

Exposition aux chenilles émettrices de poils urticants

Avis révisé de l'Anses
Rapport d'expertise collective

Décembre 2023



Le directeur général

Maisons-Alfort, le 7 décembre 2023

AVIS

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

relatif à « une analyse des risques sanitaires liés à l'exposition aux chenilles émettrices de poils urticants et élaboration de recommandations de gestion »¹

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 d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.

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 a été saisie le 08 janvier 2020 par la Direction générale de la santé et par la Direction générale de la prévention des risques pour la réalisation de l'expertise suivante : Saisine relative à la réalisation d'une analyse des données des Centres Anti-Poison concernant l'exposition aux chenilles émettrices de poils urticants et à la réalisation d'une analyse des risques sanitaires liés à l'exposition à ces chenilles et pour l'élaboration de recommandations de gestion.

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

1.1 Contexte

Les chenilles de certaines espèces de Lépidoptères tels que les processionnaires du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiffermüller 1775) et du chêne (*Thaumetopoea processionea* L. 1758), le bombyx cul-brun (*Euproctis chrysorrhoea* L. 1758) et la Lithosie quadrille (*Lithosia quadra* L. 1758) produisent des poils urticants qui, par contact direct cutané ou par inhalation, peuvent entraîner des réactions urticariennes ou allergiques

¹ Annule et remplace l'avis en date du 24 novembre 2023

chez l'espèce humaine avec un impact sanitaire significatif en cas de pullulation. Ces espèces peuvent, de plus, avoir des impacts sur certains végétaux (chêne, pin, etc.) et animaux (chien, chat, animaux d'élevage, etc.).

Plusieurs espèces de ces Lépidoptères semblent accroître d'année en année leur aire de distribution sur le territoire national, telle que la processionnaire du pin dont la présence était limitée historiquement au sud de la Loire et qui remonte graduellement vers le nord et en altitude à la faveur du dérèglement climatique. Le dérèglement climatique pourrait avoir de surcroît un impact sur l'évolution de l'aire de répartition et la phénologie des autres espèces de Lépidoptères à chenilles urticantes. Les chenilles émettrices de poils urticants constituent ainsi un enjeu de santé publique (en France hexagonale et ultramarine) dans les zones où elles sont déjà présentes ou dans des zones indemnes qu'elles pourraient coloniser dans un avenir proche.

1.2 Objet de la saisine

Le premier volet de la saisine, concernant l'analyse des données des Centres antipoison relatives aux expositions aux chenilles à poils urticants, a fait l'objet d'un rapport d'étude de toxicovigilance en juin 2020 (réf. D20DAVS0221).

La présente expertise qui est le second volet de la saisine, concerne l'analyse des risques sanitaires liés à l'exposition aux chenilles à poils urticants.

Dans une première partie, l'expertise portera sur :

- l'établissement d'une liste des différentes espèces de Lépidoptères recensées en France produisant des poils urticants qui, notamment par contact direct cutané ou par inhalation, peuvent entraîner des réactions urticariennes ou allergiques chez l'espèce humaine ou l'animal, et/ou peuvent avoir un impact sur les végétaux ;
- une description de ces espèces (morphologie, biologie, écologie, répartition actuelle en France métropolitaine et dans les DOM, etc.) accompagnée d'informations sur les paramètres et les conditions favorables à leur développement en fonction des conditions pédoclimatiques, de la période de l'année, des pratiques d'agroforesterie, etc. ;
- une identification des contextes et des conditions d'exposition ;
- une description des effets et des conséquences des expositions aux chenilles urticantes sur la santé humaine et animale en précisant, le cas échéant, les facteurs de vulnérabilité ;
- une description des conséquences de la présence de ces espèces sur la biodiversité.

Dans une seconde partie, en s'appuyant sur l'analyse de l'efficacité des dispositifs de lutte contre les Lépidoptères à chenilles urticantes et de leur effet sur l'environnement recensés en France et dans d'autres pays, l'expertise visera à établir :

- une liste des critères à prendre en compte pour déterminer les options de gestion les plus adaptées selon les situations et les contextes, dans un souci de durabilité et de préservation de la biodiversité ;
- des recommandations quant à l'opportunité des traitements par des produits biocides ;

- des recommandations visant à maîtriser les expositions des différentes populations (dont les professionnels pouvant être en contact avec des chenilles).

2 ORGANISATION DE L'EXPERTISE

2.1 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

L'Anses a confié au groupe de travail « Chenilles à poils urticants », rattaché au comité d'experts spécialisé « Risques biologiques pour la santé des végétaux » l'instruction de cette saisine.

Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis régulièrement au CES « Risques biologiques pour la santé des végétaux » pour discussion (tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques), le 18/05/2021, le 06/07/2021, le 21/09/2021, le 16/11/2021, 18/01/2022, le 15/03/2022, le 10/05/2022, le 05/07/2022, le 14/09/2022, le 22/11/2022, 31/01/2023, le 28/03/2023, le 23/05/2023, le 04/07/2023 et le 26/09/2023.

Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis au CES « Substances et produits biocides » pour information et commentaires, le 20 juillet 2023 (sur la section 2.4 en particulier).

Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis au CES « Analyse socio-économique » pour information et commentaires, le 8 décembre 2022 et le 11 septembre 2023 (sur la section 3.3.3 et le chapitre 5 en particulier).

Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis au CES « Santé et bien-être des animaux » pour information et commentaires, le 12/09/2023, en particulier sur la partie relative à la santé animale (chapitre 4). Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences multiples et complémentaires.

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 (mai 2003) ».

2.2 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 de l'agence (<https://dpi.sante.gouv.fr/>).

3 ANALYSE ET CONCLUSIONS DU GT ET DES CES

3.1 Entomologie : identification, sélection et description des genres et des espèces de Lépidoptères à chenilles à poils urticants

3.1.1 Caractérisation des espèces de Lépidoptères d'intérêt

Le périmètre de l'expertise conduite par le groupe de travail (GT) pour rechercher et identifier les espèces de Lépidoptères d'intérêt a été défini selon deux axes.

Concernant le premier axe, le GT a tout d'abord jugé utile de définir précisément la nature des poils urticants qui sont l'objet de la présente saisine. Le terme « poil » est un terme générique mais d'un point de vue anatomique, les poils urticants se présentent sous trois formes distinctes appelées soies détachables, soies modifiées non détachables, et épines non détachables. Le GT a ensuite considéré que l'expertise, portant sur les chenilles à poils urticants, excluait les autres stades du cycle biologique pouvant avoir un caractère urticant comme les formes adultes ou les œufs (ex : papillons femelles qui ont des poils urticants responsables de papillonites). La saisine étant centrée sur des systèmes produisant des poils urticants, le GT a exclu de son champ d'investigation les systèmes de défense des Lépidoptères qui ne reposent pas sur des poils urticants.

