune prise en compte, choix justifié dans le rapport                                                                              | Non caractérisable                                     |
|                                                                             | Méthode            | Sélection des données d'entrée           | Les informations sur les pratiques d'élevage sont issues d'auditions d'experts de la filière caprine. Pas de revue exhaustive de la littérature technique | Les informations ont été complétées par la consultation de documents technico-économiques et les connaissances des experts du GT    | Non caractérisable                                     |

| SOURCES D'INCERTITUDE                           |                    |                                          |                                                                                                                                                            |                                                                                                                                 |                                                                                                               |
|-------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Volet de l'expertise                            | Origine (niveau 1) | Origine (niveau 2)                       | Description                                                                                                                                                | Modalité de prise en compte                                                                                                     | Impact de l'incertitude sur le résultat de l'expertise                                                        |
|                                                 | Méthode            | Qualité et quantité des données d'entrée | Manque des données sur les facteurs influençant la transmission du TBEV aux chèvres par piqûre de tiques et l'excrétion du virus dans le lait              | En l'absence de données, les experts ont évalué qualitativement les facteurs de risque d'introduction du TBEV dans les élevages | Non caractérisable                                                                                            |
| Evaluation de l'exposition par voie alimentaire | Contexte           | Périmètre de l'expertise                 | L'évaluation de l'exposition est limitée aux fromages au lait cru de chèvre ; la consommation de lait cru de chèvre étant jugée peu fréquente              | Les résultats de contamination du lait de tank (pourcentage de tanks positifs) sont rapportés.                                  | Non caractérisable                                                                                            |
|                                                 | Méthode            | Qualité et quantité des données d'entrée | La probabilité d'excrétion virale suite à une infection a été fixée à 1 (100 % des chèvres)                                                                | Introduction de ce paramètre dans l'analyse de sensibilité                                                                      | Surestimation modérée de la probabilité d'exposition à des niveaux élevés de TBEV                             |
|                                                 | Méthode            | Qualité et quantité des données d'entrée | Manque de données permettant d'estimer la fraction du virus infectieux parmi les virus excrétés                                                            | Prise en compte dans la modélisation par une distribution d'incertitude des valeurs du paramètre ; Analyse de sensibilité       | Surestimation modérée (PMCF, PLF) à forte (PPNCC) de la probabilité d'exposition à des niveaux élevés de TBEV |
|                                                 | Méthode            | Qualité et quantité des données d'entrée | L'effet de la température de la coagulation sur le virus a été estimé sur la base d'un nombre limité d'études. Manque de données sur l'effet de l'affinage | Prise en compte de dans la modélisation par une distribution d'incertitude des valeurs du paramètre ; Analyse de sensibilité    | Sous-estimation forte de la probabilité d'exposition à des niveaux élevés de TBEV                             |



| SOURCES D'INCERTITUDE                                                        |                    |                                          |                                                                                                                                                                                                                  |                                          |                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Volet de l'expertise                                                         | Origine (niveau 1) | Origine (niveau 2)                       | Description                                                                                                                                                                                                      | Modalité de prise en compte              | Impact de l'incertitude sur le résultat de l'expertise |
|                                                                              | Méthode            | Exploitation des données d'entrée        | Le modèle reproduit la dynamique de transmission observée lors de l'épidémie de l'Ain et ne permet pas faute de données d'évaluer l'impact des pratiques d'élevages sur l'exposition                             | Aucune prise en compte, faute de données | Non caractérisable                                     |
| Analyse prospective de l'évolution du risque d'infection humaine par le TBEV | Méthode            | Sélection des données d'entrée           | Conduite d'une élicitation d'experts pour identifier les facteurs principaux associés à l'augmentation des cas humains de TBE ; informations issues de la littérature scientifique et/ou des jugements d'experts | Précision dans le texte                  | Non caractérisable                                     |
|                                                                              | Méthode            | Qualité et quantité des données d'entrée | Limites et manques des données d'entrée, variables en fonction des contextes géographiques                                                                                                                       | Précision dans le texte                  | Sans objet                                             |
|                                                                              | Méthode            | Exploitation des données d'entrée        | Pas de carte de risque réalisable à ce stade ; description narrative sur la base des données disponibles                                                                                                         | Précision dans le texte                  | Sans objet                                             |

| SOURCES D'INCERTITUDE                             |                    |                                          |                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                  |                                                        |
|---------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Volet de l'expertise                              | Origine (niveau 1) | Origine (niveau 2)                       | Description                                                                                                                                                                                                  | Modalité de prise en compte                                                                                                                                                                                      | Impact de l'incertitude sur le résultat de l'expertise |
| Identification et discussion des options d'action | Méthode            | Qualité et quantité des données d'entrée | Faible quantité de données académiques publiées pour certaines options d'action ; limites de l'accès au terrain pour l'enquête socio-anthropologique ; caractère local et non représentatif de cette enquête | Données académiques complétées de dires d'experts et de l'enquête de terrain ; prise en compte de la diversité des situations de l'enquête                                                                       | Limité                                                 |
|                                                   | Méthode            | Exploitation des données d'entrée        | Composante partiellement subjective du choix des options d'action ; absence de priorisation                                                                                                                  | Croisement des sources ; rappel du besoin d'adaptation aux situations locales et de développement de connaissances quand cela est nécessaire ; traçabilité du choix des options d'action retenues comme écartées | Limité                                                 |

## 13 Conclusions et recommandations du GT

### 13.1 Conclusions

Face à l'augmentation de l'incidence de l'encéphalite à tiques (TBE) observée en France et en Europe, il était essentiel d'évaluer les risques pour la santé humaine et de faire le point sur les connaissances actuelles afin d'orienter les actions de prévention et de maîtrise des risques.

L'expertise réalisée par le GT a montré que, bien que la TBE soit une maladie bien identifiée et que sa principale tique vectrice, *Ixodes ricinus*, soit largement présente en France et en Europe, un manque de connaissance du TBEV apparaît, notamment sur les mécanismes précis de circulation et de persistance du virus dans les écosystèmes, et de sa dynamique de transmission.

Le TBEV, transmis à l'être humain par piqûre par une tique infectée et par consommation de lait cru contaminé ou de produits à base de lait cru contaminé, est responsable de manifestations neurologiques dans 20 à 40 % des cas symptomatiques. En France, bien que l'incidence des cas déclarés reste faible (environ 30 cas/an), le virus gagne du terrain, avec une augmentation des cas notamment en Alsace, en Haute-Savoie et avec de nouveaux départements touchés. En 2023, 39 cas de TBE ont été identifiés sur le territoire français. L'émergence de foyers alimentaires, comme celui de 2020 dans l'Ain, souligne un risque de transmission alimentaire sur le territoire français. Ce foyer de TBE dans l'Ain, ainsi que les études de séroprévalence chez les forestiers et la faune sauvage indiquent une distribution plus large que précédemment décrite. En outre, ces tendances soulignent l'importance d'une part d'une surveillance humaine accrue, par la déclaration obligatoire, qui renforce la collecte de données et la détection des cas groupés depuis 2021, et d'autre part de l'adoption de mesures préventives adaptées.

Au cours de l'expertise, le GT a évalué le risque de développer une TBE avec des symptômes suite à une piqûre de tique en développant un modèle probabiliste, appelé « piqûre de tique », en se plaçant dans une zone de forte endémicité comme l'Alsace. Il ressort que la probabilité annuelle pour un individu de développer des symptômes suite à une piqûre de tique infectée est faible dans la population générale. En revanche, elle est significativement plus élevée chez les forestiers. Le modèle montre notamment que la proportion de piqûres dans les zones endémiques influence fortement les résultats. Une amélioration des connaissances est nécessaire pour consolider le modèle qui pourrait à plus long terme être adapté à d'autres régions ou groupes professionnels pour prédire le risque et guider les politiques de santé publique.

Cette évaluation de risque et l'ensemble de l'expertise mettent en lumière la nécessité de sensibiliser les populations exposées, d'informer et de former les professionnels de santé et de mettre en place des mesures ciblées pour réduire les piqûres de tiques et encourager des comportements préventifs.

Concernant le risque de transmission par voie alimentaire, l'expertise s'est concentrée sur les produits au lait cru de chèvre car ces derniers ont été identifiés comme la source majoritaire des cas alimentaires de TBE en France et en Europe. Les élevages concernés sont des élevages où les chèvres ont accès à la végétation dans des zones de circulation du TBEV. Un

second modèle spécifique au risque de contamination par voie « alimentaire », a été développé dans le cadre du GT et permet d'estimer l'exposition humaine au TBEV par la consommation de fromages au lait cru provenant de chèvres infectées dans des élevages situés dans des zones de circulation du virus. Sur la base des caractéristiques des élevages fermiers de la région Auvergne-Rhône-Alpes, le modèle reproduit la dynamique de la transmission observée lors du foyer survenu dans un élevage de l'Ain en 2020. Les résultats indiquent que l'exposition varie selon les types de fromages, avec des probabilités d'exposition à des niveaux élevés de TBEV plus fortes pour les fromages à pâtes pressées non cuites à affinage court et les fromages à pâte lactique fraîche. Les résultats suggèrent également que l'augmentation de l'immunité des animaux réduit significativement l'excrétion du TBEV et donc l'exposition au TBEV pour les consommateurs de fromages au lait cru. Cependant, l'évaluation réalisée présente plusieurs sources d'incertitude, en particulier sur l'effet des procédés de fabrication des fromages vis-à-vis de l'infectiosité du virus et sur les facteurs pouvant influencer l'infection des chèvres et l'excrétion virale. Néanmoins, le GT considère que ce modèle « alimentaire », tout comme le modèle « piqûre de tique », pourrait constituer à terme un outil précieux pour les gestionnaires, notamment pour simuler l'impact de différentes mesures de prévention de l'apparition de foyers ou de leur maîtrise.

En outre, l'évaluation économique du fardeau sanitaire lié à la TBE, réalisée par le GT, a permis d'estimer que l'impact économique annuel est d'au moins 3,1 millions d'euros (hors décès) en France. Bien que cette estimation soit caractérisée par une forte incertitude, l'analyse met en évidence un fardeau important pour un nombre relativement faible de cas déclarés. En d'autres termes, si l'incidence venait à augmenter, les coûts associés, mesurés monétairement, pourraient devenir encore plus significatifs.

Bien que l'incidence de la TBE reste faible en France, les experts rappellent que la gravité des formes aiguës, les deux modes de transmission du virus, ainsi que les incertitudes sur sa vitesse et ses modalités de propagation justifient une anticipation des actions à mettre en œuvre. Dans la lignée de l'enquête socio-anthropologique menée sur le terrain, les experts soulignent la nécessité d'une approche contextualisée et intégrée, notamment vis-à-vis du risque de transmission par voie alimentaire, impliquant les acteurs locaux, et notamment les éleveurs de chèvres, pour assurer l'acceptabilité, la faisabilité et l'efficacité des actions envisagées. Par ailleurs, les experts insistent sur le renforcement du dialogue et de la coordination entre les acteurs pour une gestion cohérente et durable. En effet, la TBE constituant un enjeu de santé publique croissant, elle nécessite une approche multisectorielle.

En matière de maîtrise du risque TBE, la vaccination humaine est considérée par les experts comme un outil préventif essentiel dans les zones à risque élevé et pour les populations les plus exposées au TBEV (forestiers, éleveurs, voyageurs et résidents en zone endémique par exemple). La prévention repose également sur des actions d'information des populations exposées et des professionnels de santé. Par ailleurs, au niveau de l'élevage, les principales options de routine visent la limitation de l'exposition des femelles en lactation aux tiques, comme par exemple la mise en place de clôtures pour limiter les contacts avec la faune sauvage ou l'usage de la rotation des pâtures. A ce titre, l'enquête de terrain menée en élevages caprins a souligné l'écho favorable que pourrait rencontrer cette dernière pratique auprès des éleveurs, pour qui le pâturage est une pratique centrale, ajustable et nécessaire au bien-être de leurs animaux. Pour limiter la circulation du virus et réduire le risque d'infection des animaux et de contamination du lait, ces actions complétées par la pasteurisation du lait, devraient être envisagées aussi dans les situations d'urgence telles qu'en cas de détection d'un foyer humain impliquant une transmission alimentaire ou en cas d'identification d'un lait de tank contaminé par le TBEV. L'enquête de terrain a renseigné des difficultés économiques

d'éleveurs de chèvres concernant ces propositions. Le GT souligne l'importance d'envisager d'emblée des possibilités de discussion avec les éleveurs et d'aide à leur apporter pour faciliter la mise en place d'une pasteurisation de leurs produits dans de tels contextes d'urgence.

L'expertise souligne aussi les lacunes quant à la compréhension et la définition des zones à risque, ainsi que la nécessité de renforcer les efforts de recherche pour mieux comprendre la distribution, la prévalence et les facteurs de risque associés au virus et à sa transmission dans ces zones. La TBE étant une zoonose complexe, influencée par une multitude de facteurs notamment écologiques et biologiques, le changement climatique et les activités humaines jouent notamment un rôle clé dans l'expansion de ces zones à risque. Ces interactions doivent être mieux étudiées pour anticiper l'évolution des foyers de transmission et mettre en place des stratégies de prévention et de maîtrise adaptées.

## 13.2 Recommandations

Suite aux travaux du GT TBEV et ses conclusions, les experts proposent plusieurs recommandations. Ces dernières sont présentées ci-dessous en trois volets, les listant en matière i) de surveillance, ii) de lutte et de prévention contre les infections, et iii) de recherche. Les recommandations listées dans les paragraphes ci-dessous ne sont pas classées ici par ordre d'importance.

Les experts du GT insistent sur le fait que pour assurer l'efficacité de ces recommandations, il reste indispensable de mieux identifier et caractériser les zones à risque de contamination humaine par piqûre de tique et par voie alimentaire en France.

### En matière de surveillance :

- **de la TBE chez l'être humain, les experts recommandent :**

- d'améliorer l'identification et le suivi des malades :
  - en renforçant les actions de sensibilisation, d'information et de formation sur la TBE auprès des médecins hospitaliers, libéraux et du travail ainsi que des pharmaciens d'officine, notamment grâce à l'action des Centres de Référence des Maladies Vectorielles liées aux Tiques (CRMVT), afin d'améliorer l'identification et la déclaration des cas ;
  - en aidant au déploiement des outils diagnostiques dans les laboratoires de biologie médicale (privés et hospitaliers) par la mise en place d'un réseau opérationnel ;
  - en assurant le suivi longitudinal des patients recensés par la déclaration obligatoire, en vue de mieux caractériser leur prise en charge et les conséquences de la maladie à long terme (et des coûts associés) ;
- de mieux caractériser et connaître la distribution de l'infection en France, et pour ce faire :
  - de faciliter l'utilisation des données (notamment épidémiologiques et microbiologiques) et des échantillons (comme le sang ou les sérums) collectés à grande échelle pour rechercher des traces d'infection par le TBEV dans la population. Pour les dons de sang, les experts préconisent d'ajouter des questions spécifiques sur la TBE dans le questionnaire, comme par exemple le statut vaccinal contre la TBE et les autres orthoflavivirus et les comportements à risque ;
  - d'estimer la fréquence de l'exposition au TBEV dans les populations les plus exposées :

- en mettant en place des campagnes de dépistage ciblant les éleveurs, coordonnées par exemple par la Mutualité sociale agricole (MSA), en débutant par les zones à risque et les élevages de ruminants ;
  - en étendant les études de séroprévalence sur les forestiers à l'ensemble de la France ;
- **du TBEV dans les populations de tiques et chez les animaux et leurs produits, les experts recommandent de mettre en place :**
    - un dispositif national de surveillance des tiques : s'appuyant sur la pérennisation des programmes ayant montré leur utilité comme les programmes de sciences participatives (comme l'application signalement tique du programme CiTIQUE dont la couverture est nationale par exemple) ; et l'exploitation des tiques préalablement collectées dans différents programmes de recherche et de surveillance pour détecter les agents pathogènes qu'elles hébergent dont le TBEV ;
    - des enquêtes sérologiques chez les ongulés sauvages ;
    - des enquêtes sérologiques sur sérum et/ou lait de tank chez les troupeaux de ruminants pour préciser les zones de circulation du virus, en débutant dans les zones déjà identifiées à risque et en mobilisant les prélèvements effectués pour les opérations de prophylaxie réalisés pour les autres maladies (comme par exemple la brucellose) ;
    - dans les zones précédemment identifiées comme des zones de circulation de virus, une recherche active du TBEV dans le lait de tank et dans les fromages issus d'élevages caprins produisant des produits au lait cru notamment pendant les périodes de pâturage des animaux et particulièrement lors de situations à risque (par exemple des cas humains identifiés dans la région, un historique de contamination au sein de l'élevage) ;
    - des investigations épidémiologiques et alimentaires des éventuels futurs foyers alimentaires de TBEV. Ces investigations pourraient permettre d'établir une relation dose-réponse par voie orale du TBEV, par la quantification du titre infectieux dans les produits incriminés et le recueil d'information sur le nombre et le profil des consommateurs affectés.

Les experts rappellent à cet égard, que la mise en place de programmes de surveillance du TBEV nécessite de disposer de méthodes analytiques sensibles, spécifiques et applicables en routine, insuffisantes à ce jour (voir les recommandations de recherche ci-dessous). Le développement de méthodes et d'outils performants est nécessaire pour détecter et rendre les systèmes de surveillance du TBEV efficaces.

Enfin, dans une approche *One Health*, les experts recommandent le partage des données de surveillance chez l'être humain, l'animal, les produits animaux et dans l'environnement.

### **En matière de lutte et de prévention contre les infections humaines par le TBEV :**

Considérant le contexte épidémiologique actuel en France et les connaissances actuelles sur la distribution du virus, les experts du GT recommandent d'adapter les actions en fonction des spécificités des territoires ou des populations exposées et/ou sensibles. Par ailleurs, le GT recommande la mise en œuvre expérimentale d'actions combinées sur de petites zones infectées.

- **Actions relatives à la population**

Les experts du GT appellent la Haute Autorité de santé (HAS) à se saisir d'une évaluation des populations les plus exposées au TBEV susceptibles de bénéficier d'une vaccination et de son éventuel remboursement (forestiers, éleveurs, vétérinaires, voyageurs et résidents en zone endémique par exemple). L'efficacité d'un programme de vaccination dans différentes sous-populations devrait être évaluée dans le contexte épidémiologique français pour estimer quel serait le rapport entre le bénéfice de la vaccination et le coût à consentir pour l'obtenir.

• **Actions en élevages, les experts recommandent :**

- d'accompagner les éleveurs dans la mise en œuvre d'actions de prévention et de maîtrise (voir chapitre 11) notamment en contribuant au financement de ces actions ;
- de mobiliser les parties prenantes dans la diffusion d'informations aux éleveurs quant au risque de TBE ;
- d'adapter la diffusion de l'information délivrée par les autorités sanitaires vis-à-vis du risque de TBE et des gestes de prévention aux modes de communication utilisés par les éleveurs (comme par exemple les réseaux sociaux, échanges entre pairs, application sur smartphone) ;

En contexte d'urgence, c'est-à-dire de détection d'un foyer humain impliquant une transmission alimentaire ou d'identification d'un lait de tank contaminé par le TBEV, les experts recommandent :

- d'assurer la sécurité sanitaire des produits laitiers en garantissant l'accès à un pasteurisateur pour les élevages concernés et/ou en permettant la collecte du lait par une laiterie ou un atelier de fabrication en mesure de procéder à cette pasteurisation (y compris pour les élevages qui sont hors circuit de collecte habituel) ;
- d'évaluer, en impliquant les éleveurs, l'efficacité de diverses actions mises en œuvre de façon combinée dans les élevages infectés (voir chapitre 11), voire dans des élevages voisins, pour contenir un risque épidémique (circonscrire la zone de circulation du virus).

**En matière de recherche scientifique**

Les experts recommandent :

- d'approfondir les connaissances sur le TBEV, notamment sur :
  - la caractérisation des doses infectieuses en fonction des modes de transmission ;
  - la caractérisation des souches virales circulantes en France et leur virulence ;
  - la persistance du virus dans les produits animaux (lait et fromages), l'environnement de fabrication des fromages et, en particulier, l'effet des constituants du lait (cellules somatiques, types d'acides gras) sur l'infectiosité du virus ;
  - l'effet des procédés de fabrication du fromage (comme la température, le pH, l' $a_w$ , le taux de sel, la durée et le type d'affinage) sur l'inactivation du TBEV ;
  - l'efficacité de procédés de traitements alternatifs à la pasteurisation du lait sur le TBEV, dans le cadre de mesures d'urgence ;
- d'intensifier les recherches sur l'identification des facteurs de risque ou de protection vis-à-vis de formes sévères de TBE chez l'être humain ;
- d'améliorer l'évaluation du risque de TBE au niveau régional chez l'être humain et les élevages exposés, en mettant en place une approche multidisciplinaire intégrée (par exemple, recherche de virus chez les vecteurs et sérologie chez les hôtes, enquêtes auprès des usagers de la forêt, recueil d'information sur les pratiques d'élevage) ;



Concernant spécifiquement les outils de détection du TBEV :

- d'améliorer les performances des trousses sérologiques (chez l'être humain comme chez l'animal), de développer et valider les tests de confirmation plus simples à mettre en œuvre que la séroneutralisation ;
- de développer des méthodes harmonisées de détection et de quantification du TBEV (ARN viral et virus infectieux) dans le lait et les fromages ;
- de développer et normaliser des méthodes de détection du TBEV sensibles, spécifiques et applicables en routine, qui pourraient aussi être utilisées en élevage ;

Concernant spécifiquement les options de recherche d'action :

- d'évaluer la durée d'immunité protectrice chez les ruminants laitiers, en premier lieu chez la chèvre, et évaluer la pertinence d'une immunisation précoce, notamment de façon naturelle en laissant les jeunes femelles fréquenter les pâtures infestées de tiques, comme option d'action ;
- d'évaluer et/ou développer :
  - des moyens de prévention chimique pour l'être humain tels que des répulsifs cutanés ou des procédés d'imprégnation vestimentaire (dont chaussures et guêtres) en termes d'efficacité, de toxicité, de résistance et d'impact environnemental notamment, avant leur mise sur le marché ;
  - des substances actives répulsives ou acaricides en termes d'efficacité, de toxicité, de résistance et d'impact environnemental, pour les ruminants laitiers, en particulier les caprins ;
- d'investiguer l'impact d'une régulation des populations d'ongulés sauvages sur les populations d'*I. ricinus* et indirectement sur la circulation du TBEV dans l'environnement (voir tableau 24) ;
- de produire une analyse socio-économique des options d'action retenues par le GT (voir tableau 23) avant et après leur mise en œuvre.

**Date de validation du rapport d'expertise collective par le GT TBEV : 9 décembre 2024**

**Date de validation du rapport d'expertise collective par le CES SABA : 25 février 2025**

## 14 Bibliographie

- Achazi, Katharina, Daniel Růžek, Oliver Donoso-Mantke, Mathias Schlegel, Hanan Sheikh Ali, Mathias Wenk, Jonas Schmidt-Chanasit, et al. 2011. « Rodents as Sentinels for the Prevalence of Tick-Borne Encephalitis Virus ». *Vector Borne and Zoonotic Diseases* (Larchmont, N.Y.) 11 (6): 641-47. <https://doi.org/10.1089/vbz.2010.0236>.
- Aendekerk, R.P.P., A.N.A. Schrivers, et P.J. Koehler. 1996. « Tick-Borne Encephalitis Complicated by a Polio-like Syndrome Following a Holiday in Central Europe ». *Clinical Neurology and Neurosurgery* 98 (3): 262-64. [https://doi.org/10.1016/0303-8467\(96\)00030-3](https://doi.org/10.1016/0303-8467(96)00030-3).
- Aenishaenslin, Cécile, Catherine Bouchard, Jules K. Koffi, Yann Pelcat, et Nicholas H. Ogden. 2016. « Evidence of Rapid Changes in Lyme Disease Awareness in Canada ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 7 (6): 1067-74. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2016.09.007>.
- Agoulon, Albert, Thierry Hoch, Dieter Heylen, Karine Chalvet-Monfray, et Olivier Plantard. 2019. « Unravelling the Phenology of Ixodes Frontalis, a Common but Understudied Tick Species in Europe ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 10 (3): 505-12. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2018.12.009>.
- Agreste. 2010. « Recensement agricole 2010 ». <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/methodon/S-RA%202010/methodon/>.
- Akl, Toufic, Gilles Bourgoin, Marie-Line Souq, Joël Appolinaire, Marie-Thérèse Poirel, Philippe Gibert, Georges Abi Rizk, Mathieu Garel, et Lionel Zenner. 2019. « Detection of tick-borne pathogens in questing *Ixodes ricinus* in the French Pyrenees and first identification of *Rickettsia monacensis* in France ». *Parasite* 26:20. <https://doi.org/10.1051/parasite/2019019>.
- Alekseev, A. N. 1992. « Ecology of Tick-Borne Encephalitis Virus: Part of Ixodidae Ticks Males in Its Circulation ». *Ecological Parasitology* 1 (1): 48-58, 97. <https://eurekamag.com/research/002/351/002351505.php>.
- Alkishe, Abdelghafar A., A. Townsend Peterson, et Abdallah M. Samy. 2017. « Climate Change Influences on the Potential Geographic Distribution of the Disease Vector Tick *Ixodes Ricinus* ». Édité par R. Mark Wooten. *PLOS ONE* 12 (12): e0189092. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189092>.
- Allan, Brian F., Felicia Keesing, et Richard S. Ostfeld. 2003. « Effect of Forest Fragmentation on Lyme Disease Risk ». *Conservation Biology* 17 (1): 267-72. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.01260.x>.
- Almena-Aliste, Montserrat, et Bernard Miettton. 2014. « Cheese Classification, Characterization, and Categorization: A Global Perspective ». *Microbiology Spectrum* 2 (1): 10.1128/microbiolspec.cm-0003-2012. <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.cm-0003-2012>.
- Andersson, Elina, Anna Kendall, Angelika Url, Angelika Auer, et Michael Leschnik. 2020. « The First RT-qPCR Confirmed Case of Tick-Borne Encephalitis in a Dog in Scandinavia ». *Acta Veterinaria Scandinavica* 62 (1): 51. <https://doi.org/10.1186/s13028-020-00550-2>.
- Angulo, Frederick J., Pingping Zhang, Kate Halsby, Patrick Kelly, Andreas Pilz, Harish Madhava, Jennifer C. Moïsi, et Luis Jodar. 2023. « A Systematic Literature Review of the Effectiveness of Tick-Borne Encephalitis Vaccines in Europe ». *Vaccine* 41 (47): 6914-21. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2023.10.014>.
- Anicap. 2020. « Recueil d'expériences : aires d'exercice pour les chèvres laitières ».
- Anonyme 2015. s. d. *Décret n°2007-628 du 27 avril 2007 relatif aux fromages et spécialités fromagères - Légifrance*. Consulté le 31 mars 2025. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGITEXT000006056036>.

- Anses. 2014. « Information des consommateurs en matière de prévention des risques biologiques liés aux aliments. Tome 1 – Hiérarchisation des couples danger/aliment et état des lieux des mesures d'information ». Saisine n° 2012-SA-0118. Maisons-Alfort.
- Anses. 2016. « Prise en compte de l'incertitude en évaluation des risques : revue de la littérature et recommandations pour l'Anses ». Avis de l'Anses. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AUTRE2015SA0090Ra.pdf>.
- Anses. 2022a. « Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif aux modalités de maîtrise du risque lié à la présence de dangers microbiologiques dans les fromages et autres produits laitiers fabriqués à partir de lait cru ». Saisine n° 2019-SA-0033. Maisons-Alfort.
- Anses. 2022b. « Evaluation des risques pour la santé humaine et l'environnement et recommandations pour leur maîtrise, dans le cadre de l'administration des médicaments vétérinaires antiparasitaires externes sous forme de bains, douches et pulvérisations en élevages ruminants ». Saisine n° 2018-SA-0269. Maisons-Alfort.
- Audino, Tania, Alessandra Pautasso, Veronica Bellavia, Valerio Carta, Alessio Ferrari, Federica Verna, Carla Grattarola, et al. 2021. « Ticks infesting humans and associated pathogens: a cross-sectional study in a 3-year period (2017–2019) in northwest Italy ». *Parasites & Vectors* 14 (1): 136. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04603-x>.
- Avsic-Zupanc, T., M. Poljak, M. Maticic, A. Radsel-Medvescek, J. W. LeDuc, K. Stiasny, C. Kunz, et F. X. Heinz. 1995. « Laboratory Acquired Tick-Borne Meningoencephalitis: Characterisation of Virus Strains ». *Clinical and Diagnostic Virology* 4 (1): 51-59. [https://doi.org/10.1016/0928-0197\(94\)00062-y](https://doi.org/10.1016/0928-0197(94)00062-y).
- Bagó, Z., B. Bauder, J. Kolodziejek, N. Nowotny, et H. Weissenböck. 2002. « Tickborne Encephalitis in a Mouflon (*Ovis Ammon Musimon*) ». *The Veterinary Record* 150 (7): 218-20. <https://doi.org/10.1136/vr.150.7.218>.
- Bakhvalova, V. N., Galina S. Chicherina, Olga F. Potapova, Victor V. Panov, Victor V. Glupov, Mikhail A. Potapov, Stephen J. Seligman, et Olga V. Morozova. 2016. « Tick-Borne Encephalitis Virus Diversity in Ixodid Ticks and Small Mammals in South-Western Siberia, Russia ». *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 16 (8): 541-49. <https://doi.org/10.1089/vbz.2015.1834>.
- Bakhvalova, V. N., O. F. Potapova, V. V. Panov, et O. V. Morozova. 2009. « Vertical Transmission of Tick-Borne Encephalitis Virus between Generations of Adapted Reservoir Small Rodents ». *Virus Research* 140 (1-2): 172-78. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2008.12.001>.
- Bakker, Julian W., Emily L. Pascoe, Sandra van de Water, Lucien van Keulen, Ankje de Vries, Lianne C. Woudstra, Helen J. Esser, et al. 2023. « Infection of Wild-Caught Wood Mice (*Apodemus Sylvaticus*) and Yellow-Necked Mice (*A. Flavicollis*) with Tick-Borne Encephalitis Virus ». *Scientific Reports* 13 (1): 21627. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47697-2>.
- Balogh, Zsuzsanna, László Egyed, Emőke Ferenczi, Enikő Bán, Katalin N. Szomor, Mária Takács, et György Berencsi. 2012. « Experimental Infection of Goats with Tick-Borne Encephalitis Virus and the Possibilities to Prevent Virus Transmission by Raw Goat Milk ». *Intervirology* 55 (3): 194-200. <https://doi.org/10.1159/000324023>.
- Balogh, Zsuzsanna, Eموke Ferenczi, Klara Szeles, Pawel Stefanoff, Wlodzimierz Gut, Katalin N. Szomor, Maria Takacs, et Gyorgy Berencsi. 2010. « Tick-Borne Encephalitis Outbreak in Hungary Due to Consumption of Raw Goat Milk ». *Journal of Virological Methods* 163 (2): 481-85. <https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2009.10.003>.
- Barkhash, A.V., V.N. Babenko, M.I. Voevoda, et A.G. Romaschenko. 2016. « Association of IL28B and IL10 Gene Polymorphism with Predisposition to Tick-Borne Encephalitis in a Russian Population ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 7 (5): 808-12. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2016.03.019>.

- Barkhash, A.V., A.A. Perelygin, V.N. Babenko, M.A. Brinton, et M.I. Voevoda. 2012. « Single Nucleotide Polymorphism in the Promoter Region of the CD209 Gene Is Associated with Human Predisposition to Severe Forms of Tick-Borne Encephalitis ». *Antiviral Research* 93 (1): 64-68. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2011.10.017>.
- Barkhash, A.V., A.A. Perelygin, V.N. Babenko, N.G. Myasnikova, P.I. Pilipenko, A.G. Romaschenko, M.I. Voevoda, et M.A. Brinton. 2010. « Variability in the 2'-5'-Oligoadenylate Synthetase Gene Cluster Is Associated with Human Predisposition to Tick-Borne Encephalitis Virus-Induced Disease ». *Journal of Infectious Diseases* 202 (12): 1813-18. <https://doi.org/10.1086/657418>.
- Barkhash, A.V., Mikhail I. Voevoda, et Aida G. Romaschenko. 2013. « Association of Single Nucleotide Polymorphism Rs3775291 in the Coding Region of the TLR3 Gene with Predisposition to Tick-Borne Encephalitis in a Russian Population ». *Antiviral Research* 99 (2): 136-38. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2013.05.008>.
- Barkhash, A.V., Andrey A. Yurchenko, Nikolay S. Yudin, Elena V. Ignatieva, Irina V. Kozlova, Inessa A. Borishchuk, Larisa L. Pozdnyakova, Mikhail I. Voevoda, et Aida G. Romaschenko. 2018. « A Matrix Metalloproteinase 9 (MMP9) Gene Single Nucleotide Polymorphism Is Associated with Predisposition to Tick-Borne Encephalitis Virus-Induced Severe Central Nervous System Disease ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 9 (4): 763-67. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2018.02.010>.
- Bartosik, Katarzyna, Tomasz Kubrak, Tomasz Olszewski, Monika Jung, et Alicja Buczek. 2008. « Prevention of Tick Bites and Protection against Tick-Borne Diseases in South-Eastern Poland ». *Annals of Agricultural and Environmental Medicine: AAEM* 15 (2): 181-85.
- Bartosik, Katarzyna, Monika Sitarz, Jolanta Szymańska, et Alicja Buczek. 2011. « Tick Bites on Humans in the Agricultural and Recreational Areas in South-Eastern Poland ». *Annals of Agricultural and Environmental Medicine: AAEM* 18 (1): 151-57.
- Bastin, R., C. Lapresle, J. Frottier, C. Hannoun, S. Krams, et G. Lenoir. 1971. « [A case of tick encephalitis observed in France with isolation of the virus] ». *Lyon Medical* 225:Suppl:109-111.
- Bauer, Benjamin U., Laura Könenkamp, Melanie Stöter, Annika Wolf, Martin Ganter, Imke Steffen, et Martin Runge. 2021. « Increasing awareness for tick-borne encephalitis virus using small ruminants as suitable sentinels: Preliminary observations ». *One Health* 12 (juin):100227. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2021.100227>.
- Beaujean, Desirée Jacqueline Mathieu Angélique, Marloes Bults, Jim Everardus Van Steenberghe, et Hélène Antoine Claire Marie Voeten. 2013. « Study on Public Perceptions and Protective Behaviors Regarding Lyme Disease among the General Public in the Netherlands: Implications for Prevention Programs ». *BMC Public Health* 13 (1): 225. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-225>.
- Beck, Alyssa, Jenna Bjork, Brad J. Biggerstaff, Lars Eisen, Rebecca Eisen, Erik Foster, Kimberly Signs, et al. 2022. « Knowledge, Attitudes, and Behaviors Regarding Tick-Borne Disease Prevention in Lyme Disease-Endemic Areas of the Upper Midwest, United States ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 13 (3): 101925. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2022.101925>.
- Beck, Cécile, Philippe Desprès, Sylvie Paulous, Jessica Vanhomwegen, Steeve Lowenski, Norbert Nowotny, Benoit Durand, et al. 2015. « A High-Performance Multiplex Immunoassay for Serodiagnosis of Flavivirus-Associated Neurological Diseases in Horses ». *BioMed Research International* 2015:1-13. <https://doi.org/10.1155/2015/678084>.
- Beck, Cécile, Miguel Jimenez-Clavero, Agnès Leblond, Benoît Durand, Norbert Nowotny, Isabelle Leparç-Goffart, Stéphan Zientara, Elsa Jourdain, et Sylvie Lecollinet. 2013. « Flaviviruses in Europe: Complex Circulation Patterns and Their Consequences for the Diagnosis and Control of West Nile Disease ». *International Journal of*

- Environmental Research and Public Health* 10 (11): 6049-83. <https://doi.org/10.3390/ijerph10116049>.
- Belova, Oxana A., Ludmila A. Burenkova, et Galina G. Karganova. 2012. « Different Tick-Borne Encephalitis Virus (TBEV) Prevalences in Unfed versus Partially Engorged Ixodid Ticks--Evidence of Virus Replication and Changes in Tick Behavior ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 3 (4): 240-46. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2012.05.005>.
- Benda, R. 1958. « The common tick *Ixodes ricinus* L. as a reservoir and vector of tick-borne encephalitis. I. Survival of the virus (strain B 3) during the development of the tick under laboratory conditions ». *Journal of Hygiene, Epidemiology, Microbiology and Immunology* 2:314-30.
- Benfrid, S, L Mathews-Martin, A Miehé, et L Bournez. 2024. « Filière laitière caprine et ovine dans le Puy-de-Dôme et l'Ain : des caractéristiques favorisant potentiellement la transmission alimentaire du virus de l'encéphalite à tique ». *Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation* 101 (6): 1-11. <https://be.anses.fr/fr/node/2130>.
- Benz, Laura, Alexandra Töngi\*, Traudel Saurenmann, Jan-Erik Ingenhoff, Adrian Schmid, Franziska Berger-von Orelli, Urs Eriksson, et Christian Rüegg. 2024. « Méningo-encéphalite à tiques ». *Forum Médical Suisse – Swiss Medical Forum*, août. <https://doi.org/10.4414/fms.2024.1321360557>.
- Beran, J., Maria Lattanzi, Marco Costantini, Andrea Pammolli, et Ilaria Galgani. 2023. « Sustained Antibody Persistence for at Least 15 Years after a Booster Vaccination against Tick-Borne Encephalitis Following Different Primary Vaccination Schedules: Third 5-Year Follow-Up ». *Vaccine* 41 (23): 3518-24. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2023.04.061>.
- Beran, J., Maria Lattanzi, Fang Xie, Luca Moraschini, et Ilaria Galgani. 2019. « Second Five-Year Follow-up after a Booster Vaccination against Tick-Borne Encephalitis Following Different Primary Vaccination Schedules Demonstrates at Least 10 years Antibody Persistence ». *Vaccine* 37 (32): 4623-29. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2017.12.081>.
- Bestehorn, Malena, Sebastian Weigold, Winfried V. Kern, Lidia Chitimia-Dobler, Ute Mackenstedt, Gerhard Dobler, et Johannes P. Borde. 2018. « Phylogenetics of Tick-Borne Encephalitis Virus in Endemic Foci in the Upper Rhine Region in France and Germany ». Édité par Abdallah M. Samy. *PLOS ONE* 13 (10): e0204790. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204790>.
- BfR. 2016. « Fragen und Antworten zur Übertragung von FSME-Viren durch Rohmilch », 2016. [https://www.bfr.bund.de/de/fragen\\_und\\_antworten\\_zur\\_uebertragung\\_von\\_fsme\\_viren\\_durch\\_rohmilch-198090.html](https://www.bfr.bund.de/de/fragen_und_antworten_zur_uebertragung_von_fsme_viren_durch_rohmilch-198090.html).
- Biernat, Beata, Grzegorz Karbowiak, Joanna Werszko, et Joanna Stańczak. 2014. « Prevalence of Tick-Borne Encephalitis Virus (TBEV) RNA in *Dermacentor Reticulatus* Ticks from Natural and Urban Environment, Poland ». *Experimental and Applied Acarology* 64 (4): 543-51. <https://doi.org/10.1007/s10493-014-9836-5>.
- Bingsohn, Linda, Annika Beckert, Richard Zehner, Ulrich Kuch, Rainer Oehme, Peter Kraiczy, et Jens Amendt. 2013. « Prevalences of Tick-Borne Encephalitis Virus and *Borrelia burgdorferi* Ssensu Lato in *Ixodes Ricinus* Populations of the Rhine-Main Region, Germany ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 4 (3): 207-13. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2012.11.012>.
- Bjonholm, E., S. Soderholm, O. Stephansson, et H.H. Askling. 2022. « Tick-borne encephalitis in pregnant women: A mini narrative review ». *New Microbes and New Infections* 48 (août):101017. <https://doi.org/10.1016/j.nmni.2022.101017>.
- Blacklaws, Barbara A. 2012. « Small Ruminant Lentiviruses: Immunopathogenesis of Visna-Maedi and Caprine Arthritis and Encephalitis Virus ». *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases* 35 (3): 259-69. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2011.12.003>.



- Blom, Kim, Angelica Cuapio, J. Tyler Sandberg, Renata Varnaite, Jakob Michaëlsson, Niklas K. Björkström, Johan K. Sandberg, et al. 2018. « Cell-Mediated Immune Responses and Immunopathogenesis of Human Tick-Borne Encephalitis Virus-Infection ». *Frontiers in Immunology* 9 (septembre). <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.02174>.
- Blomqvist, Gunilla, Katarina Näslund, Linda Svensson, Cécile Beck, et Jean Francois Valarcher. 2021. « Mapping geographical areas at risk for tick-borne encephalitis (TBE) by analysing bulk tank milk from Swedish dairy cattle herds for the presence of TBE virus-specific antibodies ». *Acta Veterinaria Scandinavica* 63 (1): 16. <https://doi.org/10.1186/s13028-021-00580-4>.
- Bogovič, Petra, Andrej Kastrin, Stanka Lotrič-Furlan, Katarina Ogrinc, Tatjana Avšič Županc, Miša Korva, Nataša Knap, et Franc Strle. 2022. « Clinical and Laboratory Characteristics and Outcome of Illness Caused by Tick-Borne Encephalitis Virus without Central Nervous System Involvement ». *Emerging Infectious Diseases* 28 (2): 291-301. <https://doi.org/10.3201/eid2802.211661>.
- Bogovic, Petra, et Franc Strle. 2015. « Tick-Borne Encephalitis: A Review of Epidemiology, Clinical Characteristics, and Management ». *World Journal of Clinical Cases* 3 (5): 430-41. <https://doi.org/10.12998/wjcc.v3.i5.430>.
- Böhm, Brigitte, Benjamin Schade, Benjamin Bauer, Bernd Hoffmann, Donata Hoffmann, Ute Ziegler, Martin Beer, Christine Klaus, Herbert Weissenböck, et Jens Böttcher. 2017. « Tick-Borne Encephalitis in a Naturally Infected Sheep ». *BMC Veterinary Research* 13 (1): 267. <https://doi.org/10.1186/s12917-017-1192-3>.
- Bolea, Rosa, Eva Monleón, Librado Carrasco, Antonia Vargas, Damián De Andrés, Beatriz Amorena, Juan José Badiola, et Lluís Luján. 2006. « Maedi-visna virus infection of ovine mammary epithelial cells ». *Veterinary Research* 37 (1): 133-44. <https://doi.org/10.1051/vetres:2005048>.
- Bolin, Jessica Lee. 2022. « Lyme Disease Risk Perceptions in New Hampshire, USA: Bridging Regression and Qualitative Comparative Analysis ». *Human Ecology Review* 27 (2): 31-49. <https://doi.org/10.22459/HER.27.02.2022.02>.
- Bologheanu, Razvan, Lorenz Schubert, Majda Thurnher, Judith Schiefer, Isabel Santonja, Heidemarie Holzmann, Zoe Oesterreicher, et al. 2020. « Unexpected Complete Recovery of a Patient with Severe Tick-Borne Encephalitis Treated with Favipiravir ». *Antiviral Research* 184 (décembre):104952. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2020.104952>.
- Bolzoni, L., R. Rosà, F. Cagnacci, et A. Rizzoli. 2012. « Effect of Deer Density on Tick Infestation of Rodents and the Hazard of Tick-Borne Encephalitis. II: Population and Infection Models ». *International Journal for Parasitology* 42 (4): 373-81. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2012.02.006>.
- Bonnet, S., J. de la Fuente, P. Nicolle, X. Liu, N. Madani, B. Blanchard, C. Maingourd, et al. 2013. « Prevalence of Tick-Borne Pathogens in Adult Dermacentor Spp. Ticks from Nine Collection Sites in France ». *Vector Borne and Zoonotic Diseases (Larchmont, N. Y.)* 13 (4): 226-36. <https://doi.org/10.1089/vbz.2011.0933>.
- Botelho-Nevers, Elisabeth, Amandine Gagneux-Brunon, Aurelie Velay, Mathilde Guerbois-Galla, Gilda Grard, Claire Bretagne, Alexandra Mailles, et al. 2019. « Tick-Borne Encephalitis in Auvergne-Rhône-Alpes Region, France, 2017–2018 ». *Emerging Infectious Diseases* 25 (10): 1944-48. <https://doi.org/10.3201/eid2510.181923>.
- Boulanger, Nathalie, Delphine Aran, Armand Maul, Baba Issa Camara, Cathy Barthel, Marie Zaffino, Marie-Claire Lett, Annick Schnitzler, et Pascale Bauda. 2024. « Multiple Factors Affecting Ixodes Ricinus Ticks and Associated Pathogens in European Temperate Ecosystems (Northeastern France) ». *Scientific Reports* 14 (1): 9391. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59867-x>.

- Boulanger, Nathalie, et Stephen Wikel. 2021. « Induced Transient Immune Tolerance in Ticks and Vertebrate Host: A Keystone of Tick-Borne Diseases? » *Frontiers in Immunology* 12 (février):625993. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.625993>.
- Bournez, Laure, Gerald Umhang, Marie Moinet, Céline Richomme, Jean-Michel Demerson, Christophe Caillot, Elodie Devillers, et al. 2020a. « Tick-Borne Encephalitis Virus: Seasonal and Annual Variation of Epidemiological Parameters Related to Nymph-to-Larva Transmission and Exposure of Small Mammals ». *Pathogens* 9 (7): 518. <https://doi.org/10.3390/pathogens9070518>.
- Bournez, Laure, Gerald Umhang, Marie Moinet, Céline Richomme, Jean-Michel Demerson, Christophe Caillot, Elodie Devillers, et al. 2020b. « Tick-Borne Encephalitis Virus: Seasonal and Annual Variation of Epidemiological Parameters Related to Nymph-to-Larva Transmission and Exposure of Small Mammals ». *Pathogens* 9 (7): 518. <https://doi.org/10.3390/pathogens9070518>.
- Boyard, C., J. Barnouin, P. Gasqui, et G. Vourc'H. 2007. « Local Environmental Factors Characterizing *Ixodes Ricinus* Nymph Abundance in Grazed Permanent Pastures for Cattle ». *Parasitology* 134 (7): 987-94. <https://doi.org/10.1017/S0031182007002351>.
- Boyer, Pierre H., Cathy Barthel, Mahsa Mohseni-Zadeh, Emilie Talagrand-Reboul, Mathieu Frickert, Benoit Jaulhac, et Nathalie Boulanger. 2022. « Impact of Different Anthropogenic Environments on Ticks and Tick-Associated Pathogens in Alsace, a French Region Highly Endemic for Tick-Borne Diseases ». *Microorganisms* 10 (2): 245. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020245>.
- Brady, Ryan M., Christopher J. Lemieux, et Sean T. Doherty. 2022. « Linking visitor perceptions and behaviours related to ticks and lyme disease to risk management strategies in a protected areas context ». *Journal of Outdoor Recreation and Tourism* 39 (septembre):100515. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2022.100515>.
- Bregnard, Cindy, Olivier Rais, et Maarten Jeroen Voordouw. 2020. « Climate and Tree Seed Production Predict the Abundance of the European Lyme Disease Vector over a 15-Year Period ». *Parasites & Vectors* 13 (1): 408. <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04291-z>.
- Brives, Charlotte, et Alexis Zimmer. 2021. « Ecologies and promises of the microbial turn ». *Revue d'anthropologie des connaissances* 15 (3). <https://doi.org/10.4000/rac.25068>.
- Brockmann, S. O., R. Oehme, T. Buckenmaier, M. Beer, A. Jeffery-Smith, M. Spannenkrebs, S. Haag-Milz, et al. 2018. « A Cluster of Two Human Cases of Tick-Borne Encephalitis (TBE) Transmitted by Unpasteurised Goat Milk and Cheese in Germany, May 2016 ». *Euro Surveillance: Bulletin Européen Sur Les Maladies Transmissibles = European Communicable Disease Bulletin* 23 (15): 17-00336. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2018.23.15.17-00336>.
- Buczek, Alicja, Katarzyna Bartosik, Zbigniew Zając, et Michał Stanko. 2015. « Host-feeding behaviour of *Dermacentor reticulatus* and *Dermacentor marginatus* in mono-specific and inter-specific infestations ». *Parasites & Vectors* 8 (1): 470. <https://doi.org/10.1186/s13071-015-1078-9>.
- Buczek, Alicja, Johanna Pilch, et Weronika Buczek. 2020. « Tick Preventive Behaviors and Practices Adopted by Medical Students from Poland, Germany, and Thailand in Relation to Socio-Demographic Conditions and Their Knowledge of Ticks and Tick-Borne Diseases ». *Insects* 11 (12): 863. <https://doi.org/10.3390/insects11120863>.
- Buehring, G. C., Patrick M. Kramme, et Ronald D. Schultz. 1994. « Evidence for bovine leukemia virus in mammary epithelial cells of infected cows. » *Laboratory Investigation; a Journal of Technical Methods and Pathology* 71 (3): 359-65.
- Burri, C., V. Bastic, G. Maeder, E. Patalas, et L. Gern. 2011. « Microclimate and the Zoonotic Cycle of Tick-Borne Encephalitis Virus in Switzerland ». *Journal of Medical Entomology* 48 (3): 615-27. <https://doi.org/10.1603/me10180>.



- Bušová, Andrea, Erik Dorko, Eva Feketeová, Matúš Bereš, Kvetoslava Rimárová, Jana Diabelková, Tímea Rovenská, Róbert Čellár, et Tomáš Csank. 2018. « Serostatus and Risk Factors of Tick-Borne Encephalitis ». *Central European Journal of Public Health* 26 (Supplement): S56-60. <https://doi.org/10.21101/cejph.a5289>.
- Cagnacci, F., L. Bolzoni, R. Rosà, G. Carpi, H. C. Hauffe, M. Valent, V. Tagliapietra, et al. 2012. « Effects of Deer Density on Tick Infestation of Rodents and the Hazard of Tick-Borne Encephalitis. I: Empirical Assessment ». *International Journal for Parasitology* 42 (4): 365-72. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2012.02.012>.
- Caini, S, K Szomor, E Ferenczi, Á Székelyné Gáspár, Á Csohán, K Krisztalovics, Z Molnár, et J K Horváth. 2012. « Tick-Borne Encephalitis Transmitted by Unpasteurised Cow Milk in Western Hungary, September to October 2011 ». *Eurosurveillance* 17 (12). <https://doi.org/10.2807/es.17.12.20128-en>.
- Calisher, C. H., N. Karabatsos, J. M. Dalrymple, R. E. Shope, J. S. Porterfield, E. G. Westaway, et W. E. Brandt. 1989. « Antigenic Relationships between Flaviviruses as Determined by Cross-Neutralization Tests with Polyclonal Antisera ». *The Journal of General Virology* 70 ( Pt 1) (janvier):37-43. <https://doi.org/10.1099/0022-1317-70-1-37>.
- Camprubí, Daniel, Estela Moreno-García, Alex Almuedo-Riera, Mikel J. Martinez, Alexander Navarro, Eugenia Martinez-Hernandez, Jose Muñoz, et Juan Ambrosioni. 2020. « First imported case of tick-borne encephalitis in Spain – was it alimentary? » *Travel Medicine and Infectious Disease* 37 (septembre):101701. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2020.101701>.
- Cannon, R.M. 2001. « Sense and Sensitivity — Designing Surveys Based on an Imperfect Test ». *Preventive Veterinary Medicine* 49 (3-4): 141-63. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(01\)00184-2](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(01)00184-2).
- Caputo, Mahrrouz, Vivien Stumpe, Nicole Rübsamen, Rafael T. Mikolajczyk, et André Karch. 2019. « Implementation of Preventive Measures against Tick-Borne Infections in a Non-Endemic Area for Tick-Borne Encephalitis-Results from a Population-Based Survey in Lower Saxony, Germany ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 10 (3): 614-20. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2019.02.005>.
- Caracciolo, Ilaria, Matteo Bassetti, Giorgio Paladini, Roberto Luzzati, Daniela Santon, Maria Merelli, Giovanni De Sabbata, Tea Carletti, Alessandro Marcello, et Pierlanfranco D'Agaro. 2015. « Persistent viremia and urine shedding of tick-borne encephalitis virus in an infected immunosuppressed patient from a new epidemic cluster in North-Eastern Italy ». *Journal of Clinical Virology* 69 (août):48-51. <https://doi.org/10.1016/j.jcv.2015.05.019>.
- Carpi, G., F. Cagnacci, M. Neteler, et A. Rizzoli. 2008. « Tick Infestation on Roe Deer in Relation to Geographic and Remotely Sensed Climatic Variables in a Tick-Borne Encephalitis Endemic Area ». *Epidemiology and Infection* 136 (10): 1416-24. <https://doi.org/10.1017/S0950268807000039>.
- Cassini, Alessandro, Edoardo Colzani, Alessandro Pini, Marie-Josée J. Mangen, Dietrich Plass, Scott A. McDonald, Guido Maringhini, et al. 2018. « Impact of Infectious Diseases on Population Health Using Incidence-Based Disability-Adjusted Life Years (DALYs): Results from the Burden of Communicable Diseases in Europe Study, European Union and European Economic Area Countries, 2009 to 2013 ». *Euro Surveillance: Bulletin Européen Sur Les Maladies Transmissibles = European Communicable Disease Bulletin* 23 (16): 17-00454. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2018.23.16.17-00454>.
- Cervellini, Marco, Michele Di Musciano, Piero Zannini, Simone Fattorini, Borja Jiménez-Alfaro, Emiliano Agrillo, Fabio Attorre, et al. 2021. « Diversity of European Habitat Types Is Correlated with Geography More than Climate and Human Pressure ». *Ecology and Evolution* 11 (24): 18111-24. <https://doi.org/10.1002/ece3.8409>.

- Chevalier, Noémie, Camille Victoire Migné, Teheipaura Mariteragi-Helle, Marine Dumarest, Margaux De Mas, Manon Chevrier, Emilie Queré, et al. 2024. « Seroprevalence of West Nile, Usutu and Tick borne encephalitis viruses in equids from southwestern France in 2023 ». Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4688411/v1>.
- Chitimia-Dobler, Lidia, Giulia Lemhöfer, Nina Król, Malena Bestehorn, Gerhard Dobler, et Martin Pfeffer. 2019. « Repeated Isolation of Tick-Borne Encephalitis Virus from Adult Dermacentor Reticulatus Ticks in an Endemic Area in Germany ». *Parasites & Vectors* 12 (1): 90. <https://doi.org/10.1186/s13071-019-3346-6>.
- Chitimia-Dobler, Lidia, Alexander Lindau, Rainer Oehme, Malena Bestehorn-Willmann, Markus Antwerpen, Marco Drehmann, Thomas Hierl, Ute Mackenstedt, et Gerhard Dobler. 2021. « Tick-Borne Encephalitis Vaccination Protects from Alimentary TBE Infection: Results from an Alimentary Outbreak ». *Microorganisms* 9 (5): 889. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9050889>.
- Chitimia-Dobler, Lidia, Ute Mackenstedt, Olaf Kahl, et Trevor Petney. 2019. « Chapter 3: Transmission / Natural cycle ». *Tick-borne encephalitis - The Book*, janvier. [https://doi.org/10.33442/978-981-14-0914-1\\_3](https://doi.org/10.33442/978-981-14-0914-1_3).
- Christmann, D., T. Staub-Schmidt, J. P. Gut, M. Collard, J. L. Wiederkehr, P. Kieffer, et D. Storck. 1995. « Situation actuelle en France de l'encéphalite à tique ». *Médecine et Maladies Infectieuses* 25 (mai):660-64. [https://doi.org/10.1016/S0399-077X\(05\)80873-X](https://doi.org/10.1016/S0399-077X(05)80873-X).
- Chunikhin, S. P., et V. B. Kurenkov. 1979. « Viraemia in Clethrionomys Glareolus -- a New Ecological Marker of Tick-Borne Encephalitis Virus ». *Acta Virologica* 23 (3): 257-60.
- Cisak, Ewa, Angelina Wójcik-Fatla, Violetta Zajac, Jacek Sroka, Alicja Buczek, et Jacek Dutkiewicz. 2010. « Prevalence of Tick-Borne Encephalitis Virus (TBEV) in Samples of Raw Milk Taken Randomly from Cows, Goats and Sheep in Eastern Poland ». *Annals of Agricultural and Environmental Medicine: AAEM* 17 (2): 283-86.
- Cleton, N. B., K. Van Maanen, S. A. Bergervoet, N. Bon, C. Beck, G.-J. Godeke, S. Lecollinet, et al. 2017. « A Serological Protein Microarray for Detection of Multiple Cross-Reactive Flavivirus Infections in Horses for Veterinary and Public Health Surveillance ». *Transboundary and Emerging Diseases* 64 (6): 1801-12. <https://doi.org/10.1111/tbed.12569>.
- Comstedt, Pär, Sven Bergström, Björn Olsen, Ulf Garpmo, Lisette Marjavaara, Hans Mejlon, Alan G. Barbour, et Jonas Bunikis. 2006. « Migratory Passerine Birds as Reservoirs of Lyme Borreliosis in Europe ». *Emerging Infectious Diseases* 12 (7): 1087-95. <https://doi.org/10.3201/eid1207.060127>.
- Costantini, Marco, Andrea Callegaro, Jiří Beran, Valérie Berlaimont, et Ilaria Galgani. 2020. « Predicted long-term antibody persistence for a tick-borne encephalitis vaccine: results from a modeling study beyond 10 years after a booster dose following different primary vaccination schedules ». *Human Vaccines & Immunotherapeutics* 16 (9): 2274-79. <https://doi.org/10.1080/21645515.2019.1700712>.
- Coudray-Meunier, Coralie, Audrey Fraisse, Sandra Martin-Latil, Sabine Delannoy, Patrick Fach, et Sylvie Perelle. 2016. « A Novel High-Throughput Method for Molecular Detection of Human Pathogenic Viruses Using a Nanofluidic Real-Time PCR System ». Édité par Naoya Sakamoto. *PLOS ONE* 11 (1): e0147832. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147832>.
- Coyer, Liza, Aylin Sogan-Ekinci, Benedikt Greutelaers, Julia Kuhn, Franziska S. Saller, Jana Hailer, Stefanie Böhm, Rainer Brosch, Christiane Wagner-Wiening, et Merle M. Böhmer. 2023. « Knowledge, Attitudes and Behaviors Regarding Tick-Borne Encephalitis Vaccination and Prevention of Tick-Borne Diseases among Primary Care Physicians in Bavaria and Baden-Wuerttemberg, Germany, May-September 2022 ». *Microorganisms* 11 (4): 961. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11040961>.

- Crist, Samantha D., Heather Kopsco, Alexandria Miller, Peg Gronemeyer, Nohra Mateus-Pinilla, et Rebecca L. Smith. 2022. « Knowledge, Attitudes, and Practices of Veterinary Professionals towards Ticks and Tick-Borne Diseases in Illinois ». *One Health (Amsterdam, Netherlands)* 14 (juin):100391. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2022.100391>.
- Cuaderna, Mervin Keith Q., Emily M. Mader, Amelia Greiner Safi, et Laura C. Harrington. 2023. « Knowledge, attitudes, and practices for tick bite prevention and tick control among residents of Long Island, New York, USA ». *Ticks and Tick-borne Diseases* 14 (3): 102124. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2023.102124>.
- Cull, Benjamin, Alexander G.C. Vaux, Lisa J. Ottowell, Emma L. Gillingham, et Jolyon M. Medlock. 2017. « Tick Infestation of Small Mammals in an English Woodland ». *Journal of Vector Ecology* 42 (1): 74-83. <https://doi.org/10.1111/jvec.12241>.
- Cunze, Sarah, Gustav Glock, Judith Kochmann, et Sven Klimpel. 2022. « Ticks on the Move—Climate Change-Induced Range Shifts of Three Tick Species in Europe: Current and Future Habitat Suitability for Ixodes Ricinus in Comparison with Dermacentor Reticulatus and Dermacentor Marginatus ». *Parasitology Research* 121 (8): 2241-52. <https://doi.org/10.1007/s00436-022-07556-x>.
- Da Rold, Graziana, Federica Obber, Isabella Monne, Adelaide Milani, Silvia Ravagnan, Federica Toniolo, Sofia Sgubin, et al. 2022. « Clinical Tick-Borne Encephalitis in a Roe Deer (Capreolus Capreolus L.) ». *Viruses* 14 (2): 300. <https://doi.org/10.3390/v14020300>.
- Dagostin, Francesca, Diana Erazo, Giovanni Marini, Daniele Da Re, Valentina Tagliapietra, Maria Avdicova, Tatjana Avšič-Županc, et al. 2024. « Modeling the Spatio-Temporal Annual Changes in Human Tick-Borne Encephalitis (TBE) Risk in Europe ». <https://doi.org/10.1101/2024.10.18.619031>.
- Dagostin, Francesca, Valentina Tagliapietra, Giovanni Marini, Claudia Cataldo, Maria Bellenghi, Scilla Pizzarelli, Rosaria Rosanna Cammarano, et al. 2023. « Ecological and Environmental Factors Affecting the Risk of Tick-Borne Encephalitis in Europe, 2017 to 2021 ». *Eurosurveillance* 28 (42). <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2023.28.42.2300121>.
- Dagostin, Francesca, Valentina Tagliapietra, Giovanni Marini, Giulia Ferrari, Marco Cervellini, William Wint, Neil S. Alexander, et al. 2024. « High Habitat Richness Reduces the Risk of Tick-Borne Encephalitis in Europe: A Multi-Scale Study ». *One Health* 18 (juin):100669. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2023.100669>.
- Daniel, M, et F Dusbabek. 1994. « Micrometeorological and microhabitat factors affecting maintenance and dissemination of tick-borne diseases in the environment ». In *Ecological Dynamics of Tickborne Zoonoses*, ed. by D. E. Sonenshine and T.N. Mather. Oxford University Press. Oxford.
- Daniel, Milan, Vlasta Danielová, Alena Fialová, Marek Malý, Bohumír Kříž, et Patricia A. Nuttall. 2018. « Increased Relative Risk of Tick-Borne Encephalitis in Warmer Weather ». *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 8:90. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2018.00090>.
- Daniel, Milan, Marek Malý, Vlasta Danielová, Bohumír Kříž, et Patricia Nuttall. 2015. « Abiotic Predictors and Annual Seasonal Dynamics of Ixodes Ricinus, the Major Disease Vector of Central Europe ». *Parasites & Vectors* 8 (septembre):478. <https://doi.org/10.1186/s13071-015-1092-y>.
- Danielova, V., M. Daniel, J. Holubova, Z. Hajkova, V. Albrecht, Z. Marhoul, et V. Simonova. 1983. « INFLUENCE OF MICROCLIMATIC FACTORS ON THE DEVELOPMENT AND VIRUS-INFECTION RATE OF TICKS IXODES-RICINUS (L) UNDER EXPERIMENTAL CONDITIONS ». *Folia Parasitologica* 30 (2): 153-61. <http://folia.paru.cas.cz/artkey/fol-198302->

## 0012\_INFLUENCE\_OF\_MICROCLIMATIC\_FACTORS\_ON\_THE\_DEVELOPMENT\_AND\_VIRUS-INFECTION\_RATE\_OF\_TICKS\_IXODES-RICINUS\_L\_UNDE.php.

- Danielova, V, et J Holubova. 1991. « Transovarial transmission rate of tick-borne encephalitis virus in Ixodes ricinus ticks » 2:7-10.
- Danielová, Vlasta, Milan Daniel, Lucie Schwarzová, Jan Materna, Natalia Rudenko, Marina Golovchenko, Jaroslava Holubová, Libor Grubhoffer, et Patrik Kilián. 2010. « Integration of a Tick-Borne Encephalitis Virus and Borrelia Burgdorferi Sensu Lato into Mountain Ecosystems, Following a Shift in the Altitudinal Limit of Distribution of Their Vector, Ixodes Ricinus (Krkonoše Mountains, Czech Republic) ». *Vector Borne and Zoonotic Diseases (Larchmont, N.Y.)* 10 (3): 223-30. <https://doi.org/10.1089/vbz.2009.0020>.
- Danielová, Vlasta, Jaroslava Holubová, Milan Pejcoch, et Milan Daniel. 2002. « Potential Significance of Transovarial Transmission in the Circulation of Tick-Borne Encephalitis Virus ». *Folia Parasitologica* 49 (4): 323-25.
- Dautel, Hans, Cornelia Dippel, Rainer Oehme, Kathrin Hartelt, et Elvira Schettler. 2006. « Evidence for an Increased Geographical Distribution of Dermacentor Reticulatus in Germany and Detection of Rickettsia Sp. RpA4 ». *International Journal of Medical Microbiology* 296 (mai):149-56. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2006.01.013>.
- Dawson, Kara L. D., Giuliana Rosato, Simone Egloff, Carole Burgener, Anna Oevermann, Paula Grest, Monika Hilbe, et Torsten Seuberlich. 2024. « Fatal Tick-Borne Encephalitis Virus Infection in Dalmatian Puppy-Dogs after Putative Vector Independent Transmission ». *Veterinary Quarterly* 44 (1): 1-7. <https://doi.org/10.1080/01652176.2024.2338385>.
- De Heus, Phebe, Zoltán Bagó, Pia Weidinger, Dilara Lale, Dagmar S. Trachsel, Sandra Revilla-Fernández, Kaspar Matiassek, et Norbert Nowotny. 2023. « Severe Neurologic Disease in a Horse Caused by Tick-Borne Encephalitis Virus, Austria, 2021 ». *Viruses* 15 (10): 2022. <https://doi.org/10.3390/v15102022>.
- De Heus, Phebe, Jolanta Kolodziejek, Zdeněk Hubálek, Katharina Dimmel, Victoria Racher, Norbert Nowotny, et Jessika-M. V. Cavalleri. 2021. « West Nile Virus and Tick-Borne Encephalitis Virus Are Endemic in Equids in Eastern Austria ». *Viruses* 13 (9): 1873. <https://doi.org/10.3390/v13091873>.
- De La Fuente, José, Marinela Contreras, Agustín Estrada-Peña, et Alejandro Cabezas-Cruz. 2017. « Targeting a Global Health Problem: Vaccine Design and Challenges for the Control of Tick-Borne Diseases ». *Vaccine* 35 (38): 5089-94. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2017.07.097>.
- De Oliveira, Daiana, et Xavier Boivin. 2024. « Review - Relational enrichment in ruminants and equines ». *EURCAW Ruminants & Equines*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.7687803>.
- De Pelsmaeker, Nicolas, Lars Korslund, et Øyvind Steifetten. 2021. « High-Elevational Occurrence of Two Tick Species, Ixodes Ricinus and I. Trianguliceps, at Their Northern Distribution Range ». *Parasites & Vectors* 14 (1): 161. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04604-w>.
- De Souza, William M., et Scott C. Weaver. 2024. « Effects of Climate Change and Human Activities on Vector-Borne Diseases ». *Nature Reviews Microbiology* 22 (8): 476-91. <https://doi.org/10.1038/s41579-024-01026-0>.
- Degeilh, Brigitte. 1996. « Anthropozoonoses et arthropodes hematophages : ecoepidemiologie de la borreliose de lyme ; contribution a l'etude de son vecteur principal, ixodes ricinus, en zone d'influence atlantique, en france metropolitaine ».
- Degeilh, C. Guiguen, B. Gilot, B. Doche, J. Pichot, et J.C. Beaucournu. 1994. « Distribution of Ixodes ricinus (Linne, 1758) (Acarina: Ixodidae) in the forest regions of the Massif Armoricain ». *Acarologia* 35 (4): 327-34. <https://www1.montpellier.inrae.fr/CBGP/acarologia/article.php?id=2303>.



- Dernat, Sylvain, et François Johany. 2019. « Tick Bite Risk as a Socio-Spatial Representation—An Exploratory Study in Massif Central, France ». *Land* 8 (3): 46. <https://doi.org/10.3390/land8030046>.
- Desgraupes, Sophie, Patricia Jeannin, Antoine Gessain, Pierre-Emmanuel Ceccaldi, et Aurore Vidy. 2022. « Excretion of Cell-Free and Cell-Associated Zika Virus into Breast Milk of Infected Dams and Identification of Antiviral Factors ». *Viruses* 14 (5): 851. <https://doi.org/10.3390/v14050851>.
- Desjeux, Guillaume, Laurent Galois-Guibal, et Cyrille Colin. 2005. « Cost-Benefit Analysis of Vaccination against Tick-Borne Encephalitis among French Troops. » *PharmacoEconomics* 23 (9): 913-26. <https://doi.org/10.2165/00019053-200523090-00004>.
- Deviatkin, Andrei A., Galina G. Karganova, Yulia A. Vakulenko, et Alexander N. Lukashev. 2020. « TBEV Subtyping in Terms of Genetic Distance ». *Viruses* 12 (11): 1240. <https://doi.org/10.3390/v12111240>.
- Divé, Iris, Malin Veje, Gerhard Dobler, Tomas Bergström, Horst Buxmann, Bettina Paul, Frank Louwen, et al. 2020. « Tick-Borne Encephalitis Virus (TBEV) Infection in Pregnancy: Absence of Virus Transmission to the Fetuses despite Severe Maternal Disease - A Case Study ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 11 (5): 101491. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2020.101491>.
- Dizij, Astrid, et Klaus Kurtenbach. 1995. « *Clethrionomys Glareolus* , but Not *Apodemus Flavicollis* , Acquires Resistance to *Lxodes Ricinus* L, the Main European Vector of *Borrelia Burgdorferi* ». *Parasite Immunology* 17 (4): 177-83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3024.1995.tb00887.x>.
- Doche, B., B. Gilot, B. Degeilh, J. Pichot, et C. Guiguen. 1993. « Utilisation de l'indicateur végétal pour la cartographie d'une tique exophile à l'échelle de la France : exemple d' *Ixodes ricinus* (Linné, 1758), vecteur de la Borréliose de Lyme ». *Annales de Parasitologie Humaine et Comparée* 68 (4): 188-95. <https://doi.org/10.1051/parasite/1993684188>.
- Donchenko, I, K Kutsar, V Vasilenko, et N Kerbo. 2005. « Tickborne Encephalitis Outbreak in Estonia Linked to Raw Goat Milk, May-June 2005 ». *Weekly Releases (1997–2007)* 10 (25). <https://doi.org/10.2807/esw.10.25.02730-en>.
- Donohoe, H., O. Omodior, et J. Roe. 2018. « Tick-Borne Disease Occupational Risks and Behaviors of Florida Fish, Wildlife, and Parks Service Employees – A Health Belief Model Perspective ». *Journal of Outdoor Recreation and Tourism* 22 (juin):9-17. <https://doi.org/10.1016/j.jort.2018.02.003>.
- Dorko, Erik, Ján Hockicko, Kvetoslava Rimárová, Andrea Bušová, Peter Popad'ák, Jana Popad'áková, et Ivan Schréter. 2018. « Milk Outbreaks of Tick-Borne Encephalitis in Slovakia, 2012-2016 ». *Central European Journal of Public Health* 26 Suppl (décembre):S47-50. <https://doi.org/10.21101/cejph.a5272>.
- Dorko, Erik, Kvetoslava Rimárová, Peter Kizek, Milan Stebnický, et Ľubica Zákutná. 2014. « Increasing Incidence of Tick-Borne Encephalitis and Its Importance in the Slovak Republic ». *Central European Journal of Public Health* 22 (4): 277-81. <https://doi.org/10.21101/cejph.a3939>.
- Dörrbecker, Bastian, Gerhard Dobler, Martin Spiegel, et Frank T. Hufert. 2010. « Tick-Borne Encephalitis Virus and the Immune Response of the Mammalian Host ». *Travel Medicine and Infectious Disease* 8 (4): 213-22. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2010.05.010>.
- Drehmann, Marco, Andrea Springer, Alexander Lindau, Katrin Fachet, Sabrina Mai, Dorothea Thoma, Carina R. Schneider, et al. 2020. « The Spatial Distribution of Dermacentor Ticks (Ixodidae) in Germany—Evidence of a Continuing Spread of Dermacentor reticulatus ». *Frontiers in Veterinary Science* 7 (septembre):578220. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.578220>.

- Dufour, Barbara, Pascal Hendriks, et Agnès Leblond. 2015. « Surveillance des maladies vectorielles : méthodes, avantages et limites ». *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France* 168 (1): 43-49. <https://doi.org/10.4267/2042/56544>.
- Dziedziech, Alexis, Eva Krupa, Kristina E. M. Persson, Richard Paul, et Sarah Bonnet. 2024. « Tick exposure biomarkers: A One Health approach to new tick surveillance tools ». *Current Research in Parasitology & Vector-Borne Diseases* 6 (janvier):100212. <https://doi.org/10.1016/j.crvbd.2024.100212>.
- Ebel, Gregory D., et Laura D. Kramer. 2004. « Short Report: Duration of Tick Attachment Required for Transmission of Powassan Virus by Deer Ticks ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 71 (3): 268-71.
- ECDC. 2021. *Organisation of Vector Surveillance and Control in Europe*. LU: Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2900/853486>.
- ECDC. 2024. « Tick-borne encephalitis ». *Annual epidemiological report for 2022, 2024*, European Centre for Disease Prevention and Control édition. [https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/tick-borne-encephalitis-annual-epidemiological-report-2022\\_0.pdf](https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/tick-borne-encephalitis-annual-epidemiological-report-2022_0.pdf).
- Egyed, L., I. Biksi, T. Varga, V. Zöldi, et Á. Dán. 2021. « Analysing the genomes of two tick-borne encephalitis viruses isolated in Hungary in 1952 and 2019 ». *Ticks and Tick-borne Diseases* 12 (6): 101806. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2021.101806>.
- Egyed, L., Viktor Zöldi, et Levente Szeredi. 2015. « Subclinical Tick-Borne Encephalitis Virus in Experimentally Infected *Apodemus Agrarius* ». *Intervirology* 58 (6): 369-72. <https://doi.org/10.1159/000443833>.
- Eisen, Lars. 2021. « Control of Ixodid Ticks and Prevention of Tick-Borne Diseases in the United States: The Prospect of a New Lyme Disease Vaccine and the Continuing Problem with Tick Exposure on Residential Properties ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 12 (3): 101649. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2021.101649>.
- Elbaz, Meital, Avi Gadoth, Daniel Shepshelovich, David Shasha, Nir Rudoler, et Yael Paran. 2022. « Systematic Review and Meta-Analysis of Foodborne Tick-Borne Encephalitis, Europe, 1980-2021 ». *Emerging Infectious Diseases* 28 (10): 1945-54. <https://doi.org/10.3201/eid2810.220498>.
- Eleftheriou, Andreas, Samantha Swisher, Andreia Arruda, Amanda Berrian, et Risa Pesapane. 2023. « A Survey of Knowledge, Attitudes, and Practices of Veterinary Professionals Regarding Ticks and Tick-Borne Diseases: Insights from Ohio, USA ». *One Health (Amsterdam, Netherlands)* 17 (décembre):100592. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2023.100592>.
- Ergunay, Koray, Sergey Tkachev, Irina Kozlova, et Daniel Růžek. 2016. « A Review of Methods for Detecting Tick-Borne Encephalitis Virus Infection in Tick, Animal, and Human Specimens ». *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 16 (1): 4-12. <https://doi.org/10.1089/vbz.2015.1896>.
- Ernek, E., O. Kozuch, M. Lichard, J. Nosek, et P. Albrecht. 1963. « EXPERIMENTAL INFECTION OF CLETHRIONOMYS GLAREOLUS AND APODEMUS FLAVICOLLIS WITH TICK-BORNE ENCEPHALITIS VIRUS ». *Acta Virologica* 7 (septembre):434-36.
- Ernek, E., O. Kozuch, J. Nosek, et K. Hudec. 1969. « The relation between tick-borne encephalitis virus and the wild duck (*Anas platyrhynchos*). I. Acute infection. » *Acta Virologica* 13 (4): 296-302. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19702701459>.
- Ernek, E., et M Lichard. 1964. « Role of the English sparrow (*Passer domesticus*) in the circulation of tick- borne encephalitis virus ». *J. Hyg. Epidemiol. Micro- biol. Immunol* 8:375-79.
- European Centre for Disease Prevention and Control and European Food Safety Authority. 2023. « Tick maps [internet] ». Stockholm. Available from: <https://ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/tick-maps>.

- Eyer, Ludek, Katherine Seley-Radtke, et Daniel Ruzek. 2023. « New Directions in the Experimental Therapy of Tick-Borne Encephalitis ». *Antiviral Research* 210 (février):105504. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2022.105504>.
- Fafangel, Mario, Alessandro Cassini, Edoardo Colzani, Irena Klavs, Marta Grgič Vitek, Veronika Učakar, Marion Muehlen, Marko Vudrag, et Alenka Kraigher. 2017. « Estimating the Annual Burden of Tick-Borne Encephalitis to Inform Vaccination Policy, Slovenia, 2009 to 2013. » *Euro Surveillance : Bulletin Européen Sur Les Maladies Transmissibles = European Communicable Disease Bulletin* 22 (16): 30509. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2017.22.16.30509>.
- Fares, Mazigh, Marielle Cochet-Bernoin, Gaëlle Gonzalez, Claudia N. Montero-Menei, Odile Blanchet, Alexandra Benchoua, Claire Boissart, et al. 2020. « Pathological Modeling of TBEV Infection Reveals Differential Innate Immune Responses in Human Neurons and Astrocytes That Correlate with Their Susceptibility to Infection ». *Journal of Neuroinflammation* 17 (1): 76. <https://doi.org/10.1186/s12974-020-01756-x>.
- Farkas, R., A. Estrada-Peña, T. G. T. Jaenson, I. Pascucci, et M. Madder. 2013. « Basic biology and geographical distribution of tick species involved in the transmission of animal pathogens, including zoonoses. » *Ticks and tick-borne diseases: geographical distribution and control strategies in the Euro-Asia region*, CABI Books, , janvier, 6-26. <https://doi.org/10.1079/9781845938536.0006>.
- Figoni, J., C. Chirouze, Y. Hansmann, C. Lemogne, V. Hentgen, A. Saunier, K. Bouiller, et al. 2019. « Lyme Borreliosis and Other Tick-Borne Diseases. Guidelines from the French Scientific Societies (I): Prevention, Epidemiology, Diagnosis ». *Médecine et Maladies Infectieuses* 49 (5): 318-34. <https://doi.org/10.1016/j.medmal.2019.04.381>.
- Földvári, Gábor, Krisztina Rigó, et András Lakos. 2013. « Transmission of Rickettsia Slovaca and Rickettsia Raoultii by Male Dermacentor Marginatus and Dermacentor Reticulatus Ticks to Humans ». *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease* 76 (3): 387-89. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2013.03.005>.
- Földvári, Gábor, Pavel Široký, Sándor Szekeres, Gábor Majoros, et Hein Sprong. 2016. « Dermacentor Reticulatus: A Vector on the Rise ». *Parasites & Vectors* 9 (1): 314. <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1599-x>.
- Fournier, L., V. Roussel, E. Couturier, B. Jaulhac, T. Goronflot, Septfons, S. de Martino, et al. 2018. « Épidémiologie de la borréliose de Lyme en médecine générale, France métropolitaine, 2009-2016 ». *Bull Epidémiol Hebd* 19-20:383-88. . 2018;(19-20):383-8. [http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2018/19-20/2018\\_19-20\\_1.html](http://invs.santepubliquefrance.fr/beh/2018/19-20/2018_19-20_1.html).
- Francesse, Rachele, Andrea Civra, Manuela Donalisio, Nicola Volpi, Federica Capitani, Stefano Sottemano, Paola Tonetto, et al. 2020. « Anti-Zika Virus and Anti-Usutu Virus Activity of Human Milk and Its Components ». *PLOS Neglected Tropical Diseases* 14 (10): e0008713. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008713>.
- Francis-Oliviero, Florence, Panayotis Constantinou, Romana Haneef, Adel Al-Jumaily, Yannick Béjot, Louis Jacob, Julien Magne, et al. 2024. « The health state of France before COVID-19 pandemic between 1990 and 2019: an analysis of the Global Burden of Disease study 2019 ». *The Lancet Regional Health - Europe* 39 (avril):100848. <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2024.100848>.
- Fuente, José de la, Agustín Estrada-Peña, Marta Rafael, Consuelo Almazán, Sergio Bermúdez, Abdelbaset E. Abdelbaset, Paul D. Kasaija, et al. 2023. « Perception of Ticks and Tick-Borne Diseases Worldwide ». *Pathogens (Basel, Switzerland)* 12 (10): 1258. <https://doi.org/10.3390/pathogens12101258>.
- Gaffuri, Alessandra, Davide Sasseria, Mattia Calzolari, Lucia Gibelli, Davide Lelli, Alessandra Tebaldi, Nadia Vicari, et al. 2024. « Tick-Borne Encephalitis, Lombardy, Italy ». *Emerging Infectious Diseases* 30 (2): 341-44. <https://doi.org/10.3201/eid3002.231016>.
- Galfsky, Daniel, Nina Król, Martin Pfeffer, et Anna Obiegala. 2019. « Long-Term Trends of Tick-Borne Pathogens in Regard to Small Mammal and Tick Populations from Saxony,



- Germany ». *Parasites & Vectors* 12 (1): 131. <https://doi.org/10.1186/s13071-019-3382-2>.
- Garcia-Vozmediano, Aitor, Giorgia Giglio, Elisa Ramassa, Fabrizio Nobili, Luca Rossi, et Laura Tomassone. 2021. « Low Risk Perception about Ticks and Tick-Borne Diseases in an Area Recently Invaded by Ticks in Northwestern Italy ». *Veterinary Sciences* 8 (7): 131. <https://doi.org/10.3390/vetsci8070131>.
- Gäumann, Rahel, Kathrin Mühlemann, Marc Strasser, et Christian M. Beuret. 2010. « High-Throughput Procedure for Tick Surveys of Tick-Borne Encephalitis Virus and Its Application in a National Surveillance Study in Switzerland ». *Applied and Environmental Microbiology* 76 (13): 4241-49. <https://doi.org/10.1128/AEM.00391-10>.
- Geller, Julia, Lidia Nazarova, Olga Katargina, Agu Leivits, Lilian Järvekülg, et Irina Golovljova. 2013. « Tick-Borne Pathogens in Ticks Feeding on Migratory Passerines in Western Part of Estonia ». *Vector Borne and Zoonotic Diseases (Larchmont, N.Y.)* 13 (7): 443-48. <https://doi.org/10.1089/vbz.2012.1054>.
- Gelpi, Ellen, Matthias Preusser, Ferenc Garzuly, Heidemarie Holzmann, Franz Xaver Heinz, et Herbert Budka. 2005. « Visualization of Central European Tick-Borne Encephalitis Infection in Fatal Human Cases ». *Journal of Neuropathology and Experimental Neurology* 64 (6): 506-12. <https://doi.org/10.1093/jnen/64.6.506>.
- Gelpi, Ellen, Matthias Preusser, Ute Laggner, Ferenc Garzuly, Heidemarie Holzmann, Franz Xaver Heinz, et Herbert Budka. 2006. « Inflammatory Response in Human Tick-Borne Encephalitis: Analysis of Postmortem Brain Tissue ». *Journal of Neurovirology* 12 (4): 322-27. <https://doi.org/10.1080/13550280600848746>.
- Gerlinskaia, L. A., V. N. Bakhvalova, O. V. Morozova, N. A. Tsekhanovskaia, V. A. Matveeva, et M. P. Moshkin. 1997. « [Sexual transmission of tick-borne encephalitis virus in laboratory mice] ». *Biulleten' Eksperimental'noi Biologii i Meditsiny* 123 (3): 327-28.
- Gilbert, L. 2021. « The Impacts of Climate Change on Ticks and Tick-Borne Disease Risk ». *Annual Review of Entomology* 66 (1): 373-88. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-052720-094533>.
- Gilbert, L., G. L. Maffey, S. L. Ramsay, et A. J. Hester. 2012. « The Effect of Deer Management on the Abundance of *Ixodes Ricinus* in Scotland ». *Ecological Applications* 22 (2): 658-67. <https://doi.org/10.1890/11-0458.1>.
- Gilot, B., B. Doche, B. Degeilh, C. Guiguen, et J. Pichot. 1995. « Acarological data for the eco-epidemiologic study of Lyme borreliosis: *Ixodes ricinus* Linne, 1758 populations in South Western France ». *Acarologia* 36 (2): 117-32. <https://www1.montpellier.inrae.fr/CBGP/acarologia/article.php?id=2284>.
- Gir, Philipp, Maja Haut, Sandra Riederer, Martin Pfeffer, et Gerhard Dobler. 2021. « Comparison of Three Serological Methods for the Epidemiological Investigation of TBE in Dogs ». *Microorganisms* 9 (2): 399. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9020399>.
- Gondard, Mathilde, Lorraine Michelet, Athinna Nisavanh, Elodie Devillers, Sabine Delannoy, Patrick Fach, Anna Aspan, et al. 2018. « Prevalence of tick-borne viruses in *Ixodes ricinus* assessed by high-throughput real-time PCR ». *Pathogens and Disease* 76 (8): fty083. <https://doi.org/10.1093/femspd/fty083>.
- Gonzalez, Gaëlle, Laure Bournez, Rayane Amaral Moraes, Dumarest Marine, Clémence Galon, Fabien Vorimore, Maxime Cochin, et al. 2022. « A One-Health Approach to Investigating an Outbreak of Alimentary Tick-Borne Encephalitis in a Non-Endemic Area in France (Ain, Eastern France): A Longitudinal Serological Study in Livestock, Detection in Ticks, and the First Tick-Borne Encephalitis Virus Isolation and Molecular Characterisation ». *Frontiers in Microbiology* 13:863725. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.863725>.