Pour le second axe, la liste des espèces concernées de Lépidoptères, en France métropolitaine et dans les départements et régions d'outre-mer (DROM²), s'est révélée complexe à définir, car aucune revue récente de la littérature n'existait sur ce sujet, et les espèces présentes dans les DROM sont souvent mal connues et potentiellement nombreuses. C'est pourquoi le GT a défini l'aire géographique pour rechercher les espèces d'intérêt. La saisine portant sur les espèces à chenilles à poils urticants en France métropolitaine et dans les DROM, il a été convenu que la sélection de genres et d'espèces d'intérêt décrites comme ayant des poils urticants (détachables ou non) porterait sur les zones en question et les pays limitrophes à ces zones. Le GT a également décidé d'inclure Madagascar et le Mozambique, car pour ces deux pays il existe des échanges commerciaux avec l'île de La Réunion et Mayotte.

La saisine concerne les espèces de Lépidoptères à chenilles qui produisent des poils urticants. La sélection des genres et des espèces de Lépidoptères à chenilles à poils urticants s'est appuyée sur : i) l'analyse des données d'occurrence de la base de données GBIF³ dans les zones géographiques définies par le groupe de travail (France métropolitaine et pays européens limitrophes, et DROM en incluant également certains pays limitrophes), ii) la revue de Kawamoto et Kumada (1984) recensant les genres de Lépidoptères dans lesquels se trouvent des espèces dont les chenilles ont des poils urticants et iii) une recherche bibliographique pour confirmer le caractère urticant des chenilles des espèces de Lépidoptères identifiées. La sélection des Lépidoptères d'intérêt a permis d'identifier 55 espèces réparties en 29 genres appartenant à 9 familles (Erebidae, Lasiocampidae, Limacodidae, Megalopygidae, Noctuidae, Notodontidae, Nymphalidae, Saturniidae, Zygaenidae). Le GT a ensuite pu associer à chaque espèce sélectionnée le type de poils portés par la chenille (soies détachables, soies modifiées non détachables, épines) et l'existence éventuelle d'une caractérisation de l'espèce par une séquence ADN (*DNA barcoding*). Ce travail permet donc

² DROM : Guadeloupe, Guyane, Martinique, Mayotte, La Réunion

³ GBIF : Global Biodiversity Information Facility

de proposer une liste très complète des Lépidoptères dont les chenilles portent des soies urticantes ciblées par la saisine, y compris des espèces peu citées dans la littérature.

En France métropolitaine, les espèces les plus connues, et éventuellement les plus dangereuses, sont *Thaumetopoea pityocampa* (processionnaire du pin), *Thaumetopoea processionea* (processionnaire du chêne) et *Euproctis chrysorrhoea* (bombyx cul-brun). Elles font l'objet d'un suivi régulier en France métropolitaine et de longue date de la part du Département de la santé des forêts (DSF) du ministère chargé de l'agriculture. Cependant, l'espèce dont le cycle biologique et la dynamique des populations ont été le plus étudiés demeure *T. pityocampa*. A l'inverse, beaucoup d'espèces concernées par la saisine sont très mal connues : la revue de littérature réalisée par le GT a montré dans de nombreux cas que les informations disponibles sur le cycle biologique, l'écologie et même la répartition géographique de beaucoup d'espèces, notamment ultramarines, sont extrêmement fragmentaires. La liste des plantes hôtes est souvent incertaine, ce qui limite fortement la possibilité de proposer des hypothèses pour limiter les risques de contact. En effet, on dispose souvent d'une liste d'espèces de plantes sur lesquelles les chenilles ont été observées, sans savoir si l'espèce est capable d'y réaliser son cycle complet et sans garantie sur l'exhaustivité de cette liste. Un autre facteur limitant de l'étude est que l'identification des chenilles est souvent difficile (les espèces étant décrites à partir des adultes, et les chenilles pouvant être morphologiquement très similaires au sein d'un genre ou d'une famille). Cela réduit donc les données disponibles et rend difficile le lien entre la présence d'une espèce et les impacts sanitaires éventuellement signalés. L'outil de diagnostic pour aider à leur identification (*i.e.* *barcoding*) permettrait de mieux documenter les aires de répartition et les plantes-hôtes de certaines espèces.

Le GT souhaite par ailleurs pointer le fait que les changements environnementaux en cours (dérèglement climatique, usage des terres, pollutions...) et le risque consécutif d'expansion de l'aire de distribution, y compris depuis des régions géographiques éloignées (*i.e.* invasions biologiques), pourront à court ou moyen terme modifier l'état des lieux présenté dans ce rapport. En effet, les aires de distribution des espèces d'insectes se modifient rapidement et sont largement dépendantes des conditions climatiques (températures, précipitations, événements extrêmes) ainsi que des usages forestier, agronomique ou horticole (modification de la répartition des plantes hôtes, transports passifs des insectes). On observe ainsi pour la processionnaire du pin une expansion importante de son aire de répartition vers le nord et en altitude en France métropolitaine, en lien avec l'augmentation des températures hivernales. Il est probable que les distributions des autres espèces soient également affectées par les changements environnementaux mais cela n'est pas ou peu documenté. Les changements environnementaux peuvent également avoir des effets sur la dynamique des populations (risque de pullulation) ou sur la phénologie (cycle biologique) de nombreuses espèces. Les périodes de présence des stades urticants seront probablement modifiées à l'avenir (présence plus précoce ou plus tardive, développement possible d'une génération supplémentaire pour certaines espèces...). Ainsi, l'augmentation des signalements de processionnaire du chêne dans un grand quart Nord-Est de la France pourrait être due à des changements environnementaux ; la cyclicité des populations de processionnaire du pin observée dans certaines régions pourrait également être modifiée. Enfin, le taux d'introduction en Europe d'espèces d'insectes phytophages exotiques envahissantes est toujours en augmentation, ainsi d'autres espèces urticantes actuellement présentes sur d'autres continents sont susceptibles d'arriver aussi bien en France métropolitaine que dans un DROM et de s'y établir si les conditions biotiques et abiotiques leur sont favorables. C'est à ce type

de scénario que correspond le cas récemment identifié en Italie de l'établissement d'une espèce de Lépidoptère dont la chenille urticante attaque les bambous, le Zygène *Artona martini*.