- Goudédranche, Henri, Benedicte Camier, Jean-Yves Gassi, et Pierre Schuck. 2001. « Principes de transformation fromagère (Laits recombines) ». *Techniques de l'Ingénieur* f6305.np. <https://hal.science/hal-01454463>.
- Gould, Ernest A. 1995. « Virus Cryopreservation and Storage ». In *Cryopreservation and Freeze-Drying Protocols*, par John G. Day et Mark R. McLellan, 38:7-20. New Jersey: Humana Press. <https://doi.org/10.1385/0-89603-296-5:7>.
- Grard, Gilda, Grégory Moureau, Rémi N. Charrel, Jean-Jacques Lemasson, Jean-Paul Gonzalez, Pierre Gallian, Tamara S. Gritsun, Edward C. Holmes, Ernest A. Gould, et Xavier de Lamballerie. 2007. « Genetic Characterization of Tick-Borne Flaviviruses: New Insights into Evolution, Pathogenetic Determinants and Taxonomy ». *Virology* 361 (1): 80-92. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2006.09.015>.
- Gray, J. S. 1998. « Review The Ecology of Ticks Transmitting Lyme Borreliosis ». *Experimental & Applied Acarology* 22 (5): 249-58. <https://doi.org/10.1023/A:1006070416135>.
- Gray, J. S., H. Dautel, A. Estrada-Peña, O. Kahl, et E. Lindgren. 2009. « Effects of Climate Change on Ticks and Tick-Borne Diseases in Europe ». *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases* 2009:1-12. <https://doi.org/10.1155/2009/593232>.
- Gray, J.S., J.N. Robertson, et S. Key. 2000. « Limited Role of Rodents as Reservoirs of *Borrelia burgdorferi* Ssensu Lato in Ireland ». *European Journal of Epidemiology* 16 (2): 101-3. <https://doi.org/10.1023/A:1007642908546>.
- Grech-Angelini, Sébastien, Frédéric Stachurski, Renaud Lancelot, Jérôme Boissier, Jean-François Allienne, Sylvain Marco, Oscar Maestrini, et Gerrit Uilenberg. 2016. « Ticks (Acari: Ixodidae) Infesting Cattle and Some Other Domestic and Wild Hosts on the French Mediterranean Island of Corsica ». *Parasites & Vectors* 9 (1): 582. <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1876-8>.
- Grešíková, M, et E. Ernek. 1965. « The role of some bird species in the ecology of tick-borne encephalitis. » In *Theoretical questions of natural foci of diseases*, Publishing House of the Czechoslovak Academy of Sciences, 193-98. Prague, Czech Republic: B. Rosicky, & K. Heyberger (Eds.).
- Gresikova, M., J. Nosek, J. Rehacek, et P. Albrecht. 1962. « The Role of Birds in a Natural Focus of Tick-Borne Encephalitis. II. Experimental Infection of Great Tits (*Parus Major* L.) with Tick-Borne Encephalitis Virus ». *Journal of Hygiene, Epidemiology, Microbiology, and Immunology* 6:339-42.
- Gresikova, M., et M. Sekeyova. 1976. « Epidemic of tick borne encephalitis in Zavada (Slovak) ». *Bratislavske Lekarske Listy* 66 (5): 589-94.
- Gresikova-Kohutova, M. 1959. « [Persistence of the virus of tick-borne encephalitis in milk & milk products] ». *Ceskoslovenska Epidemiologie, Mikrobiologie, Imunologie* 8 (1): 26-32.
- Grillon, Antoine, Erik Sauleau, et Nathalie Boulanger. 2024. « Risk of *Ixodes Ricinus* Bites in a Population of Forestry Workers in an Endemic Region in France ». *Pathogens* 13 (8): 696. <https://doi.org/10.3390/pathogens13080696>.
- Gritsun, T. S., V. A. Lashkevich, et E. A. Gould. 2003. « Tick-Borne Encephalitis ». *Antiviral Research* 57 (1-2): 129-46. [https://doi.org/10.1016/s0166-3542\(02\)00206-1](https://doi.org/10.1016/s0166-3542(02)00206-1).
- Gritsun, T. S., P. A. Nuttall, et Ernest A. Gould. 2003. « Tick-Borne Flaviviruses ». *Advances in Virus Research* 61:317-71. [https://doi.org/10.1016/s0065-3527\(03\)61008-0](https://doi.org/10.1016/s0065-3527(03)61008-0).
- Gupta, Sangeeta, Paula Eggers, Ana Arana, Brianna Kresse, Kristen Rios, Leah Brown, Lydia Sampson, et Mitchell Kploanyi. 2018. « Knowledge and Preventive Behaviors towards Tick-Borne Diseases in Delaware ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 9 (3): 615-22. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2018.01.006>.
- Haidar-Ahmad, A., C. Barthel, P. Boyer, G. Joncour, B. Degeilh, et N. Boulanger. 2025. « Ticks and Tick-Borne Pathogens on Belle-Île-En-Mer: An Exploratory Study in a Western

- French Island Environment ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 16 (1): 102399. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2024.102399>.
- Hambleton, P, J R Stephenson, A Baskerville, et C N Wiblin. 1983. « Pathogenesis and immune response of vaccinated and unvaccinated rhesus monkeys to tick-borne encephalitis virus. » *Infection and Immunity* 40 (3): 995-1003. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC348149/>.
- Hamman, Philippe, et Aude Dziebowski. 2023. « The Tick Issue as a Reflection of Society–Nature Relations: Localized Perspectives, Health Issues and Personal Responsibility—A Multi-Actor Sociological Survey in a Rural Region (The Argonne Region, France) ». *Social Sciences* 12 (11): 591. <https://doi.org/10.3390/socsci12110591>.
- Hannoun, C., J. Chatelain, S. Krams, et J. C. Guillon. 1971. « [Isolation, in Alsace, of the tick encephalitis virus (arbovirus, group B)] ». *Comptes Rendus Hebdomadaires Des Seances De l'Academie Des Sciences. Serie D: Sciences Naturelles* 272 (5): 766-68.
- Hansmann, Yves, Jean Pierre Gut, Veronique Remy, Martin Martinot, Marie Allard Witz, et Daniel Christmann. 2006. « Tick-Borne Encephalitis in Eastern France ». *Scandinavian Journal of Infectious Diseases* 38 (6-7): 520-26. <https://doi.org/10.1080/00365540600585073>.
- Hansson, Karin E., Anja Rosdahl, Mona Insulander, Sirkka Vene, Lars Lindquist, Sara Gredmark-Russ, et Helena H. Askling. 2020. « Tick-Borne Encephalitis Vaccine Failures: A 10-Year Retrospective Study Supporting the Rationale for Adding an Extra Priming Dose in Individuals Starting at Age 50 Years ». *Clinical Infectious Diseases: An Official Publication of the Infectious Diseases Society of America* 70 (2): 245-51. <https://doi.org/10.1093/cid/ciz176>.
- Hartemink, N. A., S. E. Randolph, S. A. Davis, et J. a. P. Heesterbeek. 2008. « The Basic Reproduction Number for Complex Disease Systems: Defining R(0) for Tick-Borne Infections ». *The American Naturalist* 171 (6): 743-54. <https://doi.org/10.1086/587530>.
- Haut, Maja, Philipp Grl, Beate Oswald, Thomas Romig, Anna Obiegala, Gerhard Dobler, et Martin Pfeffer. 2020. « The Red Fox (*Vulpes vulpes*) as Sentinel for Tick-Borne Encephalitis Virus in Endemic and Non-Endemic Areas ». *Microorganisms* 8 (11): 1817. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8111817>.
- Hayasaka, Daisuke, Noriyo Nagata, Yoshiki Fujii, Hideki Hasegawa, Tetsutaro Sata, Ryuji Suzuki, Ernest A. Gould, Ikuo Takashima, et Satoshi Koike. 2009. « Mortality following peripheral infection with Tick-borne encephalitis virus results from a combination of central nervous system pathology, systemic inflammatory and stress responses ». *Virology* 390 (1): 139-50. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2009.04.026>.
- Haymaker, W., G. E. Sather, et W. McD. Hammon. 1955. « Accidental Russian Spring-Summer Viral Encephalitis: Cases Occurring in Two Laboratory Workers, One Fatal, with Postmortem Study ». *A.M.A. Archives of Neurology & Psychiatry* 73 (6): 609-30. <https://doi.org/10.1001/archneurpsyc.1955.02330120013003>.
- HCSP. 2020. « Risques transfusionnels et de contamination des greffons induits par le virus de l'encéphalite à tiques (TBEV) ». *Rapport de l'HCSP*. Paris: Haut Conseil de la Santé Publique. <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=895>.
- HCSP. 2023. « Recommandations sanitaires 2023 pour les voyageurs ». *Rapport de l'HCSP*. Paris: Haut Conseil de la Santé Publique. <https://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=1314>.
- HCSP. 2024. « Recommandations sanitaires 2024 aux voyageurs ». 2024. <https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=1379>.
- Heigl, Z., et G. von Zeipel. 1966. « Experimental Infection with Tick-Borne Encephalitis Virus in *Clethrionomys Glareolus*, *Apodemus Flavicolis*, *Apodemus Sylvaticus* and *Mus Musculus*. 1. Virological Studies ». *Acta Pathologica Et Microbiologica Scandinavica* 66 (4): 489-509. <https://doi.org/10.1111/apm.1966.66.4.489>.

- Heinz, Franz X., et Karin Stiasny. 2019. « Chapter 2b: The Molecular and Antigenic Structure of TBEV ». *Tick-Borne Encephalitis - The Book*. [https://doi.org/10.33442/978-981-14-0914-1\\_2b](https://doi.org/10.33442/978-981-14-0914-1_2b).
- Heinz, Franz X., Karin Stiasny, Heidemarie Holzmann, Marta Grgic-Vitek, Bohumir Kriz, Astrid Essl, et Michael Kundi. 2013. « Vaccination and Tick-Borne Encephalitis, Central Europe ». *Emerging Infectious Diseases Journal - CDC* 19 (1). <https://doi.org/10.3201/eid1901.120458>.
- Heinz, Franz X., Karin Stiasny, Gudrun Püschner-Auer, Heidemarie Holzmann, Steven L. Allison, Christian W. Mandl, et Christian Kunz. 1994. « Structural Changes and Functional Control of the Tick-Borne Encephalitis Virus Glycoprotein E by the Heterodimeric Association with Protein prM ». *Virology* 198 (1): 109-17. <https://doi.org/10.1006/viro.1994.1013>.
- Hennechart-Collette, Catherine, Gaëlle Gonzalez, Lisa Fourniol, Audrey Fraisse, Cécile Beck, Sara Moutailler, Laure Bournez, et al. 2022. « Method for Tick-Borne Encephalitis Virus Detection in Raw Milk Products ». *Food Microbiology* 104 (juin):104003. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.104003>.
- Hennechart-Collette, Catherine, Sandra Martin-Latil, Audrey Fraisse, et Sylvie Perelle. 2017. « Comparison of Three Extraction Methods to Detect Noroviruses in Dairy Products ». *Food Microbiology* 61 (février):113-19. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.09.001>.
- Hennechart-Collette, Catherine, Laure Mathews-Martin, Lisa Fourniol, Audrey Fraisse, Sandra Martin-Latil, Laure Bournez, Gaëlle Gonzalez, et Sylvie Perelle. 2024. « Development of a cell culture-based method for detecting infectious tick-borne encephalitis virus (TBEV) in milk products ». *Food Microbiology* 124 (décembre):104619. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2024.104619>.
- Hernance, Meghan E., Rodrigo I. Santos, Brent C. Kelly, Gustavo Valbuena, et Saravanan Thangamani. 2016. « Immune Cell Targets of Infection at the Tick-Skin Interface during Powassan Virus Transmission ». Édité par Bradley S. Schneider. *PLOS ONE* 11 (5): e0155889. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155889>.
- Hernance, Meghan E., et Saravanan Thangamani. 2014. « Proinflammatory Cytokines and Chemokines at the Skin Interface during Powassan Virus Transmission ». *Journal of Investigative Dermatology* 134 (8): 2280-83. <https://doi.org/10.1038/jid.2014.150>.
- Hernance, Meghan E., et Saravanan Thangamani. 2018. « Tick-Virus-Host Interactions at the Cutaneous Interface: The Nidus of Flavivirus Transmission ». *Viruses* 10 (7): 362. <https://doi.org/10.3390/v10070362>.
- Heuverswyn, Jasper Van, Luisa K. Hallmaier-Wacker, Julien Beauté, Joana Gomes Dias, Joana M. Haussig, Kristina Busch, Jana Kerlik, et al. 2023. « Spatiotemporal Spread of Tick-Borne Encephalitis in the EU/EEA, 2012 to 2020 ». *Eurosurveillance* 28 (11): 2200543. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2023.28.11.2200543>.
- Hirano, Minato, Memi Muto, Mizuki Sakai, Hirofumi Kondo, Shintaro Kobayashi, Hiroaki Kariwa, et Kentaro Yoshii. 2017. « Dendritic Transport of Tick-Borne Flavivirus RNA by Neuronal Granules Affects Development of Neurological Disease ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114 (37): 9960-65. <https://doi.org/10.1073/pnas.1704454114>.
- Hoch, Thierry, Aurélien Madouasse, Maude Jacquot, Phrutsamon Wongnak, Frédéric Beugnet, Laure Bournez, Jean-François Cosson, et al. 2024. « Seasonality of host-seeking *Ixodes ricinus* nymph abundance in relation to climate ». *Peer Community Journal* 4. <https://doi.org/10.24072/pcjournal.355>.
- Hockicková, Ivana, Jakub Sekula, Dana Hudáčková, et Zuzana Paraličová. 2019. « [Tick-borne encephalitis in a pregnant patient] ». *Klinická Mikrobiologie a Infekční Lekarství* 25 (1): 16-19.
- Hofhuis, Agnetha, Jan van de Kassteele, Hein Sprong, Cees C. van den Wijngaard, Margriet G. Harms, Manoj Fonville, Arieke Docters van Leeuwen, Mariana Simões, et Wilfrid



- van Pelt. 2017. « Predicting the Risk of Lyme Borreliosis after a Tick Bite, Using a Structural Equation Model ». *PLOS ONE* 12 (7): e0181807. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181807>.
- Hofmeester, T. R., E. C. Coipan, S. E. van Wieren, H. H. T. Prins, W. Takken, et H. Sprong. 2016. « Few Vertebrate Species Dominate the *Borrelia burgdorferi* s.l. Life Cycle ». *Environmental Research Letters* 11 (4): 043001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/4/043001>.
- Hofmeester, T. R., Hein Sprong, Patrick A. Jansen, Herbert H. T. Prins, et Sipke E. Van Wieren. 2017. « Deer Presence Rather than Abundance Determines the Population Density of the Sheep Tick, *Ixodes ricinus*, in Dutch Forests ». *Parasites & Vectors* 10 (1): 433. <https://doi.org/10.1186/s13071-017-2370-7>.
- Holding, Maya, Stuart D. Dowall, Jolyon M. Medlock, Daniel P. Carter, Steven T. Pullan, James Lewis, Richard Vipond, Mara S. Rocchi, Matthew Baylis, et Roger Hewson. 2020. « Tick-Borne Encephalitis Virus, United Kingdom ». *Emerging Infectious Diseases* 26 (1): 90-96. <https://doi.org/10.3201/eid2601.191085>.
- Holzmann, Heidmarie. 2003. « Diagnosis of Tick-Borne Encephalitis ». *Vaccine* 21 Suppl 1 (avril):S36-40. [https://doi.org/10.1016/s0264-410x\(02\)00819-8](https://doi.org/10.1016/s0264-410x(02)00819-8).
- Holzmann, Heidmarie, Stephan W. Aberle, Karin Stiasny, Philipp Werner, Andreas Mischak, Bernhard Zainer, Markus Netzer, Stefan Koppi, Elmar Bechter, et Franz X. Heinz. 2009. « Tick-borne Encephalitis from Eating Goat Cheese in a Mountain Region of Austria ». *Emerging Infectious Diseases* 15 (10): 1671-73. <https://doi.org/10.3201/eid1510.090743>.
- Hudopisk, Neda, Miša Korva, Evgen Janet, Marjana Simetinger, Marta Grgič-Vitek, Jakob Gubenšek, Vladimir Natek, Alenka Kraigher, Franc Strle, et Tatjana Avšič-Županc. 2013. « Tick-Borne Encephalitis Associated with Consumption of Raw Goat Milk, Slovenia, 2012 ». *Emerging Infectious Diseases* 19 (5). <https://doi.org/10.3201/eid1905.121442>.
- Humair, P. F., O. Rais, et L. Gern. 1999. « Transmission of *Borrelia afzelii* from Apodemus Mice and Clethrionomys Voles to Ixodes Ricinus Ticks: Differential Transmission Pattern and Overwintering Maintenance ». *Parasitology* 118 ( Pt 1) (janvier):33-42. <https://doi.org/10.1017/s0031182098003564>.
- Iijima, Hayato, Yuya Watari, Takuya Furukawa, et Kimiko Okabe. 2022. « Importance of Host Abundance and Microhabitat in Tick Abundance ». Édité par Maria Diuk-Wasser. *Journal of Medical Entomology* 59 (6): 2110-19. <https://doi.org/10.1093/jme/tjac140>.
- Ilic, M., L. Barbic, M. Bogdanic, I. Tabain, V. Savic, M.L. Kosanovic Licina, B. Kaic, et al. 2020. « Tick-Borne Encephalitis Outbreak Following Raw Goat Milk Consumption in a New Micro-Location, Croatia, June 2019 ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 11 (6). <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2020.101513>.
- Imhoff, Maren, Peter Hagedorn, Yesica Schulze, Wiebke Hellenbrand, Martin Pfeffer, et Matthias Niedrig. 2015. « Review: Sentinels of Tick-Borne Encephalitis Risk ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 6 (5): 592-600. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2015.05.001>.
- Ingenhoff, J. E., M. Mühlemann, R. Ackermann-Gäumann, D. Moor, et T. Berger. 2020. « Risk assessment of the alimentary transmission of tick-borne encephalitis viruses from goats to humans by milk and milk products in Swiss alpine regions ». *Arch Lebensmittelhyg* 71:110-14. <https://doi.org/10.2376/0003-925X-71-110>.
- Jääskeläinen, A., E. Tonteri, I. Pieninkeroinen, T. Sironen, L. Voutilainen, M. Kuusi, A. Vaheri, et O. Vapalahti. 2016. « Siberian Subtype Tick-Borne Encephalitis Virus in *Ixodes ricinus* in a Newly Emerged Focus, Finland ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 7 (1): 216-23. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2015.10.013>.
- Janik, Marta, Sylwia Płaczowska, Mieczysław Woźniak, et Iwona Bil-Lula. 2020. « Analysis of Multiple Risk Factors for Seronegative Rate of Anti-Tick-Borne Encephalitis Virus

- Immunization in Human Serum ». *Medicina* 56 (5): 244. <https://doi.org/10.3390/medicina56050244>.
- Jepsen, Martin Tugwell, Pikka Jokelainen, Solveig Jore, Anders Boman, Daniel Slunge, et Karen Angeliki Krogfelt. 2019. « Protective practices against tick bites in Denmark, Norway and Sweden: a questionnaire-based study ». *BMC Public Health* 19 (octobre):1344. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7613-4>.
- Jezyna, C., T. Weglińska, E. Nawrocka, W. Falecka, L. Wielizcko-Gebska, T. Rodkiewicz, Z. Piesiak, et T. Ciesielski. 1976. « Milk-borne outbreak of tick-borne encephalitis in Olsztyn Province ». *Przegląd epidemiologiczny* 30 (4): 479-89.
- Jones, E. H., A. F. Hinckley, S. A. Hook, J. I. Meek, B. Backenson, K. J. Kugeler, et K. A. Feldman. 2018. « Pet Ownership Increases Human Risk of Encountering Ticks ». *Zoonoses and Public Health* 65 (1): 74-79. <https://doi.org/10.1111/zph.12369>.
- Jongejan, F., et G. Uilenberg. 2004. « The Global Importance of Ticks ». *Parasitology* 129 Suppl:S3-14. <https://doi.org/10.1017/s0031182004005967>.
- Jore, Solveig, Sophie O. Vanwambeke, Daniel Slunge, Anders Boman, Karen A. Krogfelt, Martin Tugwell Jepsen, et Line Vold. 2020. « Spatial Tick Bite Exposure and Associated Risk Factors in Scandinavia ». *Infection Ecology & Epidemiology* 10 (1): 1764693. <https://doi.org/10.1080/20008686.2020.1764693>.
- Juceviciene, A, Olli Vapalahti, A Laiskonis, J Čeplikienė, et P Leinikki. 2002. « Prevalence of Tick-Borne-Encephalitis Virus Antibodies in Lithuania ». *Journal of Clinical Virology* 25 (1): 23-27. [https://doi.org/10.1016/S1386-6532\(01\)00215-3](https://doi.org/10.1016/S1386-6532(01)00215-3).
- Jumpertz, Marie, Jacques Sevestre, Léa Luciani, Linda Houhamdi, Pierre-Edouard Fournier, et Philippe Parola. 2023. « Bacterial Agents Detected in 418 Ticks Removed from Humans during 2014-2021, France ». *Emerging Infectious Diseases* 29 (4): 701-10. <https://doi.org/10.3201/eid2904.221572>.
- Kahl, Olaf, et Jeremy S. Gray. 2023. « The biology of Ixodes ricinus with emphasis on its ecology ». *Ticks and Tick-borne Diseases* 14 (2): 102114. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2022.102114>.
- Kahl, Olaf, V. Pogodina, T. Poponnikova, J. Suss, et V. Zlobin. 2018. « TBE Milestones ». In *Tick-borne encephalitis*, 290.
- Kaiser, Harry Hoogstraal, et George E. Watson. 1974. « Ticks (Ixodoidea) on Migrating Birds in Cyprus, Fall 1967 and Spring 1968, and Epidemiological Considerations ». *Bulletin of Entomological Research* 64 (1): 97-110. <https://doi.org/10.1017/S0007485300027024>.
- Kaiser, R. 2012. « Tick-Borne Encephalitis: Clinical Findings and Prognosis in Adults ». *Wiener Medizinische Wochenschrift* (1946) 162 (11-12): 239-43. <https://doi.org/10.1007/s10354-012-0105-0>.
- Kantele, Anu, Lars Rombo, Sirkka Vene, Michael Kundi, Lars Lindquist, et Elina O. Erra. 2022. « Three-dose versus four-dose primary schedules for tick-borne encephalitis (TBE) vaccine FSME-immun for those aged 50 years or older: A single-centre, open-label, randomized controlled trial ». *Vaccine* 40 (9): 1299-1305. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2022.01.022>.
- Karabatsos, N., et J. H. Mathews. 1980. « Serological Reactions of Fractionated Hamster Immunoglobulins with California Group Viruses ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 29 (6): 1420-27. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.1980.29.1420>.
- Karbowiak, Grzegorz. 2014. « The occurrence of the Dermacentor reticulatus tick--its expansion to new areas and possible causes ». *Annals of Parasitology* 60 (1): 37-47.
- Kazarina, Alisa, Kristīne Japiņa, Oskars Keišs, Ineta Salmane, Dace Bandere, Valentina Capligina, et Renāte Ranka. 2015a. « Detection of tick-borne encephalitis virus in I. ricinus ticks collected from autumn migratory birds in Latvia ». *Ticks and Tick-borne Diseases* 6 (2): 178-80. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2014.11.011>.

- Kellman, Eliza M., Danielle K. Offerdahl, Wessam Melik, et Marshall E. Bloom. 2018. « Viral Determinants of Virulence in Tick-Borne Flaviviruses ». *Viruses* 10 (6): 329. <https://doi.org/10.3390/v10060329>.
- Kerlik, Jana, Mária Avdičová, Monika Musilová, Jana Bérešová, et Roman Mezencev. 2022. « Breast Milk as Route of Tick-Borne Encephalitis Virus Transmission from Mother to Infant ». *Emerging Infectious Diseases* 28 (5): 1060-61. <https://doi.org/10.3201/eid2805.212457>.
- Kerlik, Jana, Mária Avdičová, Mária Štefkovičová, Veronika Tarkovská, Martina Pántiková Valachová, Tomáš Molčányi, et Roman Mezencev. 2018. « Slovakia reports highest occurrence of alimentary tick-borne encephalitis in Europe: Analysis of tick-borne encephalitis outbreaks in Slovakia during 2007–2016 ». *Travel Medicine and Infectious Disease* 26 (novembre):37-42. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2018.07.001>.
- Khasnatinov, Maxim A., Andrew Tuplin, Dmitri J. Gritsun, Mirko Slovak, Maria Kazimirova, Martina Lickova, Sabina Havlikova, et al. 2016. « Tick-Borne Encephalitis Virus Structural Proteins Are the Primary Viral Determinants of Non-Viraemic Transmission between Ticks Whereas Non-Structural Proteins Affect Cytotoxicity ». *PLOS ONE* 11 (6): e0158105. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158105>.
- Kianersi, Sina, Maya Luetke, Caryn Gail Wolfe, William Alexander Clark, et OgheneKaro Omodior. 2020. « Associations Between Personal Protective Measures and Self-Reported Tick-Borne Disease Diagnosis in Indiana Residents ». *Journal of Community Health* 45 (4): 739-50. <https://doi.org/10.1007/s10900-020-00789-w>.
- Kiffner, Christian, Torsten Vor, Peter Hagedorn, Matthias Niedrig, et Ferdinand Rühe. 2011. « Factors Affecting Patterns of Tick Parasitism on Forest Rodents in Tick-Borne Encephalitis Risk Areas, Germany. » *Parasitology Research* 108 (2): 323-35. <https://doi.org/10.1007/s00436-010-2065-x>.
- Kiffner, Christian, Walter Zucchini, Philipp Schomaker, Torsten Vor, Peter Hagedorn, Matthias Niedrig, et Ferdinand Rühe. 2010. « Determinants of Tick-Borne Encephalitis in Counties of Southern Germany, 2001-2008 ». *International Journal of Health Geographics* 9 (1): 42. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-9-42>.
- Kilpatrick, Andrew M. Labonte, et Kirby C. Stafford. 2014. « The Relationship Between Deer Density, Tick Abundance, and Human Cases of Lyme Disease in a Residential Community ». *Journal of Medical Entomology* 51 (4): 777-84. <https://doi.org/10.1603/ME13232>.
- Kilpatrick, et Sarah E. Randolph. 2012. « Drivers, Dynamics, and Control of Emerging Vector-Borne Zoonotic Diseases ». *Lancet (London, England)* 380 (9857): 1946-55. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61151-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61151-9).
- Klaus, C., Martin Beer, Regine Saier, Ute Schau, Udo Moog, Bernd Hoffmann, Roland Diller, et Jochen Süß. 2012. « Goats and sheep as sentinels for tick-borne encephalitis (TBE) virus – Epidemiological studies in areas endemic and non-endemic for TBE virus in Germany ». *Ticks and Tick-borne Diseases* 3 (1): 27-37. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2011.09.011>.
- Klaus, C., Martin Beer, Regine Saier, Harald Schubert, Sabine Bischoff, et Jochen Süß. 2011. « Evaluation of Serological Tests for Detecting Tick-Borne Encephalitis Virus (TBEV) Antibodies in Animals ». *Berliner Und Munchener Tierarztliche Wochenschrift* 124 (11-12): 443-49.
- Klaus, C., U. Hörügel, B. Hoffmann, et M. Beer. 2013. « Tick-Borne Encephalitis Virus (TBEV) Infection in Horses: Clinical and Laboratory Findings and Epidemiological Investigations ». *Veterinary Microbiology* 163 (3-4): 368-72. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2012.12.041>.
- Klaus, C., Ute Ziegler, Donata Hoffmann, Franziska Press, Christine Fast, et Martin Beer. 2019. « Tick-Borne Encephalitis Virus (TBEV) Antibodies in Animal Sera – Occurrence in Goat Flocks in Germany, Longevity and Ability to Recall Immunological Information



- after More than Six Years ». *BMC Veterinary Research* 15 (1): 399. <https://doi.org/10.1186/s12917-019-2157-5>.
- Klaus, C., Ute Ziegler, Donata Kalthoff, Bernd Hoffmann, et Martin Beer. 2014. « Tick-Borne Encephalitis Virus (TBEV) – Findings on Cross Reactivity and Longevity of TBEV Antibodies in Animal Sera ». *BMC Veterinary Research* 10 (1): 78. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-10-78>.
- Klaus, Christine, Jörn Gethmann, Bernd Hoffmann, Ute Ziegler, Martin Heller, et Martin Beer. 2016. « Tick Infestation in Birds and Prevalence of Pathogens in Ticks Collected from Different Places in Germany ». *Parasitology Research* 115 (7): 2729-40. <https://doi.org/10.1007/s00436-016-5022-5>.
- Kleeb, C., Lorenzo Golini, Katrin Beckmann, Paul Torgerson, et Frank Steffen. 2021. « Canine Tick-Borne Encephalitis: Clinical Features, Survival Rate and Neurological Sequelae: A Retrospective Study of 54 Cases (1999–2016) ». *Frontiers in Veterinary Science* 8 (novembre):782044. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.782044>.
- Knap, Nataša, Miša Korva, Vesna Dolinšek, Mojca Sekirnik, Tomi Trilar, et Tatjana Avšič-Županc. 2012. « Patterns of Tick-Borne Encephalitis Virus Infection in Rodents in Slovenia ». *Vector Borne and Zoonotic Diseases (Larchmont, N.Y.)* 12 (3): 236-42. <https://doi.org/10.1089/vbz.2011.0728>.
- Knežević, Samira, Irena Slavuljica, Danijela Lakošelj, Ninoslava Vicković, Đurđica Cekinović Grbeša, Lari Gorup, Marina Bubonja Šonje, Dobrica Rončević, Maja Ilić, et Maja Bogdanić. 2020. « Tick-borne encephalitis due to consumption of raw goat milk, Gorski kotar, 2019: clinical case reports ». *Infektološki glasnik* 39 (3): 93-97. <https://doi.org/10.37797/ig.39.3.4>.
- Kohl, M Grešíková, V Kohutová, J Žaludko, et M Sekeyová. 1989. « Studies of a natural focus of tick-borne encephalitis in the Považská Bystrica district. » *Biológia (Bratislava)* 44 (3): 267-73.
- Kohl, O. Kožuch, E. Elečková, M. Labuda, et J. Žaludko. 1996. « Family Outbreak of Alimentary Tick-Borne Encephalitis in Slovakia Associated with a Natural Focus of Infection ». *European Journal of Epidemiology* 12 (4): 373-75. <https://doi.org/10.1007/BF00145300>.
- Kohler, Sarah, et Isabell Koinig. 2020. « Health and Scientific Frames in Online Communication of Tick-Borne Encephalitis: Antecedents of Frame Recognition ». *Media and Communication* 8 (2): 413-24. <https://doi.org/10.17645/mac.v8i2.2859>.
- Koinig, Isabell, et Sarah Kohler. 2021. « On the Relationship Between Skepticism Towards and Reactance to Health Messages: The Special Case of Online Communication on Tick-Borne Encephalitis ». *Frontiers in Communication* 6 (août). <https://doi.org/10.3389/fcomm.2021.737800>.
- Kopsco, Heather L., et Thomas N. Mather. 2022. « Tick-Borne Disease Prevention Behaviors Among Participants in a Tick Surveillance System Compared with a Sample Of Master Gardeners ». *Journal of Community Health* 47 (2): 246-56. <https://doi.org/10.1007/s10900-021-01041-9>.
- Kozuch, O., S. P. Chunikhin, M. Gresíková, J. Nosek, V. B. Kurenkov, et J. Lysý. 1981. « Experimental Characteristics of Viraemia Caused by Two Strains of Tick-Borne Encephalitis Virus in Small Rodents ». *Acta Virologica* 25 (4): 219-24.
- Kozuch, O., M. Lichard, J. Nosek, et J. Chmela. 1967. « Isolation of Tick-Borne Encephalitis Virus from the Blood of *Sorex Araneus* in a Natural Focus ». *Acta Virologica* 11 (6): 563.
- Kozuch, O., et J. Nosek. 1971. « Transmission of Tick-Borne Encephalitis (TBE) Virus by *Dermacentor Marginatus* and *D. Reticulatus* Ticks ». *Acta Virologica* 15 (4): 334.
- Krawczuk, Katarzyna, Piotr Czupryna, Sławomir Pancewicz, Elżbieta Ołdak, et Anna Moniuszko-Malinowska. 2020. « Comparison of Tick-Borne Encephalitis between

- Children and Adults—Analysis of 669 Patients ». *Journal of NeuroVirology* 26 (4): 565-71. <https://doi.org/10.1007/s13365-020-00856-x>.
- Krbková, Lenka, Hana Štroblová, et Jana Bednářová. 2015. « Clinical Course and Sequelae for Tick-Borne Encephalitis among Children in South Moravia (Czech Republic) ». *European Journal of Pediatrics* 174 (4): 449-58. <https://doi.org/10.1007/s00431-014-2401-8>.
- Kreil, T. R., E. Maier, S. Fraiss, et M. M. Eibl. 1998. « Neutralizing Antibodies Protect against Lethal Flavivirus Challenge but Allow for the Development of Active Humoral Immunity to a Nonstructural Virus Protein ». *Journal of Virology* 72 (4): 3076-81. <https://doi.org/10.1128/JVI.72.4.3076-3081.1998>.
- Kreusch, Teresa M., Maya Holding, Roger Hewson, Thomas Harder, Jolyon M. Medlock, Kayleigh M. Hansford, Stuart Dowall, et al. 2019. « A Probable Case of Tick-Borne Encephalitis (TBE) Acquired in England, July 2019 ». *Eurosurveillance* 24 (47): 1900679. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2019.24.47.1900679>.
- Kříž, B., C. Beneš, et M. Daniel. 2009. « Alimentary transmission of tick-borne encephalitis in the Czech Republic (1997-2008) ». *Epidemiologie, Mikrobiologie, Imunologie* 58 (2): 98-103.
- Król, M E, B Borawski, A Nowicka-Cieluszecka, J Tarasiuk, et J Zajkowska. 2019. « Outbreak of alimentary tick-borne encephalitis in Podlaskie voivodeship, Poland ». *Przegląd Epidemiologiczny* 73 (2): 239-48. <https://doi.org/10.32394/pe.73.01>.
- Kunze, Michael, Pavle Banović, Petra Bogovič, Violeta Briciu, Rok Čivljak, Gerhard Dobler, Adriana Hristea, et al. 2022. « Recommendations to Improve Tick-Borne Encephalitis Surveillance and Vaccine Uptake in Europe ». *Microorganisms* 10 (7): 1283. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10071283>.
- Kurtenbach, Klaus, Helge Kampen, Astrid Dizij, Stephan Arndt, Hanns Martin Seitz, Ulrich E. Schaible, et Markus M. Simon. 1995. « Infestation of Rodents with Larval Ixodes Ricinus (Acari; Ixodidae) Is an Important Factor in the Transmission Cycle of Borrelia burgdorferi s.l. in German Woodlands ». *Journal of Medical Entomology* 32 (6): 807-17. <https://doi.org/10.1093/jmedent/32.6.807>.
- Labuda, M., JONATHAN M. Austyn, EVA Zuffova, OTO Kozuch, NORBERT Fuchsberger, JAN Lysy, et PATRICIA A. Nuttall. 1996. « Importance of Localized Skin Infection in Tick-Borne Encephalitis Virus Transmission ». *Virology* 219 (2): 357-66. <https://doi.org/10.1006/viro.1996.0261>.
- Labuda, M., Elena Elečková, Martina Ličková, et Alexander Sabó. 2002. « Tick-Borne Encephalitis Virus Foci in Slovakia ». *International Journal of Medical Microbiology* 291 (juin):43-47. [https://doi.org/10.1016/S1438-4221\(02\)80008-X](https://doi.org/10.1016/S1438-4221(02)80008-X).
- Labuda, M., L. D. Jones, T. Williams, V. Danielova, et P. A. Nuttall. 1993. « Efficient Transmission of Tick-Borne Encephalitis Virus between Cofeeding Ticks ». *Journal of Medical Entomology* 30 (1): 295-99. <https://doi.org/10.1093/jmedent/30.1.295>.
- Labuda, M., O. Kozuch, E. Zuffová, E. Elečková, R. S. Hails, et P. A. Nuttall. 1997. « Tick-Borne Encephalitis Virus Transmission between Ticks Cofeeding on Specific Immune Natural Rodent Hosts ». *Virology* 235 (1): 138-43. <https://doi.org/10.1006/viro.1997.8622>.
- Labuda, M., P. A. Nuttall, O. Kozuch, E. Elečková, T. Williams, E. Zuffová, et A. Sabó. 1993. « Non-Viraemic Transmission of Tick-Borne Encephalitis Virus: A Mechanism for Arbovirus Survival in Nature ». *Experientia* 49 (9): 802-5. <https://doi.org/10.1007/BF01923553>.
- Labuda, M., et Sarah E. Randolph. 1999. « Survival Strategy of Tick-Borne Encephalitis Virus: Cellular Basis and Environmental Determinants ». *Zentralblatt Für Bakteriologie* 289 (5): 513-24. [https://doi.org/10.1016/S0934-8840\(99\)80005-X](https://doi.org/10.1016/S0934-8840(99)80005-X).

- Lebert, Isabelle, Séverine Bord, Christine Saint-Andrieux, Eva Cassar, Patrick Gasqui, Frédéric Beugnet, Karine Chalvet-Monfray, Sophie O. Vanwambeke, Gwenaél Vourc'h, et Magalie René-Martellet. 2022. « Habitat suitability map of Ixodes ricinus tick in France using multi-criteria analysis ». *Geospatial Health* 17 (1). <https://doi.org/10.4081/gh.2022.1058>.
- Lenhard, Thorsten, Daniela Ott, Nurith J. Jakob, Mirko Pham, Philipp Bäumer, Francisco Martinez-Torres, et Uta Meyding-Lamadé. 2016. « Predictors, Neuroimaging Characteristics and Long-Term Outcome of Severe European Tick-Borne Encephalitis: A Prospective Cohort Study ». *PLOS ONE* 11 (4): e0154143. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154143>.
- Letrilliart, L., B. Ragon, T. Hanslik, et A. Flahault. 2005. « Lyme Disease in France: A Primary Care-Based Prospective Study ». *Epidemiology and Infection* 133 (5): 935-42. <https://doi.org/10.1017/S0950268805004413>.
- Levkovich, E. N., et V. V. Pogodina. 1958. « Infection through the alimentary tract with tick-borne encephalitis ». *Voprosy virusologii* 3 (3): 145-50.
- L'Hostis, M., H. Dumon, B. Dorches, F. Boisdron, et A. Gorenflot. 1995. « Seasonal Incidence and Ecology of the Tick Ixodes Ricinus (Acari: Ixodidae) on Grazing Pastures in Western France ». *Experimental & Applied Acarology* 19 (4): 211-20. <https://doi.org/10.1007/BF00130824>.
- Ličková, Martina, Sabína Fumačová Havlíková, Monika Sláviková, et Boris Klempa. 2022. « Alimentary Infections by Tick-Borne Encephalitis Virus ». *Viruses* 14 (1): 56. <https://doi.org/10.3390/v14010056>.
- Ličková, Martina, Sabína Fumačová Havlíková, Monika Sláviková, Mirko Slovák, Jan F. Drexler, et Boris Klempa. 2020. « Dermacentor Reticulatus Is a Vector of Tick-Borne Encephalitis Virus ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 11 (4): 101414. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2020.101414>.
- Liebig, Katrin, Mathias Boelke, Domenic Grund, Sabine Schicht, Andrea Springer, Christina Strube, Lidia Chitimia-Dobler, Gerhard Dobler, Klaus Jung, et Stefanie Becker. 2020. « Tick Populations from Endemic and Non-Endemic Areas in Germany Show Differential Susceptibility to TBEV ». *Scientific Reports* 10 (1): 15478. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71920-z>.
- Lindgren, E. 1998. « Climate and tickborne encephalitis ». *Conservation Ecology [online]*, 1998. <http://www.consecol.org/vol2/iss1/art5/>.
- Lindgren, E., L. Tälleklint, et T. Polfeldt. 2000. « Impact of Climatic Change on the Northern Latitude Limit and Population Density of the Disease-Transmitting European Tick Ixodes Ricinus. » *Environmental Health Perspectives* 108 (2): 119-23. <https://doi.org/10.1289/ehp.00108119>.
- Lindgren, Elisabet. 1998. « Climate and Tickborne Encephalitis ». *Conservation Ecology* 2 (1). <https://doi.org/10.5751/ES-00037-020105>.
- Lindquist, Lars, et Olli Vapalahti. 2008. « Tick-Borne Encephalitis ». *Lancet (London, England)* 371 (9627): 1861-71. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)60800-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)60800-4).
- Lipowski, D., M. Popiel, K. Perlejewski, S. Nakamura, I. Bukowska-Ośko, E. Rządkiwicz, T. Dzieciatkowski, et al. 2017. « A Cluster of Fatal Tick-Borne Encephalitis Virus Infection in Organ Transplant Setting ». *Journal of Infectious Diseases* 215 (6): 896-901. <https://doi.org/10.1093/infdis/jix040>.
- LoGiudice, Kathleen, Shannon T. K. Duerr, Michael J. Newhouse, Kenneth A. Schmidt, Mary E. Killilea, et Richard S. Ostfeld. 2008. « Impact of Host Community Composition on Lyme Disease Risk ». *Ecology* 89 (10): 2841-49. <https://doi.org/10.1890/07-1047.1>.
- Lommano, Elena, Charles Dvořák, Laurent Vallotton, Lukas Jenni, et Lise Gern. 2014. « Tick-borne pathogens in ticks collected from breeding and migratory birds in Switzerland ».

- Ticks and Tick-borne Diseases* 5 (6): 871-82. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2014.07.001>.
- Lyons, Lee Ann, Nohra Mateus-Pinilla, et Rebecca L. Smith. 2022. « Effects of Tick Surveillance Education on Knowledge, Attitudes, and Practices of Local Health Department Employees ». *BMC Public Health* 22 (1): 215. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-12667-2>.
- Machtinger, Erika T., Andrew Y. Li, et Yifen Liu. 2019. « Tick Bite Risk and Tick-Borne Disease Perceptions of School District Administrators in the Mid-Atlantic United States ». *Journal of School Health* 89 (12): 959-68. <https://doi.org/10.1111/josh.12835>.
- Magnavita, Nicola, Ilaria Capitanelli, Olayinka Ilesanmi, et Francesco Chirico. 2022. « Occupational Lyme Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis ». *Diagnostics* 12 (2): 296. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12020296>.
- Mann, Taylor Z., Lisa B. Haddad, Tonya R. Williams, Susan L. Hills, Jennifer S. Read, Deborah L. Dee, Eric J. Dziuban, et al. 2018. « Breast Milk Transmission of Flaviviruses in the Context of Zika Virus: A Systematic Review ». *Paediatric and Perinatal Epidemiology* 32 (4): 358-68. <https://doi.org/10.1111/ppe.12478>.
- Mansfield, K. L., N. Johnson, L. P. Phipps, J. R. Stephenson, A. R. Fooks, et T. Solomon. 2009. « Tick-Borne Encephalitis Virus - a Review of an Emerging Zoonosis ». *The Journal of General Virology* 90 (Pt 8): 1781-94. <https://doi.org/10.1099/vir.0.011437-0>.
- Marano, Cinzia, Melissa Moodley, Elaine Melander, Laurence De Moerlooze, et Hans D Nothdurft. 2019. « Perceptions of Tick-Borne Encephalitis Risk: A Survey of Travellers and Travel Clinics from Canada, Germany, Sweden and the UK ». *Journal of Travel Medicine* 26 (Supplement\_1): S10-16. <https://doi.org/10.1093/jtm/tay063>.
- Margos, Gabriele, Volker Fingerle, et Stuart Reynolds. 2019. « *Borrelia bavariensis*: Vector Switch, Niche Invasion, and Geographical Spread of a Tick-Borne Bacterial Parasite ». *Frontiers in Ecology and Evolution* 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2019.00401>.
- Markovinović, Leo, M. L. Kosanović Ličina, V. Tešić, D. Vojvodić, I. Vladušić Lucić, T. Kniewald, T. Vukas, M. Kutleša, et Lidija Cvetko Krajnović. 2016. « An Outbreak of Tick-Borne Encephalitis Associated with Raw Goat Milk and Cheese Consumption, Croatia, 2015 ». *Infection* 44 (5): 661-65. <https://doi.org/10.1007/s15010-016-0917-8>.
- Marsot, M., P. -Y. Henry, G. Vourc'h, P. Gasqui, E. Ferquel, J. Laignel, M. Grysan, et J. -L. Chapuis. 2012. « Which forest bird species are the main hosts of the tick, *Ixodes ricinus*, the vector of *Borrelia burgdorferi sensu lato*, during the breeding season? ». *International Journal for Parasitology* 42 (8): 781-88. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2012.05.010>.
- Martello, Elisa, Emma L. Gillingham, Revati Phalkey, Constantine Vardavas, Katerina Nikitara, Tamas Bakonyi, Céline M. Gossner, et Jo Leonardi-Bee. 2022. « Systematic Review on the Non-Vectorial Transmission of Tick-Borne Encephalitis Virus (TBEv) ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 13 (6): 102028. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2022.102028>.
- Mathews-Martin, Laure, Gaëlle Gonzalez, Nolwenn M. Dheilly, Rayane Amaral-Moraes, Marine Dumarest, Teheipua Helle, Camille Migne, et al. 2024. « Exposure of Cattle to Tick-Borne Encephalitis Virus in the Historical Endemic Zone in North-Eastern France ». *BMC Veterinary Research* 20 (1): 228. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04079-8>.
- Mathews-Martin, Laure, Camille V. Migné, Teheipua Helle, Lisa Fourniol, Raphaëlle Metras, Laure Bournez, Marine Dumarest, et al. soumis. « Persistence of tick-borne encephalitis virus in goat and cow milks under different storage conditions and following thermal inactivations ». *Food and Environmental Virology*, soumis.
- Matjila, Tshepo P., Ard M. Nijhof, Amar Taoufik, Dirk Houwers, Erik Teske, Banie L. Penzhorn, Tamar De Lange, et Frans Jongejan. 2005. « Autochthonous Canine Babesiosis in



- The Netherlands ». *Veterinary Parasitology* 131 (1-2): 23-29. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2005.04.020>.
- Matser, Amy, Nienke Hartemink, Hans Heesterbeek, Alison Galvani, et Stephen Davis. 2009. « Elasticity Analysis in Epidemiology: An Application to Tick-borne Infections ». *Ecology Letters* 12 (12): 1298-1305. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01378.x>.
- Matuszczyk, I., H. Tarnowska, J. Zabicka, et W. Gut. 1997. « The outbreak of an epidemic of tick-borne encephalitis in Kielec province induced by milk ingestion ». *Przegląd epidemiologiczny* 51 (4): 381-88.
- Miao, Yuanjiu, Yue Zheng, Ting Wang, Wenfu Yi, Nailou Zhang, Wanpo Zhang, et Zhenhua Zheng. 2024. « Breast Milk Transmission and Involvement of Mammary Glands in Tick-Borne Flavivirus Infected Mice ». Édité par Mark T. Heise. *Journal of Virology* 98 (3): e01709-23. <https://doi.org/10.1128/jvi.01709-23>.
- Michel, Friederike, Ute Ziegler, Christine Fast, Martin Eiden, Christine Klaus, Gerhard Dobler, Karin Stiasny, et Martin H. Groschup. 2021. « Role of Ducks in the Transmission Cycle of Tick-Borne Encephalitis Virus? ». *Transboundary and Emerging Diseases* 68 (2): 499-508. <https://doi.org/10.1111/tbed.13704>.
- Michelet, Lorraine, Sabine Delannoy, Elodie Devillers, Gérald Umhang, Anna Aspan, Mikael Juremalm, Jan Chirico, et al. 2014. « High-Throughput Screening of Tick-Borne Pathogens in Europe ». *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 4:103. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2014.00103>.
- Michelitsch, Anna, Christine Fast, Franziska Sick, Birke Andrea Tews, Karin Stiasny, Malena Bestehorn-Willmann, Gerhard Dobler, Martin Beer, et Kerstin Wernike. 2021. « Long-term presence of tick-borne encephalitis virus in experimentally infected bank voles (*Myodes glareolus*) ». *Ticks and Tick-borne Diseases* 12 (4): 101693. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2021.101693>.
- Michelitsch, Anna, Kerstin Wernike, Christine Klaus, Gerhard Dobler, et Martin Beer. 2019. « Exploring the Reservoir Hosts of Tick-Borne Encephalitis Virus ». *Viruses* 11 (7): 669. <https://doi.org/10.3390/v11070669>.
- Mickienė, Auksė, Jolita Pakalnienė, Johan Nordgren, Beatrice Carlsson, Marie Hagbom, Lennart Svensson, et Lars Lindquist. 2014. « Polymorphisms in Chemokine Receptor 5 and Toll-like Receptor 3 Genes Are Risk Factors for Clinical Tick-Borne Encephalitis in the Lithuanian Population ». *PloS One* 9 (9): e106798. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0106798>.
- Mierzejewska, Ewa J., Agnieszka Pawełczyk, Marek Radkowski, Renata Welc-Falęciak, et Anna Bajer. 2015. « Pathogens Vectored by the Tick, *Dermacentor Reticulatus*, in Endemic Regions and Zones of Expansion in Poland ». *Parasites & Vectors* 8 (septembre):490. <https://doi.org/10.1186/s13071-015-1099-4>.
- Mietton, Bernard, et I Chablain. 2018. « Pratiques et techniques fromagères des différentes familles de fromages ». In *Le Fromage*. Paris: Lavoisier.
- Movila, A., A.N. Alekseev, H.V. Dubinina, et I. Todaras. 2013a. « Detection of Tick-Borne Pathogens in Ticks from Migratory Birds in the Baltic Region of Russia ». *Medical and Veterinary Entomology* 27 (1): 113-17. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.2012.01037.x>.
- Movila, A., A.N. Alekseev, H.V. Dubinina, et I. Todaras. 2013b. « Detection of Tick-Borne Pathogens in Ticks from Migratory Birds in the Baltic Region of Russia ». *Medical and Veterinary Entomology* 27 (1): 113-17. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2915.2012.01037.x>.
- Mowbray, Fiona, Richard Amlôt, et G. James Rubin. 2014. « Predictors of Protective Behaviour against Ticks in the UK: A Mixed Methods Study ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 5 (4): 392-400. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2014.01.006>.