3.1.2 Lutte contre les chenilles à poils urticants

Concernant les mesures de gestion, malgré un niveau de connaissance relativement élevé pour certaines de ces espèces de Lépidoptères (notamment la processionnaire du pin), on constate que l'efficacité des méthodes de lutte préventives ou curatives disponibles est limitée. Les méthodes de lutte identifiées ont été principalement testées sur *T. pityocampa* (processionnaire du pin, sur la chenille ou sur la forme adulte) et dans une moindre mesure sur *T. processionea* (processionnaire du chêne, sur la chenille).

Il ressort de l'analyse comparative des méthodes de lutte identifiées en 2012, dans le cadre d'une précédente expertise de l'Anses sur les méthodes de lutte alternatives au traitement chimique contre les processionnaires du pin et du chêne en conditions urbaines, qu'il y a peu d'évolution concernant les méthodes efficaces et disponibles, y compris pour les traitements à base de la substance active *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* (Btk) (compte tenu de l'absence d'autorisation de produits en tant que biocides ou du fait de l'interdiction des traitements aériens) le nombre de méthodes disponibles étant même globalement en diminution. Il est préconisé de combiner plusieurs méthodes visant différents stades de développement des Lépidoptères ciblés afin de gagner en efficacité en terme de lutte.

En résumé, on peut recenser :

- pour les méthodes préventives : la diversification des essences forestières par la plantation d'arbres non-hôtes (exclusivement destinée à la lutte contre la processionnaire du pin) ;
- pour les méthodes curatives : les méthodes mécaniques par la destruction manuelle des nids ou par la pose de pièges aux troncs des arbres (cette dernière ciblant exclusivement la processionnaire du pin).

D'autres méthodes curatives efficaces basées sur l'application de produits phytopharmaceutiques à base par exemple d'extraits de *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* ou de spinosad existent. Cependant, si des produits, notamment à base de *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* ou de spinosad, sont autorisés dans le cadre de la réglementation phytopharmaceutique, même si les traitements aériens sont interdits, aucun ne bénéficie d'une autorisation de mise sur le marché pour une indication de lutte contre les processionnaires du pin ou du chêne dans le cadre de la réglementation biocide⁴.

3.2 Impacts sanitaires des chenilles à poils urticants sur la santé humaine

3.2.1 Mécanismes d'action physiopathologique chez l'Homme

L'analyse bibliographique a permis de faire une synthèse des symptômes associés aux principales espèces de Lépidoptères à chenilles à poils urticants sélectionnées dans le cadre de l'expertise. Dans un premier temps, la pénétration dans la peau ou dans les muqueuses des poils urticants des chenilles provoque des réactions toxiques, et plus rarement des

⁴ De façon générale, un produit phytopharmaceutique vise à la protection des végétaux et un produit biocide vise à lutter contre un organisme « dont la présence n'est pas souhaitée ou qui produit un effet nocif pour l'homme, ses activités ou les produits qu'il utilise ou produit, pour les animaux ou l'environnement » (Règlement UE 528/2012). Dans le cadre de la lutte contre la chenille processionnaire, un produit phytopharmaceutique ou un produit biocide peut être utilisé, selon que l'objectif est la préservation des arbres ou la protection des populations.

manifestations allergiques, par la libération de molécules de natures diverses selon les espèces de Lépidoptères, ayant des propriétés vasodilatatrices et pro-inflammatoires (histamine, nombreuses protéines) ou agissant par exemple sur la coagulation. La libération de ces molécules active des mastocytes (cellules appartenant au système immunitaire) qui libèrent alors des substances vasodilatatrices et pro-inflammatoires. Dans un second temps, certaines protéines des venins peuvent entraîner une sensibilisation (c'est-à-dire une réaction immunitaire) avec la production d'immunoglobulines E (IgE) spécifiques. Lors d'une exposition ultérieure, la fixation de ces protéines de venin sur leurs IgE spécifiques, présentes sur la membrane des mastocytes, entraîne l'activation des mastocytes qui déclenche une réaction allergique (pouvant aller d'une simple urticaire à un choc anaphylactique).

L'analyse du venin de *Thaumetopoea pityocampa* (processionnaire du pin) a permis de caractériser une protéine responsable d'urtication, la thaumétopoéine. Une analyse protéomique a par ailleurs mis en évidence 353 autres protéines dont 7 sont reconnues comme allergènes potentiels. Parmi les protéines composant le venin d'une autre espèce du genre *Thaumetopoea* (*T. pinivora*), on trouve des enzymes qui interviennent dans la synthèse de la chitine et qui jouent un rôle dans la réponse lymphocytaire T ainsi que des sérines protéases qui participent à la réaction inflammatoire. Enfin, la composition des venins des chenilles du genre *Euproctis* comprend, outre des enzymes et de l'histamine, une fraction protéique potentiellement allergène.

3.2.2 Caractérisation des contextes d'exposition et des facteurs de vulnérabilités en santé humaine

Au regard des références bibliographiques analysées et des données des centres antipoison⁵, il ressort que l'espèce de Lépidoptère incriminée ne peut être identifiée qu'en cas de contact direct avec la chenille. Il est donc souvent difficile de préciser les circonstances d'exposition⁶ aux chenilles à poils urticants de manière générale ou par espèce. Le diagnostic est souvent posé sur la base de l'aspect des lésions et de leurs topographies (peau, œil) qui sont indicatrices d'une exposition à des poils urticants dans des zones où les chenilles sont présentes. Par ailleurs, les modalités exactes du contact de la personne avec les chenilles à poils urticants sont souvent peu documentées, en dehors d'un contact direct établi.

Actuellement, il n'existe pas en France d'outil disponible de diagnostic en routine des réactions allergiques basées sur les IgE. Or, la production et la mise à disposition d'extraits validés de venins de chenilles, permettant des tests cutanés et sanguins, est indispensable pour faciliter le diagnostic et le dépistage des risques allergiques des populations exposées.

Afin de préciser les facteurs de vulnérabilités⁷ des populations aux venins transmis par les poils urticants des chenilles et les contextes d'exposition des populations à ces mêmes chenilles, le GT a réalisé deux enquêtes : l'une ciblait la population non professionnelle qui est amenée à consulter des dermatologues et allergologues en cas d'exposition, l'autre à destination des populations les plus exposées aux chenilles à soies urticantes dans un cadre professionnel.

⁵ Cf. rapport d'étude de toxicovigilance en juin 2020 (réf. D20DAVS0221)

⁶ Exposition : contact possible d'une personne aux soies urticantes des chenilles

⁷ Vulnérabilité : aptitude d'une espèce à présenter des symptômes et des dommages suite à une infection par un agent pathogène ; le terme renvoie, dans le cas présent, à la fois à une exposition potentiellement plus forte (du fait, par exemple, d'un comportement exploratoire prononcé chez les enfants ou d'une activité professionnelle) et à une susceptibilité de présenter des impacts sur la santé.

La première enquête a été menée en 2021 auprès de trois associations de praticiens dermatologues et/ou allergologues basées dans l'Ouest (Bretagne et Pays de la Loire), le Sud-Ouest ou l'Est (Franche-Comté) de la France métropolitaine par l'intermédiaire d'un questionnaire. Les principaux enseignements de cette enquête, bien que d'ordre qualitatif (seulement 53 cas rapportés), montrent que les consultations ont concerné un profil de patients très large en matière d'âge (de moins de 5 ans à des personnes adultes). Par ailleurs, les symptômes rapportés ont concerné majoritairement la dermatite papuleuse classique. Une urticaire de contact a été rapportée dans 9 cas.

La seconde enquête a été menée en 2023 auprès des professionnels des filières forêt-bois, JEVI⁸ et des métiers du cheval par l'envoi d'un questionnaire adressé à 50 000 adhérents de la Caisse centrale de la mutualité sociale agricole (CCMSA). Mille vingt-six personnes ont accepté que des données à caractère personnel soient utilisées. Au final, 900 questionnaires ont pu être exploités pour une analyse statistique. Les premiers résultats de l'enquête se résument ainsi. Six cent quarante-sept personnes ont été exposées à des chenilles processionnaires (71,8 % de l'échantillon des questionnaires sélectionnés pour l'analyse statistique). Trois cent quatre-vingt-dix-neuf personnes étaient symptomatiques (61,6 % de l'échantillon) contre 248 non symptomatiques. Par ailleurs, 66 % des personnes constituant l'échantillon avaient un métier agricole, 22 % des personnes travaillaient dans la filière bois et 12 % avaient un métier en lien avec le milieu hippique. Enfin, les femmes étaient moins souvent exposées que les hommes. Elles étaient également plus souvent représentées dans les métiers du cheval, qui correspondaient à la catégorie la moins souvent exposée aux chenilles processionnaires. La classe d'âge la plus exposée était celle des 30-39 ans, et les professionnels étaient davantage exposés lorsqu'ils se déplaçaient dans plusieurs régions pour exercer leur activité.

Pour conclure, il ressort que l'analyse des données (bibliographiques, centres antipoison et résultats des enquêtes) a confirmé le risque sanitaire. En effet, l'impact sur des populations exposées est certain avec i) des lésions cutanées et des muqueuses engendrées par le contact avec les poils de chenilles urticantes, et un risque de séquelles en cas d'atteinte oculaire et ii) un risque de développer, en cas d'expositions répétées, une sensibilisation avec survenue lors d'expositions ultérieures de réactions allergiques pouvant aller jusqu'au choc anaphylactique.

Par ailleurs, le GT a cherché à compléter la caractérisation du risque en santé humaine par une évaluation du fardeau sanitaire et les coûts associés. Au-delà de l'identification des impacts sanitaires, le GT a jugé pertinent d'étudier l'opportunité d'une évaluation de ce fardeau sanitaire sur le plan économique dans une perspective d'aide à la décision publique jugée utile à plusieurs titres. Cette évaluation permet d'une part de donner à voir l'ampleur des impacts associés à cette problématique selon différentes métriques (dont économique) et de la mettre en regard avec les impacts induits par d'autres problématiques de santé publique. L'évaluation économique du fardeau peut d'autre part être mobilisée afin d'appuyer la réflexion sur la mise en œuvre d'actions de gestion du risque en permettant une comparaison du fardeau et des coûts associés à ces actions sur un même plan monétaire. La démarche n'a pu aboutir faute de données épidémiologiques. Le GT souligne l'intérêt qu'aurait la production de telles données.

⁸ Jardins Espaces végétalisés et Infrastructures

Le risque sanitaire nécessite d'autant plus d'être pris en compte que les aires de distribution géographique des chenilles à poils urticants sont amenées à s'étendre dans le futur du fait du dérèglement climatique. Or, des populations vulnérables et plus exposées comme les enfants, les usagers sportifs des espaces publics ou les populations professionnelles des filières bois, agricoles ou horticoles seront d'autant plus exposées à ce risque qu'elles se trouveront dans des zones nouvellement colonisées (ex : forêts, parcs urbains) du fait de leur méconnaissance du danger et donc du risque représenté par ces chenilles.

3.3 Impacts des chenilles à poils urticants sur la santé animale

3.3.1 Les espèces animales concernées et les modes et voies d'exposition

Les chenilles processionnaires du chêne et du pin sont à l'origine de cas d'intoxications chez différentes espèces animales, en particulier les chiens en France métropolitaine. A la différence des cas humains, les lésions chez les animaux se situent principalement au niveau de la cavité buccale, en lien avec le mode d'exposition (léchage, prise en gueule de chenilles par les chiens, ingestion par les chevaux et les ruminants de végétaux contaminés). Une complication majeure est la nécrose plus ou moins étendue de la langue, qui peut être prévenue ou limitée par une prise en charge médicale très rapide de l'animal.

Chez les animaux de rente, du fait des lésions buccales observées, le diagnostic différentiel de cette affection peut inclure des maladies épizootiques d'impacts sanitaire et économique majeurs, telles que la fièvre catarrhale ovine ou la fièvre aphteuse.

3.3.2 Analyse des données des centres antipoison vétérinaires

Le GT s'est concentré sur l'analyse des données des deux centres antipoison vétérinaires (CAPV) existant en France (celui de Lyon et celui de Nantes) concernant les cas d'exposition du chien à la processionnaire du pin. Les chiens représentent la majorité des cas d'exposition aux chenilles à soies urticantes enregistrés par les CAPV. Il ressort de l'analyse statistique qu'un accroissement significatif des cas d'exposition (sur la période de 1999 à 2021) est observable en régions Bretagne, Grand Est, Hauts-de-France, Île-de-France, Pays de la Loire, et Nouvelle-Aquitaine. Ces conclusions sont cependant à relativiser car elles ne reposent que sur les données des CAPV qui ne sont que des cas d'exposition déclarés conduisant de fait à une sous-estimation des cas d'exposition sur l'ensemble du territoire métropolitain.