- Müller, Irene, Nadine Althof, Bernd Hoffmann, Christine Klaus, Katja Schilling-Loeffler, Alexander Falkenhagen, et Reimar Johné. 2023. « Comparison of Extraction Methods for the Detection of Tick-Borne Encephalitis Virus RNA in Goat Raw Milk and Cream Cheese ». *Food and Environmental Virology* 15 (1): 32-42. <https://doi.org/10.1007/s12560-022-09535-y>.
- Mylonaki, Eirini, Michael Seiberl, Neil Jones, Heike Bernhard, Ferdinand Otto, Georg Pilz, Eugen Trinka, et Peter Wipfler. 2022. « Tick-Borne Encephalitis Virus RNA Found in Frozen Goat's Milk in a Family Outbreak ». *International Journal of Molecular Sciences* 23 (19): 11632. <https://doi.org/10.3390/ijms231911632>.
- Nagańska, A, E Garbacz-Łagoźna, J Kowalski, G Cholewińska-Szymańska, A Chylak-Nowosielska, M Antosiewicz, et R Szymański. 2023. « The tick-borne encephalitis caused by alimentary transmission – case series report ». *Przegląd Epidemiologiczny* 77 (1): 41-52. <https://doi.org/10.32394/pe.77.04>.
- Nagata, Noriyo, Naoko Iwata-Yoshikawa, Daisuke Hayasaka, Yuko Sato, Asato Kojima, Hiroaki Kariwa, Ikuo Takashima, et al. 2015. « The Pathogenesis of 3 Neurotropic Flaviviruses in a Mouse Model Depends on the Route of Neuroinvasion After Viremia ». *Journal of Neuropathology & Experimental Neurology* 74 (3): 250-60. <https://doi.org/10.1097/NEN.000000000000166>.
- Nah, Kyeongah, Ákos Bede-Fazekas, Attila János Trájer, et Jianhong Wu. 2020. « The Potential Impact of Climate Change on the Transmission Risk of Tick-Borne Encephalitis in Hungary ». *BMC Infectious Diseases* 20 (1): 34. <https://doi.org/10.1186/s12879-019-4734-4>.
- Nah, Kyeongah, Felicia Maria G. Magpantay, Ákos Bede-Fazekas, Gergely Röst, Attila János Trájer, Xiaotian Wu, Xue Zhang, et Jianhong Wu. 2019. « Assessing Systemic and Non-Systemic Transmission Risk of Tick-Borne Encephalitis Virus in Hungary ». Édité par Sam R. Telford. *PLOS ONE* 14 (6): e0217206. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217206>.
- Napoleone, Martine, Frantz Jenot, Bernard Leboeuf, Jean-Claude Le Jaouen, Urbain RURALITES–Rural, Martine Napoléone, Frantz Jénót, Bernard Leboeuf, et Jean Claude Le Jaouen. 2022. « Histoire des régions caprines Françaises: entre internalisation et relocalisation, modernité et tradition ».
- Narita, Taichi, Hansani Madushika Abeywickrama, Marcello Otake Sato, Kozo Watanabe, Reiko Arai, Tsutomu Tamura, et Megumi Sato. 2022. « Knowledge, Attitudes, and Practices Regarding Tick-Borne Diseases among an at-Risk Population Living in Niigata Prefecture, Japan ». *PLOS ONE* 17 (6): e0270411. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270411>.
- Nawrocki, Courtney C., Nicholas Piedmonte, Sara A. Niesobecki, Adam Rowe, AmberJean P. Hansen, Alison Kaufman, Erik Foster, et al. 2023. « Acceptability of 4-poster deer treatment devices for community-wide tick control among residents of high Lyme disease incidence counties in Connecticut and New York, USA ». *Ticks and Tick-borne Diseases* 14 (6): 102231. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2023.102231>.
- Nilsson, Anders, et Lars Lundqvist. 1978. « Host Selection and Movements of Ixodes Ricinus (Acari) Larvae on Small Mammals ». *Oikos* 31 (3): 313. <https://doi.org/10.2307/3543656>.
- Noden, Bruce H., Krista D. Garner, David Lalman, et Justin L. Talley. 2020. « Knowledge, Attitudes, and Practices Regarding Ticks, Tick-Borne Pathogens, and Tick Prevention among Beef Producers in Oklahoma ». *Southwestern Entomologist* 45 (2): 341. <https://doi.org/10.3958/059.045.0202>.
- Noll, Madeleine, Richard Wall, Benjamin L. Makepeace, Hannah Newbury, Lukasz Adaszek, René Bødker, Agustín Estrada-Peña, et al. 2023. « Predicting the Distribution of Ixodes Ricinus and Dermacentor Reticulatus in Europe: A Comparison of Climate Niche

- Modelling Approaches ». *Parasites & Vectors* 16 (1): 384. <https://doi.org/10.1186/s13071-023-05959-y>.
- Nosek, J., M. Gresikova, J. Rehacek, O. Kozuch, et P. Albrecht. 1962. « The Role of Birds in a Natural Focus of Tick-Borne Encephalitis. IV. Experimental Infection of Pheasants (*Phasianus Colchicus*) with Tick-Borne Encephalitis Virus ». *Journal of Hygiene, Epidemiology, Microbiology, and Immunology* 6:478-82.
- Nosek, J., O. Kozuch, E. Ernek, et M. Lichard. 1967. « The Importance of Goats in the Maintenance Tick-Borne Encephalitis Virus in Nature ». *Acta Virologica* 11 (5): 470-72.
- Nuttall, P. A. 2019. « Wonders of Tick Saliva ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 10 (2): 470-81. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2018.11.005>.
- Nuttall, P. A., Linda D. Jones, Milan Labuda, et W. Reuben Kaufman. 1994. « Adaptations of Arboviruses to Ticks ». *Journal of Medical Entomology* 31 (1): 1-9. <https://doi.org/10.1093/jmedent/31.1.1>.
- Nuttall, P. A., et M Labuda. 2003. « Dynamics of Infection in Tick Vectors and at the Tick–Host Interface ». In *Advances in Virus Research*, 60:233-72. Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0065-3527\(03\)60007-2](https://doi.org/10.1016/S0065-3527(03)60007-2).
- Nuttall, P. A., et M. Labuda. 2004. « Tick–Host Interactions: Saliva-Activated Transmission ». *Parasitology* 129 (S1): S177-89. <https://doi.org/10.1017/S0031182004005633>.
- Nuzzi, Giulia, Maria Di Cicco, Irene Trambusti, Massimo Agosti, Diego G. Peroni, et Pasquale Comberiati. 2022. « Primary Prevention of Pediatric Asthma through Nutritional Interventions ». *Nutrients* 14 (4): 754. <https://doi.org/10.3390/nu14040754>.
- Nygren, Teresa, Antonia Pilic, Merle Böhmer, Christiane Wagner-Wiening, Ole Wichmann, Thomas Harder, et Wiebke Hellenbrand. 2022. « Tick-Borne Encephalitis Risk Increases with Dog Ownership, Frequent Walks, and Gardening: A Case-Control Study in Germany 2018–2020 ». *Microorganisms* 10 (4): 690. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10040690>.
- Offerdahl, Danielle K., Niall G. Clancy, et Marshall E. Bloom. 2016. « Stability of a Tick-Borne Flavivirus in Milk ». *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 4 (mai). <https://doi.org/10.3389/fbioe.2016.00040>.
- Olechnowicz, Casey, Jessica Leahy, Allison Gardner, et Carly C. Sponarski. 2023. « Perceived Vulnerability for Lyme Disease Questionnaire: A Social Science Tool for Understanding Tick-Borne Disease Attitudes ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 14 (2): 102120. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2023.102120>.
- Omazic, Anna, Amélie Wallenhammar, Elina Lahti, Naveed Asghar, Alexander Hanberger, Marika Hjertqvist, Magnus Johansson, et Ann Albiñ. 2023. « Dairy Milk from Cow and Goat as a Sentinel for Tick-Borne Encephalitis Virus Surveillance ». *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases* 95 (avril):101958. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2023.101958>.
- Ostfeld, Richard S., et Felicia Keesing. 2000. « Biodiversity and Disease Risk: The Case of Lyme Disease ». *Conservation Biology* 14 (3): 722-28.
- Ott, Daniela, Kristina Ulrich, Philip Ginsbach, Rainer Öhme, Oswinde Bock-Hensley, Ulrich Falk, Martina Teinert, et Thorsten Lenhard. 2020. « Tick-Borne Encephalitis Virus (TBEV) Prevalence in Field-Collected Ticks (*Ixodes Ricinus*) and Phylogenetic, Structural and Virulence Analysis in a TBE High-Risk Endemic Area in Southwestern Germany ». *Parasites & Vectors* 13 (1): 303. <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04146-7>.
- Överby, Anna K., Vsevolod L. Popov, Matthias Niedrig, et Friedemann Weber. 2010. « Tick-Borne Encephalitis Virus Delays Interferon Induction and Hides Its Double-Stranded RNA in Intracellular Membrane Vesicles ». *Journal of Virology* 84 (17): 8470-83. <https://doi.org/10.1128/JVI.00176-10>.



- Palus, Martin, Marie Vancova, Jana Sirmarova, Jana Elsterova, Jan Perner, et Daniel Ruzek. 2017. « Tick-Borne Encephalitis Virus Infects Human Brain Microvascular Endothelial Cells without Compromising Blood-Brain Barrier Integrity ». *Virology* 507 (juillet):110-22. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2017.04.012>.
- Pascoe, Emily L., Ankje De Vries, Helen J. Esser, Constantianus J. M. Koenraadt, et Hein Sprong. 2023. « Detection of Tick-Borne Encephalitis Virus in Ear Tissue and Dried Blood Spots from Naturally Infected Wild Rodents ». *Parasites & Vectors* 16 (1): 103. <https://doi.org/10.1186/s13071-023-05717-0>.
- Paulauskas, Algimantas, Matas Galdikas, Eglė Galdikaitė-Brazienė, Michal Stanko, Olaf Kahl, Grzegorz Karbowiak, et Jana Radzijeuskaja. 2018. « Microsatellite-Based Genetic Diversity of Dermacentor Reticulatus in Europe ». *Infection, Genetics and Evolution* 66 (décembre):200-209. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2018.09.029>.
- Paulsen, Katrine M., Snorre Stuen, Carlos G. Das Neves, Faisal Suhel, Deepa Gurung, Arnulf Soleng, Karin Stiasny, Rose Vikse, Åshild K. Andreassen, et Erik G. Granquist. 2019. « Tick-borne Encephalitis Virus in Cows and Unpasteurized Cow Milk from Norway ». *Zoonoses and Public Health* 66 (2): 216-22. <https://doi.org/10.1111/zph.12554>.
- Pautienius, Arnoldas, Gytis Dudas, Evelina Simkute, Juozas Grigas, Indre Zakiene, Algimantas Paulauskas, Austėja Armonaitė, Dainius Zienius, Evaldas Slyzius, et Arunas Stankevicius. 2021a. « Bulk Milk Tank Samples Are Suitable to Assess Circulation of Tick-Borne Encephalitis Virus in High Endemic Areas ». *Viruses* 13 (9): 1772. <https://doi.org/10.3390/v13091772>.
- Pautienius, Arnoldas, Gytis Dudas, Evelina Simkute, Juozas Grigas, Indre Zakiene, Algimantas Paulauskas, Austėja Armonaitė, Dainius Zienius, Evaldas Slyzius, et Arunas Stankevicius. 2021b. « Bulk Milk Tank Samples Are Suitable to Assess Circulation of Tick-Borne Encephalitis Virus in High Endemic Areas ». *Viruses* 13 (9): 1772. <https://doi.org/10.3390/v13091772>.
- Pazdiora, Petr, Jindřiška Benešová, Zdenka Böhmová, Jitka Králíková, Anna Kubátová, Irena Menclová, Ivana Morávková, et al. 2008. « The Prevalence of Tick-Borne Encephalitis in the Region of West Bohemia (Czech Republic) between 1960–2005 ». *Wiener Medizinische Wochenschrift* 158 (3-4): 91-97. <https://doi.org/10.1007/s10354-007-0498-3>.
- Pazdiora, Petr, Věra Štruncová, et Miroslava Švecová. 2012. « Tick-Borne Encephalitis in Children and Adolescents in the Czech Republic between 1960 and 2007 ». *World Journal of Pediatrics* 8 (4): 363-66. <https://doi.org/10.1007/s12519-012-0383-z>.
- Paziewska, Anna, Lucyna Zwolińska, Philip D. Harris, Anna Bajer, et Edward Siński. 2010. « Utilisation of Rodent Species by Larvae and Nymphs of Hard Ticks (Ixodidae) in Two Habitats in NE Poland ». *Experimental & Applied Acarology* 50 (1): 79-91. <https://doi.org/10.1007/s10493-009-9269-8>.
- Pedrosa, Pedro B.S., et Telma A.O. Cardoso. 2011. « Viral Infections in Workers in Hospital and Research Laboratory Settings: A Comparative Review of Infection Modes and Respective Biosafety Aspects ». *International Journal of Infectious Diseases* 15 (6): e366-76. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2011.03.005>.
- Peňazziová, Katarína, Ľuboš Korytár, Ivana Cingel'ová Maruščáková, Petra Schusterová, Alexander Loziak, Soňa Pivka, Anna Ondrejková, Juraj Pistl, et Tomáš Csank. 2022. « Serologic Investigation on Tick-Borne Encephalitis Virus, Kemerovo Virus and Tribeč Virus Infections in Wild Birds ». *Microorganisms* 10 (12): 2397. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10122397>.
- Pérez, David, Yvan Kneubühler, Olivier Rais, et Lise Gern. 2012. « Seasonality of Ixodes Ricinus Ticks on Vegetation and on Rodents and Borrelia Burgdorferi Ssensu Lato Genospecies Diversity in Two Lyme Borreliosis–Endemic Areas in Switzerland ». *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 12 (8): 633-44. <https://doi.org/10.1089/vbz.2011.0763>.

- Perez, Grégoire, Suzanne Bastian, Amélie Chastagner, Albert Agoulon, Olivier Plantard, Gwenaél Vourc'h, et Alain Butet. 2017. « Ecological Factors Influencing Small Mammal Infection by *Anaplasma Phagocytophilum* and *Borrelia Burgdorferi* s.l. in Agricultural and Forest Landscapes ». *Environmental Microbiology* 19 (10): 4205-19. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13885>.
- Perez, Grégoire, Laure Bournez, Nathalie Boulanger, Johanna Fite, Barbara Livoreil, Karen D. McCoy, Elsa Quillery, Magalie René-Martellet, et Sarah I. Bonnet. 2023. « The Distribution, Phenology, Host Range and Pathogen Prevalence of *Ixodes Ricinus* in France: A Systematic Map and Narrative Review ». *Peer Community Journal* 3 (septembre):e81. <https://doi.org/10.24072/pcjournal.291>.
- Perez-Eid, C. 1990. « Seasonal Dynamics of Nymphal and Adult *Ixodes Ricinus* in the Free-Living Phase on Vegetation in the Alsatian Focus of Tickborne Encephalitis ». *Acarologia* 30 (4): 355-60. <https://www1.montpellier.inrae.r/CBGP/acarologia/article.php?id=2500>.
- Perez-Eid, C., C. Hannoun, et F. Rodhain. 1992. « The Alsatian Tick-Borne Encephalitis Focus: Presence of the Virus among Ticks and Small Mammals ». *European Journal of Epidemiology* 8 (2). <https://doi.org/10.1007/BF00144797>.
- Perkins, Sarah E., Isabella M. Cattadori, Valentina Tagliapietra, Annapaola P. Rizzoli, et Peter J. Hudson. 2003. « Empirical Evidence for Key Hosts in Persistence of a Tick-Borne Disease ». *International Journal for Parasitology* 33 (9): 909-17. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(03\)00128-0](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(03)00128-0).
- Perret, Jean-Luc, Olivier Rais, et Lise Gern. 2004. « Influence of Climate on the Proportion of *Ixodes Ricinus* Nymphs and Adults Questing in a Tick Population ». *Journal of Medical Entomology* 41 (3): 361-65. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-41.3.361>.
- Pfäffle, Miriam, Nina Littwin, et Trevor Petney. 2015. « Host Preferences of Immature *Dermacentor Reticulatus* (Acari: Ixodidae) in a Forest Habitat in Germany ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 6 (4): 508-15. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2015.04.003>.
- Pfeffer, Martin, et Gerhard Dobler. 2010. « Emergence of Zoonotic Arboviruses by Animal Trade and Migration ». *Parasites & Vectors* 3 (1): 35. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-3-35>.
- Piacentino, J D, et B S Schwartz. 2002. « Occupational Risk of Lyme Disease: An Epidemiological Review ». *Occupational and Environmental Medicine* 59 (2): 75-84. <https://doi.org/10.1136/oem.59.2.75>.
- Pintér, Réka, Mónika Madai, Győző Horváth, Viktória Németh, Miklós Oldal, Gábor Kemenesi, Bianka Dallos, Krisztián Bányai, et Ferenc Jakab. 2014. « Molecular Detection and Phylogenetic Analysis of Tick-Borne Encephalitis Virus in Rodents Captured in the Transdanubian Region of Hungary ». *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 14 (8): 621-24. <https://doi.org/10.1089/vbz.2013.1479>.
- Pogodina, V. V. 1958. « [Resistance of tick-borne encephalitis virus to gastric juice] ». *Voprosy Virusologii* 3 (5): 271-75.
- Poponnikova, Tatyana V. 2006. « Specific Clinical and Epidemiological Features of Tick-Borne Encephalitis in Western Siberia ». *International Journal of Medical Microbiology* 296 (mai):59-62. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2006.01.023>.
- Porcelli, Stefania, Aurélie Heckmann, Anne-Claire Lagrée, Clémence Galon, Sara Moutailler, et Pierre Deshuillers. 2023. « Exploring the Susceptibility of C3H Mice to Tick-Borne Encephalitis Virus Infection: Implications for Co-Infection Models and Understanding of the Disease ». *Viruses* 15 (11): 2270. <https://doi.org/10.3390/v15112270>.
- Porretta, Daniele, Valentina Mastrantonio, Sara Amendolia, Stefano Gaiarsa, Sara Epis, Claudio Genchi, Claudio Bandi, Domenico Otranto, et Sandra Urbanelli. 2013. « Effects of Global Changes on the Climatic Niche of the Tick *Ixodes Ricinus* Inferred by Species Distribution Modelling ». *Parasites & Vectors* 6 (1): 271. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-6-271>.

- Pozzetto, Bruno, Gilda Grard, Guillaume Durand, Marie-Claire Paty, Pierre Gallian, Sophie Lucas-Samuel, Stéphanie Diéterlé, et al. 2023. « Arboviral Risk Associated with Solid Organ and Hematopoietic Stem Cell Grafts: The Prophylactic Answers Proposed by the French High Council of Public Health in a National Context ». *Viruses* 15 (9): 1783. <https://doi.org/10.3390/v15091783>.
- Puchhammer-Stöckl, Elisabeth, Christian Kunz, Christian W. Mandl, et Franz X. Heinz. 1995. « Identification of Tick-Borne Encephalitis Virus Ribonucleic Acid in Tick Suspensions and in Clinical Specimens by a Reverse Transcription-Nested Polymerase Chain Reaction Assay ». *Clinical and Diagnostic Virology* 4 (4): 321-26. [https://doi.org/10.1016/0928-0197\(95\)00022-4](https://doi.org/10.1016/0928-0197(95)00022-4).
- Pukhovskaya, Natalia M., Olga V. Morozova, Nelya P. Vysochina, Nadejda B. Belozerovala, Svetlana V. Bakhmetyeva, Nina I. Zdanovskaya, Stephen J. Seligman, et Leonid I. Ivanov. 2018. « Tick-Borne Encephalitis Virus in Arthropod Vectors in the Far East of Russia ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 9 (4): 824-33. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2018.01.020>.
- Pustijanac, Emina, Moira Buršić, Jasminka Talapko, Ivana Škrlec, Tomislav Meštrović, et Dubravka Lišnjić. 2023. « Tick-Borne Encephalitis Virus: A Comprehensive Review of Transmission, Pathogenesis, Epidemiology, Clinical Manifestations, Diagnosis, and Prevention ». *Microorganisms* 11 (7): 1634. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11071634>.
- Puy, Arnald, Samuele Lo Piano, Andrea Saltelli, et Simon A. Levin. 2022. « Sensobol: An R Package to Compute Variance-Based Sensitivity Indices ». *Journal of Statistical Software* 102 (avril):1-37. <https://doi.org/10.18637/jss.v102.i05>.
- Rácz, Gábor R., Enikő Bán, Emőke Ferenczi, et György Berencsi. 2006. « A Simple Spatial Model to Explain the Distribution of Human Tick-Borne Encephalitis Cases in Hungary ». *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 6 (4): 369-78. <https://doi.org/10.1089/vbz.2006.6.369>.
- Radzišauskienė, D., Jurgita Urbonienė, Gintaras Kaubrys, Saulius Andruškevičius, Dalius Jatužis, Elžbieta Matulytė, et Karolina Žvirblytė-Skrebutienė. 2020. « The Epidemiology, Clinical Presentation, and Predictors of Severe Tick-Borne Encephalitis in Lithuania, a Highly Endemic Country: A Retrospective Study of 1040 Patients ». Édité par Miguel A. Barboza. *PLOS ONE* 15 (11): e0241587. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241587>.
- Radzišauskienė, D., K. Žagminas, L. Ašoklienė, A. Jasionis, R. Mameniškienė, A. Ambrozaitis, L. Jančorienė, D. Jatužis, I. Petraitytė, et E. Mockienė. 2018. « Epidemiological Patterns of Tick-borne Encephalitis in Lithuania and Clinical Features in Adults in the Light of the High Incidence in Recent Years: A Retrospective Study ». *European Journal of Neurology* 25 (2): 268-74. <https://doi.org/10.1111/ene.13486>.
- Randolph, S. E. 1998. « Ticks Are Not Insects: Consequences of Contrasting Vector Biology for Transmission Potential ». *Parasitology Today* 14 (5): 186-92. [https://doi.org/10.1016/S0169-4758\(98\)01224-1](https://doi.org/10.1016/S0169-4758(98)01224-1).
- Randolph, S. E. 2001. « The Shifting Landscape of Tick-Borne Zoonoses: Tick-Borne Encephalitis and Lyme Borreliosis in Europe ». Édité par M. E. J. Woolhouse et C. Dye. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 356 (1411): 1045-56. <https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0893>.
- Randolph, S. E. 2008. « Dynamics of Tick-Borne Disease Systems: Minor Role of Recent Climate Change. » *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)* 27 (2): 367-81.
- Randolph, S. E. 2010. « Human Activities Predominate in Determining Changing Incidence of Tick-Borne Encephalitis in Europe. » *Euro Surveillances : Bulletin Européen Sur Les Maladies Transmissibles = European Communicable Disease Bulletin* 15 (27): 24-31. <https://doi.org/10.2807/ese.15.27.19606-en>.

- Randolph, S. E. 2011. « Transmission of Tick-Borne Pathogens between Co-Feeding Ticks: Milan Labuda's Enduring Paradigm ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 2 (4): 179-82. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2011.07.004>.
- Randolph, S. E., R. M. Green, M. F. Peacey, et D. J. Rogers. 2000. « Seasonal Synchrony: The Key to Tick-Borne Encephalitis Foci Identified by Satellite Data ». *Parasitology* 121 (1): 15-23. <https://doi.org/10.1017/S0031182099006083>.
- Randolph, S. E., D. Miklisová, J. Lysy, D. J. Rogers, et M. Labuda. 1999. « Incidence from Coincidence: Patterns of Tick Infestations on Rodents Facilitate Transmission of Tick-Borne Encephalitis Virus ». *Parasitology* 118 (2): 177-86. <https://doi.org/10.1017/S0031182098003643>.
- Randolph, S. E., et David J. Rogers. 2000. « Fragile Transmission Cycles of Tick-Borne Encephalitis Virus May Be Disrupted by Predicted Climate Change ». *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 267 (1454): 1741-44. <https://doi.org/10.1098/rspb.2000.1204>.
- Randolph, S. E., et Katie Storey. 1999. « Impact of Microclimate on Immature Tick-Rodent Host Interactions (Acari: Ixodidae): Implications for Parasite Transmission ». *Journal of Medical Entomology* 36 (6): 741-48. <https://doi.org/10.1093/jmedent/36.6.741>.
- Rehacek, J., M. Gresikova, J. Nosek, et P. Albrecht. 1963. « Experimental Infection of the Buzzard (*Buteo Buteo* L.) and the Kestrel (*Falco Tinnunculus* L.) with Tick-Borne Encephalitis Virus ». *Journal of Hygiene, Epidemiology, Microbiology, and Immunology* 7:145-50.
- Riccardi, Niccolò, Roberta Maria Antonello, Roberto Luzzati, Joanna Zajkowska, Stefano Di Bella, et Daniele Roberto Giacobbe. 2019. « Tick-Borne Encephalitis in Europe: A Brief Update on Epidemiology, Diagnosis, Prevention, and Treatment. » *European Journal of Internal Medicine* 62 (avril):1-6. <https://doi.org/10.1016/j.ejim.2019.01.004>.
- Riccò, Matteo, Nicola Luigi Bragazzi, Luigi Vezzosi, Federica Balzarini, Maria Eugenia Colucci, et Licia Veronesi. 2020. « Knowledge, Attitudes, and Practices on Tick-Borne Human Diseases and Tick-Borne Encephalitis Vaccine among Farmers from North-Eastern Italy (2017) ». *Journal of Agromedicine* 25 (1): 73-85. <https://doi.org/10.1080/1059924X.2019.1659204>.
- Rieger, M.A., M. Nübling, R. Kaiser, F.W. Tiller, et F. Hofmann. 1998. « Tick-Borne Encephalitis Transmitted by Raw Milk - What is the Significance of this Route of Infection? Investigations in the Endemic Regions of South-Western Germany ». *Gesundheitswesen* 60 (6): 348-56.
- Rieille, Nadia, Stéphane Bressanelli, Caio C M Freire, Séverine Arcioni, Lise Gern, Olivier Péter, et Maarten J Voordouw. 2014. « Prevalence and Phylogenetic Analysis of Tick-Borne Encephalitis Virus (TBEV) in Field-Collected Ticks (*Ixodes Ricinus*) in Southern Switzerland ». *Parasites & Vectors* 7 (1): 443. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-443>.
- Rieille, Nadia, Christine Klaus, Donata Hoffmann, Olivier Péter, et Maarten J. Voordouw. 2017. « Goats as Sentinel Hosts for the Detection of Tick-Borne Encephalitis Risk Areas in the Canton of Valais, Switzerland ». *BMC Veterinary Research* 13 (1): 217. <https://doi.org/10.1186/s12917-017-1136-y>.
- Rigaud, E., B. Jaulhac, N. Garcia-Bonnet, K.-P. Hunfeld, F. Féménia, D. Huet, C. Goulvestre, V. Vaillant, G. Deffontaines, et G. Abadia-Benoist. 2016. « Seroprevalence of Seven Pathogens Transmitted by the *Ixodes Ricinus* Tick in Forestry Workers in France ». *Clinical Microbiology and Infection* 22 (8): 735.e1-735.e9. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2016.05.014>.
- Ringdorfer, Ferdinand. 2009. « Mehrjähriges Durchmelken der Ziegen, Vor-und Nachteile ». *4. Fachtagung für Ziegenhaltung*, 21.
- Roelandt, S., Paul Heyman, Marina De Filette, Sirkka Vene, Yves Van Der Stede, Ann Brigitte Caij, Paul Tavernier, et al. 2011. « Tick-Borne Encephalitis Virus Seropositive Dog



- Detected in Belgium: Screening of the Canine Population as Sentinels for Public Health ». *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 11 (10): 1371-76. <https://doi.org/10.1089/vbz.2011.0647>.
- Roelandt, S., V. Suin, S. V. Gucht, Y. V. Stede, et S. Roels. 2017. « Comparative Tick-Borne Encephalitis (Virus) Surveillance in Belgium 2009-2015: Experiences with Diagnostic Tests, Sentinel Species and Surveillance Designs ». *J Zoonotic Dis Public Health* 1 (4).
- Rojko, Tereza, Eva Ružić-Sabljić, Franc Strle, et Stanka Lotrič-Furlan. 2005. « Prevalence and Incidence of Lyme Borreliosis among Slovene Forestry Workers during the Period of Tick Activity ». *Wiener Klinische Wochenschrift* 117 (5-6): 219-25. <https://doi.org/10.1007/s00508-004-0306-7>.
- Rollins, Robert E., Sabine Schaper, Claudia Kahlhofer, Dimitrios Frangoulidis, Aurelia F. T. Strauß, Massimiliano Cardinale, Andrea Springer, et al. 2021. « Ticks (Acari: Ixodidae) on Birds Migrating to the Island of Ponza, Italy, and the Tick-Borne Pathogens They Carry ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 12 (1): 101590. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2020.101590>.
- Rónai, Zsuzsanna, et László Egyed. 2020. « Survival of Tick-Borne Encephalitis Virus in Goat Cheese and Milk ». *Food and Environmental Virology* 12 (3): 264-68. <https://doi.org/10.1007/s12560-020-09427-z>.
- Rosà, Roberto, Andrea Pugliese, Mini Ghosh, Sarah E. Perkins, et Annapaola Rizzoli. 2007. « Temporal Variation of *Ixodes Ricinus* Intensity on the Rodent Host *Apodemus Flavicollis* in Relation to Local Climate and Host Dynamics ». *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 7 (3): 285-95. <https://doi.org/10.1089/vbz.2006.0607>.
- Rosà, Roberto, Valentina Tagliapietra, Mattia Manica, Daniele Arnoldi, Heidi Christine Hauffe, Chiara Rossi, Fausta Rosso, Heikki Henttonen, et Annapaola Rizzoli. 2019. « Changes in Host Densities and Co-Feeding Pattern Efficiently Predict Tick-Borne Encephalitis Hazard in an Endemic Focus in Northern Italy ». *International Journal for Parasitology* 49 (10): 779-87. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2019.05.006>.
- Rubel, Franz, et Katharina Brugger. 2020. « Tick-Borne Encephalitis Incidence Forecasts for Austria, Germany, and Switzerland ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 11 (5): 101437. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2020.101437>.
- Rubel, Franz, et Katharina Brugger. 2021. « Operational TBE Incidence Forecasts for Austria, Germany, and Switzerland 2019–2021 ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 12 (1): 101579. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2020.101579>.
- Rubel, Franz, Katharina Brugger, Martin Pfeffer, Lidia Chitimia-Dobler, Yuliya M. Didyk, Sandra Leverenz, Hans Dautel, et Olaf Kahl. 2016. « Geographical Distribution of *Dermacentor Marginatus* and *Dermacentor Reticulatus* in Europe ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 7 (1): 224-33. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2015.10.015>.
- Rubel, Franz, Melanie Walter, Janna R. Vogelgesang, et Katharina Brugger. 2020. « Tick-Borne Encephalitis (TBE) Cases Are Not Random: Explaining Trend, Low- and High-Frequency Oscillations Based on the Austrian TBE Time Series. » *BMC Infectious Diseases* 20 (1): 448. <https://doi.org/10.1186/s12879-020-05156-7>.
- Rushton, James O., Sylvie Lecollinet, Zdenek Hubálek, Petra Svobodová, Helga Lussy, et Norbert Nowotny. 2013. « Tick-Borne Encephalitis Virus in Horses, Austria, 2011 ». *Emerging Infectious Diseases* 19 (4): 635-37. <https://doi.org/10.3201/eid1904.121450>.
- Ruzek, Daniel, Tatjana Avšič Županc, Johannes Borde, Ales Chrdle, Ludek Eyer, Galina Karganova, Ivan Kholodilov, et al. 2019. « Tick-Borne Encephalitis in Europe and Russia: Review of Pathogenesis, Clinical Features, Therapy, and Vaccines ». *Antiviral Research* 164 (avril):23-51. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2019.01.014>.
- Saegerman, Claude, Marie-France Humblet, Marc Leandri, Gaëlle Gonzalez, Paul Heyman, Hein Sprong, Monique L'Hostis, et al. 2023. « First Expert Elicitation of Knowledge on Possible Drivers of Observed Increasing Human Cases of Tick-Borne Encephalitis in Europe ». *Viruses* 15 (3): 791. <https://doi.org/10.3390/v15030791>.

- Saier, R., D. Kömpf, et J. Hinrichs. 2019. « Herstellung von Frischkäse aus mit FSME-Viren belasteter Rohmilch: Effekt des gesäuerten Produkts auf die Viruskonzentration ». In .
- Saier, R., Gabriele Maier, Zeynep Atamer, et Joerg Hinrichs. 2015. « Thermal Inactivation of Tickborne Encephalitis Virus in Milk ». *International Journal of Dairy Technology* 68 (3): 366-73. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12230>.
- Saksida, Ana, Nina Jakopin, Mateja Jelovšek, Nataša Knap, Luka Fajs, Lara Lusa, Stanka Lotrič-Furlan, et al. 2018. « Virus RNA Load in Patients with Tick-Borne Encephalitis, Slovenia ». *Emerging Infectious Diseases* 24 (7): 1315-23. <https://doi.org/10.3201/eid2407.180059>.
- Salat, J., Petra Formanová, Milan Huňady, Luděk Eyer, Martin Palus, et Daniel Ruzek. 2018. « Development and Testing of a New Tick-Borne Encephalitis Virus Vaccine Candidate for Veterinary Use ». *Vaccine* 36 (48): 7257-61. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2018.10.034>.
- Salat, J., Milan Hunady, Pavel Schanilec, Petra Strakova, Michal Stefanik, Pavel Svoboda, Lucie Strelcova, Jana Bojcukova, Martin Palus, et Daniel Růžek. 2021. « Experimental and Natural Infections of Tick-Borne Encephalitis Virus in Dogs ». *Viruses* 13 (10): 2039. <https://doi.org/10.3390/v13102039>.
- Salat, J., Andrei D. Mihalca, Marian Mihaie, David Modrý, et Daniel Ruzek. 2017. « Tick-Borne Encephalitis in Sheep, Romania ». *Emerging Infectious Diseases* 23 (12): 2065-67. <https://doi.org/10.3201/eid2312.170166>.
- Salat, J., et D. Ruzek. 2020. « Tick-borne encephalitis in domestic animals ». *Acta virologica* 64 (02): 226-32. [https://doi.org/10.4149/av\\_2020\\_212](https://doi.org/10.4149/av_2020_212).
- Saltelli, Andrea. 2002. « Sensitivity Analysis for Importance Assessment ». *Risk Analysis* 22 (3): 579-90. <https://doi.org/10.1111/0272-4332.00040>.
- Sands, B. O., K. E. Bryer, et R. Wall. 2021. « Climate and the Seasonal Abundance of the Tick *Dermacentor Reticulatus* ». *Medical and Veterinary Entomology* 35 (3): 434-41. <https://doi.org/10.1111/mve.12518>.
- Santonja, Isabel, Karin Stiasny, Astrid Essl, Franz X Heinz, Michael Kundi, et Heidemarie Holzmann. 2023. « Tick-Borne Encephalitis in Vaccinated Patients: A Retrospective Case-Control Study and Analysis of Vaccination Field Effectiveness in Austria From 2000 to 2018 ». *The Journal of Infectious Diseases* 227 (4): 512-21. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiac075>.
- Schielein, Louisa, Linda Tizek, Tilo Biedermann, et Alexander Zink. 2022. « Tick Bites in Different Professions and Regions: Pooled Cross-Sectional Study in the Focus Area Bavaria, Germany ». *BMC Public Health* 22 (1): 234. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-12456-3>.
- Schönbächler, K., J. Hatt, C. Silaghi, N. Merz, C. Fraefel, et C. Bachofen. 2019. « [Confirmation of Tick-borne encephalitis virus in an European hedgehog (*Erinaceus europaeus*)] ». *Schweizer Archiv Fur Tierheilkunde* 161 (1): 23-31. <https://doi.org/10.17236/sat00191>.
- Schreier, Sarah, Kristin Cebulski, et Andrea Kröger. 2021. « Contact-dependent transmission of Langat and tick-borne encephalitis virus in type I interferon receptor 1-deficient mice ». *Journal of Virology* 95 (8): 10.1128/jvi. 02039-20.
- Schwaiger, Michaela, et Pascal Cassinotti. 2003. « Development of a Quantitative Real-Time RT-PCR Assay with Internal Control for the Laboratory Detection of Tick Borne Encephalitis Virus (TBEV) RNA ». *Journal of Clinical Virology* 27 (2): 136-45. [https://doi.org/10.1016/S1386-6532\(02\)00168-3](https://doi.org/10.1016/S1386-6532(02)00168-3).
- Sciensano. 2023. « Recherche de pathogènes présents chez les tiques - Collecte de tiques avril-octobre 2021 ». In . Bruxelles, Belgique. [https://www.sciensano.be/sites/default/files/pathogenes\\_chez\\_les\\_tiques\\_2021\\_final.pdf](https://www.sciensano.be/sites/default/files/pathogenes_chez_les_tiques_2021_final.pdf).

- Semenza, Jan C, et Jonathan E Suk. 2018. « Vector-Borne Diseases and Climate Change: A European Perspective ». *FEMS Microbiology Letters* 365 (2). <https://doi.org/10.1093/femsle/fnx244>.
- Septfons, A., E. Couturier, T. Goronflot, C. Turbelin, T. Blanchon, et H. de Valk. 2018. « Borréliose de Lyme : estimation de l'incidence hospitalière en France de 2005 à 2006 ». *Bull. Épidémiologique Hebd* 19–20:389-95.
- Septfons, A., Julie Figoni, Arnaud Gautier, Noémie Soullier, Henriette De Valk, et Jean-Claude Desenclos. 2021. « Increased Awareness and Knowledge of Lyme Borreliosis and Tick Bite Prevention among the General Population in France: 2016 and 2019 Health Barometer Survey ». *BMC Public Health* 21 (1): 1808. <https://doi.org/10.1186/s12889-021-11850-1>.
- Septfons, A., Julie Figoni, Arnaud Gautier, Noémie Soullier, Henriette De Valk, et Jean-Claude Desenclos. 2022. « Connaissances et pratiques de prévention contre la borréliose de Lyme et les piqûres de tiques en France métropolitaine : Baromètre santé 2019 et 2016 ». *Bulletin épidémiologique hebdomadaire* 5:96-107. [https://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2022/5/2022\\_5\\_1.html](https://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2022/5/2022_5_1.html).
- Septfons, A., Emma Rigaud, Laetitia Bénézet, Aurelie Velay, Laurence Zilliox, Lisa Baldinger, Gaëlle Gonzalez, et al. 2023. « Seroprevalence for Borrelia Burgdorferi Senu Lato and Tick-Borne Encephalitis Virus Antibodies and Associated Risk Factors among Forestry Workers in Northern France, 2019 to 2020 ». *Eurosurveillance* 28 (32). <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2023.28.32.2200961>.
- Shapoval, A. N. 1989. « Outbreaks of tick-borne encephalitis on the Karel'skiy Isthmus and their significance for the study of the disease ». *Trudy Instituta Imeni Pastera* 65:49-56.
- Shevtsova, Anastasia S., Oxana V. Motuzova, Vera M. Kuragina, Nelli K. Akhmatova, Larissa V. Gmyl, Yaroslava I. Kondrat'eva, Liubov I. Kozlovskaya, et al. 2017. « Lethal Experimental Tick-Borne Encephalitis Infection: Influence of Two Strains with Similar Virulence on the Immune Response ». *Frontiers in Microbiology* 7 (janvier). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02172>.
- Šimo, Ladislav, Maria Kazimirova, Jennifer Richardson, et Sarah I. Bonnet. 2017. « The Essential Role of Tick Salivary Glands and Saliva in Tick Feeding and Pathogen Transmission ». *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 7 (juin):281. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2017.00281>.
- Sixl, W., D. Stünzner, H. Withalm, et M. Köck. 1989. « Rare transmission mode of FSME (tick-borne encephalitis) by goat's milk. » *Geographia medica. Supplement = Geographia medica. Sonderband* 2:11-14.
- Slovák, Mirko, Mária Kazimírová, Marta Siebenstichová, Katarína Ustaníková, Boris Klempa, Tamara Gritsun, Ernest A. Gould, et Patricia A. Nuttall. 2014. « Survival Dynamics of Tick-Borne Encephalitis Virus in Ixodes Ricinus Ticks ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 5 (6): 962-69. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2014.07.019>.
- Slunge, Daniel, et Anders Boman. 2018. « Learning to Live with Ticks? The Role of Exposure and Risk Perceptions in Protective Behaviour against Tick-Borne Diseases ». *PloS One* 13 (6): e0198286. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198286>.
- Slunge, Daniel, Anders Boman, et Marie Studahl. 2022. « Burden of Tick-Borne Encephalitis, Sweden. » *Emerging Infectious Diseases* 28 (2): 314-22. <https://doi.org/10.3201/eid2802.204324>.
- Slunge, Daniel, Solveig Jore, Karen Angeliki Krogfelt, Martin Tugwell Jepsen, et Anders Boman. 2019. « Who Is Afraid of Ticks and Tick-Borne Diseases? Results from a Cross-Sectional Survey in Scandinavia ». *BMC Public Health* 19 (1): 1666. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-7977-5>.
- Šmit, Renata, et Maarten J. Postma. 2015. « The Burden of Tick-Borne Encephalitis in Disability-Adjusted Life Years (DALYs) for Slovenia. » *PloS One* 10 (12): e0144988. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144988>.



- Šmit, Renata, et Maarten J. Postma. 2016. « Vaccines for Tick-Borne Diseases and Cost-Effectiveness of Vaccination: A Public Health Challenge to Reduce the Diseases' Burden. » *Expert Review of Vaccines* 15 (1): 5-7. <https://doi.org/10.1586/14760584.2016.1111142>.
- Sobol, I. M. 2001. « Global sensitivity indices for nonlinear mathematical models and their Monte Carlo estimates ». *Mathematics and Computers in Simulation*, The Second IMACS Seminar on Monte Carlo Methods, 55 (1): 271-80. [https://doi.org/10.1016/S0378-4754\(00\)00270-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4754(00)00270-6).
- Soucy, A, et Sandra de Urioste-Stone. 2020. « Tourist Behaviour And Tick-borne Disease Risk ». *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 248:77-88. <https://doi.org/10.2495/ST200071>.
- Sozańska, Barbara. 2019. « Raw Cow's Milk and Its Protective Effect on Allergies and Asthma ». *Nutrients* 11 (2): 469. <https://doi.org/10.3390/nu11020469>.
- Springer, Andrea, Yassir Adam Shuaib, Makarim Habib Isaa, Malaz Isam-Eldin Ezz-Eldin, Abdinasir Yusuf Osman, Idris Ahmed Yagoub, Mohamed Abdalsalam Abdalla, et al. 2020. « Tick Fauna and Associated Rickettsia, Theileria, and Babesia Spp. in Domestic Animals in Sudan (North Kordofan and Kassala States) ». *Microorganisms* 8 (12): 1969. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8121969>.
- Steffen, R, W Erber, et Hj Schmitt. 2021. « Can the Booster Interval for the Tick-Borne Encephalitis (TBE) Vaccine 'FSME-IMMUN' Be Prolonged? — A Systematic Review ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 12 (5): 101779. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2021.101779>.
- Streissle, Gert. 1958. « Virämie bei Kücken nach subcutaner Infektion mit dem Virus der Zeckenencephalitis ». *Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten* 145 (4): 331-34. <https://doi.org/10.1007/BF02162209>.
- Sumilo, Dana, Loreta Asokliene, Tatjana Avsic-Zupanc, Antra Bormane, Veera Vasilenko, Irina Lucenko, Irina Golovljova, et Sarah E. Randolph. 2008. « Behavioural Responses to Perceived Risk of Tick-Borne Encephalitis: Vaccination and Avoidance in the Baltics and Slovenia. » *Vaccine* 26 (21): 2580-88. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2008.03.029>.
- Sumilo, Dana, Antra Bormane, Loreta Asokliene, Veera Vasilenko, Irina Golovljova, Tatjana Avsic-Zupanc, Zdenek Hubalek, et Sarah E. Randolph. 2008. « Socio-Economic Factors in the Differential Upsurge of Tick-Borne Encephalitis in Central and Eastern Europe. » *Reviews in Medical Virology* 18 (2): 81-95. <https://doi.org/10.1002/rmv.566>.
- Süss, Jochen. 2011. « Tick-Borne Encephalitis 2010: Epidemiology, Risk Areas, and Virus Strains in Europe and Asia—An Overview ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 2 (1): 2-15. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2010.10.007>.
- Süss, Jochen, Ellen Gelpi, Christine Klaus, Audrey Bagon, Elisabeth M. Liebler-Tenorio, Herbert Budka, Bernhard Stark, Werner Müller, et Helmut Hotzel. 2007. « Tickborne Encephalitis in Naturally Exposed Monkey ( *Macaca sylvanus* ) ». *Emerging Infectious Diseases* 13 (6): 905-7. <https://doi.org/10.3201/eid1306.061173>.
- Süss, Jochen, Christina Schrader, Ulrich Falk, et Nikolaus Wohanka. 2004. « Tick-Borne Encephalitis (TBE) in Germany — Epidemiological Data, Development of Risk Areas and Virus Prevalence in Field-Collected Ticks and in Ticks Removed from Humans ». *International Journal of Medical Microbiology Supplements* 293 (avril):69-79. [https://doi.org/10.1016/S1433-1128\(04\)80011-1](https://doi.org/10.1016/S1433-1128(04)80011-1).
- Taba, P., E. Schmutzhard, P. Forsberg, I. Lutsar, U. Ljøstad, Å. Mygland, I. Levchenko, F. Strle, et I. Steiner. 2017. « EAN Consensus Review on Prevention, Diagnosis and Management of Tick-borne Encephalitis ». *European Journal of Neurology* 24 (10): 1214. <https://doi.org/10.1111/ene.13356>.

- Talleklint, Lars, et Thomas G. T. Jaenson. 1998. « Increasing Geographical Distribution and Density of *Ixodes Ricinus* (Acari: Ixodidae) in Central and Northern Sweden ». *Journal of Medical Entomology* 35 (4): 521-26. <https://doi.org/10.1093/jmedent/35.4.521>.
- Tang, Shuang, Sijing Hu, Jian Xiao, Yanfang Zhang, Zhengyuan Su, Qiaoli Wu, Juan Yang, et al. 2023. « Monitoring the Process and Characterizing Symptoms of Suckling Mouse Inoculation Promote Isolating Viruses from Ticks ». *Zoonoses* 3 (1). <https://doi.org/10.15212/ZOONOSES-2023-0023>.
- Ternovoi, Vladimir A., Gennady P. Kurzhukov, Yuri V. Sokolov, Gennady Y. Ivanov, Vladimir A. Ivanisenko, Alexander V. Loktev, Robert W. Ryder, Sergey V. Netesov, et Valery B. Loktev. 2003. « Tick-Borne Encephalitis with Hemorrhagic Syndrome, Novosibirsk Region, Russia, 1999 ». *Emerging Infectious Diseases* 9 (6): 743-46. <https://doi.org/10.3201/eid0906.030007>.
- Teunis, Peter F. M., Françoise S. Le Guyader, Pengbo Liu, Joanna Ollivier, et Christine L. Moe. 2020. « Noroviruses Are Highly Infectious but There Is Strong Variation in Host Susceptibility and Virus Pathogenicity ». *Epidemics* 32 (septembre):100401. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2020.100401>.
- Thangamani, Saravanan, Meghan E. Hermance, Rodrigo I. Santos, Mirko Slovak, Dar Heinze, Steven G. Widen, et Maria Kazimirova. 2017. « Transcriptional Immunoprofiling at the Tick-Virus-Host Interface during Early Stages of Tick-Borne Encephalitis Virus Transmission ». *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 7 (décembre):494. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2017.00494>.
- Thebault, Anne, Peter F. M. Teunis, Jacques Le Pendu, Françoise S. Le Guyader, et Jean-Baptiste Denis. 2013. « Infectivity of GI and GII Noroviruses Established from Oyster Related Outbreaks ». *Epidemics* 5 (2): 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2012.12.004>.
- Thorin, C., E. Rigaud, I. Capek, G. André-Fontaine, B. Oster, G. Gastinger, et G. Abadia. 2008. « Séroprévalence de la borréliose de Lyme et de l'encéphalite à tiques chez des professionnels exposés dans le Grand Est de la France ». *Médecine et Maladies Infectieuses* 38 (10): 533-42. <https://doi.org/10.1016/j.medmal.2008.06.008>.
- Tkachev, S.E., I.V. Babkin, G.S. Chicherina, I.V. Kozlova, M.M. Verkhozina, T.V. Demina, O.V. Lisak, et al. 2020. « Genetic Diversity and Geographical Distribution of the Siberian Subtype of the Tick-Borne Encephalitis Virus ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 11 (2): 101327. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2019.101327>.
- Toma, Bernard. 1991. *Glossaire d'épidémiologie animale*. Médecine vétérinaire. Maisons-Alfort: Ed. du Point vétérinaire.
- Tomao, P., L. Ciceroni, M. C. D'Ovidio, M. De Rosa, N. Vonesch, S. Iavicoli, S. Signorini, et al. 2005. « Prevalence and Incidence of Antibodies to *Borrelia burgdorferi* and to Tick-Borne Encephalitis Virus in Agricultural and Forestry Workers from Tuscany, Italy ». *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases: Official Publication of the European Society of Clinical Microbiology* 24 (7): 457-63. <https://doi.org/10.1007/s10096-005-1348-0>.
- Tomassone, Laura, Elisa Martello, Alessandro Mannelli, Aurora Vicentini, Céline M. Gossner, et Jo Leonardi-Bee. 2025. « A Systematic Review on the Prevalence of Tick-Borne Encephalitis Virus in Milk and Milk Products in Europe ». *Zoonoses and Public Health*, février. <https://doi.org/10.1111/zph.13216>.
- Tonteri, Elina, Anu E. Jääskeläinen, Tapani Tikkakoski, Liina Voutilainen, Jukka Niemimaa, Heikki Henttonen, Antti Vaheri, et Olli Vapalahti. 2011. « Tick-borne Encephalitis Virus in Wild Rodents in Winter, Finland, 2008–2009 ». *Emerging Infectious Diseases* 17 (1): 72-75. <https://doi.org/10.3201/eid1701.100051>.
- Tonteri, Elina, Anja Kipar, Liina Voutilainen, Sirkka Vene, Antti Vaheri, Olli Vapalahti, et Åke Lundkvist. 2013. « The Three Subtypes of Tick-Borne Encephalitis Virus Induce

- Encephalitis in a Natural Host, the Bank Vole (*Myodes Glareolus*) ». Édité par Cheryl A. Stoddart. *PLoS ONE* 8 (12): e81214. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081214>.
- Topp, Anna-Katharina, Andrea Springer, Reinhard Mischke, Johanna Rieder, Karsten Feige, Martin Ganter, Uschi Nagel-Kohl, et al. 2023. « Seroprevalence of Tick-Borne Encephalitis Virus in Wild and Domestic Animals in Northern Germany ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 14 (6): 102220. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2023.102220>.
- Trozzi, Gabrielle, Nadjah Radia Adjadj, Muriel Vervaeke, Severine Matthijs, Charlotte Sohler, et Nick De Regge. 2023. « Comparison of Serological Methods for Tick-Borne Encephalitis Virus-Specific Antibody Detection in Wild Boar and Sheep: Impact of the Screening Approach on the Estimated Seroprevalence ». *Viruses* 15 (2): 459. <https://doi.org/10.3390/v15020459>.
- Urbańska, Daria M., Justyna Jarczak, Michał Czopowicz, Jarosław Kaba, Karina Horbańczuk, et Emilia Bagnicka. 2022. « miRNA Expression Patterns in Blood Leukocytes and Milk Somatic Cells of Goats Infected with Small Ruminant Lentivirus (SRLV) ». *Scientific Reports* 12 (1): 13239. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17276-y>.
- Uusitalo, Ruut, Mika Siljander, Timothée Dub, Jussi Sane, Jani J. Sormunen, Petri Pellikka, et Olli Vapalahti. 2020. « Modelling Habitat Suitability for Occurrence of Human Tick-Borne Encephalitis (TBE) Cases in Finland ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 11 (5): 101457. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2020.101457>.
- Van Heuverswyn, Jasper, Luisa K. Hallmaier-Wacker, Julien Beauté, Joana Gomes Dias, Joana M Haussig, Kristina Busch, Jana Kerlik, et al. 2023. « Spatiotemporal Spread of Tick-Borne Encephalitis in the EU/EEA, 2012 to 2020 ». *Eurosurveillance* 28 (11). <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2023.28.11.2200543>.
- Van Tongeren, H. A. E. 1955. « Encephalitis in Austria. IV: Excretion of Virus by Milk of the Experimentally Infected Goat ». *Archiv Für Die Gesamte Virusforschung* 6 (2-3): 158-62. <https://doi.org/10.1007/BF01247065>.
- Van Tongeren, H.A.E. 1983. « Viraemia and Antibody Response of the Mallard (*Anas Platyrhynchos*) to Infection with Tick-Borne Encephalitis Virus ». *Journal of Comparative Pathology* 93 (4): 521-30. [https://doi.org/10.1016/0021-9975\(83\)90058-0](https://doi.org/10.1016/0021-9975(83)90058-0).
- Varlacher, J-F, S. Hägglund, M. Juremalm, G. Blomqvist, L. Renström, S. Zohari, M. Leijon, et J. Chirico. 2015. « Tick-borne encephalitis: -EN- -FR- Encéphalite transmise par les tiques -ES- Encefalitis transmitida por garrapatas ». *Revue Scientifique et Technique de l'OIE* 34 (2): 453-66. <https://doi.org/10.20506/rst.34.2.2371>.
- Vasić, Ana, Jovana Bjekić, Gorana Veinović, Darko Mihaljica, Ratko Sukara, Jasmina Poluga, Saša R. Filipović, et Snežana Tomanović. 2022. « Knowledge, Attitudes, and Practices on Tick-Borne Encephalitis Virus and Tick-Borne Diseases within Professionally Tick-Exposed Persons, Health Care Workers, and General Population in Serbia: A Questionnaire-Based Study ». *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19 (2): 867. <https://doi.org/10.3390/ijerph19020867>.
- Veje, Malin, Marie Studahl, Peter Norberg, Anette Roth, Ulrike Möbius, Magnus Brink, et Tomas Bergström. 2014. « Detection of Tick-Borne Encephalitis Virus RNA in Urine ». Édité par M. J. Loeffelholz. *Journal of Clinical Microbiology* 52 (11): 4111-12. <https://doi.org/10.1128/JCM.02428-14>.
- Velay, Aurélie, Ralf Janssen-Langenstein, Stéphane Kremer, Elodie Laugel, Maximilian Lutz, Anne Laure Pierson, Marie-Josée Wendling, Francis Schneider, et Samira Fafi-Kremer. 2023. « Tick-Borne Encephalitis in Pregnant Woman and Long-Term Sequelae ». *Emerging Infectious Diseases* 29 (3): 669-71. <https://doi.org/10.3201/eid2903.221328>.
- Velay, Aurélie, Magali Paz, Marlène Cesbron, Pierre Gantner, Morgane Solis, Eric Soulier, Xavier Argemi, Martin Martinot, Yves Hansmann, et Samira Fafi-Kremer. 2019. « Tick-Borne Encephalitis Virus: Molecular Determinants of Neuropathogenesis of an

- Emerging Pathogen ». *Critical Reviews in Microbiology* 45 (4): 472-93. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2019.1629872>.
- Velay, Aurélie, Morgane Solis, Heidi Barth, Véronique Sohn, Anne Moncollin, Amandine Neeb, Marie-Josée Wendling, et Samira Fafi-Kremer. 2018. « Comparison of Six Commercial Tick-Borne Encephalitis IgM and IgG ELISA Kits and the Molecular Characterization of Their Antigenic Design ». *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease* 90 (4): 286-92. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2017.12.012>.
- Velay, Aurélie, Morgane Solis, Wallys Kack-Kack, Pierre Gantner, Marianne Maquart, Martin Martinot, Olivier Augereau, et al. 2018. « A New Hot Spot for Tick-Borne Encephalitis (TBE): A Marked Increase of TBE Cases in France in 2016 ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 9 (1): 120-25. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2017.09.015>.
- Von Borowski, Rafael Gomes, et Danielle Silva Trentin. 2021. « Biofilms and Coronavirus Reservoirs: A Perspective Review ». *Applied and Environmental Microbiology* 87 (18): e0085921. <https://doi.org/10.1128/AEM.00859-21>.
- Voyiatzaki, Chrysa, Sevastiani I. Papailia, Maria S. Venetikou, John Pouris, Maria E. Tsoumani, et Effie G. Papageorgiou. 2022. « Climate Changes Exacerbate the Spread of Ixodes Ricinus and the Occurrence of Lyme Borreliosis and Tick-Borne Encephalitis in Europe—How Climate Models Are Used as a Risk Assessment Approach for Tick-Borne Diseases ». *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19 (11): 6516. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116516>.
- Vu Hai, Vinh, Lionel Almeras, Stephane Audebert, Matthieu Pophillat, Nathalie Boulanger, Philippe Parola, Didier Raoult, et Frederic Pages. 2013. « Identification of salivary antigenic markers discriminating host exposition between two European ticks: *Rhipicephalus sanguineus* and *Dermacentor reticulatus* ». *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases* 36 (1): 39-53. <https://doi.org/10.1016/j.cimid.2012.09.003>.
- Wahlberg, P., P. Saikku, et M. Brummer-Korvenkontio. 1989. « Tick-borne Viral Encephalitis in Finland. The Clinical Features of Kumlinge Disease during 1959–1987 ». *Journal of Internal Medicine* 225 (3): 173-77. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.1989.tb00059.x>.
- Waldenström, Jonas, Åke Lundkvist, Kerstin I. Falk, Ulf Garpmo, Sven Bergström, Gunnel Lindegren, Anders Sjöstedt, et al. 2007a. « Migrating Birds and Tickborne Encephalitis Virus ». *Emerging Infectious Diseases* 13 (8): 1215-18. <https://doi.org/10.3201/eid1308.061416>.
- Waldenström, Jonas, Åke Lundkvist, Kerstin I. Falk, Ulf Garpmo, Sven Bergström, Gunnel Lindegren, Anders Sjöstedt, et al. 2007b. « Migrating Birds and Tickborne Encephalitis Virus ». *Emerging Infectious Diseases* 13 (8): 1215-18. <https://doi.org/10.3201/eid1308.061416>.
- Wallenhammar, Amélie, Richard Lindqvist, Naveed Asghar, Sezin Gunaltay, Hans Fredlund, Åke Davidsson, Sören Andersson, Anna K. Överby, et Magnus Johansson. 2020a. « Revealing New Tick-Borne Encephalitis Virus Foci by Screening Antibodies in Sheep Milk ». *Parasites & Vectors* 13 (1): 185. <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04030-4>.
- Wallenhammar, Amélie, Richard Lindqvist, Naveed Asghar, Sezin Gunaltay, Hans Fredlund, Åke Davidsson, Sören Andersson, Anna K. Överby, et Magnus Johansson. 2020b. « Revealing New Tick-Borne Encephalitis Virus Foci by Screening Antibodies in Sheep Milk ». *Parasites & Vectors* 13 (1): 185. <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04030-4>.
- Walter, Melanie, Janna R. Vogelgesang, Franz Rubel, et Katharina Brugger. 2020. « Tick-Borne Encephalitis Virus and Its European Distribution in Ticks and Endothermic Mammals ». *Microorganisms* 8 (7): 1065. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8071065>.
- Weber, Elvira, Katja Finsterbusch, Richard Lindquist, Sharmila Nair, Stefan Lienenklaus, Nelson O Gekara, Dirk Janik, et al. 2014. « Type I Interferon Protects Mice from Fatal Neurotropic Infection with Langat Virus by Systemic and Local Antiviral Responses ».



- Édité par D. S. Lyles. *Journal of Virology* 88 (21): 12202-12. <https://doi.org/10.1128/JVI.01215-14>.
- Weidmann, Manfred, Peter Schmidt, Frank T. Hufert, Karel Krivanec, et Hermann Meyer. 2006. « Tick-Borne Encephalitis Virus in *Clethrionomys Glareolus* in the Czech Republic ». *Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 6 (4): 379-81. <https://doi.org/10.1089/vbz.2006.6.379>.
- Weinmayr, L.M., D. Kanz, M. Eckenweiler, T. Bormann, D. Huzly, J. Bardutzky, et A. Harloff. 2020. « Acute Tick-Borne Encephalitis during Pregnancy – An Alarming Combination ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 11 (6): 101512. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2020.101512>.
- Wiesner, Laura, Carla Schmutte, et Imke Steffen. 2021. « Susceptibility of Tick-Borne Encephalitis Virus to Inactivation by Heat, Acidic pH, Chemical, or UV Treatment ». *The Journal of Infectious Diseases* 223 (4): 714-18. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiaa405>.
- Wilhelmsson, Peter, Thomas G. T. Jaenson, Björn Olsen, Jonas Waldenström, et Per-Eric Lindgren. 2020. « Migratory Birds as Disseminators of Ticks and the Tick-Borne Pathogens *Borrelia* Bacteria and Tick-Borne Encephalitis (TBE) Virus: A Seasonal Study at Ottenby Bird Observatory in South-Eastern Sweden ». *Parasites & Vectors* 13 (1): 607. <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04493-5>.
- Williams, Hefin Wyn, Dónall Eoin Cross, Heather Louise Crump, Cornelis Jan Drost, et Christopher James Thomas. 2015. « Climate Suitability for European Ticks: Assessing Species Distribution Models against Null Models and Projection under AR5 Climate ». *Parasites & Vectors* 8 (1): 440. <https://doi.org/10.1186/s13071-015-1046-4>.
- Wint, G. R. William, Thomas Balenghien, Eduardo Berriatua, Marieta Braks, Cedric Marsboom, Jolyon Medlock, Francis Schaffner, et al. 2023. « VectorNet: Collaborative Mapping of Arthropod Disease Vectors in Europe and Surrounding Areas since 2010 ». *Eurosurveillance* 28 (26): 2200666. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2023.28.26.2200666>.
- Wójcik-Fatla, Angelina, Ewa Cisak, Violetta Zajac, Jacek Zwoliński, et Jacek Dutkiewicz. 2011. « Prevalence of Tick-Borne Encephalitis Virus in *Ixodes Ricinus* and *Dermacentor Reticulatus* Ticks Collected from the Lublin Region (Eastern Poland) ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 2 (1): 16-19. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2010.10.001>.
- Wójcik-Fatla, Angelina, Joanna Krzowska-Firych, Krzysztof Czajka, Joanna Nozdryn-Płotnicka, et Jacek Sroka. 2023. « The Consumption of Raw Goat Milk Resulted in TBE in Patients in Poland, 2022 “Case Report” ». *Pathogens* 12 (5): 653. <https://doi.org/10.3390/pathogens12050653>.
- Wongnak, Phrutamon, Séverine Bord, Maude Jacquot, Albert Agoulon, Frédéric Beugnet, Laure Bournez, Nicolas Cèbe, et al. 2022. « Meteorological and Climatic Variables Predict the Phenology of *Ixodes Ricinus* Nymph Activity in France, Accounting for Habitat Heterogeneity ». *Scientific Reports* 12 (1): 7833. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11479-z>.
- Wood, Chelsea L., et Kevin D. Lafferty. 2013. « Biodiversity and Disease: A Synthesis of Ecological Perspectives on Lyme Disease Transmission ». *Trends in Ecology & Evolution* 28 (4): 239-47. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.011>.
- Worku, Dominic Adam. 2023. « Tick-Borne Encephalitis (TBE): From Tick to Pathology ». *Journal of Clinical Medicine* 12 (21): 6859. <https://doi.org/10.3390/jcm12216859>.
- Wozinska, Marta, Kacper Toczyłowski, Dawid Lewandowski, Ewa Bojkiewicz, et Artur Sulik. 2022. « Knowledge, Attitudes, and Behaviors Regarding Lyme Borreliosis Prevention in the Endemic Area of Northeastern Poland ». *Vaccines* 10 (12): 2163. <https://doi.org/10.3390/vaccines10122163>.
- Zajkowska, Joanna, Piotr Czupełny, Sławomir Pancewicz, Anna Adamczyk-Przychodzeń, Maciej Kondrusik, Sambor Grygorczuk, et Anna Moniuszko. 2011. « Fatal Outcome of

- Tick-Borne Encephalitis – a Case Series ». *Neurologia i Neurochirurgia Polska* 45 (4): 402-6. [https://doi.org/10.1016/S0028-3843\(14\)60113-4](https://doi.org/10.1016/S0028-3843(14)60113-4).
- Zaludko, J., O. Vrbová, R. Hachlincová, I. Kohl, Z. Hubálek, Z. Jurincová, O. Kozuch, E. Elecková, et M. Labuda. 1994. « Familial epidemics of tick-borne encephalitis in central Povazie ». *Bratislavské lekárske listy* 95 (11): 523-26.
- Zavadska, Dace, Zane Freimane, Guntis Karelis, Ineta Ermina, Lisa R. Harper, Cody Bender, Pingping Zhang, et al. 2023. « Effectiveness of Tick-Borne Encephalitis Vaccination in Latvia, 2018–2020: An Observational Study ». *Clinical Microbiology and Infection* 29 (11): 1443-48. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2023.06.028>.
- Zavadska, Dace, Zane Odzelevica, Guntis Karelis, Lelde Liepina, Zane Anna Litauniece, Antra Bormane, Irina Lucenko, et al. 2018. « Tick-Borne Encephalitis: A 43-Year Summary of Epidemiological and Clinical Data from Latvia (1973 to 2016) ». Édité par Ulrike Gertrud Munderloh. *PLOS ONE* 13 (11): e0204844. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204844>.
- Zens, Kyra D, Sarah R Haile, Axel J Schmidt, Ekkehardt S Altpeter, Jan S Fehr, et Phung Lang. 2022. « Retrospective, Matched Case–Control Analysis of Tickborne Encephalitis Vaccine Effectiveness by Booster Interval, Switzerland 2006–2020 ». *BMJ Open* 12 (4): e061228. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-061228>.
- Zerbini, Francisco Murilo, Stuart G. Siddell, Elliot J. Lefkowitz, Arcady R. Mushegian, Evelien M. Adriaenssens, Poliane Alfenas-Zerbini, Donald M. Dempsey, et al. 2023. « Changes to Virus Taxonomy and the ICTV Statutes Ratified by the International Committee on Taxonomy of Viruses (2023) ». *Archives of Virology* 168 (7): 175. <https://doi.org/10.1007/s00705-023-05797-4>.
- Zhioua, E., F. Rodhain, P. Binet, et C. Perez-Eid. 1997. « Prevalence of Antibodies to *Borrelia burgdorferi* in Forestry Workers of Ile de France, France ». *European Journal of Epidemiology* 13 (8): 959-62. <https://doi.org/10.1023/a:1007465305193>.
- Zindel, W., et R. Wyler. 1983. « [Tick-borne encephalitis in a goat in lower Prätigau] ». *Schweizer Archiv Fur Tierheilkunde* 125 (6): 383-86.
- Zlobin, Vladimir I., Vanda V. Pogodina, et Olaf Kahl. 2017. « A Brief History of the Discovery of Tick-Borne Encephalitis Virus in the Late 1930s (Based on Reminiscences of Members of the Expeditions, Their Colleagues, and Relatives) ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 8 (6): 813-20. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2017.05.001>.
- Zöldi, Viktor, Ferenczi Eموke, et László Egyed. 2013. « Milk transmitted tick-borne encephalitis epidemics in Hungary ». *Magyar Allatorvosok Lapja* 135 (janvier):48-56.
- Zubriková, Dana, Maria Wittmann, Václav Hönig, Pavel Švec, Bronislava Víchová, Sandra Essbauer, Gerhard Dobler, Libor Grubhoffer, et Kurt Pfister. 2020. « Prevalence of Tick-Borne Encephalitis Virus and *Borrelia burgdorferi* Senu Lato in Ixodes Ricinus Ticks in Lower Bavaria and Upper Palatinate, Germany ». *Ticks and Tick-Borne Diseases* 11 (3): 101375. <https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2020.101375>.
- Zygner, W., P. Górski, et H. Wedrychowicz. 2009. « New Localities of *Dermacentor Reticulatus* Tick (Vector of *Babesia Canis Canis*) in Central and Eastern Poland ». *Polish Journal of Veterinary Sciences* 12 (4): 549-55.



---

# ANNEXES

---

## Annexe 1 : Lettre de l'autosaisine



Décision N° 2022-068

### AUTOSAISINE

Le directeur général de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses),

Vu le code de la santé publique, et notamment son article L. 1313-3 conférant à l'Anses la prérogative de se saisir de toute question en vue de l'accomplissement de ses missions,

Décide :

**Article 1<sup>er</sup>** : L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail se saisit afin de réaliser une expertise dont les caractéristiques sont listées ci-dessous.

#### 1.1 Thématiques et objectifs de l'expertise

L'Anses s'auto-saisit afin de réaliser une expertise relative aux risques liés à l'émergence de l'encéphalite à tiques sur le territoire de la France hexagonale et la Corse.

#### 1.2 Contexte de l'autosaisine

Le virus de l'encéphalite à tiques (*Tick-borne encephalitis virus* - TBEV) est un arbovirus du genre *Flavivirus* transmis par les tiques, présent dans une vaste région allant du nord de l'Asie à l'Europe de l'ouest. Il y circule entre ses réservoirs et ses vecteurs, principalement des tiques dures du genre *Ixodes*. Les espèces *I. ricinus* et *I. persulcatus* sont considérées comme les principales tiques vectrices en Europe et en Asie respectivement. Diverses espèces de petits mammifères sont pressenties en tant que réservoirs vertébrés du TBEV, en sus du vecteur lui-même et jouent un rôle significatif dans sa pérennisation. Plusieurs autres espèces sauvages et domestiques ainsi que l'être humain sont considérés comme des hôtes accidentels, généralement asymptomatiques ne développant pas ou peu de virémie.

Ce virus est responsable de l'encéphalite à tiques (TBE) et est transmis à l'être humain essentiellement par piquûre de tiques mais aussi par la consommation de lait cru contaminé ou de produits à base de lait cru contaminé.

En Europe, plusieurs milliers de cas humains d'encéphalite à tiques sont enregistrés chaque année (3 411 cas en 2019 ; ECDC, mars 2021). La maladie est endémique dans de nombreux pays européens (Autriche, Allemagne, Europe du nord, pays baltes, République tchèque, Slovaquie...) et une augmentation de son incidence est actuellement observée en Europe, comme en Suisse en Allemagne, corrélée notamment à l'émergence de nouvelles zones à risques ou de nouveaux foyers. L'aire de répartition du virus semble également s'étendre à de



nouvelles zones géographiques, comme les Pays-Bas, la Belgique ou l'Angleterre qui ont enregistré ces dernières années leurs premiers cas humains autochtones de TBE respectivement en 2016, 2018 et 2019.

En France, à ce jour seul le sous-type européen (TBE-Eu) a été détecté parmi les trois sous-types du virus décrits actuellement. Il est généralement considéré comme le moins pathogène. Cependant 20 à 30 % des personnes infectées développent des symptômes cliniques, patients parmi lesquels 20 à 30 % développent une forme neurologique pouvant être sévère (méningite, encéphalite, méningo-encéphalomyélite...). La distribution du virus et la situation épidémiologique sont mal connues en France. Avec une vingtaine de cas diagnostiqués par an, la France est considérée comme un pays à faible incidence de la TBE bien que celle-ci représente actuellement la 3<sup>ème</sup> cause d'encéphalite dans ce pays. La majorité des cas sont recensés en Alsace, où on observe par ailleurs actuellement une tendance à l'augmentation de l'incidence. Des cas sont également rapportés régulièrement en Haute-Savoie et plus récemment en Loire et Haute-Loire. Dans les zones d'endémie, ce virus est connu pour avoir une distribution non homogène par « poches », n'étant présent que dans certaines zones avec une faible prévalence chez les tiques (<1 %). Cependant, l'aire de répartition du virus en France est vraisemblablement plus étendue que celle estimée à partir des cas humains, des études de séroprévalence ayant montré la présence d'anticorps anti-TBEV chez des professionnels forestiers ainsi que chez des sangliers et chevreuils dans d'autres régions de l'Est de la France (Bourgogne, Franche-Comté, Champagne-Ardenne et Savoie).

En France, les contaminations ont lieu essentiellement du printemps à l'automne (période d'activité des tiques). Jusqu'à récemment, ces contaminations étaient uniquement liées, en France, à des piqûres de tiques. Cependant en avril-mai 2020, un premier foyer de TBE par Toxi-Infection Alimentaire Collective (TIAC ; 44 cas), par consommation de fromages de chèvre au lait cru, a été identifié dans le département de l'Ain, situé en dehors de la zone historiquement connue pour la circulation du virus.

L'émergence et la circulation du TBEV sur le territoire français constituent un enjeu de santé publique humaine et vétérinaire qui justifient la mise en œuvre de stratégies de prévention et de gestion. Devant le risque que la TBE représente, le Haut Conseil de la Santé Publique a par ailleurs recommandé l'inscription de la TBE dans la liste des maladies à déclaration obligatoire depuis le 12 mai 2021 (Décret n° 2021-573 du 10 mai 2021).

Aussi, face à ces préoccupations, comme porté à son programme de travail et après échanges avec les collectifs d'experts spécialisés (CES) SABA, BIORISK, ainsi que le GT vecteurs, l'Anses s'autosaisit pour réaliser une expertise interdisciplinaire relative à l'émergence de la TBE en France.

### 1.3 Questions sur lesquelles portent les travaux d'expertise à mener

L'Anses propose :

- (1) de réaliser un état des connaissances sur le TBEV et un inventaire des données disponibles pour évaluer les risques liés à la TBE (les risques de transmission du TBEV à l'être humain par piqûre de tiques, les risques d'introduction du TBEV dans les élevages, les risques de transmission du TBEV par voie alimentaire) ;
- (2) de réaliser une (ou des) carte(s) de risque sur la base des données disponibles, en intégrant l'ensemble des facteurs de risque identifiés ;
- (3) d'identifier des options de gestion et de les évaluer selon différents critères (tels que l'efficacité, la faisabilité, l'applicabilité...), et d'appliquer ces scénarios dans la (les) cartes des risques ;
- (4) de proposer des recommandations et des actions de recherche ciblant l'acquisition de données permettant d'affiner les évaluations du risque de TBE et d'aider le gestionnaire à affiner et prioriser les mesures de gestion.



#### 1.4 Durée prévisionnelle de l'expertise

La durée prévisionnelle de ce travail d'expertise collective est de 18 mois à partir de la décision de création du GT *ad hoc*.

**Article 2.-** Un avis sera émis et publié par l'Agence à l'issue des travaux.

Fait à Maisons-Alfort, le 10 mai 2022

Dr Roger GENET  
Directeur général

## Annexe 2 : Bilan des infestations de tiques positives au TBEV collectées sur des oiseaux en Europe

Tableau 27 : Synthèse des études réalisées en Europe recherchant la présence de TBEV dans les tiques collectées sur les oiseaux

Légende : Ir : *Ixodes ricinus* ; L : larve ; N : nymphe ; + : infectée

| Référence                     | Pays                                                 | Année     | Période                               | Nb d'es-pèces | Oiseaux |                | Nb tiques Ir | Larves Ir |    |                                                         | Nymphes Ir |    |                                                                                                                                       |
|-------------------------------|------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------------|---------------|---------|----------------|--------------|-----------|----|---------------------------------------------------------|------------|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               |                                                      |           |                                       |               | Nb      | Nb avec tiques |              | L         | L+ | oiseaux avec L+                                         | N          | N+ | oiseaux avec N+                                                                                                                       |
| (Geller et al. 2013)          | Estonie                                              | 2006-2009 | migration automnale                   | 24            | 178     |                | 249          | 0         | 0  |                                                         | 249        | 1  | <i>A. palustris</i>                                                                                                                   |
| (Waldenström et al. 2007a)    | Suède                                                | 2001      | migration printanière et automnale    | 38            | 13260   | 447            | 1155         | 616       | 2  | 1 <i>Anthus trivialis</i> , 1 <i>Erithacus rubecula</i> | 520        | 4  | 1 <i>Turdus philomelos</i> , 1 <i>Phoenicurus phoenicurus</i> , 1 <i>Erithacus rubecula</i> (2N)                                      |
| (Lommano et al. 2014)         | Suisse                                               | 2007-2010 | migration automnale                   | 71            | 4525    | 504            | 1124         | 722       | 2  | 2 <i>Erithacus rubecula</i>                             | 401        | 1  | <i>Turdus merula</i>                                                                                                                  |
|                               |                                                      |           | Reproduction                          | 11            | 33      | 16             | 81           | 28        | 0  |                                                         | 53         | 0  |                                                                                                                                       |
| (Kazarina et al. 2015a)       | Lettonie                                             | 2010      | migration automnale                   | 10            | /       | 55             | 170          | 27        | 2  | <i>Turdus philomelos</i> , <i>Erithacus rubecula</i>    | 120        | 17 | 3N on <i>Phoenicurus phoenicurus</i> , 5N on <i>Turdus merula</i> , 1N on <i>Turdus philomelos</i> , 8 N on <i>Erithacus rubecula</i> |
| (Wilhelmsson et al. 2020)     | Suède                                                | 2019      | migration printanière et Reproduction | 65            | 4601    | 749            | 1071         | 515       | 0  |                                                         | 551        | 0  |                                                                                                                                       |
| (Christine Klaus et al. 2016) | Allemagne                                            | 2008-2010 | Toute l'année                         | NP            | 23949   | 892            | 2492         | 822       | 0  |                                                         | 1620       | 0  |                                                                                                                                       |
| (Peňáziová et al. 2022)       | Slovaquie                                            | 2019-2020 | migration printanière et automnale    | 32            | 393     | 88             | 186          | 52        | 0  |                                                         | 134        | 0  |                                                                                                                                       |
| (Movila et al. 2013b)         | région Baltique de la Russie (Oblast de Kaliningrad) | 2009      | migration printanière                 | 577           | 38      | 107            | 201          | 66        | 0  |                                                         | 135        | 1  | <i>T. merula</i>                                                                                                                      |

|                       |        |      |                       |     |     |    |   |   |   |  |   |   |  |
|-----------------------|--------|------|-----------------------|-----|-----|----|---|---|---|--|---|---|--|
| (Rollins et al. 2021) | Italie | 2019 | migration printanière | >10 | 151 | 16 | 0 | 0 | 0 |  | 0 | 0 |  |
|-----------------------|--------|------|-----------------------|-----|-----|----|---|---|---|--|---|---|--|



## Annexe 3 : Description du modèle d'estimation du fardeau de la TBE

### ■ Arbre de décision de la TBE dans le BCoDE toolkit

Concernant la TBE, l'arbre de décision comprend huit états de santé postérieurs à l'infection (voir Figure 51).

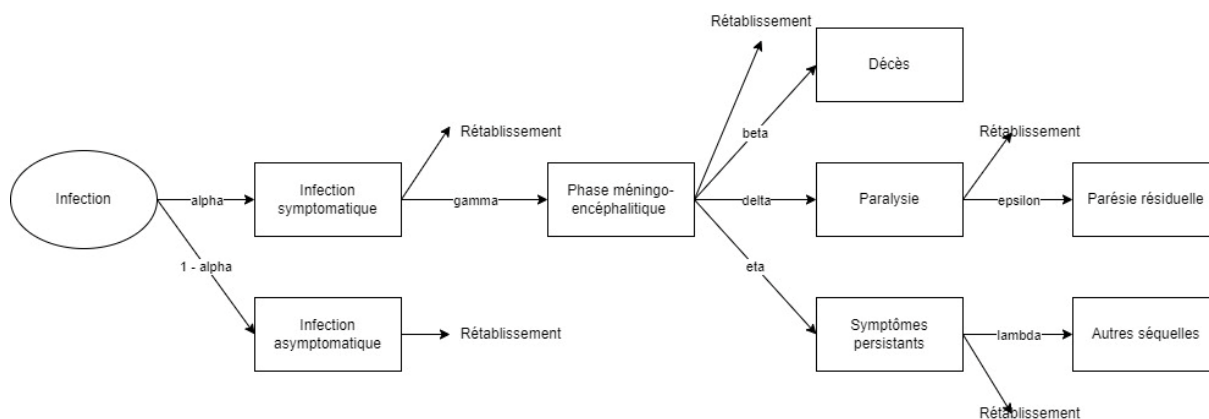


Figure 51 : Evolution de la TBE dans l'outil BCoDE

Source : traduit de l'ECDC

Il repose sur les hypothèses suivantes<sup>129</sup>.

#### Infection symptomatique

Les cas de TBE symptomatiques évoluent en deux phases, une première phase d'infection symptomatique associée à de la fièvre et une seconde phase méningo-encéphalitique associée à des troubles neurologiques. La sévérité de la maladie augmente avec l'âge et les cas sont généralement peu sévères chez les enfants. La part d'individus asymptomatiques varie de 66 à 80 %. Les patients asymptomatiques sont supposés ne pas développer de séquelles et ne produisent pas de fardeau.

Le modèle simule la progression des symptômes suite à une infection à TBEV-Eu, dominant en Europe.

L'infection symptomatique débute après huit jours d'incubation (variabilité de quatre à 28 jours) et associe fièvre, douleurs musculaires, fatigue et maux de tête, pendant une durée de cinq jours (variabilité de deux à sept jours).

#### Phase méningo-encéphalitique

Après une période sans symptômes, généralement inférieure à deux semaines, la seconde phase intervient chez 20 à 30 % des patients et dure 15 jours (variabilité 10 à 70 jours). Le taux de létalité au cours de cette phase est fixé à 0,75 %.

#### Paralysie

Chez les patients présentant une myélite et/ou une radiculite au moment de la phase neurologique, correspondant à 11 % des patients à cette phase, une paralysie flasque peut persister.

<sup>129</sup> Ce rapport reprend les hypothèses par défaut de l'outil BCoDE.

## Parésie résiduelle

Cinquante-six pourcents des patients avec paralysie sont à risque de développer une parésie résiduelle à vie, définie comme une perte partielle ou une mobilité dégradée.

## Symptômes persistants

Un syndrome post-encéphalite à tiques de long terme, associant des signes et des plaintes cognitives ou neurologiques, ou psychiatriques, tels que trouble de l'équilibre, maux de tête, dysphasie, troubles du sommeil, pertes d'audition et paralysie centrale ou périphérique a été rapporté chez 39 à 46 % des patients atteints de méningo-encéphalite, et sa durée est fixée à un an.

## Autres séquelles

Les séquelles peuvent durer à vie chez 35,7 à 38,8 % des patients ayant des symptômes persistants.

Les probabilités d'évolution d'un état à un autre sont synthétisées dans le Tableau 28.

**Tableau 28 : Probabilités de transition de l'arbre de décision (source : d'après ECDC)**

| Etat de santé                                     | Paramètre | Probabilité de transition | Source/hypothèse                                   |
|---------------------------------------------------|-----------|---------------------------|----------------------------------------------------|
| Infection symptomatique                           | alpha     | 20–34 %                   | (Gustafson et al. 1992)                            |
| Phase méningo-encéphalitique                      | gamma     | 20–30 %                   | (Gustafson et al. 1992; 1990; Kiffner et al. 2011) |
| Paralysie                                         | delta     | 11 %                      | (Günther et al. 1997; Kaiser 1999)                 |
| Parésie résiduelle                                | epsilon   | 56 %                      | (Günther et al. 1997)                              |
| Symptômes persistants                             | eta       | 39–46 %                   | (Günther et al. 1997; Mickiene et al. 2002)        |
| Autres séquelles                                  | lambda    | 35,7–38,8%                | (Günther et al. 1997; Haglund et Günther 2003)     |
| Décès au cours de la phase méningo-encéphalitique | beta      | 0,75%                     | (Mickiene et al. 2002)                             |

## ■ Poids d'incapacité du BCoDE toolkit

Le Tableau 29 détaille les poids d'incapacité associés aux états de santé et leur durée d'application dans le modèle BCoDE.

**Tableau 29: Poids d'incapacité du modèle BCoDE (source : d'après ECDC)**

| Etat de santé                | Poids d'incapacité (Haagsma et al. 2015) |                                                        | Durée                       |                                 |
|------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
|                              | Poids                                    | Description                                            | En années                   | Source                          |
| Infection symptomatique      | 0,051 (0,039-0,06)                       | Maladie infectieuse, épisode aigu, modéré              | 0,014 (0,005-0,019)         | (Gubler, Kuno, et Markoff 2007) |
| Phase méningo-encéphalitique | 0,447 (0,391-0,501)                      | Encéphalopathie - sévère                               | 0,041 (0,027-0,192)         | (Kaiser 1999)                   |
| Paralysie                    | 0,526 (0,469-0,586)                      | Lésion de la moelle épinière au niveau du cou (traité) | 0,0137                      | (Kaiser 1999)                   |
| Parésie résiduelle           | 0,056 (0,044-0,067)                      | Déficit moteur et cognitif, léger                      | Espérance de vie résiduelle | Espérance de vie résiduelle     |

|                       |                     |                                    |                             |                             |
|-----------------------|---------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Symptômes persistants | 0,202 (0,167-0,242) | Déficit moteur et cognitif, modéré | 1                           | (Günther et al. 1997)       |
| Autres séquelles      | 0,056 (0,044-0,067) | Déficit moteur et cognitif, léger  | Espérance de vie résiduelle | Espérance de vie résiduelle |

### ■ Répartition par âge des cas simulés dans la modélisation

Le Tableau 30 présente le nombre de cas symptomatiques par sexe et classe d'âge sur deux ans après application des hypothèses de répartition des cas présentées ci-dessus.