3.3.3 L'exposition des animaux est potentiellement indicatrice de l'exposition de l'Homme

Les risques d'exposition des chiens aux chenilles à soies urticantes pourraient être supérieurs dans les régions nouvellement colonisées par la processionnaire du pin, notamment du fait d'une moindre connaissance, par les maîtres, du danger que représentent ces chenilles. Lors d'émergence ou de réémergence de chenilles à poils urticants dans une zone, la contamination d'animaux, notamment de chiens ou de chevaux, pourrait contribuer à détecter la présence des chenilles, ce qui ne constituerait qu'un complément à d'autres moyens de détection de la présence de ces chenilles, tels que l'observation de processions ou de nids (plus fréquente et facile à réaliser) ou de cas humains.

Plus généralement, lors d'atteinte de chiens, de chats ou de chevaux, les praticiens vétérinaires constatent régulièrement que les propriétaires ou les professionnels côtoyant l'animal sont également atteints. Cela illustre le fait que les expositions des animaux et des humains peuvent être liées et dépendre de l'environnement dans lequel ces derniers évoluent.

Les données actuellement disponibles sur l'impact sur la santé animale des chenilles à poils urticants sont limitées. Il serait pertinent d'envisager des études, notamment auprès des vétérinaires praticiens, afin de préciser la prévalence de ces cas d'intoxication, la proportion de formes graves et les périodes à risque en fonction des régions. L'utilisation de telles données qui pourraient être collectées par les organismes professionnels vétérinaires pourrait permettre d'établir des bulletins d'alerte et d'anticiper l'arrivée du risque dans les territoires.

3.4 Evaluation socio-économique des impacts des chenilles à poils urticants sur la fourniture des services écosystémiques forestiers

La saisine portait sur une « description des conséquences de la présence des espèces [de chenilles à poils urticants] sur la biodiversité ». Les espèces de Lépidoptères qui font l'objet de la présente saisine sont des espèces indigènes, le GT a par conséquent considéré qu'il serait difficile de documenter l'impact de ces espèces en matière de biodiversité. En effet, à la différence d'espèces exotiques envahissantes, il n'est pas possible d'évaluer ces impacts sur la base d'une comparaison entre une situation de référence (sans présence de l'espèce) et une situation dans laquelle l'espèce est présente. Par ailleurs, l'impact des Lépidoptères sur la biodiversité (biodiversité forestière ou comme source d'alimentation pour d'autres espèces animales) demeure mal documenté. Par conséquent, il n'a pas été possible d'évaluer cet impact ni d'en estimer une valeur économique. Toutefois, l'activité défoliatrice des chenilles qui sont phytophages, affectant le fonctionnement des écosystèmes, les chenilles sont aussi susceptibles d'impacter *in fine* les bénéfices retirés de ces derniers par les populations humaines. Le GT a ainsi décidé de se focaliser sur les impacts de la présence des chenilles en matière de fourniture de services écosystémiques. Le GT a ainsi mobilisé le concept de « perturbation forestière »⁹ et des développements méthodologiques issus de l'évaluation économique des services écosystémiques pour décrire de la manière la plus exhaustive possible et quantifier – lorsque cela était possible – les impacts de la présence des chenilles urticantes sur la fourniture de services écosystémiques et la perte de valeur économique associée. L'accent a principalement été mis sur l'analyse de trois services écosystémiques :

- la production sylvicole ;
- la régulation du climat global par le stockage de carbone atmosphérique ;
- les services récréatifs et le cadre de vie offerts par les paysages forestiers.

3.4.1 Impacts des chenilles à poils urticants sur la production sylvicole

Concernant l'évaluation de l'impact des défoliations induites par la processionnaire du chêne sur la production de bois, le GT s'est heurté à une disponibilité limitée de publications. Afin de documenter cet impact, le GT a procédé à l'audition de deux personnalités qualifiées. De ces auditions, il est ressorti que l'impact des défoliations demeurerait marginal à l'échelle de la vie de l'arbre ou des peuplements, mis à part dans certaines conditions locales (pertes de

⁹ Cette notion est définie par la Food and Agriculture Organization (FAO) comme « une perturbation provoquée par un facteur (biotique ou abiotique) qui lèse la vigueur et la productivité de la forêt et qui n'est pas le résultat direct d'activités humaines ». Par ailleurs, dans son document cadre pour l'évaluation des ressources forestières mondiales pour l'année 2020, la FAO rappelle également que ces perturbations peuvent réduire la capacité des forêts à « fournir une gamme complète de biens et de services écosystémiques » (FAO, 2018).

croissance induisant un retard de la coupe, marginal au regard de la durée de l'exploitation du peuplement). Des dépérissements sont parfois observés (mortalité précoce), impliquant une coupe anticipée. Les données quantitatives communiquées au GT – relatives à deux épisodes de dépérissement – ne se sont pas avérées suffisamment robustes pour établir la part de ces dépérissements directement attribuable à la processionnaire du chêne (ceux-ci étant par essence de nature multifactorielle). Dans le cas de la processionnaire du pin, aucun dépérissement des peuplements (au sens de mortalité d'une partie des arbres) n'est directement à déplorer suite aux attaques de cet insecte, mais les défoliations induites sont de nature à impacter plus fortement la croissance des arbres, d'où des effets négatifs sur l'exploitation des peuplements dans les zones de sylviculture intensive (dans les Landes, par exemple). Néanmoins, des défoliations importantes liées aux deux espèces de processionnaires tendent à aggraver l'impact sur les peuplements exposés à des ravageurs secondaires, tels que les insectes xylophages, dont les attaques peuvent induire la mortalité des arbres.

Le GT a également souhaité identifier les facteurs de vulnérabilité des peuplements exposés aux chenilles processionnaires. Là encore, le GT a été confronté à une rareté de publications pertinentes – et pour la processionnaire du chêne, à une non-convergence des résultats publiés avec les observations des gestionnaires de terrain. Dans ce contexte, il n'a pas été possible au GT d'établir des conclusions robustes. Il convient cependant de souligner que le dérèglement climatique est de nature à accentuer la vulnérabilité des peuplements vis-à-vis des ravageurs forestiers, ce qui implique de s'interroger sur les conséquences de l'adaptation de la gestion sylvicole au dérèglement climatique – enjeu actuellement prépondérant – sur la vulnérabilité au « risque chenille ». En matière d'évaluation des dommages économiques induits par les défoliations, des outils méthodologiques existent. Ils mobilisent des modèles interdisciplinaires, associant dynamique des ravageurs, dynamique de croissance forestière et indicateurs économiques. Ces outils pourront être mobilisés, dès lors que des données seront disponibles.