**Tableau 30 : Nombre de cas simulés dans le modèle BCoDE pour estimer le fardeau de la TBE en France sur deux ans**

| Average number of cases per year |               |               |
|----------------------------------|---------------|---------------|
| Age                              | Female        | Male          |
| 0                                | 0.00          | 0.00          |
| 1-4                              | 0.00          | 0.00          |
| 5-9                              | 0.00          | 0.00          |
| 10-14                            | 3.00          | 5.00          |
| 15-19                            | 3.00          | 5.00          |
| 20-24                            | 8.90          | 15.10         |
| 25-29                            | 3.00          | 5.00          |
| 30-34                            | 11.80         | 20.20         |
| 35-39                            | 5.90          | 10.10         |
| 40-44                            | 3.00          | 5.00          |
| 45-49                            | 11.80         | 20.20         |
| 50-54                            | 3.00          | 5.00          |
| 55-59                            | 14.80         | 25.20         |
| 60-64                            | 7.40          | 12.60         |
| 65-69                            | 3.00          | 5.00          |
| 70-74                            | 8.90          | 15.10         |
| 75-79                            | 14.80         | 25.20         |
| 80-84                            | 3.00          | 5.00          |
| 85+                              | 0.00          | 0.00          |
| <b>Total</b>                     | <b>105.30</b> | <b>178.70</b> |

## Annexe 4 : Méthodologie utilisée pour le travail d'éllicitation d'experts scientifiques en vue d'identifier les principales activités humaines associées à un risque de piqûre de tiques en forêt

Tableau 31 : Liste des 28 activités forestières qui ont été considérées dans l'éllicitation d'experts

| Activité                                             | Définition                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>i) Activités professionnelles</i>                 |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| A01. Activités scientifiques et/ou analytiques       | Activités liées à l'expérimentation, à la prospection ou à la collecte en forêt par des naturalistes, entomologistes, géologues, botanistes, mycologues, etc.                                                                                                               |
| A02. Activités forestières et de l'industrie du bois | Activités de sylviculture visant à entretenir les forêts en vue de leur exploitation commerciale (reboisement, plantation, régénération forestière) ou opérations forestières, couvrant les activités liées à la récolte du bois au sens large (abattage, débardage, etc.). |
| A03. Activités de protection de la forêt             | Activités liées à la protection ou à la surveillance d'une certaine zone de forêt. Les professionnels concernés sont principalement les gardes forestiers, les forestiers naturalistes, etc.                                                                                |
| <i>ii) Activités récréatives</i>                     |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| A04. Promenade                                       | Une promenade est un itinéraire piétonnier entrepris dans le but de se rendre à l'extérieur pour se détendre ou faire de l'exercice.                                                                                                                                        |
| A05. Randonnée                                       | La randonnée est une activité sportive de plein air qui consiste à concevoir et à suivre un itinéraire à pied, sans courir.                                                                                                                                                 |
| A06. Marche nordique                                 | La marche nordique est une forme dynamique de marche en pleine nature. Elle associe un travail d'endurance et d'aérobic, avec une marche accélérée à l'aide de bâtons de marche spéciaux.                                                                                   |
| A07. Jogging dans une zone boisée (course lente)     | Courir pour faire de l'exercice physique.                                                                                                                                                                                                                                   |
| A08. Trail                                           | Un trail est une course à pied qui se déroule en milieu naturel.                                                                                                                                                                                                            |
| A09. Course d'orientation                            | Il s'agit d'une course contre la montre en terrain varié, sur un parcours jalonné de points de contrôle que le concurrent doit découvrir en suivant des itinéraires de son choix, à l'aide d'une carte et d'une boussole.                                                   |
| A10. Parcours de santé                               | Il s'agit d'une promenade sportive ponctuée d'une série d'activités physiques ou méditatives, généralement dans un cadre naturel.                                                                                                                                           |
| A11. Cueillette de baies ou de fruits                | Activité consistant à cueillir des fruits comestibles (en particulier des baies), des graines, des feuilles, des tiges ou des racines sur certaines plantes présentes dans la nature.                                                                                       |
| A12. Cueillette de champignons                       | Activité consistant à ramasser des champignons dans la nature.                                                                                                                                                                                                              |
| A13. Vélo tout terrain (VTT)                         | Le VTT est une activité cycliste qui se pratique sur des terrains accidentés, en dehors des routes goudronnées.                                                                                                                                                             |
| A14. Vélo de randonnée                               | Le vélo de randonnée est une activité sportive et de loisir qui consiste à rouler sur des chemins et des sentiers, à des vitesses plus ou moins sportives.                                                                                                                  |

|                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A15. Equitation                                                       | L'équitation, qui peut être montée ou attelée, est une activité de loisir de plein air. On parle également d'équitation de plein air ou d'équitation de nature.                                                                                             |
| A16. Motocyclisme tout-terrain                                        | Activités motocyclistes qui se déroulent sur des chemins de terre ou des pistes sans revêtement routier plus ou moins sauvages. Cela comprend les activités d'enduro, de trail et de touring.                                                               |
| A17. Quad                                                             | Activité consistant à conduire un véhicule tout-terrain non couvert, monoplace ou biplace, à quatre roues pour la pratique du trail.                                                                                                                        |
| A18. Accrobranche                                                     | Activité sportive itinérante pratiquée en forêt, combinant l'escalade et le déplacement d'arbre en arbre sur un parcours sécurisé.                                                                                                                          |
| A19. Escalade                                                         | Activité sportive qui consiste à progresser le long d'une paroi pour atteindre le sommet d'une montagne.                                                                                                                                                    |
| A20. Activités naturalistes                                           | Les activités des naturalistes se répartissent entre l'observation, la protection, la photographie et l'analyse des « êtres naturels » dans les domaines de la botanique, de la zoologie et de la minéralogie.                                              |
| A21. Sylvothérapie (bains de forêt), relaxation                       | Pratique consistant à se connecter à la nature pour améliorer la santé mentale et physique.                                                                                                                                                                 |
| A22. Pêche (étang et rivière)                                         | La pêche est l'activité qui consiste à capturer des animaux aquatiques (poissons, crustacés, céphalopodes, etc.) dans leur biotope forestier (ruisseaux, étangs, lacs, mares).                                                                              |
| A23. S'allonger/s'asseoir sur l'herbe                                 | Activité consistant à rester en position stationnaire sur le sol, dans l'herbe, pour se reposer, contempler la nature ou manger (pique-nique).                                                                                                              |
| A24. Jeux de plein air                                                | Activités ludiques qui se déroulent à l'extérieur de manière non structurée et librement choisie. Il peut s'agir de jeux sportifs (pétanque, frisbee, sport de balle, etc.), de jeux d'enfants, de chasses au trésor, de jeux de rôle grandeur nature, etc. |
| A25. Affouage / Récolte de bois (coupe de bois pour les particuliers) | Dans plusieurs pays, la coupe ou le ramassage du bois dans les forêts est strictement réglementé. L'affouage est le droit des résidents locaux de couper du bois sur les terres communales.                                                                 |
| A26. Passer la nuit dans la forêt                                     | Il peut s'agir de passer la nuit en forêt dans un campement plus ou moins sommaire, généralement dans le cadre d'une activité telle que le repérage, le camping ou le bivouac pour une randonnée.                                                           |
| <b>C. Activités de chasse</b>                                         |                                                                                                                                                                                                                                                             |
| A27. La chasse en tant que tir et battue                              | La chasse à l'arme (fusil, carabine ou arc) qui peut être pratiquée individuellement ou en groupe, sans chien ou avec un ou plusieurs chiens.                                                                                                               |
| A28. Chasse à l'approche                                              | Chasse à l'affût dans laquelle le chasseur attend le gibier à un endroit précis, caché et prêt à tirer.                                                                                                                                                     |

**Tableau 32 : Critères à prendre en compte pour hiérarchiser les activités forestières et les différents scores à attribuer pour chacun des critères**

| Critère (nombre de modalités du score)                                           | Score | Définition                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fréquence de l'activité<br>(4 modalités)                                         | 1     | Très occasionnel (quelques fois par an)                                                                                       |
|                                                                                  | 2     | Occasionnel (1 à 2 fois par mois)                                                                                             |
|                                                                                  | 3     | Assez fréquent (1 à 2 fois par semaine)                                                                                       |
|                                                                                  | 4     | Fréquent (plus de 2 fois par semaine)                                                                                         |
| Saisonnalité<br>(4 modalités)                                                    | 1     | Jamais pendant la période d'activité des tiques                                                                               |
|                                                                                  | 2     | Parfois pendant la période d'activité des tiques                                                                              |
|                                                                                  | 3     | Fréquemment pendant la période d'activité des tiques                                                                          |
|                                                                                  | 4     | Toujours pendant la période d'activité des tiques                                                                             |
| Durée d'exposition<br>(4 modalités)                                              | 1     | Moins de 1h                                                                                                                   |
|                                                                                  | 2     | Entre 1h et 4h                                                                                                                |
|                                                                                  | 3     | Entre 4h et 8h                                                                                                                |
|                                                                                  | 4     | Plus de 8h                                                                                                                    |
| Distance couverte<br>durant l'activité<br>(5 modalités)                          | 0     | Moins de 1km                                                                                                                  |
|                                                                                  | 1     | Entre 1 et 5 km                                                                                                               |
|                                                                                  | 2     | Entre 5 et 20 km                                                                                                              |
|                                                                                  | 3     | Entre 20 et 50 km                                                                                                             |
|                                                                                  | 4     | Plus de 50 km                                                                                                                 |
| Degré de contact avec<br>la végétation<br>(5 modalités)                          | 0     | Nul à négligeable                                                                                                             |
|                                                                                  | 1     | Faible                                                                                                                        |
|                                                                                  | 2     | Moyenne                                                                                                                       |
|                                                                                  | 3     | Élevée                                                                                                                        |
|                                                                                  | 4     | Très élevé                                                                                                                    |
| Vitesse durant l'activité<br>(5 modalités)                                       | 0     | Activité sur site                                                                                                             |
|                                                                                  | 1     | Moins de 3km/h                                                                                                                |
|                                                                                  | 2     | Entre 3 et 8km/h                                                                                                              |
|                                                                                  | 3     | Entre 8 et 13km/h                                                                                                             |
|                                                                                  | 4     | Plus de 13km/h                                                                                                                |
| Niveau de protection<br>général contre les<br>piqûres de tiques<br>(9 modalités) | 0     | Pas de protection                                                                                                             |
|                                                                                  | 1     | Protection non spécifique fournie par l'habitable ou protection liée à l'activité exercée (par exemple, combinaison de moto). |
|                                                                                  | 2     | Utilisation spécifique de vêtements couvrants                                                                                 |
|                                                                                  | 3     | Utilisation spécifique de répulsifs cutanés                                                                                   |
|                                                                                  | 4     | Inspection du corps après l'exposition                                                                                        |
|                                                                                  | 5     | Utilisation de deux moyens de protection spécifiques : port de vêtements couvrants et utilisation de répulsifs cutanés        |



|  |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | 6 | Utilisation de deux moyens de protection spécifiques : port de vêtements de protection et inspection corporelle après l'exposition                                                                                                                                                                     |
|  | 7 | Utilisation de deux moyens de protection spécifiques : utilisation de répulsifs cutanés et inspection corporelle après l'exposition. Utilisation de trois moyens de protection spécifiques : port de vêtements couvrants, utilisation de répulsifs cutanés et inspection corporelle après l'exposition |
|  | 8 | Utilisation de deux moyens de protection spécifiques : port de vêtements couvrants et utilisation de répulsifs cutanés                                                                                                                                                                                 |

Le cadre conceptuel suivant a été considéré :

- une forêt dans laquelle tous les facteurs sont réunis pour favoriser la présence des tiques (présence d'hôtes, facteurs biotiques et abiotiques) et ;
- une circulation TBEV dans cette forêt et ;
- l'ensemble des activités listées sont possibles dans cette forêt et ;
- la prise en compte de la situation la plus fréquemment rencontrée pour chaque type d'activité (attribution d'un score par critère).

Si l'expert.e ne s'estimait pas en mesure de répondre sur un critère particulier (parce qu'il pensait ne pas en avoir la légitimité), il lui a été recommandé de donner sa réponse même s'il n'était pas parfaitement certain de celle-ci. En effet, il pouvait signaler son incertitude à la fin du questionnaire (via l'onglet « incertitude »).

Le questionnaire a été préparé sous forme d'un fichier Excel constitué de différents onglets :

- Onglet intitulé « Information expert » : il visait à caractériser brièvement le profil de l'expert.e qui remplissait le questionnaire.
- Un ensemble de 7 onglets concernant les différents critères considérés : (1) la fréquence de l'activité ; (2) la saisonnalité ; (3) la durée d'exposition ; (4) la distance couverte durant l'activité ; (5) le degré de contact avec la végétation ; (6) la vitesse durant l'activité ; et (7) le niveau de protection général contre les piqûres de tiques. Ces onglets visaient à recueillir l'avis de chaque expert.e en attribuant un score pour chacun des critères définis pour chaque activité. Dans chaque onglet du fichier, la démarche et les précisions nécessaires étaient fournies (ex. les définitions des scores) (Tableau 32).
- Onglet intitulé « poids des critères » : il visait à distribuer un nombre déterminé (fixe) de points parmi les différents critères susmentionnés. Si l'expert.e jugeait les critères équivalents, alors il/elle lui attribuait un même nombre de points. A défaut, il/elle attribuait le nombre de points proportionnellement à l'importance relative des critères considérés.
- Onglet intitulé « incertitude » : pour chaque critère, il était également demandé de donner une note d'incertitude comprise entre 1 (incertitude minimale) et 5 (incertitude maximale).

Dans chaque onglet du fichier Excel, la démarche et les précisions nécessaires à la réalisation de ce travail étaient expliquées (comme par exemple, la définition de chaque score).

Le questionnaire a été affiné en tenant compte des commentaires faisant suite à un prétest du questionnaire auprès de 4 expert.e.s du GT, chacun.e ayant une discipline de prédilection différente (science politique, économie, tiques et maladies à tiques, évaluation du risque). Le questionnaire a ensuite été transmis à une liste d'expert.e.s scientifiques constituée par le GT.

Au total 13 experts français ont pris part à l'éllicitation. Le nombre d'années d'expertise professionnelle dans le domaine des maladies à tique suivait une distribution normale dont la moyenne est de 20,5 années et l'écart type de 9,36 années. Les mots clefs caractérisant l'expertise des experts étaient en lien avec l'épidémiologie et l'écologie des maladies à tiques et sont présentés dans la Figure 52.



**Figure 52 : Nuage de mots caractérisant l'expertise des 13 experts français élicités**

Pour évaluer le poids relatif de chaque critère, chaque expert a reçu 70 billes à distribuer entre les critères. Les résultats révèlent que les critères n'ont pas tous le même poids (test de classement de Kruskal-Wallis pour l'égalité des populations ;  $\chi^2$  (6 degrés de liberté) = 51,48 ; valeur de  $P = 0,0001$ ). En utilisant une régression quantile<sup>130</sup>, les résultats montrent que le degré de contact avec la végétation (critère 5 ;  $P < 0,001$ ) et le niveau de protection général contre les piqûres de tiques (critère 7 ;  $P = 0,029$ ) sont plus pesants que la fréquence de l'activité, la saisonnalité, et la durée d'exposition (critères 1 à 3, respectivement) alors que la distance couverte durant l'activité (critère 4) et la vitesse durant l'activité (critère 6) ont un poids significativement moins important ( $P = 0,007$ ).

<sup>130</sup>Permettant la comparaison des médianes des domaines de facteurs ((Givord P. et D'Haultfœuille X., 2013) (URL: <https://www.irdes.fr/documentation/veille/veille-bibliographique-en-economie-de-la-sante-18-octobre-2013.pdf>)

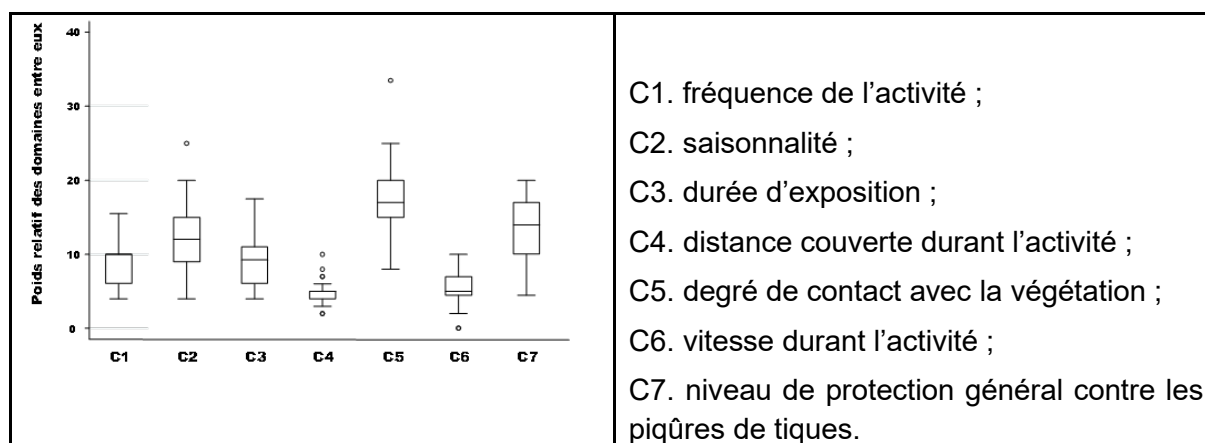


**Figure 53 : Boîtes à moustaches avec le poids de chaque critère estimé par les experts élicités.** C1 à C7, les 7 critères retenus par les experts.

L'incertitude sur les critères à prendre en compte pour hiérarchiser les activités forestières a été estimée par chaque expert sur une échelle allant de la note 1 (incertitude minimale) à la note 5 (incertitude maximale) (Figure 53). La note d'incertitude médiane était respectivement de 2 pour le degré de contact avec la végétation (C5), de 3 pour la fréquence de l'activité (C1), la saisonnalité (C2), la durée d'exposition (C3), la distance couverte durant l'activité (C4) et le degré de contact avec la végétation (C6), et de 4 pour le niveau de protection général contre les piqûres de tiques (C7).

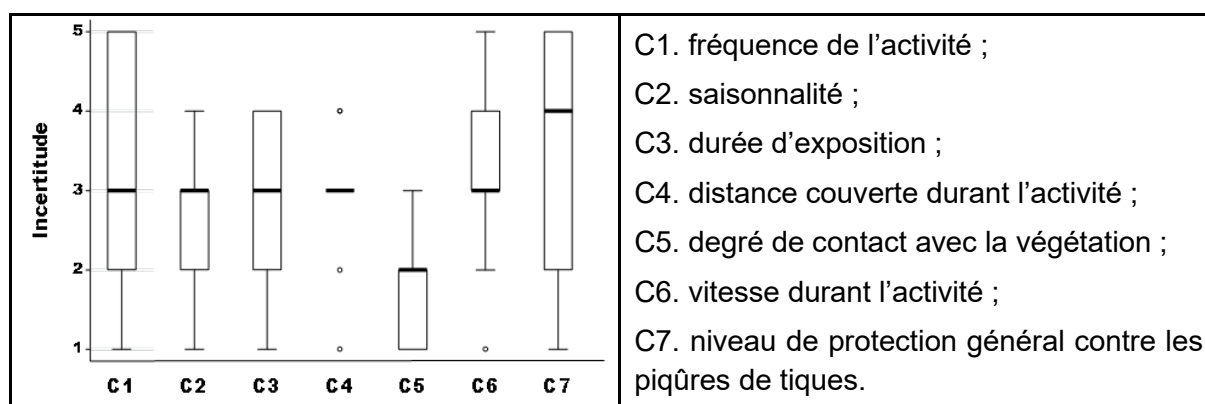


**Figure 54 : Boîtes à moustaches avec la note d'incertitude de chaque critère estimé par les experts élicités**

Tenant compte d'une part, du score attribué pour chaque critère, du nombre de modalités possible pour chaque score et, d'autre part, du poids relatif de chacun des critères, un score global pondéré a pu être calculé pour chacune des activités et pour chaque expert :

$$\text{Score global pondéré pour un expert donné} = \sum (\text{Score}_{Ci} / M_{Ci}) \times \text{Poids}_{Ci}$$

avec  $C_i$ , un critère donné et  $M$  est le nombre de modalités par score pour un critère donné (Tableau 32). Le nombre de modalités n'étant pas le même pour chaque critère, chaque score attribué a été divisé par le nombre de modalités du critère considéré (standardisation).

En appliquant un test de classement de Kruskal-Wallis pour l'égalité des populations, il a été observé que les différentes activités avaient une importance relative contrastée (Chi2 avec 27 degrés de liberté = 119,06 et valeur de P = 0.0001).

L'ordonnancement des activités les unes par rapport aux autres a ensuite été réalisé en se basant sur les médianes des scores globaux obtenus par activités. Finalement, les activités ont été agrégées en quatre groupes à l'aide d'un arbre de régression (activités forestières qualifiées de très à risque, à risque, modérément à risque et faiblement à risque). Chaque groupe d'activités a été identifié par une moyenne donnée et en minimisant autant que faire se peut son écart-type. L'ordonnancement et le regroupement des activités sont présentés dans la Figure 54.

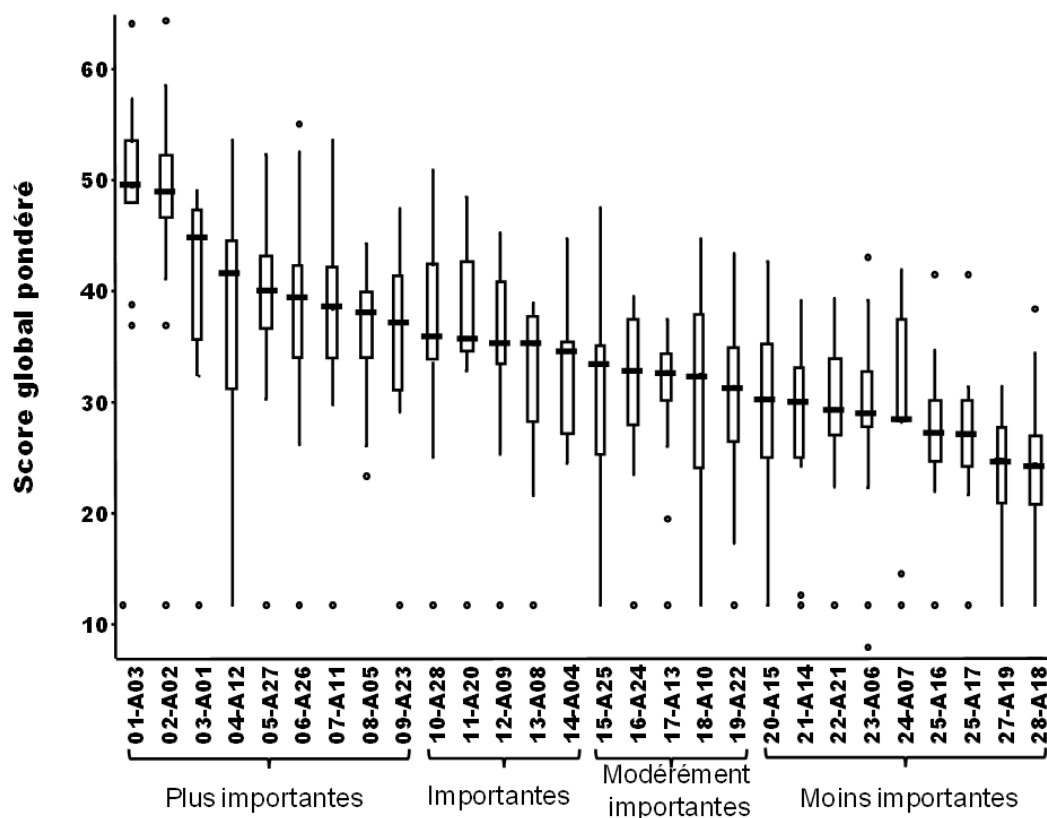
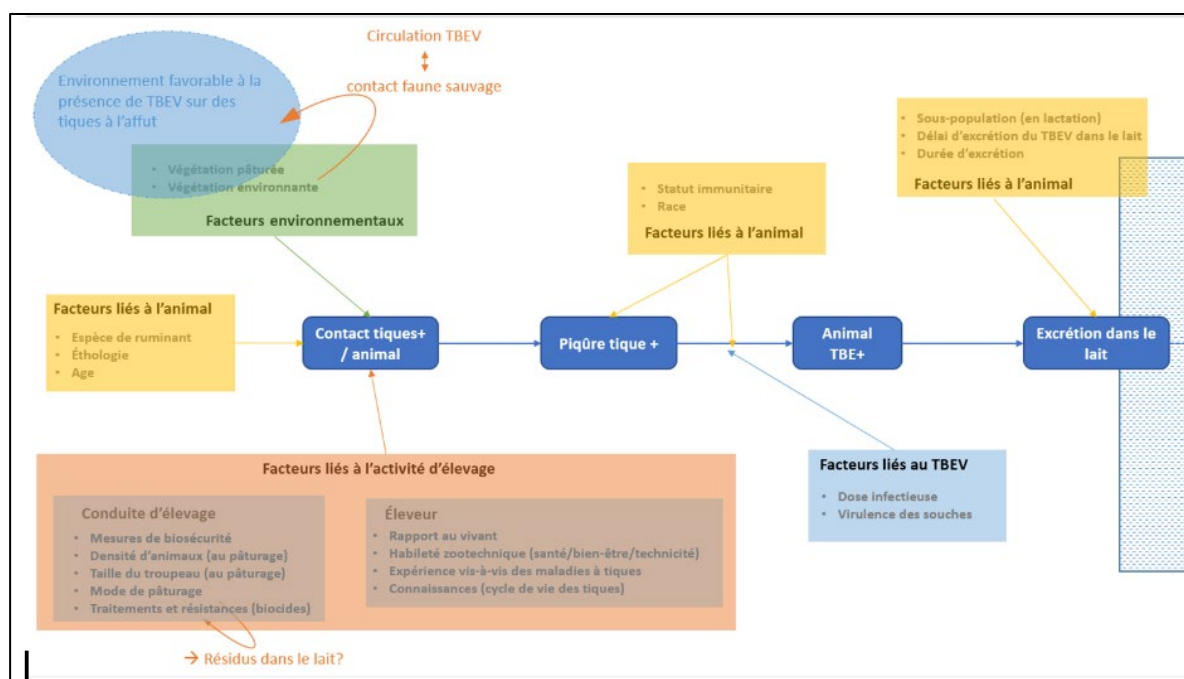


**Figure 55 : Boîte à moustaches permettant de visualiser le classement des activités forestières par ordre décroissant de risque d'exposition aux piqûres de tiques (l'ordre décroissant est basé sur la médiane des valeurs du score global pondéré obtenu par les experts).**

A01 à A28 sont les différentes activités listées dans le Tableau 31.

## Annexe 5 : Schéma conceptuel présentant les circonstances conduisant à l'apparition de cas de TBE dans un élevage caprin.



### Description du schéma :

Le point central concerne l'exposition d'un animal à une tique porteuse du TBEV. Les facteurs relatifs à l'élevage susceptibles de moduler cette exposition sont groupés en trois catégories. La première (en vert sur le schéma) concerne les facteurs environnementaux qui vont conditionner la présence de tiques à l'affût porteuses du virus dans l'environnement de l'animal. Il s'agit notamment de caractériser le risque lié au type de végétation pâturée et à la nature et l'entretien de la végétation immédiatement environnante du site pâturé. Naturellement le principal facteur de modulation de ce paramètre environnemental en termes de risque de présence de tique porteuse est l'intensité de la circulation du virus au sein de la faune sauvage locale conditionnant la probabilité qu'une tique à l'affût soit effectivement porteuse du virus. Au-delà de ces facteurs environnementaux, une seconde catégorie (encadré jaune) sera envisagée : les facteurs liés à l'animal, particulièrement son éthologie éventuellement conditionnée par des caractéristiques de l'espèce (caractère grégaire, dispositions à l'exploration) et l'âge des animaux du troupeau. Enfin la troisième catégorie de facteurs modulant l'exposition regroupe ceux liés à des pratiques d'élevage (encadré orange) relevant de la zootechnie : conduite de l'élevage incluant l'application de mesures de biosécurité, la taille du troupeau et l'espace accessible, ces deux paramètres conditionnant la densité d'animaux au pâturage ; ainsi que le type de pâturage (extensif ou intensif, continu ou tournant voire en bandes, avec enclos nocturne ou non) et l'usage éventuel de traitements répulsifs ou curatifs (naturels, médicamenteux ou mixtes) par l'éleveur (la notion de résistance induite et de présence de résidus de ces traitements dans le lait est à considérer dans l'analyse). La technicité de l'éleveur intervient donc particulièrement dans la modulation de ces facteurs de risques liés aux pratiques d'élevage. L'intervention de l'éleveur dans la gestion du risque d'exposition des animaux aux tiques implique de sa part des connaissances sur le cycle de vie du parasite et sur les maladies induites par cette exposition, implique également une

habileté technique d'élevage et un rapport favorable au vivant de manière générale, dans une perspective de santé mais aussi de bien être des chèvres qu'il conduit.

Avant d'envisager l'infection de l'animal, le taux de piqûres en cas d'exposition est un paramètre à apprécier. De plus, entre la piqûre et l'apparition effective d'une infection chez l'animal, des facteurs de modulation interviennent qui peuvent être liés à la chèvre ou au TBEV. Parmi les facteurs liés à l'animal, la sensibilité éventuellement différente entre race de chèvres devra être explorée, plus sûrement un effet de l'immunité, acquise par vaccination ou par une précédente piqûre, permettra de moduler le risque d'une piqûre entraînant des effets. Pour ce qui concerne les facteurs de modulation du risque de transmission liés au virus lui-même, ils seront caractérisés par l'appréciation de la dose effectivement inoculée et l'éventuelle variabilité de la virulence entre souches de TBEV.

Alors l'animal présente des signes plus ou moins ténus de TBE et la question de la transmission au lait est posée selon le risque que la chèvre soit en phase de lactation ou pas, en tenant compte d'un délai entre la piqûre et l'excrétion dans le lait, et la durée de cette dernière.



## Annexe 6 : Bilan des réponses de l'enquête multilatérale européenne menée par l'Anses en octobre 2023 sur les cas de transmission alimentaire du TBEV (Epidémiologie, mesure de maîtrise dans la chaîne alimentaire)

### 1. Questionnaire

*Tick-borne encephalitis (TBE) is a zoonotic infection caused by the tick-borne encephalitis virus (TBEV). TBEV is mainly transmitted to humans through tick bites, but foodborne infections occur in certain regions through the consumption of raw (unpasteurised) milk (goat, sheep and cow) and products made from this milk, such as cheese.*

*The disease is endemic in many European countries (Austria, Germany, Northern Europe, the Baltic States, the Czech Republic, Slovenia, etc.) and an increase in its incidence is currently being observed in Europe, e.g. in Switzerland and Germany, correlating in particular with the emergence of new risk areas or new outbreaks. The range of the virus also appears to be expanding into new geographical areas, such as the Netherlands, Belgium and England, which recorded their first indigenous human cases of TBE in recent years in 2016, 2018 and 2019 respectively.*

*With around twenty cases diagnosed each year, France is considered to have a low incidence of TBE, although it is currently the third most common cause of encephalitis in the country. Until recently, these infections were only associated with tick bites in France. However, in April-May 2020, the first foodborne outbreak (44 cases) linked to the consumption of raw goat's cheese was identified in the department of Ain, outside the area historically known for the circulation of the virus.*

*Anses commissioned a self-task on the risks associated with the emergence of TBE in France. As part of this work, the working group is compiling data on foodborne TBE cases in order to identify the main sources of contamination and management options in the food chain.*

#### Questions

*We would be grateful if you could send us any information on this subject, in particular*

#### 1. The epidemiology of food-borne TBE in your country

- a. The total number of reported foodborne TBE cases/outbreaks in the last 5/10 years.
- b. For each outbreak (if more than 10 outbreaks, limit to the last 5 years), please specify in the file attached to the request:
  - The implicated food (raw milk, cream, cheese, yoghurt, ice cream, etc.) and the confirmation status (suspected, confirmed).
  - For cheese: name and/or category (fresh unripened cheese, soft ripened cheese, semi-hard cheese, hard cheese)
  - Animal species (bovine, ovine, caprine, other: please specify)
  - Production channel: farm/industrial
  - Factors that contributed to the outbreak
  - Management measures taken to contain the outbreak
  - Related publication, if any

#### 2. Measures to control TBEV in the food chain

- a. What measures are in place in your country to specifically control TBEV in dairy products?
  - Pasteurisation of milk,
  - Analysis of bulk or individual milk (if so, specify whether RT-PCR, serology, other)
  - Analysis of cheese (if yes, specify whether RT-PCR or serology, other)
  - Information campaigns,
  - other? (please specify)
- b. What measures are in place in your country to prevent exposure of animals to ticks?
  - prevention of tick exposure by use of repellents (please specify which molecules)
  - or other measures (please specify)

#### 3. The surveillance system for TBE

- Is TBE a notifiable disease in animals (and if so, since when and in which species)?

## 2. Epidémiologie des cas de TBE d'origine alimentaire dans les pays répondants

| Pays      | Mois, Année              | Nombre de cas                                      | Source                                        | Statut   | Lieu de d'exposition                            | Mesures de gestion de l'épidémie                                                                                                            | Référence                |
|-----------|--------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Allemagne | mai-16                   | 2                                                  | Lait cru et fromage au lait cru de chèvre cru | Confirmé | Ferme                                           |                                                                                                                                             | Brockmann et al 2018     |
| Allemagne | 2017                     | 13                                                 | Lait cru et fromage au lait cru de chèvre     | Confirmé |                                                 |                                                                                                                                             |                          |
| Allemagne | 2017                     | 8                                                  | Lait cru de chèvre                            | Confirmé |                                                 |                                                                                                                                             |                          |
| Autriche  | 2008                     | 6                                                  | Fromage au lait cru de chèvre et de vache     | Confirmé | Ferme                                           |                                                                                                                                             |                          |
| Bulgarie  | 2014-2022                | 7 (absence de cas identifié d'origine alimentaire) |                                               |          |                                                 |                                                                                                                                             |                          |
| Chypre    |                          | 0                                                  |                                               |          |                                                 |                                                                                                                                             |                          |
| Croatie   | 2016-2022                | 125?                                               |                                               |          |                                                 |                                                                                                                                             |                          |
| Croatie   | 2015                     | 7                                                  | Lait cru et fromage au lait cru de chèvre cru | Confirmé | Ferme                                           |                                                                                                                                             | Markovinović et al 2015. |
| Espagne   |                          | 0                                                  |                                               |          |                                                 |                                                                                                                                             |                          |
| Estonie   | mai-05                   | 37                                                 | Lait cru de chèvre                            | Confirmé | Ferme                                           | Information des consommateurs sur la transmission alimentaire du TBEV<br>Recherche active des cas<br>Test des animaux de l'élevage suspecté | Donchenko 2005           |
| Estonie   | Septembre 2005           | 6                                                  | Lait cru de chèvre                            | Suspecté | Ferme (exploitation familiale-autoconsommation) | Recommandation du traitement thermique du lait avant consommation                                                                           |                          |
| Estonie   | oct-05                   | 3                                                  | Lait cru de chèvre                            | Suspecté | Ferme (exploitation familiale-autoconsommation) | Recommandation du traitement thermique du lait avant consommation                                                                           |                          |
| Estonie   | May - Juin 2006          | 4                                                  | Lait cru de chèvre                            | Suspecté | Ferme (exploitation familiale-autoconsommation) | Recommandation du traitement thermique du lait avant consommation                                                                           |                          |
| Estonie   | Septembre - Octobre 2006 | 5                                                  | Lait cru de chèvre                            | Suspecté | Ferme (exploitation familiale-                  | Recommandation du traitement thermique du lait                                                                                              |                          |

| Pays               | Mois, Année | Nombre de cas     | Source                                         | Statut                      | Lieu de d'exposition                            | Mesures de gestion de l'épidémie                                                                                                                                                                                                | Référence                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------|-------------|-------------------|------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                    |             |                   |                                                |                             | autoconsommation)                               | avant consommation                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Estonie            | juin-09     | 3                 | Lait cru de chèvre                             | Suspecté                    | Ferme (exploitation familiale-autoconsommation) | Recommandation du traitement thermique du lait avant consommation                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Grèce              | 2014-2022   | 0 (7 total cases) |                                                |                             |                                                 |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Hongrie            | mai-22      | 3                 | Lait cru de chèvre                             | Probable                    | Ferme (exploitation familiale-autoconsommation) |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Irlande            | 2013-2023   | 0 (1)             |                                                |                             |                                                 |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Luxembourg         |             | 0                 |                                                |                             |                                                 |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Pays-Bas           | 2016 - 2023 | 0 ( total 33)     |                                                |                             |                                                 |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Pologne            | Aout 2022   | 7                 | Lait cru et fromage au lait cru de chèvre cru  | Suspecté                    | Ferme                                           |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Pologne            | juin-22     | 2                 | Lait cru de chèvre                             | Suspecté                    | Marché                                          |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Pologne            | mai-23      | 1                 | Lait cru                                       | Suspecté                    |                                                 |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Pologne            | mai-23      | 1                 | Lait cru                                       | Suspecté                    |                                                 |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| République Tchèque | 2018        | 1                 | Lait cru de chèvre                             | Suspecté                    | Ferme                                           | Interdiction de consommation des produits laitiers incriminés<br>Recherche active et examen clinique et sérologiques des populations exposées, Test des animaux de l'élevage suspecté (sérum) et recherche du TBEV dans le lait | 473/2008 Coll. DECREE of the Ministry of Health of 17 December 2008 on the epidemiological vigilance system for selected infections, as amended by Decrees No.275/2010 Coll. and No.233/211 Coll. Annex 28 - Tick-borne encephalitis epidemiological vigilance system |
| République Tchèque | 2018        | 1                 | Lait cru de vache                              | Suspecté ( piqure de tique) | Ferme                                           |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| République Tchèque | 2019        | 1                 | Fromage au lait cru                            | Suspecté                    | Ferme                                           |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| République Tchèque | 2020        | 1                 | Lait cru de chèvre                             | Suspecté                    | Ferme                                           |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| République Tchèque | 2022        | 1                 | Lait cru de chèvre                             | Suspecté                    | Ferme (autoconsommation)                        |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| République Tchèque | 2022        | 1                 | Lait cru de vache                              | Suspecté                    | Ferme                                           |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| République Tchèque | 2022        | 1                 | Lait cu de vache                               | Suspecté                    | Ferme (autoconsommation)                        |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Slovaquie          | mai-18      | 6                 | Fromage au lait cru de chèvre ( fromage frais) | Suspecté                    | Ferme                                           |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Slovaquie          | mai-18      | 4                 | Fromage au lait cru de brebis ( fromage frais) | Suspecté                    | Ferme                                           |                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                       |

| Pays      | Mois, Année    | Nombre de cas | Source                                         | Statut   | Lieu de d'exposition                              | Mesures de gestion de l'épidémie | Référence |
|-----------|----------------|---------------|------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------|----------------------------------|-----------|
| Slovaquie | juin-18        | 3             | Fromage au lait cru de brebis ( fromage frais) | Suspecté | Ferme                                             |                                  |           |
| Slovaquie | juin-18        | 6             | Fromage au lait cru de chèvre ( fromage frais) | Suspecté | Ferme (exploitation familiale- autoconsom mation) |                                  |           |
| Slovaquie | avr-19         | 7             | Fromage au lait cru de chèvre ( fromage frais) | Suspecté | Ferme                                             |                                  |           |
| Slovaquie | mai-19         | 3             | Lait de chèvre                                 | Suspecté | Ferme (exploitation familiale- autoconsom mation) |                                  |           |
| Slovaquie | juin-19        | 2             | Lait de chèvre                                 | Suspecté | Ferme (exploitation familiale- autoconsom mation) |                                  |           |
| Slovaquie | oct-19         | 2             | Lait de chèvre                                 | Suspecté | Ferme (exploitation familiale- autoconsom mation) |                                  |           |
| Slovaquie | avr-20         | 2             | Fromage au lait cru de brebis (fromage frais)  | Suspecté | Ferme                                             |                                  |           |
| Slovaquie | mai-20         | 2             | Fromage au lait cru de brebis (fromage frais)  | Suspecté | chalet                                            |                                  |           |
| Slovaquie | mai-20         | 2             | Fromage au lait cru de brebis (fromage frais)  | Suspecté | Ferme (exploitation familiale- autoconsom mation) |                                  |           |
| Slovaquie | juin-20        | 2             | Lait de chèvre                                 | Suspecté | Ferme (exploitation familiale- autoconsom mation) |                                  |           |
| Slovaquie | juin-20        | 3             | Fromage au lait cru de brebis (fromage frais)  | Suspecté | Ferme                                             |                                  |           |
| Slovaquie | Novem bre 2021 | 5             | Lait de chèvre                                 | Suspecté | Ferle                                             |                                  |           |
| Slovaquie | mai-22         | 4             | Fromage au lait cru de brebis (fromage frais)  | Suspecté | chalet                                            |                                  |           |
| Slovaquie | juin-22        | 2             | Fromage au lait cru de brebis (fromage frais)  | Suspecté | Ferme (exploitation familiale- autoconsom mation) |                                  |           |

| Pays      | Mois, Année | Nombre de cas | Source                                        | Statut   | Lieu de d'exposition                            | Mesures de gestion de l'épidémie                                                                                               | Référence           |
|-----------|-------------|---------------|-----------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Slovaquie | juin-22     | 2             | Fromage au lait cru de brebis (fromage frais) | Suspecté | chalet                                          |                                                                                                                                |                     |
| Slovénie  | 2012        | 3             | Lait cru de chèvre                            | Confirmé | Ferme                                           | Information sur le transmission alimentaire du TBEV<br>Pasteurisation lait et des produits laitiers<br>Campagne de vaccination | Hudopisk et al 2013 |
| Suède     |             | 0             |                                               |          |                                                 |                                                                                                                                |                     |
| Suisse    | mai-20      | 1             | Lait cru de brebis                            | Suspecté | Ferme (exploitation familiale-autoconsommation) |                                                                                                                                |                     |
| Suisse    | mai-20      | 5             | Fromage au lait cru de brebis (fromage frais) | confirmé | Ferme (exploitation familiale-autoconsommation) | Recommandation d'éviction de la consommation de lait cru et de produits à base de lait cru                                     | Benz L., et al 2024 |

### 3. Mesures de gestion (surveillance, prévention, maîtrise) de la transmission alimentaire du TBEV appliquées dans les pays répondants

| Pays               | Mesures préventives dans la chaîne alimentaire                                                                                                                                                                   | Mesures préventives chez les animaux                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Déclaration obligatoire de la maladie animale |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Allemagne          | Pasteurisation du lait                                                                                                                                                                                           | Absence de mesures officielles                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | non                                           |
| Autriche           | Pasteurisation du lait<br>En cas de vente directe du lait cru, information du consommateur sur la nécessité de bouillir le lait cru                                                                              | Usage d'antiparasitaires                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | non                                           |
| Bulgarie           |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                               |
| Chypre             | Pasteurisation du lait                                                                                                                                                                                           | Utilisation de répulsifs                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | non                                           |
| Croatie            | Pasteurisation du lait                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | non                                           |
| Espagne            |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                               |
| Estonie            | Pasteurisation du lait<br>Analyse du lait ou des fromages en cas de suspicion de foyer                                                                                                                           | Absence de mesures officielles                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | non                                           |
| Grèce              |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | non                                           |
| Hongrie            |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                               |
| Irlande            |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                               |
| Luxembourg         |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                               |
| Pays-Bas           | Absence de mesures officielles                                                                                                                                                                                   | Absence de mesures officielles                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | non                                           |
| Pologne            | Pasteurisation du lait livré aux grandes laiteries<br>Informations des éleveurs sur l'incidence et les symptômes du TBE chez les animaux                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                               |
| République Tchèque | Pasteurisation du lait<br>En cas de vente directe du lait cru : information du consommateur sur la nécessité de bouillir le lait cru (Obligation d'étiquetage)<br>Plan surveillance du TBEV dans le lait ( 2014) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | non                                           |
| Slovaquie          | Plan de surveillance du TBEV dans le lait de brebis et de chèvre au moment du pic d'activité des tiques (avril-juin) (2015 - 2019)<br>Pasteurisation du lait en cas d'échantillon positif                        | Usage d'antiparasitaires                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | non                                           |
| Slovénie           |                                                                                                                                                                                                                  | Absence de mesures officielles                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | non                                           |
| Suède              | Pasteurisation du lait<br>plan de surveillance du lait cru ( 2019)                                                                                                                                               | Les substances suivantes sont approuvées ou mises à disposition par autorisation spéciale (licence) pour la prophylaxie des tiques chez les bovins et les ovins en Suède : Bovins et ovins : Fluméthrine, deltaméthrine Ovins : Cyperméthrine Chèvres : Il n'y a pas de préparations approuvées pour les chèvres en Suède. Le principe de la cascade est utilisé pour les | non                                           |



|        |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                        |     |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|        |                                                                                                                                                              | préparations approuvées pour les ovins ou les bovins. Pour les chèvres laitières, il doit y avoir une LMR pour la préparation choisie. |     |
| Suisse | Pasteurisation du lait<br>Plan de surveillance du TBEV dans le lait cru (2021)<br>Information des consommateurs et de professionnels de l'industrie laitière | Absence de mesures officielles                                                                                                         | non |

## **Annexe 7 : Méthodologie utilisée pour le travail d'élicitation d'experts en vue d'identifier les principaux facteurs associés à une augmentation d'incidence des cas humains d'infection par le TBEV**

Les avis des experts ont été collationnés en utilisant un fichier Excel à remplir. Ce questionnaire comportait 11 feuilles de calcul :

- Une première feuille correspondait à l'information sur l'expert ;
- Huit feuilles correspondaient à chacun des huit domaines de facteurs considérés ;
- Une dixième feuille correspondait à la pondération des domaines de facteurs entre eux ;
- Une onzième feuille concernait l'incertitude afférente à chaque domaine de facteurs.

Les experts ont été sollicités pour préciser leur profil, attribuer un score par facteur d'influence (sachant que le nombre de modalités par facteur d'influence n'était pas toujours identique), donner un poids relatif à chaque domaine de facteurs d'influence et estimer l'incertitude associée à chacun de ces domaines.

Au total 18 experts français ont participé à l'éllicitation. Le nombre d'années d'expérience des experts sur les maladies transmises par les tiques suivait une distribution normale (moyenne et écart type de respectivement 16,6 et 10,2 années). Les mots clefs caractérisant leur expertise étaient en lien avec l'épidémiologie des tiques et maladies à tiques (Figure 56).

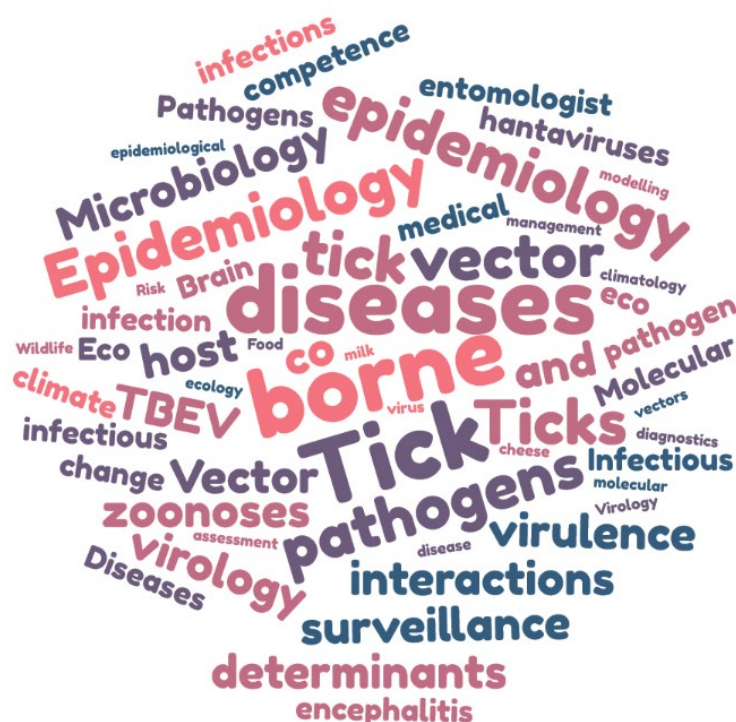


**Figure 56 : Nuage de mots caractérisant l'expertise des 18 experts français élicités.**

Pour évaluer le poids relatif de chaque domaine de facteurs, chaque expert a reçu 100 billes à distribuer entre les 8 domaines (Figure 57). Il ressort de l'analyse que les domaines de facteurs considérés n'ont pas tous le même poids (test de classement de Kruskal-Wallis pour l'égalité des populations ;  $\chi^2$  (7 degrés de liberté) = 55,29; valeur de P = 0,0001). En utilisant

une régression quantile<sup>131</sup> (permettant la comparaison des médianes des domaines de facteurs), il apparaît que le domaine D2 (distance par rapport à l'Europe et en particulier la France) et D8 (activités économiques et commerciales) ont un poids significativement moins important (valeur de  $P = 0,032$ ) et les domaines D5 (changement global; valeur de  $P < 0,001$ ), D6 (interface avec la faune sauvage; valeur de  $P < 0,001$ ) et 7 (activités humaines; valeur de  $P < 0,001$ ) plus pesants que les domaines D1 (caractéristiques de la maladie/de l'agent pathogène), D3 (capacité à surveiller, traiter et contrôler la maladie) et D4 (caractéristiques des exploitations agricoles européennes).

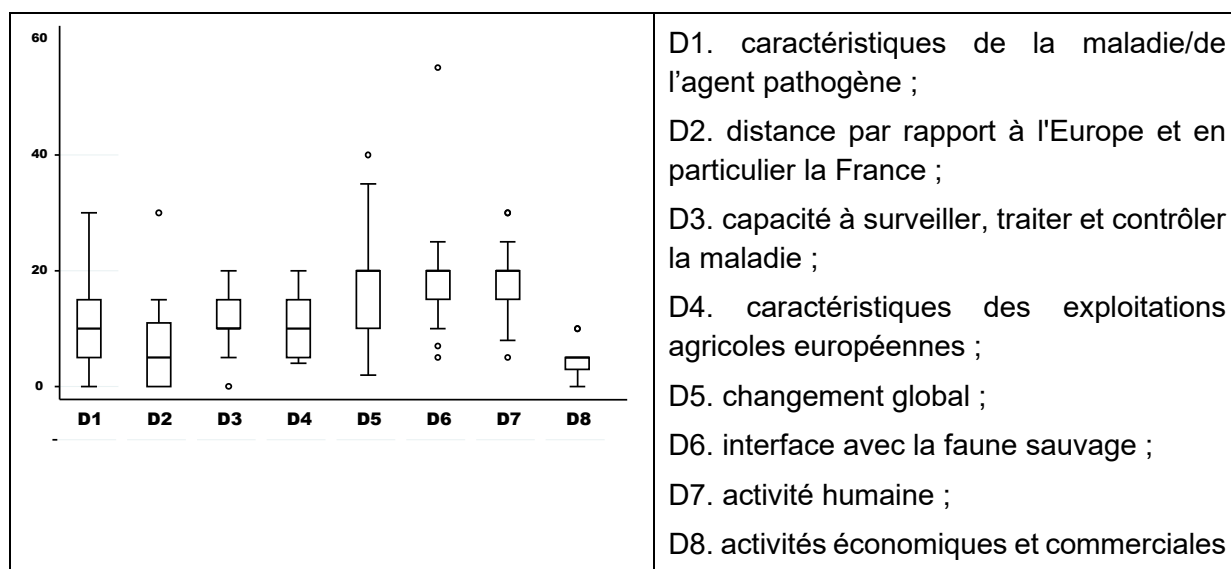


**Figure 57 : Boîtes à moustaches avec le poids de chaque domaine de facteurs estimé par les experts élicités.**

La ligne horizontale en gras dans chaque rectangle représente la médiane de la distribution des scores entre les différents experts attribués à chaque activité ; les lignes continues en haut et en bas de chaque rectangle représentent respectivement le premier et le troisième quartile ; les lignes adjacentes aux moustaches représentent les limites de l'intervalle de confiance à 95 % ; les petits cercles représentent les valeurs extérieures. D1 à D8, les 8 domaines de facteurs retenus par les experts.

L'incertitude à prendre en compte pour la hiérarchisation des domaines de facteurs a été estimée par chaque expert sur une échelle allant de la note 1 (incertitude minimale) à la note 100 (incertitude maximale) (Figure 58). La note d'incertitude médiane était de 10 pour la distance par rapport à l'Europe et en particulier la France (D2) et de 40 pour les caractéristiques des exploitations agricoles européennes (D4) et les activités économiques et commerciales (D8). Elle était comprise entre 15 et 30 pour les autres domaines.

<sup>131</sup> permettant la comparaison des médianes des domaines de facteurs (Givord P. et D'Haultfœuille X., 2013) (<https://www.irdes.fr/documentation/veille/veille-bibliographique-en-economie-de-la-sante-18-octobre-2013.pdf>)

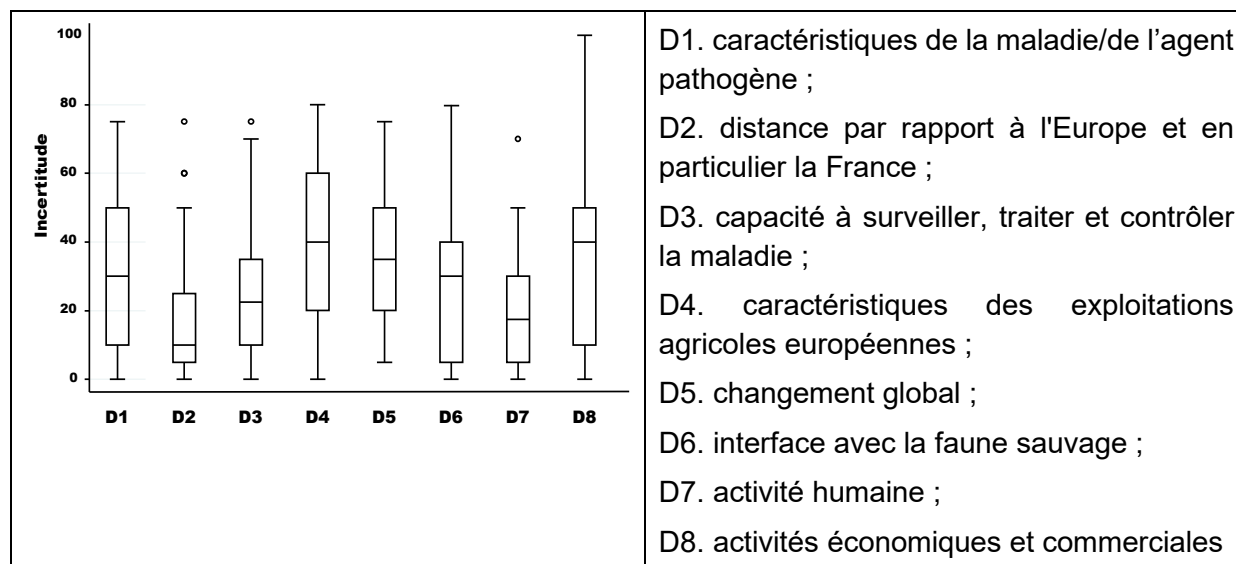


**Figure 58 : Boîtes à moustaches avec la note d'incertitude de chaque domaine estimée par les 18 experts élicités.**

D1 à D8, les 8 domaines de facteurs d'influence retenus par les experts.

Tenant compte d'une part, du score attribué pour chaque facteur, du nombre de modalités pour chacun de ces facteurs et, d'autre part, du poids relatif de chacun de ces facteurs, un score global pondéré a pu être calculé pour chacun des facteurs et pour chaque expert :

$$\text{Score global pondéré pour un expert donné} = \sum (\text{Score}_{Fi} / M_{Fi}) \times \text{Poids}_{Fi}$$

avec  $F_i$ , un facteur donné et  $M$  est le nombre de modalités par score pour un facteur donné. Le nombre de modalités n'étant pas le même pour chaque critère, chaque score attribué a été divisé par le nombre de modalités du critère considéré (standardisation).

## Annexe 8 : Le regard des sciences humaines et sociales : état de la littérature

Il existe une littérature relative aux tiques et maladies à tiques, relevant des sciences sociales ou d'approches pluridisciplinaires (santé publique, épidémiologie sociale, sciences de l'environnement...) intéressées aux rapports d'un ou de plusieurs groupes sociaux aux tiques et maladies à tiques.

Un ensemble d'articles a été sélectionné via Scopus et la démarche suivante :

- Trois requêtes
  - (tick OR tick-borne AND behavio\* OR attitude OR knowledge OR perception) (title, abstract, key-words) (selection 1)
  - Tick OR tick-borne (title) (selection 2)
  - Tick OR tick-borne ((title, abstract, key-words) (selection 3)
- Des premiers critères d'affinage
  - Disciplines : social sciences
  - Pays occidentaux + Russie
  - 2014-2024
  - Articles publiés et accessibles
  - Articles non rédigés par des représentants de l'industrie pharmaceutique

La lecture du titre de l'article a conduit par la suite à exclure plusieurs articles relevant exclusivement de l'épidémiologie, de la médecine, de l'écologie, ou encore des articles rédigés en russe. Le corpus final est composé de 40 articles.

Ce corpus présente plusieurs spécificités. Les articles relevant uniquement de la sociologie sont rares. D'autres relèvent des sciences de l'éducation, de l'information-communication, de la psychologie. En grande majorité, les articles du corpus étudié relèvent d'approches pluridisciplinaires (santé publique, médecine, sciences de l'environnement avec des considérations sociales - sans pour autant relever de la sociologie.)

### Objets et approches

Au-delà d'approches englobant les piqûres de tiques et maladies à tiques, certains papiers ciblent des maladies spécifiques, comme la maladie de Lyme. Dix articles traitent spécifiquement du TBEV.

Leurs objets d'enquête en termes populationnels relèvent soit de la population générale, soit de populations spécifiques (jeunes, étudiants, touristes, randonneurs, enfants, parents, propriétaires de maisons, chasseurs, propriétaires d'animaux domestiques, bénévoles pour la protection de l'environnement...) soit de groupes professionnels. Il peut s'agir d'acteurs sanitaires (santé publique, médecine vétérinaire) ou ponctuellement d'acteurs de transmission d'information (traduit par des acteurs locaux de vulgarisation sans autre précision ((Noden et al. 2020)). Alors que les tiques et maladies associées sont notamment comprises comme problème de santé au travail, certains travaux identifient des groupes professionnels à risque, que sont les travailleurs en extérieur : professionnels forestiers, travailleurs en lien avec la faune, les parcs naturels, dans une moindre mesure agriculteurs dont éleveurs de bovins...

A grande majorité, l'objet des articles du corpus étudié relève d'études de perceptions : perceptions ayant pour objets les tiques, les risques associés, mais également l'environnement, certains types d'acteurs/organisations (média, professionnels de santé...) - comme les mesures de gestion (des expositions, du risque). Ces études peuvent identifier des facteurs de type psychologiques, cognitifs, sociodémographiques, influant sur les perceptions des risques et des tiques.

Dans cette lignée, différentes études décrivent des mesures de gestion des risques et de leurs mises en œuvre - ou non - par les populations enquêtées. Majoritairement ces mesures de gestion relèvent de **pratiques individuelles**. **L'objectif récurrent attribué à ces mesures étant a) le changement des comportements individuels, et dans une moindre mesure, le changement d'action publique, permettant b) la réduction des risques sanitaires associés aux tiques.** Néanmoins, certaines mesures a priori d'ordre individuel impliquent des acteurs et cadres collectifs et organisationnels. Précisément, la cible peut être des individus, mais la conception et la mise en œuvre peuvent relever d'organisations, à l'instar de messages d'information-communication portant sur la vaccination, mis en œuvre par des professionnels de santé et destinés à des individus. Le Tableau 33 permet de saisir cette intrication entre acteurs individuels et collectifs/organisationnels.

Tableau 33 : Liste de mesures de gestion décrites dans le corpus étudié

| Type                    | Détail                                                                                                        | Acteurs de mise en œuvre | Cibles            |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|
| Pratiques individuelles | Vérification du corps (humains, animaux domestiques) et des vêtements*                                        | Individus                |                   |
|                         | Insertion du pantalon dans les chaussettes*                                                                   |                          |                   |
|                         | Vêtements de protection                                                                                       |                          |                   |
|                         | Protection des chevilles*                                                                                     |                          |                   |
|                         | Utilisation de répulsifs sur les vêtements*                                                                   |                          |                   |
|                         | Douche/Bain                                                                                                   |                          |                   |
|                         | Utilisation de pesticides/acaricides/insectifuges (naturels ou chimiques) sur des terrains privés*            |                          |                   |
|                         | Evitement des zones à risques (zones où la présence de tique est identifiée ; prairie, forêts, herbes hautes) |                          |                   |
|                         | Marche sur sentiers balisés                                                                                   |                          |                   |
|                         | *Vaccination                                                                                                  | Professionnels de santé  | Individus         |
| Aménagements locaux     | Imprégnation de rouleaux verticaux par pesticides/acaricides                                                  | Autorités locales,       | Population locale |



|                                                                                                                                            | Aménagements paysagers                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | services techniques                 |                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Développement de la surveillance – des tiques, des expositions, des maladies, des applications d'acaricides et des résistances             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Autorités sanitaires, scientifiques |                                                                                                                                                                                                                    |
| Développement de la recherche                                                                                                              | <p>Interventions transgéniques et paratransgéniques sur les hôtes et les tiques</p> <p>modélisation de l'effet du changement climatique</p> <p>biologie systémique multiomique à l'étude des mécanismes immunitaires de l'hôte et à l'identification de biomarqueurs chez les patients et les hôtes animaux sensibles, afin de diagnostiquer et de traiter efficacement la maladie</p> <p>Approches multidisciplinaires <i>One Health</i></p> | Acteurs scientifiques               |                                                                                                                                                                                                                    |
| <p>*Information, communication (message, campagnes)</p> <p><i>Distinguer supports/objet du message (degrés de spécificité/détails)</i></p> | <p>Dépliants</p> <p>Affiches</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Autorités sanitaires, média         | Population générale, spécifique, professionnels exposés, professionnels de santé                                                                                                                                   |
| *Formations                                                                                                                                | <p>Parasitologie</p> <p>Tiques</p> <p>Maladies associées aux tiques</p> <p>Partenariats universités/industries</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Autorités sanitaires                | <p>Elèves, étudiants</p> <p>Vétérinaires</p> <p>Médecins</p> <p>Travailleurs en extérieurs</p> <p>Administrations scolaires</p> <p>Travailleurs en extérieur</p> <p>Médecins généralistes, médecins du travail</p> |

|  |  |  |                                    |
|--|--|--|------------------------------------|
|  |  |  | étudiants en médecine              |
|  |  |  | acteurs de vulgarisation sanitaire |

D'aucuns apprécient la **représentation** que se font les populations enquêtées des mesures de gestion notamment sous le prisme de « l'acceptabilité ». D'autres **évaluent l'efficacité** des mesures de gestion en termes de prévention et de protection contre les piqûres de tiques et les maladies associées. Finalement, de ces analyses découle une liste de **recommandations** de mesures de gestion et de modalités spécifiques de conception (adaptation, réorientation, ciblage de campagnes ou de programmes de formations en fonction des groupes sociaux identifiés ; objets spécifiques de messages de communication).

### De l'analyse des perceptions aux pratiques de protection

Certaines études évoquent une relation entre des faibles connaissances des tiques et des risques associés, et une forte inquiétude à leur égard (Cuaderna et al. 2023). Inversement, une forte connaissance des tiques peut être associée à une faible perception de la gravité des risques (Slunge et al. 2019). Plusieurs enquêtes notent une inquiétude vis-à-vis des tiques et risques associés plus grande chez les **femmes** que chez les hommes (Bolin 2022; Narita et al. 2022).

Une enquête a approfondi la question de la perception des tiques et des risques associés pour faire part de sentiments de vulnérabilités et « d'inconfort émotionnel ». Ces sentiments sont liés à la peur, au dégoût inspirés par les tiques et maladies associées ; ils tendent à conditionner les pratiques de protection (Olechnowicz et al. 2023).

A cet égard, ces études de perceptions sont fréquemment associées à l'analyse des pratiques. Elles s'inscrivent ainsi dans le champ plus large de l'approche « KAP » ou « KAB » – « knowledge, attitude, behavior or practice ». Cette approche postule un lien entre les connaissances d'un individu sur l'exposition et/ou le risque, des perceptions et valeurs d'un individu, et des pratiques ou comportements. Dans le cas qui nous concerne ici, cela renvoie au lien entre les représentations des tiques, la connaissance des expositions et maladies liées aux tiques, et des pratiques de protection, à la fois pour l'individu, ses proches ou ses animaux de compagnie, dans sa sphère privée ou professionnelle.

*Un seul article évoque spécifiquement les producteurs de viande bovine, en l'occurrence aux Etats-Unis (Noden et al. 2020). Il étudie les représentations et pratiques de ces professionnels concernant les tiques, les agents pathogènes et la prévention associés. Il souligne que la majorité des enquêtés ne considère pas les tiques comme un problème pour le bétail, pour eux-mêmes ou leurs proches. D'autres maladies que les maladies à tiques comme la rickettsiose est davantage appréhendée par les producteurs de viande bovine. Dans le même temps, cette même majorité d'enquêtés tend à adopter au moins une mesure de protection face aux tiques (principalement la vérification du corps et la protection chimique) et mobiliser une source d'information (vétérinaire ou « expert en vulgarisation »). Pour autant, la protection individuelle est considérée insuffisante.*

## Des mesures de gestion face aux risques

### Représentations des mesures de gestion par les populations/acteurs

Une enquête française dans la région d'Argonne (au Nord-Est, Ardennes, Marne et Meuse) a mis en lumière les **différents types d'approches des enjeux liés aux tiques propres à différents groupes d'acteurs** en contact avec un environnement rural à titre professionnel (forestiers, agriculteurs, professionnels de l'environnement) ou de loisirs (randonneurs, chasseurs) (Hamman et Dziebowski 2023). Elle distingue une approche des enjeux liés aux tiques basé sur la connaissance d'un environnement familier, une approche sanitaire basée sur des connaissances médicales et des expériences personnelles de maladies à tiques, et une approche basée sur la responsabilité individuelle, privilégiée à une approche préventive collective, basée sur des campagnes de sensibilisation. Ce type d'étude incite à **spécifier les expériences, les représentations des risques comme des pratiques en fonction de différents acteurs et de leurs interactions, donc à comprendre préalablement ceux-ci avant de formuler toute mesure de gestion**.

Dans un autre registre, une étude a privilégié le prisme de l'acceptabilité des mesures de gestion. Spécifiquement, elle souligne la **faiblesse de l'acceptabilité des mesures de contrôle** des tiques, telles **l'usage d'acaricides** ou **l'aménagement paysager**. Cette faiblesse s'expliquerait par les **impacts environnementaux des mesures, les coûts élevés pour la collectivité et le risque de déresponsabilisation des individus** (Aenishaenslin et al. 2016).

### Appréciation de la mise en œuvre des mesures de gestion

Différents travaux considèrent que la mise en œuvre des mesures de protection individuelles est favorisée par **l'expérience passée de piqûres de tiques** (Jepsen et al. 2019; Garcia-Vozmediano et al. 2021; Brady, Lemieux, et Doherty 2022), le **genre** – en l'occurrence les femmes (Slunge et al. 2019; Jepsen et al. 2019), le **statut socioéconomique** (les propriétaires terriens (Nawrocki et al. 2023), les individus ayant de hauts revenus (Niesobecki et al. 2019), la **propriété d'animaux domestiques** (Cuadera et al. 2023) ou encore **la proximité d'habitation** à une zone à forte présence de tiques (A. Beck et al. 2022). Dans le cas particulier de la vaccination, celle-ci peut être conditionnée au degré de confiance que lui accordent les individus (Nygren et al. 2022), à la fois de manière générale et relative au TBEV.

Les coûts de la protection sont abordés dans certaines études. Ceux du port des vêtements de protection est évoqué en cas de fortes chaleurs (coût social et symbolique, notamment pour les jeunes) (Slunge et Boman 2018; Soucy et Urioste-Stone 2020). La **répartition du coût de prise en charge** de dispositifs de protection (infrastructures imprégnées d'acaricides par exemple) peut être également discutée. Sans surprise aux Etats-Unis<sup>132</sup>, au vu des coûts de mise en œuvre (visite technique hebdomadaire, sécurité du dispositif à assurer), une enquête a souligné la propension des enquêtés à laisser aux propriétaires privés la **responsabilité de la protection** sur leur terrain privé (Nawrocki et al. 2023).

### Appréciation de la portée des mesures de gestion et recommandations associées

Certaines études apprécient l'efficacité ou à tout le moins la portée de certaines mesures de gestion. Ainsi, les actions de protection individuelles sont considérées plus efficaces quand

<sup>132</sup> Où la responsabilité individuelle est particulièrement valorisée.

les individus connaissent et se préoccupent préalablement des maladies à tiques (Kianersi et al. 2020). Dans le même temps, les connaissances sur les tiques ne sont pas considérées suffisantes (Noden et al. 2020). De même, les vêtements de protection et les répulsifs peuvent avoir une efficacité limitée (Slunge et Boman 2018). L'efficacité de la transmission de l'information par certains supports comme les cinémas ou les panneaux publicitaires, pose également question.

Face aux limites des connaissances et des mesures de contrôle et de protection face aux tiques, différents travaux esquissent des recommandations, portant notamment sur les dispositifs et les acteurs de l'information-communication.

Les **contenus et dispositifs d'information-communication** à destination des **populations, des professionnels travaillant en extérieur** (Donohoe, Omodior, et Roe 2018) comme des **professionnels de santé** (médecins généralistes, médecins du travail, vétérinaires, responsables de santé publique, etc.) pourraient être améliorés (Coyer et al. 2023; Crist et al. 2022; Buczek, Pilch, et Buczek 2020; Riccò et al. 2020; Wozinska et al. 2022) - considérant que ces derniers sont des vecteurs importants d'information et des acteurs clés de la mise en œuvre des stratégies de détection des maladies à tiques (Vasić et al. 2022). A cet égard, les cabinets médicaux, mais également **Internet et les réseaux sociaux** (Gupta et al. 2018; Marano et al. 2019) peuvent être des vecteurs pertinents d'information **sous réserve d'une vigilance quant aux contenus diffusés** (Gupta et al. 2018) et en considérant la profusion des données numériques et la problématique de leur crédibilité.

Les objets d'information-communication publique recommandés ont trait à l'identification des tiques, à l'usage des répulsifs (Kopsco et Mather 2022). A destination des professionnels de santé, l'information-communication a notamment pour objet la parasitologie, la biologie des tiques, l'épidémiologie locale des maladies à tiques, dans la perspective d'améliorer l'identification des tiques et la réalisation de tests de dépistage (Crist et al. 2022; Eleftheriou et al. 2023).

Par ailleurs, le cadrage sanitaire de l'information-communication a pu être considéré comme plus efficace pour sensibiliser les populations à la vaccination contre le TBEV (Kohler et Koinig 2020). Cette communication sanitaire est appelée à considérer les affects individuels et inspirer confiance (Koinig et Kohler 2021). En outre, certains articles soulignent la nécessité d'éviter dans l'information-communication **une approche anxigène, généraliste des risques et basée sur des interdits** (Dernat et Johany 2019; Slunge et Boman 2018) - laquelle s'avérerait peu efficace. A l'inverse, une communication localisée visant à améliorer la connaissance de la biologie des tiques pourrait permettre aussi de limiter des inquiétudes et des visions stéréotypées des tiques.

De manière générale, le **ciblage** de l'information-communication (Gupta et al. 2018; Machtinger, Li, et Liu 2019), en termes **de catégories socio-économiques de populations, territoires, « usages » de la forêt, de maladies à tiques à différencier des autres maladies, de prise en compte des affects et subjectivités** (Olechnowicz et al. 2023) relève d'une recommandation récurrente.

Pour autant, les risques sanitaires ne sont pas les seuls risques à aborder dans les dispositifs d'information-communication : éclairer les risques socioéconomiques peut être pertinent pour **certaines groupes professionnels** (travailleurs en extérieur, forestiers etc.) (Donohoe, Omodior, et Roe 2018). Plus encore, au-delà de l'information-communication, d'autres recommandations visant d'autres types de mesure de gestion sont formulées. En effet, **la combinaison de mesures de gestion différentes** apparaît indispensable pour réduire les risques associés aux tiques (Slunge et Boman 2018).

L'amélioration de **la formation des acteurs sanitaires** (vétérinaires, autorités de santé publique...) est nécessaire (Noden et al. 2020). Le degré d'indépendance vis-à-vis de l'industrie pharmaceutique de ces formations reste discuté : certains voient dans un partenariat public-privé une opportunité, d'autres un risque. En outre, la saisonnalité de la mobilisation des professionnels de santé, la régularité des prises de contact de la part des vétérinaires ou des responsables de la santé publique avec les professionnels/populations touchés sur le moment de l'année et l'endroit où les contrôles peuvent contribuer à améliorer la détection des tiques (Kopsco et Mather 2022).

Plus largement, le développement d'une approche One Health, de la **surveillance, du suivi de l'usage des acaricides** sont notamment recommandés. ((de la Fuente et al. 2023; Eleftheriou et al. 2023).

Cela étant posé, plusieurs limites s'opposent à ces constats et recommandations. En effet, rien ne préjuge que l'information se transformera en mise en œuvre de mesures de protection (Kopsco et Mather 2022), ou, dans le cas des professionnels de santé, de surveillance accrues (Lyons, Mateus-Pinilla, et Smith 2022). En outre, la représentation par des populations d'une mesure de protection comme étant efficace ne signifie pas que cette mesure sera mise en œuvre (Caputo et al. 2019).

De manière générale, les prismes individuel et comportemental, largement mobilisés dans les études de perceptions ou « KAP » ne sont pas suffisants. La prise en compte des structures collectives – sociopolitiques, économiques, institutionnelles, juridiques, etc. est nécessaire pour se saisir de situations à risque.

## **Annexe 9 : Les éleveurs caprins face aux tiques : le risque TBEV**

Emilie Ramillien  
Origens Medialab  
CRD CISCA-ANSES

# **Convention de recherche et développement**

## **Les éleveurs caprins face aux tiques : le risque TBEV**

Approche ethnographique.

Rapport dans le cadre du groupe de travail de l'ANSES dédié à TBEV

2023-CRD-06

Juin 2024

## I.Introduction

Dans le cadre de l'auto-saisine relative à l'émergence de l'encéphalite à tique, une enquête ethnographique a été commandée par le groupe de travail afin d'améliorer la compréhension des enjeux autour de la maladie.

L'objectif de l'enquête est de rendre compte des expériences, des pratiques et des représentations des éleveurs et éleveuses caprin, en lien avec les tiques et les risques qui leur sont associés, notamment le risque TBEV.

L'enquête doit ainsi permettre de contribuer à la pertinence des options de gestion du groupe de travail, en décrivant la réalité des éleveurs caprin, producteurs de fromage au lait cru, dans leur relation avec le risque TBEV.

Les résultats de l'enquête sont présentés ici en deux temps : d'abord le cadre théorique et la grille de lecture utilisée, puis dans un second temps, un portrait des élevages caprins de petite taille, avec des animaux pâturant dans des zones à risque de tique.

Les résultats de l'enquête permettent de mieux cerner les spécificités de ces élevages et la manière dont ils appréhendent le risque TBEV, en s'appuyant sur leur relation avec les tiques.

## Méthodologie

La méthodologie employée est l'enquête de type ethnographique classique, basée sur des entretiens longs, et librement menés par et avec les enquêtés, et sur de l'observation participante.

L'objectif est de parvenir à récolter des données sur la manière dont les éleveurs se perçoivent eux-mêmes dans leurs relations avec les tiques et plus spécifiquement avec les maladies vectorielles telle que l'encéphalite à tique. L'enquête de type ethnographique permet d'accéder avec plus de finesse à la profondeur des représentations de chacun, et donc de pouvoir déployer les cosmologies-mondes dans lesquels les éleveurs évoluent, en prenant en compte avec rigueur l'ensemble des éléments qui les amènent à agir, percevoir, se représenter ou produire des discours sur les tiques dans leurs élevages et les maladies qu'elles génèrent.

Toutefois, trois éléments de contexte sont importants à rapporter ici pour préciser les questions de méthodologie.

Le premier est relatif aux modalités d'instauration de l'enquête : il s'agit d'une demande consécutive à l'auto-saisine de l'ANSES sur TBEV, l'enquête a donc un objectif précis de récolte de données en vue d'enrichir la réflexion sur les mesures de gestion à envisager.

Le contexte de commande institutionnelle impacte la méthodologie, en orientant l'enquête vers une approche plus sociologique qu'ethnographique : temps plus court, guide d'entretien et surtout, visée opérationnelle des résultats. Cela impacte la manière d'enquêter et d'entrer en relation avec les enquêtés, comme on le verra par la suite.

Le second élément est le caractère familier du terrain pour l'enquêteur : compte tenu des difficultés d'accès au terrain, sur lesquelles je reviendrai, l'enquête s'est reportée sur une zone connue et familière pour moi, le Livradois-Forez et la Limagne (42 et 63), permettant un travail plus approfondi car plus facile d'accès.

Le troisième élément, également relatif aux difficultés d'accès au terrain, est l'importance que j'ai accordée au terrain « en ligne » : enquête sur les groupes d'intérêt et d'entraide autour de



l'élevage caprin. En considérant ces espaces comme des terrains légitimes d'enquête, dans la lignée de l'ethnographie du virtuel, on peut accéder à des espaces de relations et d'informations d'une grande richesse, notamment sur les questions sanitaires dans les élevages.

En résumé, j'ai enquêté 10 éleveurs sur le terrain, et une dizaine sur deux groupes Facebook en ligne, avec une observation quotidienne continue des groupes pendant toute la durée de l'enquête.

Sur l'enquête sur le terrain, j'ai particulièrement enquêté certains éleveurs et éleveuses, auprès desquels j'ai pu enquêter plus longuement, revenir plusieurs fois, car j'ai pu être introduite par des connaissances communes.

J'ai enquêté plus de femmes que d'hommes, car elles sont plus nombreuses dans les petites exploitations, qui sont celles qui nous intéressent.

Je n'ai pas pu enquêter de vétérinaire car aucun n'a donné suite, le plus souvent pour des questions de temps.

Une seule technicienne de GDS a répondu à ma demande d'entretien (GDS 42), sans pour autant arriver à me faire rencontrer les éleveurs qu'elle suit.

La difficulté d'accès au terrain oblige à adapter et modifier sa méthodologie d'enquête, comme on vient de le voir, mais constitue surtout un résultat en tant que tel.

## Accès au terrain

Les difficultés d'accès au terrain permettent d'éclairer certains points, importants pour comprendre la relation des éleveurs avec le sujet TBEV, mais aussi pour mieux appréhender les leviers de communication qui peuvent être actionnés avec profit dans la mise en place des options de gestion.

En premier lieu, les difficultés d'accès au terrain s'expliquent par le caractère non concernant de TBEV pour les enquêtés. La plupart des enquêtés ne connaissent pas la maladie.

Pour ceux qui ont eu connaissance du questionnaire diffusé par le GDS63 relatif à TBEV, ils connaissent la maladie grâce à cette enquête, mais n'ont pas retenu le rôle des tiques, ni les enjeux liés à la consommation de lait cru, ni la gravité potentielle de la maladie pour les humains.

*« (à la lecture du questionnaire envoyé par le GDS) je me suis dit : bon, encore un nouveau truc, on verra bien, on peut pas s'occuper de tout »<sup>133</sup>*

L'ignorance du sujet TBEV pour la plupart des enquêtés ne permet pas d'obtenir un entretien en présentant l'enquête sous cet angle.

A titre de comparaison, je note qu'à la différence de la fièvre Q, TBEV est une maladie à déclaration obligatoire, pourtant, la fièvre Q est beaucoup plus connue des enquêtés, et l'accès au terrain en abordant la fièvre Q se fait plus facilement.

Le fait que le sujet TBEV soit inconnu ou perçu comme lointain oblige l'enquêteur à présenter la maladie et sa transmission en début d'entretien, ce qui modifie clairement le rapport

<sup>133</sup> Les verbatims sont anonymisés, ils sont rapportés à titre d'illustration.

enquêté/ enquêteur. L'enquêteur est alors perçu comme un conseiller, un informateur, et cela génère de l'attente pour l'enquêté.

Si l'enquêteur vient chez l'éleveur pour lui parler d'une maladie inconnue de lui, et menaçante, l'éleveur, peu disponible en général, acceptera un entretien si on peut lui apporter de solides informations sur le sujet. Le contexte d'accès au terrain n'est donc pas favorable si l'on mentionne le but de la démarche.

Cela rejoint la difficulté que j'ai mentionnée dans le premier point de contexte de la méthodologie, la question de la commande spécifique émanant d'une institution avec un objectif opérationnel : l'enquêteur est tenu de mentionner spécifiquement l'objet de l'enquête, ce qui modifie de fait le rapport enquêté/enquêteur, qui plus est, dans un contexte d'ignorance de TBEV, dans lequel l'enquêteur devient pourvoyeur d'informations, ce qui n'est pas de sa compétence (et donc peut induire des erreurs).

Cependant, c'est un résultat important : les enquêtés n'ont aucune connaissance sur le sujet TBEV, et comprenant les risques une fois exposés, sont en demande d'informations.

Ce point doit être pris en compte dans les travaux concernant la prévention et la gestion du risque TBEV, la maladie est émergente et la demande des éleveurs est d'avoir accès à une information à ce sujet.

En deuxième lieu, les difficultés d'accès au terrain s'expliquent par un contexte de crise sociale et économique du milieu agricole et notamment du milieu de l'élevage.

La période à laquelle a été initiée l'enquête (janvier-février 2024) coïncide avec les manifestations des agriculteurs et éleveurs au niveau national, avec des revendications liées à la crise économique et sociale qu'ils traversent. Le contexte de tension au niveau national est également perçu sur le plan local, lors des prises de contact. Les éleveurs n'ont pas de temps à consacrer à des enquêtes, ils se sentent trop sollicités par ailleurs. Cet aspect-là avait déjà été repéré dans l'enquête précédente sur la fièvre Q qui s'était déroulé avant la période du covid et de la crise agricole, en 2019. La situation est plus tendue aujourd'hui, les éleveurs se sentent dépassés, fatigués, et n'ont pas de temps à consacrer à autre chose qu'à leur activité et leur vie personnelle. C'est un élément important à prendre en compte pour améliorer la communication avec les éleveurs et le partage d'information nécessaires sur TBEV.

En troisième lieu, et en continuité avec le point précédent, une autre cause de la difficulté d'accès au terrain est la méfiance envers les institutions. Point qui avait également été relevé lors de la précédente enquête, commandée par l'INRAE, mais qui semble s'être amplifiée depuis : la mention d'une institution dans le commanditaire de l'enquête pose de plus en plus problème. La méfiance envers les institutions est un fait social qui est répandu et qui s'accroît depuis la période covid, c'est un phénomène étudié en sciences sociales, qui touche donc aussi le milieu agricole.

Les précautions demandées par les enquêtés lors des entretiens attestent de cette évolution : il m'est demandé de ne pas noter certaines remarques, de ne pas indiquer certaines caractéristiques de l'élevage, notamment sanitaires, et d'assurer l'anonymat.

Cela rend compte d'un climat de tension, dont les causes sont nombreuses et diverses, dont il faut prendre acte lors de l'enquête et qui doit également être considéré lors de la communication des mesures de gestion.

## II.Délégations : grille de lecture

### Pôle naturaliste et non-naturaliste

Les précédentes enquêtes menées entre 2019 et 2023, sur la manière dont les éleveurs appréhendent une autre maladie en élevage caprin, la fièvre Q, ont permis d'élaborer une grille de lecture afin de comprendre la diversité des actions entreprises ou non par les éleveurs face à cette maladie. Lors de l'enquête TBEV, j'ai testé à nouveau cette grille de lecture qui s'est avérée également pertinente dans ce cadre-là. Elle permet de comprendre comment les éleveurs, de par leur place liminale entre deux mondes, pensent leur ferme et agissent avec les non-humains, animaux, paysages, bactéries, tiques, etc.

Les éleveurs se perçoivent en effet comme occupant une frontière, une ligne de démarcation entre deux mondes auxquels ils n'appartiennent jamais totalement et avec lesquels ils négocient des relations et des espaces de dialogue, et se laissent pénétrer selon les cas par un monde ou par un autre, selon les situations, les enjeux, les risques, les crises.

Ils perçoivent ces mondes comme des ensembles avec lesquels ils entretiennent des relations qui modèlent leur place au sein de cette frontière. Ces mondes sont perçus comme ayant chacun leurs propres logiques, leurs propres modes d'organisation et ne se rencontrent que par l'entremise de l'éleveur, qui se perçoit par conséquent comme ayant une place unique et difficile.

Ces mondes ne s'entendent pas au sens de mondes clos et uniformes mais plutôt comme des pôles attracteurs, entre lesquels les éleveurs se placent et se déplacent selon les situations.

Ces deux pôles s'étendent sur une ligne allant de naturaliste à non-naturaliste, au sens de Descola<sup>134</sup> : d'un côté le pôle non-naturaliste, le monde du vivant, (que l'on nommera A ici) qui implique pour les éleveurs une prise en charge autonome des relations avec le vivant ; de l'autre, le pôle naturaliste, le monde des réglementations, (que l'on nommera B ici) qui propose/impose une prise en charge de ces relations avec le vivant, par le biais de délégations.

Le pôle non-naturaliste A peut être décrit comme le monde du vivant, des prés, des plantes, des animaux, des mises bas, de la mort, de l'organique, un monde fait de temps long, et de cycles permanents. Dans ce monde, les relations au vivant sont complexes et difficiles, bien que, en même temps, perçues par les éleveurs comme authentiques et nourrissantes. Les causes des événements qui troublent les différents cycles (quotidien, saisonniers, annuels, temps du renouvellement des générations du cheptel, temps des générations humaines, transmissions, etc.) sont complexes et demandent du temps pour les comprendre et pouvoir dialoguer/ négocier avec, si c'est l'option choisie.

De l'autre côté, le pôle B, celui du monde naturaliste, peut être décrit comme un monde réglementaire : c'est le monde des laiteries, des vétérinaires, du contrôle sanitaire, des commerciaux, des chercheurs, des experts, des laboratoires pharmaceutiques, des équarisseurs, etc.

---

<sup>134</sup> La catégorie naturaliste chez Descola (Descola, 2005) représente l'ontologie de la modernité occidentale, fondée sur une distinction nature/ culture. Les ontologies non-naturalistes (ici analogistes et animistes) sont les catégories qui ne partagent pas le monde entre nature d'un côté et culture de l'autre, mais où les relations et imbrications entre les vivants sont plus diversifiées.

C'est un monde perçu et vécu sur le mode du temps court et fait de relations peu complexes, réglementaires, souvent de subordination, de prescription, ou d'obligation (achat/ vente, conseil, contrôle, surveillance, interdiction/ autorisation).

C'est un monde non cyclique, avec lequel les relations sont perçues comme étant rythmées par les urgences, les interruptions d'événements (maladies, adaptation au marché, aléas climatiques soudains, etc).

Les éleveurs se soumettent aux exigences et contraintes de ce monde en échange d'une délégation de gestion totale ou partielle des risques sanitaires, économiques, etc.

Ce pôle est prévalent car il constitue le cadre administratif, économique, réglementaire, des élevages. Cependant, il est vécu avant tout comme permettant des délégations pertinentes et utiles des relations avec le vivant :

jugées trop périlleuses, trop complexes, trop menaçantes, trop exigeantes, trop abimées, ou impossibles à entretenir dans le contexte agricole actuel, etc, les éleveurs délèguent ce pouvoir au pôle naturaliste, afin qu'il les protègent des risques perçus comme impossibles à maîtriser sans cette assistance.

## Relations diplomatiques

On parle de relations diplomatiques pour caractériser les relations qu'entretiennent les éleveurs proches du pôle A avec les non-humains, relations qui sont dans leur grande majorité déléguées pour les éleveurs proches du pôle B.

Ce sont des relations classiques dans les mondes non naturalistes (animistes, analogistes, totémistes, selon les catégories de Descola), c'est-à-dire, des relations de compagnonnage avec le vivant, les animaux, les insectes, les plantes, les arbres, les prairies, les bois, les bactéries, les champignons, les esprits, etc...

Ces relations sont à la fois intenses et difficiles, mais aussi perçues comme nourrissantes et stimulantes. Si elles ont souvent été et sont encore idéalisées (pas par ceux qui les vivent), elles sont vécues le plus souvent comme exigeantes, nécessitant patience, expérience, apprentissage, compétence et application.

Il s'agit traditionnellement et selon les terrains, de relations de fraternité, d'amitié, de voisinage, de collaboration, de compétition, pour les plus communes, qui demandent à ceux qui les entretiennent de négocier avec ces entités-là. J'utilise à la suite de Morizot (Morizot, 2016) le terme *diplomatique* pour qualifier les relations qu'entretiennent certains collectifs avec le vivant. Ce ne sont pas des relations données et évidentes, mais des relations qui demandent une négociation.

## Déplacements entre les deux pôles

Au sein du pôle naturaliste B, les éleveurs perçoivent en plus, deux autres groupes avec lesquels ils entretiennent des relations symboliques et non effectives : les consommateurs, et les dirigeants politiques. Ces deux groupes sont perçus comme des entités définies avec une influence déterminante sur le pôle naturaliste, à la fois symboliquement et factuellement : les consommateurs avec des exigences souvent jugées déraisonnables (aliments à bas prix, de

qualité, sans pollution, sans odeurs, sans risques de maladies, etc) et les politiques avec des décisions jugées hors sol, déraisonnables également.

Dans certains cas, les relations ne sont pas juste symboliques et lointaines mais effectives (quand vente sur les marchés, à la ferme, ou quand proximité avec les organisations syndicales interprofessionnelles).

Dans la plupart des cas, ces deux groupes sont perçus comme soumettant les éleveurs à des contraintes, des obligations déraisonnables et un mépris social, causés selon les éleveurs par la proximité de ces derniers avec le vivant (selon les éleveurs, ces deux groupes voient le monde du vivant comme un monde de saleté, de microbes, de mauvaises odeurs, de maladies, de conservatisme, etc).

Se percevant comme à la frontière entre ces deux pôles A et B, ils se jugent la plupart du temps eux-mêmes trop proches de A, du vivant, pour pouvoir échapper à ce mépris, d'où souvent des stratégies de rapprochement symbolique avec le pôle B naturaliste (discours positif sur la science, l'innovation, la propreté, le marché, la rationalité, et contre l'obscurantisme, l'irrationnel, le conservatisme).

Dans ce contexte, les relations effectives avec le monde naturaliste B, sont empreintes de tensions et de protection de la part des éleveurs (parole rare, occultation de certains éléments, etc) et selon les interlocuteurs, plus ou moins de proximité et de confiance (si relations de longue date ou routinisée -avec certains vétérinaires par exemple-, si relation non hiérarchisée -avec les employés de l'équarrissage par exemple-).

La position que les éleveurs se sentent occuper sur cette frontière leur donne un sentiment fort d'être dans une position qu'eux seuls ou leurs pairs peuvent comprendre, la ligne séparant le « eux » du « nous » est ressentie comme une évidence.

Plus les relations de délégation avec le monde naturaliste réglementaire sont fortes, et plus les éleveurs se perçoivent comme proches de celui-ci, mais ne se perçoivent jamais comme y appartenant. C'est souvent le cas des gros élevages, des élevages en agriculture conventionnelle, et des élevages sous bâtiment.

Moins les relations de délégation avec le monde naturaliste réglementaire sont fortes et plus les éleveurs se perçoivent comme éloignés de celui-ci, voir en rupture, en résistance, parfois. C'est souvent le cas des petits élevages, des élevages en agriculture biologique, ou des élevages qui refusent l'élevage sous bâtiment.

Ces relations de tension, d'éloignement ou de rapprochement, de proximité avec les deux pôles, naturaliste et non-naturaliste, sur cet espace frontière sont fluctuantes et donnent leur place aux éleveurs, elles semblent ne varier qu'assez peu en intensité dans le temps, pour des raisons liées à l'histoire familiale, personnelle, et aux conceptions des mondes des éleveurs.

## Maladies

C'est dans les cas où survient la maladie des animaux que ces mouvements sur la frontière prennent de l'amplitude dans un sens ou dans un autre et que la place des éleveurs se polarise, l'amplitude des mouvements de relation est plus grande, la place généralement plus centrale qu'ils occupent sur la frontière tend à se rapprocher d'un monde ou de l'autre, il s'agit alors d'une modification importante de la place de l'éleveur, qui demande des prises de décisions souvent difficiles.

On peut ainsi identifier en cas de maladie, deux types de polarisations de la place des éleveurs, une se rapprochant de A et l'autre de B (polarisation schématique ici, il existe bien sûr toute une gamme de positionnements entre ces deux pôles).

Quand les éleveurs tendent vers une délégation totale de leur capacité à gérer le risque dans leur élevage lors d'un épisode de maladie, leur monde A est totalement pris en charge par le monde B : les éleveurs n'occupent plus leur place sur la frontière mais sont absorbés par le monde B en même temps que le monde A (les éleveurs perçoivent la rencontre des deux comme donnant lieu à une lutte, une emprise successive de l'un sur l'autre (la maladie tue, elle prend le dessus, l'antibiotique la fait reculer, etc)).