3.4.2 Impacts des chenilles à poils urticants sur le service de régulation du climat global

L'investigation par le GT de l'impact des défoliations par les chenilles sur le service de régulation du climat global par le biais du stockage du carbone atmosphérique a été motivée par des publications suggérant que ces défoliations, même marginales à l'échelle du peuplement et de la durée de son exploitation sylvicole, pouvaient être de nature à induire une dégradation de l'appareil photosynthétique (impact démontré à l'échelle de l'arbre), affectant de ce fait la capacité de fixation du carbone atmosphérique. Comme pour les impacts sur la production sylvicole, les connaissances actuellement disponibles en écologie ne permettent pas de conduire une évaluation – biophysique et économique – de ces impacts. Comme évoqué ci-dessus, une évaluation de l'impact – biophysique et monétaire – des défoliations sur le service de stockage de carbone atmosphérique est envisageable, les modèles de croissance forestière pouvant intégrer des modules de calcul de stockage de carbone dont les résultats peuvent être injectés dans une évaluation économique s'appuyant sur la valeur du carbone.

3.4.3 Impacts des chenilles à poils urticants sur la fourniture des services écosystémiques culturels

Les infestations par les chenilles à poils urticants surviennent dans des espaces forestiers qui sont également le support d'activités récréatives ou jouent un rôle significatif en matière de qualité du cadre de vie des populations résidentes. Dans ce contexte, le GT a souhaité conduire une évaluation économique des impacts de ces infestations sur la fourniture de services écosystémiques culturels¹⁰.

En l'absence de données spécifiques aux espèces de Lépidoptères à chenilles à soies urticantes concernés par la saisine, le GT a réalisé une revue exhaustive de la littérature concernant les impacts des ravageurs forestiers sur la fourniture de services écosystémiques culturels. Un tel élargissement visait à mener une réflexion sur les effets mis en évidence dans ce corpus plus large et leur application possible à la problématique des chenilles à poils urticants. Il est ressorti de cette revue bibliographique que ces infestations étaient de nature à réduire les bénéfices récréatifs liés aux écosystèmes forestiers, soit directement (en lien avec la présence des insectes), soit indirectement (en lien avec les impacts des infestations sur les arbres/peuplements et les mesures de gestion associées). La perte de valeur récréative peut prendre plusieurs formes : maintien des visites avec altération de l'expérience récréative, mais aussi baisse de fréquentation des lieux impactés (avec report des visites vers d'autres sites voire renoncement aux visites). Il convient de noter que l'ampleur de la perte de service dépend d'une variété de facteurs, comme l'état, le type et l'emplacement de la forêt, l'ampleur des infestations ou encore l'espèce d'insectes impliquée. Il ressort également de la littérature qu'en contribuant à dégrader le cadre de vie des populations résidentes, les infestations étaient de nature à induire une dégradation de la valeur des biens immobiliers.

Le GT a procédé à une évaluation de la perte de valeur récréative induite par la mise en œuvre d'arrêtés d'interdiction de fréquentation des massifs forestiers infestés en 2020, à l'échelle du département des Vosges. La perte économique y a été estimée entre 490 000 € et 1,5 million €, pour l'ensemble de la saison estivale. Ce résultat consiste vraisemblablement en une surestimation de la perte récréative induite du fait que les données disponibles permettent de caractériser le niveau de satisfaction retiré d'une visite en forêt *indépendamment de toute perturbation* (i.e., sans considérer le fait que la qualité récréative de cette dernière ait été dégradée par la présence de chenilles à soies urticantes). Si la valeur d'une promenade en forêt infestée par les chenilles avait été évaluée, il aurait été possible de formuler l'hypothèse selon laquelle la qualité récréative aurait été dépréciée et, par conséquent, que cette valeur aurait été moindre par rapport à celle estimée dans le cadre de la présente expertise. La réalisation d'une étude des préférences des usagers des forêts vis-à-vis de ces insectes et de leur impact sur la qualité récréative des espaces forestiers permettrait de pallier cette limite. Enfin, il convient également de souligner que l'analyse mise en œuvre n'a pas pu prendre en compte la fréquentation touristique des forêts, ni celle associée aux résidences secondaires mais seulement celle des résidents à l'année.

¹⁰ Les services écosystémiques culturels renvoient ici à des services récréatifs (ex : promenade en forêt).

3.5 Expertise multi-acteurs et multicritères pour hiérarchiser les risques sanitaires liés à la présence des chenilles à poils urticants

L'objectif du GT en matière d'évaluation des risques peut être considéré sous différents angles : la santé humaine, la santé animale, la santé des végétaux, ou l'impact socio-économique.

Après avoir conduit l'expertise par champ disciplinaire (entomologie, médecine humaine et vétérinaire, analyse socio-économique), le GT a réalisé une analyse multi-acteurs et multicritères sur les risques liés à la présence des principales espèces de Lépidoptères possédant des chenilles à soies urticantes présentes en France métropolitaine. Cette analyse du risque s'est focalisée sur la santé humaine en réponse à la question centrale de la saisine.

Le GT s'est concentré sur cette zone géographique au vu de la disponibilité et de la fiabilité des données de présence des chenilles à soies urticantes (données du DSF) et de leurs plantes hôtes (données de l'Inventaire forestier national (IFN)). De telles données ne sont pas disponibles pour les DROM qui n'ont donc pas pu être inclus dans cette analyse multicritères (AMC).

Enfin, le GT a défini la maille géographique d'affichage des risques jugée la plus pertinente, qui correspond à l'étendue de terrain à laquelle doit s'effectuer la gestion des risques. Son choix s'est porté sur la maille communale.

Le GT a ainsi été décidé que :

- les cartographies des aléas (dangers liés à la présence de chenilles à soies urticantes), des vulnérabilités des populations humaines exposées et des risques (résultant de la combinaison des aléas et des vulnérabilités des populations) s'effectueraient à la maille communale soit sur 34 816 communes de France métropolitaine continentale et de Corse ;
- les mesures de gestion des risques seraient appréhendées à la maille communale. Ces mesures correspondraient à chaque niveau de risque identifié.

Cette approche permet aux départements et aux régions de regrouper et afficher les résultats de la hiérarchisation des communes (aléas et vulnérabilité) pour représenter les niveaux de risques liés aux chenilles urticantes à leurs échelles de compétence.

L'ensemble des « objets d'analyse » correspond aux 34 816 communes de France métropolitaine.

3.5.1 Identification des critères caractérisant les aléas et les vulnérabilités en santé humaine liés à la processionnaire du pin, à la processionnaire du chêne et au bombyx cul-brun

Trois espèces de Lépidoptères à chenilles à soies urticantes ont été sélectionnées : *Thaumetopoea pityocampa* (processionnaire du pin), *T. processionea* (processionnaire du chêne) et *Euproctis chrysorrhoea* (bombyx cul-brun), sachant que le stade larvaire (chenille) de ces espèces représente l'essentiel des enjeux sanitaires en France métropolitaine. Les données spatialisées relatives à ces trois espèces, provenant du DSF, couvrent la période 2007 à 2021 sur l'ensemble du territoire considéré.

Un critère donné permet d'estimer le niveau d'aléa et de vulnérabilité sur toutes les communes de l'ensemble des 34 816 communes considérées. L'enjeu du choix des critères d'aléa est de caractériser la probabilité de présence des chenilles (en particulier par les critères de signalements des 3 espèces de Lépidoptères et par les critères de présence des plantes

hôtes). L'enjeu du choix des critères de vulnérabilité en lien avec la santé humaine est de caractériser l'impact potentiel de la présence des chenilles en fonction de la population (générale et d'enfants de moins de 5 ans), de l'activité professionnelle ou de la connaissance du risque par exemple. Le GT a tenu compte des associations entre l'espèce de Lépidoptère cible et ses plantes hôtes dans la définition des aléas. Cependant, il faut rappeler que la liste des plantes hôtes est parfois incertaine, et que leurs données de distribution ne sont pas toujours précises.

3.5.2 Identification des zones où l'aléa ou la vulnérabilité liés à la processionnaire du pin, à la processionnaire du chêne et au bombyx cul-brun sont les plus élevés

L'ensemble des critères caractérisant l'aléa et la vulnérabilité ont permis de construire des tableaux de performances qui sont des matrices comportant, en colonne, les critères d'évaluation de l'aléa et de la vulnérabilité pour, respectivement, la processionnaire du pin, la processionnaire du chêne et le bombyx cul-brun et, en ligne, l'ensemble des 34 816 communes de France métropolitaine considérées dans cette étude. Ils permettent d'obtenir et de synthétiser les évaluations des critères caractérisant l'aléa et la vulnérabilité pour la processionnaire du pin, la processionnaire du chêne et du bombyx cul-brun.

Au vu des résultats de l'AMC, les experts du GT considèrent que la probabilité de présence de :

- de la processionnaire du pin est la plus élevée sur l'arc méditerranéen (Auvergne-Rhône Alpes, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Occitanie et la Corse), la forêt des Landes, une partie de la région Centre Val-de-Loire, et le sud de la Bretagne ;
- de la processionnaire du chêne est la plus élevée dans les régions Grand Est, Île-de-France, et sud de la Bretagne bien que ces zones apparaissent moins clairement du fait que les signalements de cette chenille sont plus fragmentés ;
- du bombyx cul-brun est plus difficile à appréhender, car l'espèce est présente à basses densités sur l'ensemble du territoire hexagonal (elle est capable de se développer sur de nombreuses plantes hôtes différentes).

De même, selon les résultats de l'AMC qui sont similaires pour les trois types de chenilles, les experts du GT considèrent que les populations vulnérables à ces trois types de chenilles sont plus importantes dans les zones où la densité de population est la plus élevée (les données exploitées étant relatives essentiellement à la caractérisation des populations exposées – population générale ou populations professionnelles). Le GT relève toutefois que la vulnérabilité¹¹ des populations exposées de certains pôles urbains est modérée compte tenu d'une moindre importance des populations professionnelles dans ces zones.

3.5.3 Production des cartes de risques

Les tableaux de performances d'aléas et de vulnérabilité ont permis de hiérarchiser les communes et de les classer en 5 classes de risque (la classe de niveau 1 étant le niveau de risque le plus élevé ; la classe de niveau 5 étant le niveau de risque le plus faible).

¹¹ Pour rappel : la vulnérabilité est l'aptitude des populations humaines à présenter des symptômes et des dommages suite à une infection par le poison porté par les soies urticantes des chenilles ; le terme renvoie, dans le cas présent, à la fois à une exposition plus importante (du fait, par exemple, d'un comportement exploratoire prononcé chez les enfants ou d'une activité professionnelle) et à une susceptibilité de présenter des impacts sur la santé.

Le GT a ensuite évalué le risque lié aux chenilles à soies urticantes en combinant les classes d'aléas et de vulnérabilité des populations exposées à l'échelle communale. La définition d'un niveau de risque résulte du croisement de la hiérarchisation des aléas et des vulnérabilités selon une matrice dite de « criticité », qui définit une règle de fixation des niveaux de risque. La grille définie par le GT comporte cinq classes de risque respectant deux conditions :

- une limitation de la classe de risque la plus élevée (classe 1) aux communes présentant les niveaux d'aléa et de vulnérabilité de classe 1 (les plus élevés) ;
- une zone d'arbitrage « dite d'acceptabilité du risque » (classe de risque de niveau 3) plus importante. Cette classe de risque offre au gestionnaire du risque à l'échelle communale, départementale ou régionale, la possibilité de proportionner les mesures de gestion des risques en fonction de la connaissance du terrain et des moyens disponibles.

Le gestionnaire du risque à l'échelle départementale ou régionale peut faire le choix d'effectuer une comparaison des communes deux à deux dans son périmètre de responsabilité. Le résultat obtenu sera une hiérarchisation des aléas, des vulnérabilités et des risques relatifs au périmètre étudié, qui permet une gestion du risque en fonction des budgets de prévention et de remédiation à disposition des gestionnaires. Pour effectuer cette hiérarchisation, les gestionnaires du risque disposent de (i) tableaux de performances pour les différents types d'aléa, (ii) tableaux de performances pour les différents types de vulnérabilité, et (iii) d'une description de la procédure d'agrégation multicritères. Les gestionnaires des risques pourront extraire de ces tableaux les communes sous leurs sphères de responsabilité et reconduire les calculs qui permettent la hiérarchisation des communes, à l'échelle départementale ou régionale, selon le niveau d'aléa et de vulnérabilité calculé à l'échelle communale, en suivant la même méthodologie et suivant leurs besoins. L'AMC est un outil d'aide à la décision qui, en permettant de classer a priori les zones les plus à risque, contribue à apporter un premier niveau d'information pour éclairer le choix des mesures de gestion à mettre en place au niveau local.