Cette vision d'une tension entre les deux mondes en lutte à leur place-même engendre une tension intérieure forte.

Ils se perçoivent comme dépossédés mais également soulagés de ne pas être seuls face au problème : la prise en charge rapide d'un vétérinaire, puis l'administration des remèdes ou des vaccins est vécue comme la seule issue pour maîtriser, voir annuler le risque économique et sanitaire important qui pèse alors sur l'élevage.

La plupart du temps, le sentiment d'être soutenu, voir pris en charge par le monde B les expose à vivre une situation contradictoire : chanceux mais dépossédés, soutenus mais « *pris au piège* » (du cycle des vaccinations, des préconisations, etc) qui leur enlève une part d'autonomie dans leurs décisions. Habités à travailler seuls ou avec un cercle restreint (familial le plus souvent), les éleveurs ont parfois du mal à accepter les décisions émanant du monde B et se font violence pour s'y soumettre car « *il n'y a pas le choix* ».

La routinisation de la prise en charge par les vétérinaires lors d'un épisode de maladie permet souvent d'instaurer une forme de contrôle des éleveurs sur une situation qui leur échapperait sinon : la routine des maladies habituelles qui surviennent souvent, les médicaments qu'ils connaissent, auxquels ils se sentent souvent liés, au point de les évoquer avec précision, ou d'avoir leurs préférences, l'habitude de « *piquer* » les animaux aux antibiotiques par exemple, qu'ils administrent eux-mêmes leur donne une forme de contrôle.

Lors d'un épisode de maladie, leur place évolue, et leur perception d'eux-mêmes avec : ou bien ils se laissent absorber par B, ou bien ils se laissent entraîner par A, dans les deux cas, ils doivent repenser leur place qui n'est plus donnée par l'équilibre relatif des mondes A et B, et l'occuper d'une manière nouvelle, et ce, dans la tension. Cela occasionne de grands moments de détresse, de questionnements, de prise de décisions difficiles.

Quand les éleveurs tendent vers une délégation minimale de leur capacité à gérer le risque dans leur élevage lors d'un épisode de maladie, leur monde A et les relations qu'ils entretiennent avec lui prennent une grande place, le monde B est peu sollicité voir exclu autant que possible des relations. Les éleveurs restent sur la frontière mais tournent le dos à B pour se consacrer à A. Leur place semble un peu moins perturbée que dans le cas 1, car il n'y a pas de phénomène d'absorption (ni par A ni par B) : B est rejeté autant que possible (refus de faire des analyses, refus de faire venir le vétérinaire, etc) mais A ne les absorbe pas, car les relations avec A ne sont pas vécues sur un mode vampirisant, mais sur un mode diplomatique, où l'éleveur existe et peut garder sa place, hors de A mais en relation étroite avec lui.

Les éleveurs ne peuvent cependant pas se soustraire totalement au monde B, avec lequel ils entretiennent des relations fortes sur le mode du contrôle -de la qualité du lait principalement- et de l'autorisation ou non de vendre. Cela occasionne des tensions très fortes pour ces éleveurs qui ont peur qu'une bactérie, un virus, issu du monde A avec lequel ils entretiennent de bonnes relations, se retrouve dans leur lait et soit repéré par le monde B : cela est perçu comme étant d'une grande violence et déraisonnable (d'interdire la vente du lait alors que



« des microbes il y en a partout ! » « et ils veulent nous interdire le lait cru en plus maintenant !! )».

Les relations diplomatiques avec le monde A sont intensifiées en cas de maladie, avec des médiateurs humains que sont les conseils « *des anciens* », des livres, des revues, des stages, et des médiateurs non-humains que sont les plantes, les animaux non malades ou hors élevage (oiseaux, abeilles, chiens, chats), et internet, considéré comme une entité essentielle, généreuse en conseils avec les non-humains.

L'épisode de maladie est vécu comme intense en expérimentations et perçu comme formateur dans l'établissement de liens diplomatiques plus intenses et bénéfiques avec les animaux. Cela reste un moment difficile mais c'est ici le monde B qui est perçu comme problématique, ne laissant pas la possibilité de tester, d'expérimenter, de comprendre.

La mise à distance est donc souvent choisie, comme le fait de ne pas lire les mails d'alerte sanitaire, ou le fait de ne plus contacter le vétérinaire même dans des cas graves, ou encore expérimenter eux-mêmes des pratiques comme l'autopsie des cadavres animaux afin de valider leurs diagnostics.

**Cette grille de lecture permet de mieux appréhender la manière différenciée dont les éleveurs perçoivent les risques liés aux tiques.**

**On peut schématiser les types de relation aux tiques selon la place-frontière que les éleveurs occupent entre le pôle A et le pôle B.**

Pour les éleveurs proches de B, qui délèguent le maximum de leurs relations au vivant au monde B, les tiques constituent une menace dans l'absolu mais maîtrisée par le fait que les chèvres sortent peu ou pas du tout des bâtiments. Ils ont par ailleurs confiance dans le monde B, par exemple, pour proposer rapidement un vaccin, en cas de besoin.

C'est par contre les éleveurs plus proches du pôle A qui sont les plus concernés par la question des tiques. Leurs animaux ne sont pas sous bâtiments, ils pâturent la plus grande partie du temps, et dans des zones à risques. Leur proximité avec le monde A, et les relations diplomatiques qu'ils mettent en place sont donc des éléments essentiels pour comprendre leur rapport aux tiques et aux maladies qu'elles peuvent transmettre.

### **III.Élevages à faible délégation, portrait.**

Les élevages à faible délégation, plus proches de A, sont ceux qui sont les plus exposés aux tiques et donc au risque TBEV. On présentera ici les principales caractéristiques de ces élevages, pour comprendre leurs spécificités et leurs liens avec les tiques.

#### **Attachement à une production fermière**

Ils se définissent eux-mêmes en opposition aux élevages sous-bâtiment, tous leurs discours se construisent sur l'opposition entre les élevages qui délèguent massivement, les plus gros, ou ceux sous bâtiment et les élevages qui délèguent faiblement, les élevages fermiers.

*« Les gars ils font 1500 litres par chèvre sur l'année, moi j'en fait allez, 300. Je pourrais en faire plus, mais je ne veux pas, si c'est pour faire du fromage qui a pas de gout, je*



*vois pas l'intérêt, leur fromage, il est tout dilué, le mien, il est bon parce que c'est concentré. Je pourrais, avec de la sélection, plus d'aliment, semer mes prairies, mais bon, c'est plus du tout le même métier après. Ça n'a rien à voir. On ne fait pas le même métier. »*

*« Ils ne parlent que de leurs taux ! -« ah tu verrais mes taux », ils te parlent que de ça, leur taux protéique, leur taux de matière grasse, ya que ça qui compte. »*

*« Moi je ne comprends pas comment on peut garder des chèvres sous bâtiment, je pourrais jamais »*

*« Nos chèvres elles font que deux litres par jour, on essaie de pas se comparer aux autres pendant les formations sinon ça démoralise, mais on continue quand même, sinon les industriels gagnent »*

*« Ils écorment leurs chèvres, ils font que de la Saanen, si ils pouvaient, ils aimeraient qu'elles se déplacent même pas leurs chèvres, pour pas qu'elles dépensent d'énergie et qu'elles fassent plus de lait »*

## Pâturage

Les éleveurs à faible délégation ont également un discours très fort sur le respect du vivant et leur attachement à entretenir ce respect dans leur travail.

Ils font tous part de l'importance d'aimer leurs animaux, de les écouter, de les respecter. Le choix de faire pâturer les chèvres est d'abord dicté par cela. Les chèvres sont décrites comme ayant besoin spécifiquement, plus que d'autres animaux, d'être libres. Le choix du pâturage se fait dès l'installation, avec une volonté de collaborer avec les chèvres, sans les contraindre. Les discours sur l'importance du pâturage sont très appuyés, souvent motif de fierté.

Pour tous, l'élevage de chèvre n'aurait pas de sens si les chèvres ne pouvaient aller dehors.

*« Les chèvres, c'est comme ça, ça a un caractère, tu peux pas l'obliger. Si elle veut sauter la clôture, elle sautera. »*

*« Les chèvres, elles doivent grimper, c'est leur nature, il leur faut des arbres, des souches, pour monter dessus. Regarde, le tas (de terre) là-bas, elles sont toujours fourrées là-haut, elles aiment bien »*

*« Le problème, c'est que les chèvres elles raffolent des petits buissons, dès que l'herbe devient trop dure, comme là en ce moment, elles sautent la clôture et elles partent dans les bois et tu peux rien y faire ! Elles en font qu'à leur tête »*

On trouve une grande variété de modalités de pâturage :

- pâturage dans des prairies naturelles, pâturages dans prairies semées ;
- pâturage dans les bois ou en lisière directe de bois ;

- pâturage tournant, avec déplacement des clôtures tous les deux à trois jours ; pâturage permanent excepté l'hiver, pâturage sur certaines périodes et à certains endroits selon l'altitude, l'état de l'herbe, le froid, la chaleur, l'humidité de l'herbe, etc.

Tous les éleveurs rencontrés se perçoivent comme expérimentant en permanence, ajustant au mieux les conditions de pâturage dans l'intérêt des chèvres.

C'est une caractéristique importante à regarder dans la compréhension du rapport de ces éleveurs aux tiques : la question du pâturage en plein air est centrale et la possibilité de laisser les animaux sous bâtiments pour des raisons sanitaires pose donc vivement problème.

Le caractère expérimental de la mise en place des modalités de pâturages est aussi un paramètre à prendre en compte, qui peut être intéressant pour établir une collaboration entre éleveurs et autorités sanitaires concernant les tiques. Les éleveurs mettent au centre la question du pâturage mais ses modalités pourraient être objet de discussion.

### **Mission : nourrir les habitants**

Malgré la précarité économique qui augmente, il y a chez les petits éleveurs le sentiment qu'ils y arriveront si « *on ne nous enfonce pas encore plus* ». Ils font la plupart du temps référence au prix de l'électricité et de l'essence et aux risques sanitaires, impliquant des interdictions, qui les empêcheraient de vendre leur fromage.

L'argument du lien avec la clientèle est récurrent : ils connaissent leurs clients, ils ont souvent une clientèle très fidèle, qui selon eux, compte sur eux pour se fournir en fromage de chèvre.

*« Si on est plus là, ils vont bouffer quoi les gens ici ? »*

Ils se sentent souvent investis de la mission de nourrir les populations qui les entourent, les villages alentours, la petite ville voisine. Ils vivent cela comme un engagement, sur des territoires avec souvent peu de commerces ou pas du tout. Le sentiment d'appartenir à un territoire est forte et avec lui, le sentiment de devoir rendre service aux habitants en leur fournissant une nourriture de qualité. Dans tous ces élevages, on s'inquiète tout autant du risque économique pour l'élevage en cas d'interdiction de vente, que du risque pour les habitants de ne plus avoir accès à un aliment important, le fromage, de qualité, et ce, proche de chez eux.

*« On nourrit tout le territoire ici »*

### **Précarité économique**

La précarité économique est très importante chez les petits éleveurs, surtout si les membres du foyer travaillent tous dans la ferme. Quand un des membres du foyer travaille à l'extérieur, la précarité diminue mais la perception d'être sur le fil en permanence est très grande. Même les élevages bien établis sont confrontés à la hausse des prix de l'énergie, de l'essence. Ils sont aussi confrontés à une clientèle en baisse, depuis le covid.

*« On va nous obliger à acheter un pasteurisateur ? Si ils font ça, moi j'arrête direct. On n'arrive déjà plus à payer l'électricité. Moi je survis parce que j'ai acheté ma ferme il y a plus de 30 ans mais les jeunes qui s'installent, ils tiennent pas. Ils arrêtent les uns après les autres. On ne peut plus en vivre, on ne peut plus payer les factures. »*

*« Le magasin (de producteurs) marche bien, parce qu'on a 70% des clients qui ont encore assez de fric pour se payer de bons produits, ils s'en foutent de nous, les producteurs, ils veulent juste pas s'empoisonner et ils ont du blé pour pouvoir le faire. Mais on voit que les 30% qui venaient par militantisme, qui ont eux moins de fric, ils viennent moins, ils galèrent comme nous ».*

*« Bientôt, on ne pourra plus sortir de chez nous. On devra rester et vendre les fromages sur la ferme, on ne peut presque plus payer l'essence »*

*« On arrive pas à se sortir un salaire pour deux, alors si on nous oblige à pasteuriser ou si on nous interdit de vendre, on devra arrêter. Alors que si on nous laisse nous organiser, ben on le dit nous à nos clients, on les connaît tous, c'est déjà arrivé, une fois avec des pseudonomases, on leur a dit qu'on vendrait pas le fromage, dès qu'on a vu qu'il sentait pas pareil. Ça peut arriver, c'est pas grave, les clients nous font confiance ».*

*« Je vendais à des restaurants, en direct, mais sur trois, deux ont fermé depuis le covid, heureusement qu'il y un autre salaire, tu vois, on vit déjà dans 15m2, c'était temporaire, le temps de finir la maison, mais on peut plus, on doit rester ici ». (petite construction d'une seule pièce faite par le couple)*

## Les mal-aimés de l'élevage

Le sentiment de pratiquer un élevage qui n'est pas valorisé est très fort. C'est un élément que l'on retrouve chez tous les éleveurs.

*« Les chèvres, tout le monde s'en fout. Même les véto te le diront, les vaccins pour les chèvres, c'est en fait des vaccins pour les moutons, ya pas de recherche pour les chèvres, ils nous prennent pour des hippies, on est pas assez rentables »*

*« C'est un truc de pauvre, c'était souvent les femmes qui faisaient des chèvres »*

Ce sentiment d'être la forme d'élevage la plus dévalorisée est renforcé par le fait qu'ils ne trouvent pas de vétérinaires spécialisés en chèvre, ou que les vétérinaires qu'ils fréquentent ne connaissent pas bien les chèvres, selon eux.

Historiquement, l'élevage de chèvre est un élevage en milieux escarpés, sur une terre souvent peu fertile, à broussailles, ou bien un élevage domestique géré par les femmes, donc dévalorisé. Les éleveurs rappellent tous ces aspects-là : pour certains c'est une source de fierté de faire vivre malgré tout, l'élevage de chèvre

*« Ca nettoie, une chèvre »*

Pour d'autres, cela met des freins dans leur pratique « *on nous prend pas au sérieux, on est vus comme des hippies* ».

Cela peut être vu comme contradictoire avec leur volonté d'autonomie, mais en réalité, c'est souvent une réaction commune en cas de délégation vers B qui n'a pas fonctionné ou qui ne fonctionne plus : un retour forcé vers la maîtrise des relations avec les chèvres car le monde B n'est plus efficace pour assurer les délégations (exemple : il n'y a plus de vétérinaire compétent pour les chèvres).

## Connaissance des zones à tiques

Ces éleveurs connaissent pour la plupart les secteurs où les tiques sont en grand nombre, et à quelles périodes elles apparaissent.

*« Je sais bien où elles sont les tiques : elles sont là-bas, tu vois en bas du pré, dans ces bois-là. Elles se mettent partout où il y a de l'acacia et du genêt. Dès que t'as du genêt t'es sûr de ressortir plein de tiques. »*

*« Les chevaux en ramènent par grappe (des tiques), quand ils sont dans certains prés, ceux où il y a des rases, les zones humides, avec des genêts. C'est bizarre, mais les chèvres, elles reviennent des mêmes prés et elles n'ont jamais aucune tique »*

*« Quand on fait les clôtures, on en ramasse, il y a des coins où yen a plein »*

Les tiques sont perçues comme habitant le même territoire que les éleveurs, tout comme les animaux sauvages, ou les insectes. Le partage du territoire est vécu comme normal, les zones à tiques sont évitées autant que possible. Si les chèvres ou les chiens y vont, alors, l'attention aux tiques sur les chèvres est plus marquée lors de la traite.

Les éleveurs nouvellement installés ne connaissent pas bien les secteurs où il pourrait y avoir des tiques, certains pensent qu'il n'y en pas, car ils n'en relèvent pas sur les chèvres ; d'autres en relèvent mais ne savent pas d'où elles viennent. La connaissance de « *zones à tiques* » est liée à l'ancienneté sur un territoire ou à une attention spécifique portée à cette question.

## Perception du risque tiques

*« Des tiques, il y en a plein ici, elles me grimpent sur les jambes »*

*« On en a enlevé quinze avant-hier sur le chien »*

*« Je dirais pas qu'il y en a plus qu'avant, mais ce qui est sûr, c'est qu'il y en a pas moins ! »*

La présence des tiques est bien connue, et les éleveurs à faible délégation vivent avec au quotidien. Ils semblent par contre ne pas considérer ça comme un risque important. Ils cohabitent avec elles et ne les considèrent pas comme un danger réel, ni pour eux, ni pour leurs animaux, à l'exception du risque pour les chiens, qui revient souvent. Ils enlèvent les tiques à la main, quand ils les voient sur les animaux ou sur eux, mais ils ne perçoivent pas les tiques comme un gros problème.

*« Une seule fois j'ai vu un chien mourir d'une piro, c'est allé vite, on a compris que c'était ça, mais c'était ya quinze ans, c'est jamais arrivé depuis »*

*« J'ai un ami qui a Lyme, et il est bien amoché, il peut plus rien faire, mais bon, nous on se fait piquer tout le temps et on a rien, on doit être immunisé, comme nos chèvres »*

*« On peut pas enlever les tiques des chèvres tout le temps, elles se cachent, sur les pis on les voit quand on traite, et encore. On voit surtout celles sur la nuque et entre les cornes, on les enlève si on en trouve »*

*« On les enlève dès qu'on les voit, on les trempe dans l'alcool ensuite pour les tuer »*

*« Sur les humains, les tiques on les enlève, s'il y a le rond rouge, on envoie la stagiaire chez le médecin pour les antibio, pour pas prendre de risques, mais nous, on a jamais rien »*

Les éleveurs ont une grande confiance en la capacité de leur élevage à rester en bonne santé grâce à leur immunité. Tous « *travaillent l'immunité* » comme un but pour parvenir au maximum d'autonomie vétérinaire.

Ils considèrent donc les tiques et les maladies qu'elles peuvent transmettre comme relevant du même enjeu : en augmentant l'immunité des chèvres, il n'y aurait pas de problème.

*« Elles s'immunisent en une année en général. La première année, tu entres un bouc qui est malade, tu as de la perte, mais l'année d'après, c'est réglé, aux analyses, il n'y a plus de maladie. Si t'en vois encore aux analyses, tu vois que ça reste juste dans leur sang, mais que en fait, elles sont plus malades, elles n'avortent plus. Ça met un an en général, et c'est réglé »*

*« Il y a tellement de maladies. On préfère un troupeau qui s'immunise petit à petit. »*

La question des tiques est aussi souvent mise en relation avec le dérèglement climatique : certains pensent qu'il y a plus de tiques qu'avant, d'autres non, mais tous voient leur environnement se transformer et tous ont pensé que TBEV pouvait être relié aux dérèglements climatiques et écologiques globaux.

Cet aspect-là modifie la manière d'appréhender la question de l'immunité de leur troupeau. Certains sont fragilisés par ces changements qui ne sont pas contrôlables et qui remettent en question la manière dont ils ont construit la vision d'une santé de leur troupeau. D'autres sont convaincus que l'immunité qu'ils construisent leur permettront d'éviter les menaces liées aux dérèglement climatique, leur troupeau étant perçu comme « *rustique* » et « *résistant* ».

Il y a beaucoup de questionnements et d'incertitudes sur ce sujet-là.

## La question du genre

On trouve beaucoup de femmes qui sont installées en petits élevages caprins. Les recherches statistiques ne sont pas très développées sur ce point, mais la grande majorité des éleveurs

caprins en petit élevage rencontrés sont des éleveuses. On retrouve cet aspect aussi sur les groupes de réseaux sociaux sur lesquelles l'immense majorité des participants sont des femmes.

Cet aspect n'est pas anecdotique car il est constamment rapporté comme un élément déterminant dans la manière de gérer les soins aux animaux, entre autres.

*« Les éleveurs sont en fait des éleveuses »*

On retrouve la mise en avant du genre aussi bien dans les discours des hommes que des femmes. Les femmes éleveuses sont perçues par les hommes éleveurs et se perçoivent elles-mêmes, comme plus concernées par le choix de thérapeutiques « naturelles », « douces », « qui ne nuisent pas à l'environnement ».

*« Les femmes sont plus empathiques, elles vont faire plus attention aux bien-être des chèvres, les hommes aussi bien sûr, mais pas tous »*

Si on trouve chez les éleveurs, comme chez les éleveuses, la manière d'appréhender leur métier selon les caractéristiques décrites plus haut, on note une différence quand on aborde la question des soins, notamment liés aux tiques. Les éleveuses avancent toutes l'importance de la prévention, quand les éleveurs semblent moins intéressés par cet aspect-là. Les éleveuses déploient beaucoup d'énergie pour trouver des solutions préventives, d'où peut-être leur plus grande présence sur les groupes en ligne, pour partager de l'information et rechercher des conseils.

*« On a pas beaucoup de tiques sur nos chèvres, mais c'est vrai que je leur donne des choses pour qu'elles soient fortes. Des minéraux du Comptoir des plantes principalement. Ah oui et aussi de l'argile, lors de la mise à l'herbe, pour éviter les désordres digestifs. Et puis aussi du chlorure de magnésium, surtout pour les mises bas. Je leur ajoute aussi de l'huile de poisson, pour les omégas. Et des vitamines. Tous les mois. »*

Les éleveuses rencontrées refusent toutes l'utilisation d'insecticides chimiques sur leurs chèvres, elles considèrent ça comme une atteinte à la santé de leur chèvre et également à l'environnement, ce qui n'est pas le cas des éleveurs hommes. Les hommes enquêtés ne mentionnent pas l'utilisation d'insecticide car elle leur semble normale ou occasionnelle, et peu problématique. Les femmes ne sont quant à elles pas à l'aise quand elles sont forcées de les utiliser et évitent au maximum d'en arriver là. L'argument environnemental est donné en premier (les travaux sur la plus grande implication des femmes sur les enjeux environnementaux montrent que les apprentissages et les socialisations genrées ont un impact sur la manière d'agir sur les problèmes environnementaux).

C'est un élément important pour collaborer avec les éleveuses, qui sont très nombreuses dans les petites fermes : la prévention est essentielle pour elles et l'utilisation de traitement chimique pose problème.

On notera aussi que beaucoup d'éleveuses sont des éleveuses en reconversion professionnelle, qui se lancent dans l'élevage caprin sur de petites fermes, après une autre vie, souvent urbaine. Elles sont souvent plus diplômées que les éleveurs et éleveuses dont

c'est le premier métier, et plus concernées par les questions environnementales (on connaît bien le lien entre le niveau de diplôme et les préoccupations environnementales).

## Les pratiques préventives rapportées

Pour un tableau complet, je rapporte ici une liste non exhaustive des pratiques préventives, les plus souvent entreprises ou conseillées lors de l'enquête de terrain et sur les groupes. Les femmes éleveuses sont très engagées dans le partage d'informations à ce sujet, elles représentent la très grande majorité des intervenantes sur les groupes en ligne. Elles se forment et partagent leurs connaissances, car elles indiquent porter une attention particulière à la prévention via des méthodes naturelles.

### En externe

- HE (huile essentielle) lavandin
- HE geranium
- Spray citron+ HE pamplemousse
- Terre de diatomée
- Huile de neem
- Huile de cade
- Vinaigre de cidre (pulvérisation dos)
- Corps gras sur la tête, base des cornes (huile de coco)
- Huile avec HE de girofle, thym, lavande, cannelle de chine, origan

### En interne

- Graine de lin mélangée à la ration (*« donne une odeur aux chèvres que les tiques n'aiment pas »*)
- Psorinum 9ch
- Ledum palustre 200K 1 fois par mois.
- Pierre de sel avec de l'ail

### Compagnonnage/ actions humaines

- Faire côtoyer chèvres et poules
- Faire côtoyer chèvres et canards (controverse : risque de salmonelle relevé)
- Enlever les tiques manuellement avec tire-tique
- Évitement des pâturages à risque connus

Ces pistes sont les plus fréquentes, et elles sont accompagnées de retours d'expérience, positifs ou négatifs. L'aspect expérimental est très important ici.

Au sujet des produits vétérinaires ou para-vétérinaires, on trouve beaucoup de controverses liées aux risques et aux bénéfices.

Les produits « chimiques » sont toujours très controversés par les éleveurs et éleveuses à délégation faible, ce qui semble logique, étant donné que ceux-ci privilégient une vision « vivante » de l'élevage.



### Butox

« Ce médicament est extrêmement nocif pour l'environnement, tue beaucoup d'insectes (et pas que les tiques), provoque beaucoup d'apparition de résistance sur les parasites intestinaux. Je le déconseille fortement pour une utilisation anti tiques... »

« D'après mon vété il y a 15ans, bien que la fréquence du traitement était de 4 semaines, il m'avait conseillé de la faire toute les 3 semaines et de l'appliquer à l'éponge au vu de la morphologie de la chèvre, donc très contraignant et nécessitant des protections pour l'opérateur. Ce que j'ai constaté, première semaine après traitement toujours autant de tiques, deuxième semaine c'est assez efficace, troisième semaine retour des tiques, puis entre les deux fois où j'en ai acheté (du pour on et du 5/1000) le délai d'attente lait était passé de zéro à 12h. Franchement je ne trouve pas que le jeu en vaut la chandelle »

### Eprinex

« L'Eprinex n'a aucune indication pour les tiques. Et c'est un des produits les plus dangereux pour l'environnement, qui commence de surcroît à avoir des résistances. »

« Un vété me disait qu'en Nouvelle Zélande la résistance est quasi généralisée et qu'à part quadrupler les doses ils n'ont aucune solution puisque aucune nouvelle molécule n'a été trouvée depuis quarante ans contre les parasites ! Donc perso je préfère travailler l'immunité de mes chèvres et ne traiter que celles qui n'arrivent pas à développer d'immunité »

- Versatrine
- Sydecine
- Deltanil
- « Tiképuce » Solibio (présenté comme produit naturel)
- « Pyrèthre laque » Comptoir des plantes (présenté comme produit naturel, très utilisé)

Quand l'infestation aux tiques est trop importante, on retrouve beaucoup d'éleveurs et quelques éleveuses qui passent aux produits « chimiques ».

« Je leurs met deux gouttes d'HE de lavande entre les cornes de temps en temps, ça marche tant que ce n'est pas l'invasion et je les retire a la main sur les mamelles et la vulve pendant la traite puis je nettoie avec un peu d'eau savonneuse pour éviter les infections. Mais cette année une horreur ! Entre cinquante et cent tiques par chèvre tous les jours, j'ai dû me résoudre à les traiter au Butox »

## **III. Le risque TBEV**

### **Méconnaissance et précautions**

Si les risques liés aux tiques sont connus pour les chiens et pour les humains, le risque spécifique TBEV est inconnu de presque tous les éleveurs enquêtés.

Seuls les éleveurs ayant répondu au questionnaire du GDS63 connaissent la maladie sans toutefois avoir vraiment retenu les risques pour les humains et les modalités de transmission via le lait cru.

Ce premier point est donc déterminant : lors de l'enquête, j'ai dû expliquer en quoi consistait la maladie et sa transmission. Cela occasionne donc un biais important dans la manière dont les éleveurs réagissent aux informations que je leur partage.

D'abord parce que je ne suis pas experte sur ce sujet, je partage donc les informations que j'ai collectées lors de réunions, de discussions avec les experts, ou dans les documents partagés par le groupe TBEV. Je me retrouve donc parfois en situation de ne pas pouvoir renseigner un éleveur qui me demande par exemple ce qu'il en est de la transmission aux vaches, ou un autre qui voudrait savoir s'il y a des signes sur les chèvres à observer afin de réagir au plus vite.

Je donne les informations dont je dispose mais je ne dispose pas de celles-là, je préfère donc indiquer que je ne suis pas experte sur le sujet et qu'ils auront des informations dans le futur.

Je fais le choix de ne pas occuper une place qui n'est pas la mienne, en restant volontairement, ignorante sur les points soulevés par les éleveurs, afin de ne pas être perçue comme une communicante du groupe d'experts, ce pour quoi je n'ai en aucun cas les compétences, et ce qui brouillerait l'enquête que je mène.

Cependant, comme il y a une alerte sur TBEV d'où l'auto-saisine, je ne peux occulter les risques pour la santé humaine et le déploiement du virus en Europe et en France. Je suis donc perçue comme amenant une alerte sur les tiques et TBEV, ce qui est à prendre en compte dans les résultats.

Pour éviter que cela perturbe mon enquête, j'ai choisi de ne mentionner le risque TBEV qu'à la fin des entretiens, une fois tous les autres sujets abordés. J'ai indiqué enquêter sur la question des pâturages et des parasites, lors de mes phases d'approche, sans mentionner TBEV.

C'est un point de méthode mais qui a de l'importance, car cela peut expliquer pourquoi les éleveurs ne se sentent pas vraiment concernés par le sujet ou ne sont pas inquiets.

## Perceptions du risque TBEV

Un fois posé cela, on observe néanmoins trois attitudes différentes face au risque TBEV :

D'abord, les éleveurs qui n'ont aucune crainte car ils font confiance à l'immunité de leur élevage. Les éleveurs qui n'ont aucune crainte, sont ceux qui ont une vision de leur élevage le plus autonome du monde B réglementaire possible, avec le moins de délégation. Ils sont souvent militants d'un élevage respectueux de l'environnement et ce sont ceux qui font le moins appel au vétérinaire. Ils sont les plus proches de A selon les pôles décrits dans le premier chapitre.

*« Je préfère que quelque uns aillent à l'hôpital plutôt qu'ils nous obligent à arrêter. »*

Ces éleveurs ont souvent une vision cyclique du vivant, la mort ou la maladie faisant partie d'un cycle naturel qui doit être accepté, et non combattu. Ils ne manifestent pas de crainte face au risque TBEV.

Ensuite, on trouve des éleveurs préoccupés principalement par l'aspect économique du risque TBEV. Ils craignent le coût d'une pasteurisation contrainte, le coût d'une mise en place de nouvelles clôtures pour éviter les zones à risque, le coût de l'arrêt temporaire de la vente des fromages.

Ces éleveurs sont aussi souvent ceux qui ont peu de crainte pour l'état sanitaire de leur élevage, confiants en l'immunité, les deux attitudes vont souvent de pair.

Enfin, on trouve les éleveurs préoccupés par les obligations sanitaires que cela occasionnerait et les risques pour leurs animaux : perte, avortement, traitements à mettre en place et perturbation de l'état sanitaire général de l'élevage.

Les risques pour les consommateurs ou pour eux-mêmes sont peu évoqués. Ils indiquent à ce sujet que s'il y a un problème, ils avertissent eux-mêmes leurs clients, misant sur la relation de confiance qu'ils entretiennent avec eux.

On relève malgré tout un épisode, au moment des cas dans l'Ain, lors duquel l'information a circulé dans les groupes en ligne et dont certains éleveurs m'ont parlé, avec inquiétude

*« L'encéphalite on en a entendu parler sur un groupe Facebook, il y a eu un vent de panique et puis plus personne n'en a reparlé. »*

*« Oui, j'ai entendu ça, c'est grave ! mais c'est pour les vaches je crois »*

## Les points de crispation

### La pasteurisation

La pasteurisation est évoquée par tous les éleveurs comme un danger pour leur ferme. Pour certains, c'est absolument impossible à accepter, c'est vécu comme une grande violence, comme la mort de leur ferme. Certains ont clairement indiqué qu'ils arrêteraient si on les obligeait à pasteuriser. La précarité économique rend le métier de plus en plus difficile, et la pasteurisation est vécue comme l'obstacle de trop, car cela enlèverait le sens même de leur travail : le fromage au lait cru.

Les moins précaires sont ceux qui accepteraient le plus facilement une pasteurisation mais uniquement « *en cas d'extrême urgence* » et seulement s'ils sont aidés dans cette démarche (économiquement). Ils notent que les GDS peuvent aider dans ce genre de situation mais que les pasteurisateurs ne sont pas adaptés à leurs faibles volumes de lait.

### « Enfermer » les chèvres

Un autre point problématique est la question de la mise sous bâtiment des chèvres, en cas de risque TBEV important détecté. Tous refusent cette option, en la considérant comme violente, pour leur ferme et pour les chèvres.

Comme on l'a vu plus haut, les éleveurs de ce type mettent un point d'honneur à ne pas « enfermer » leurs chèvres. Ils sont cependant disposés au dialogue, tant est importante la recherche d'autres solutions.

### Les pratiques préventives chimiques

Les éleveurs enquêtés et particulièrement les éleveuses sont réfractaires à la possibilité de traiter par insecticide chimique les chèvres ou l'environnement.

Comme on l'a vu plus haut, la question environnementale est une vraie préoccupation chez les éleveuses, qui sont très nombreuses et les options préventives sont toujours mises en avant, même quand les risques sont importants.

## **IV. Pistes de réflexion sur les options de gestion**

Au terme de l'enquête, je sou mets au groupe de travail trois pistes qui semblent intéressantes afin de proposer des options de gestion du risque TBEV compatibles avec le terrain et susceptibles d'être prises en compte et appliquées par les éleveurs dans l'intérêt général.

### **L'enjeu de l'information**

L'information autour de TBEV auprès des éleveurs est la condition première à leur implication dans les mesures de gestion qui pourraient leur être proposées.

Il faudrait veiller à ce qu'elle ne soit pas noyée avec d'autres informations sanitaires, car les éleveurs se sentent déjà débordés, ils ont peu de temps à accorder à ce qui relève pour eux de tâches administratives.

Il pourrait être pertinent de travailler avec les médiateurs (vétérinaires, GDS, etc) sur la manière de transmettre l'information et quel type d'information.

Les alertes sont lues car elles présentent un danger, mais elles sont aussi mal reçues car elles ajoutent de l'insécurité aux éleveurs qui sont déjà souvent fragilisés par la précarité. Les informations trop généralistes ou vagues sont souvent négligées, faute de temps.

C'est un vrai enjeu que d'arriver à informer en travaillant en amont le message et l'objectif de l'information : alerter sur un risque ? encourager à prendre des mesures préventives ? donner des informations factuelles sur TBEV ?

Les médiums de transmission de l'information sont aussi importants, car l'enquête montre combien les éleveurs s'informent massivement sur les réseaux sociaux. Il serait peut-être pertinent d'explorer ces pistes-là pour toucher les éleveurs concernés. Ce sont souvent des éleveurs pour qui les groupes en ligne permettent de faire partie d'une communauté, ce qui n'est pas le cas hors ligne, car ils sont souvent dans des zones où il y a peu d'éleveurs et peu de possibilités pour échanger. Ces espaces sont perçus comme apportant un soutien non négligeable et seraient peut-être intéressants pour le partage de l'information.

## L'enjeu de la participation

La seconde piste est celle de la participation aux mesures de gestion.

Les points de crispation relevés plus haut sont souvent exposés, accompagnés d'une invitation à dialoguer, à participer, à comprendre. Les éleveurs concernés sont tous très impliqués dans des stratégies préventives plutôt que curatives. Ils sont donc enclins à concevoir et appliquer des solutions si elles sont avant tout préventives.

Il y a une vraie volonté de collaboration, autant avec les experts, les chercheurs, les vétérinaires qu'avec les consommateurs.

Ce point me semble important, l'implication des éleveurs dans des mesures préventives me semble tout à fait possible, s'ils se sentent concernés par les enjeux (d'où l'information préalable indispensable) et s'ils se sentent respectés dans les limites principales qu'ils exposent : importance du pâturage et importance du lait cru.

Le lien avec les consommateurs me semble aussi important, car les éleveurs évoquent tous cette relation comme une relation de confiance, en se plaçant en cela en opposition aux éleveurs de type industriels qui ne connaissent pas leurs clients. Cette relation de confiance devrait être reconnue comme existante et précieuse, pour que les éleveurs ne se sentent pas dépossédés de ce qui est pour eux au cœur de leur travail, la mission de nourrir un territoire.

## L'enjeu de l'expérimentation

L'enquête montre que l'expérimentation est au cœur des pratiques de ces éleveurs, que ce soit sur les soins, la reproduction, l'alimentation, la question des pâturages, tous les éleveurs accordent une grande importance à l'expérimentation. On le comprend très bien en reprenant la grille de lecture en termes de délégations proposée plus haut : les éleveurs qui délèguent le moins, sont ceux qui doivent le plus tester et créer les conditions favorables pour leur élevage, car ils souhaitent rester les plus autonomes et libres possible.

Dans ce contexte, l'expérimentation est permanente et valorisée.

On retrouve la même dynamique sur les groupes en ligne, sur lesquels les éleveurs partagent leurs expérimentations, les discutent, et se nourrissent des expérimentations des autres éleveurs.

Je pense que c'est un levier essentiel dans la mise en place de mesures de gestion : les éleveurs sont prêts à la fois à participer, pour éviter d'être dépossédés de leur autonomie à laquelle ils tiennent dans la conduite de leur élevage, mais ils sont également enclins à expérimenter, dans l'intérêt de leur élevage.

On le note clairement dans les modalités de pâturage par exemple : les éleveurs s'adaptent à tout ce qui peut survenir, des problèmes parasitaires à la qualité de l'herbe, ils ajustent leurs décisions après observation et expérimentations. Ils pourraient tout à fait s'engager dans des expérimentations pour maîtriser le risque TBEV.

Par exemple, en apportant de l'information sur les zones à tiques connues sur leurs pâturages et en adaptant encore plus qu'ils ne le font déjà les zones de pâturages pour leurs chèvres.

Ou encore, en renseignant leurs pratiques préventives pour la gestion des tiques et en testant de nouvelles, en relation avec les experts ou les vétérinaires.

## V. Conclusion et perspectives

Comme on le voit, les points de crispation ne sont pas à négliger mais les possibilités de collaboration avec les éleveurs sont encourageantes.

La prise en compte des spécificités des petits éleveurs caprins est essentielle, pour une bonne application des mesures de gestion qui seront décidées : ce sont des populations qui aspirent au maximum d'autonomie, et qui ont l'habitude de résoudre leurs problèmes sanitaires dans l'environnement restreint de leur ferme.

S'appuyer sur les pratiques expérimentales des éleveurs permettrait ainsi de tester des options de gestion cohérentes avec les pratiques des éleveurs, et respectueuses de leurs besoins.

La proposition formulée au sein du GT de faire pâturer les jeunes chevrettes dans des zones à tiques afin de les immuniser est ainsi un bon exemple de ce qui pourrait être accepté par les éleveurs afin de réduire les risques.

Il faudrait pouvoir mettre en place des tests pour vérifier l'utilité d'une telle démarche : comment se comporteraient des chèvres immunisées, quel serait l'impact sur leur lait, etc. Cela permettrait en plus de travailler avec les éleveurs sur des modalités de collaboration, ce qui permettrait d'améliorer la réception des messages d'alerte et de prévention.

Comme nous l'avons vu, le premier enjeu est celui de l'information sur la maladie. Une autre perspective serait, au-delà d'une transmission de l'information classique, de construire un groupe de recherche incluant des éleveurs, des vétérinaires, des médecins et des malades.

Le dispositif *Zoojeu* (INRAE) testé pour la fièvre Q dans la région niortaise a montré toute sa pertinence : pour que les éleveurs se sentent concernés et appliquent les mesures préconisées, ils doivent d'abord être convaincus des risques et les appréhender eux-mêmes. Ils doivent aussi se considérer comme des éléments pivots de la gestion des risques TBEV sur le terrain, ce qu'ils sont. Ce genre de dispositif pourrait être testé afin de construire avec les éleveurs des moyens de gérer efficacement le risque TBEV : si les éleveurs sont conscients des risques, et sont impliqués, et ce, dans le respect de leurs spécificités, alors on peut s'attendre à une grande efficacité des mesures de gestion.

Les maladies vectorielles comme TBEV, nécessitent une meilleure compréhension du rapport des humains avec les non-humains que sont les tiques, pour comprendre pourquoi les habitants de certains territoires, comme les éleveurs, ne perçoivent pas de danger à la cohabitation avec les tiques. Il est risqué de considérer qu'il suffit de diffuser des messages d'alerte ou d'introduire une surveillance plus accrue, pour que les éleveurs agissent en conséquence. Sans compréhension de leur rapport à ces entités que sont tiques et virus, nous risquons de réduire les chances d'une collaboration avec eux qui serait pourtant des plus efficaces dans un objectif d'intérêt général et de santé publique.

## VI. Bibliographie

Berry, Vincent, « Ethnographie sur Internet : rendre compte du « virtuel » », *Les Sciences de l'éducation - Pour l'Ère nouvelle*, 2012/4 (Vol. 45), p. 35-58.

Descola, Philippe. 2005. *Par-delà nature et culture*. Paris : Gallimard

Doré, Antoine. « Promenade dans les mondes vécus. Les animaux peuvent-ils être des interlocuteurs de l'enquête socio-anthropologique ? », *Sociétés*, vol. 108, no. 2, 2010, pp. 33-45

Landivar, Diego, and Emilie Ramillien. 2015. Reconfigurations ontologiques dans les nouvelles constitutions politiques andines : une analyse anthropologique. *Tsantsa (revue de la Société Suisse d'Ethnologie)*, 20, 29–40.

Landivar, Diego, and Emilie Ramillien. 2017. Savoirs autochtones, nature-sujet et gouvernance environnementale : les nouvelles configurations du droit en Bolivie et en Équateur. *Autrepart*.

Morizot, Baptiste. 2016. *Les Diplomates : cohabiter avec les loups sur une autre carte du vivant*. Marseille : Wildproject, Collection Domaine Sauvage.



## VII. Guide d'entretien

Prise de contact

Présentation enquête

### A/ Contexte

#### A1. L'éleveur- l'éleveuse

A1.1 Identité

A1.2 Formation

A1.3 Situation personnelle

A1.4 Histoire familiale

A1.5 Transmission ferme

#### A2. La ferme - l'exploitation

A2.1 Situation générale

A2.2 Modes production

A2.3 Caractéristiques quantitatives

#### A3. Le territoire

A3.1 Temporalité ancrage dans territoire

A3.2 Relations avec territoire proche (hameau/village)

A3.4 Relations avec territoire plus éloigné (département/aire géographique, etc)

#### A4. Le marché

A4.1 Type de production

A4.2 Prix

A4.3 Cycles production

### B/ Cycles

#### B1. Animaux

B1.1 Alimentation

B1.2 Soins santé et bien être

B1.3 Espace intérieur : étables, salle traite

B1.4 Espace extérieur : enclos, prairies

B1.5 Cycles reproduction

B1.6 Mort/ vente

**B2. Réglementations - normes**

B2.1 Lait

B2.2 Obligations vétérinaires

B2.3 Fromages-marché

**B3. Humains**

B3.1 Routine travail

B3.2 Routine familiale

B3.3 Relations avec animaux

B3.4 Relation avec le territoire

B3.5 Relations autres non-humains (végétaux, prairies, animaux hors élevage, tiques, etc.)

**C/ Évènements-irruptions****C1. Animaux**

C1.1 Maladies, agents extérieurs, santé générale

C1.2 Tiques morsure

C1.3 Cycle reproduction-lactation

C1.4 Avortements

C1.5 Morts

C1.6 Santé mentale

**C2. Humains**

C2.1 Maladies agents extérieurs, santé générale

C2.2 Tiques morsure

C2.3 Évènements vie

C2.4 Santé mentale

**C3. Climat**

C3.1 Évènements climatiques non prévus, conséquences

C3.2 Relation au dérèglement climatique en général

C3.3 Lien avec zoonoses

C3.4 Observation nouvelles espèces, augmentation tiques, etc

**C4. Marché**

C4.1 Aléas liés à la crise agricole actuelle

C4.2 Aléas liés aux subventions

C4.3 Aléas liés aux prêts

**C5. Réglementations-normes**

C5.1 Modifications normes production

C5.2 Modifications normes sanitaires

C5.3 Modifications maladie à déclaration obligatoire (TBEV)

**D/Gestion tiques : connaissance, observation, perception risque****D1 Reconnaissance des tiques/ observation**

D1.1 Chez les animaux

D1.2 Chez les humains

D1.3 Dans l'environnement (prairies, forêt, etc)

**D2 Réactions, mesures entreprises, soins apportés**

D2.1 Chez les animaux

D2.2 Chez les humains

D2.3 Dans l'environnement (prairies, forêt, etc)

**D3 Perception du risque**

D3.1 Chez les animaux

D3.2 Chez les humains

D3.3 Dans l'environnement (prairies, forêt, etc)

**D4 Communication sur le sujet**

D4.1 avec le vétérinaire

D4.2 avec le GDS ou autre groupement

D4.3 avec les points de vente de fromage

D4.4 avec les consommateurs

D4.5 avec voisinage, famille, autres producteurs

**E/ Connaissances TBEV****F/Besoins et vulnérabilités**



AGENCE NATIONALE DE SÉCURITÉ SANITAIRE  
de l'alimentation, de l'environnement et du travail  
14 rue Pierre et Marie Curie 94701 Maisons-Alfort Cedex  
[www.anses.fr](http://www.anses.fr)