Les 3 espèces de Lépidoptères (processionnaire du pin, processionnaire du chêne et bombyx cul-brun), dont les chenilles portent des soies urticantes détachables, font l'objet d'un suivi régulier de longue date de la part du DSF en France métropolitaine. Les processionnaires du pin et du chêne représentent un risque sanitaire avéré en France métropolitaine. Le GT les a donc sélectionnées pour réaliser l'analyse de risque multicritères et multi-acteurs. Le résultat de cette approche méthodologique a été concrétisé par la production de cartes de risque (pour rappel, sur une échelle à 5 niveaux). Ces cartes de risque, reposant sur une logique interprétative, sont une lecture du niveau de risque présentée par le GT. Les zones les plus à risque identifiées par le GT résultent d'une analyse des données disponibles qui ont permis de caractériser l'aléa et la vulnérabilité en santé humaine associés à ces 3 types de chenilles, mais elles restent une interprétation du GT.

Le GT attire l'attention sur la manière dont doivent être interprétées les zones à risque : une zone à risque élevé pour la processionnaire du pin (niveau 1) n'aura pas la même signification qu'une zone de niveau 1 pour le bombyx cul-brun, par exemple. En effet, le bombyx cul-brun est largement présent sur le territoire métropolitain mais à basse densité (compte tenu de sa grande polyphagie), ceci conduisant à un risque d'exposition modéré (par rapport aux deux espèces de chenilles processionnaires) même lorsque le risque associé au bombyx cul-brun est classé au niveau le plus élevé (cas du Morbihan par exemple). De plus,

les niveaux de risques sont des niveaux relatifs, ils traduisent une hiérarchie des risques entre les communes et non pas des niveaux absolus.

En première analyse, il ressort que les zones à risque le plus élevé (par comparaison aux zones à risque moins élevé) se trouvent en particulier dans les départements et régions suivants :

- pour la processionnaire du pin : Morbihan (région Bretagne), Gironde (région Nouvelle-Aquitaine), Landes (région Nouvelle-Aquitaine), Maine-et-Loire (région Pays de la Loire), Bouches-du-Rhône (région PACA) et Var (région PACA) ;
- pour la processionnaire du chêne : région Grand Est, Bretagne et Pays de la Loire ;
- pour le bombyx cul-brun : le Morbihan (région Bretagne), les Landes (région Nouvelle-Aquitaine) et le Var (région PACA).

Comme cela a déjà été mentionné dans le présent avis, le dérèglement climatique en cours affecte les aires de distribution et les dynamiques des espèces de Lépidoptères concernés, parfois de manière rapide. Les cartes d'aléa devront donc être revues et mises à jour dans les prochaines années, et les cartes de risque proposées ici, comme une traduction d'une grille d'analyse du risque, ne doivent pas être considérées comme stables dans le temps. La mise à disposition des cartes de vulnérabilité potentielle permet au lecteur d'identifier également les régions où des espèces urticantes auraient des impacts importants si elles y étaient introduites (expansion de leur aire de distribution).

3.6 Conclusions

3.6.1 Identification des genres et des espèces de Lépidoptères à chenilles à poils urticants

Le travail d'identification des Lépidoptères dont les chenilles portent des poils urticants a permis de sélectionner 55 espèces appartenant à 29 genres qui se répartissent en 9 familles (Erebidae, Lasiocampidae, Limacodidae, Megalopygidae, Noctuidae, Notodontidae, Nymphalidae, Saturniidae, Zygaenidae) dont les aires de distribution géographique recouvrent la France métropolitaine et les DROM, ainsi que les pays limitrophes.

Ce travail de synthèse a permis de mieux caractériser les espèces ciblées par la saisine et d'identifier les espèces et genres de Lépidoptères à chenilles à poils urticants peu connus.

3.6.2 Méthodes de lutte disponibles

Le niveau de connaissance pour certaines de ces espèces de Lépidoptères (processionnaire du pin ou processionnaire du chêne) est relativement élevé. Néanmoins, les méthodes de lutte préventives ou curatives recensées présentent soit une efficacité limitée (compte tenu de la densité élevée des populations de chenilles à cibler), soit des contraintes d'application liées à la réglementation (peu de produits disponibles, épandage aérien interdit). Par ailleurs, les méthodes de lutte identifiées ont été principalement testées sur la chenille et la forme adulte de *T. pityocampa* (processionnaire du pin) et, dans une moindre mesure, sur la chenille de *T. processionea* (processionnaire du chêne).

En résumé, on peut recenser :

- pour les méthodes préventives : la plantation de plantes non hôtes par diversification des essences forestières (exclusivement destinée à la lutte contre la processionnaire du pin) ;

- pour les méthodes curatives : les méthodes mécaniques par la destruction manuelle des nids ou par la pose de pièges aux troncs des arbres (cette dernière ciblant exclusivement la processionnaire du pin).

D'autres méthodes curatives efficaces basées sur l'application de produits phytopharmaceutiques à base par exemple d'extraits de *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* (Btk) ou de spinosad existent. Cependant, si des produits à base, notamment, de Btk ou de spinosad sont autorisés dans le cadre de la réglementation phytopharmaceutique, aucun produit ne bénéficie d'une autorisation de mise sur le marché pour lutter contre les processionnaires du pin ou du chêne dans le cadre de la réglementation biocide. De plus, pour ce qui est des usages phytopharmaceutiques « Arbres et arbustes » et « Forêt », seuls les produits à base de Btk sont autorisés pour ces deux usages. De plus, les produits autorisés sont à usages génériques puisqu'ils ciblent globalement les chenilles phytophages. En conséquence, il conviendra de définir précisément les conditions d'utilisation des produits Btk pour réduire l'impact sur les lépidoptères non-cibles. L'efficacité d'un traitement avec le Btk est maximale lors des premiers stades larvaires. La distinction entre un usage biocide et un usage phytopharmaceutique semble ténue dans le cas présent.

Le GT suggère que les autorités compétentes incitent les pétitionnaires à soumettre des demandes d'autorisation de mise sur le marché de produits à base de Btk dans le cadre de la réglementation biocide, voire dans le cadre des deux réglementations pour pallier l'absence d'autorisation de produits dans le cadre de la réglementation biocide : les doses de traitement doivent vraisemblablement être similaires pour les deux usages et la cible de produit à base de Btk est toujours la chenille et le produit permettrait *in fine* de protéger l'Homme et les arbres.

3.6.3 Impact des chenilles à poils urticants sur la santé humaine

L'analyse bibliographique et celle des données des centres antipoison¹² (CAP), comme les résultats de l'enquête auprès de trois associations de dermatologues et/ou allergologues¹³, montrent que l'exposition de la population humaine aux chenilles à poils urticants n'est pas suffisamment documentée pour permettre de caractériser systématiquement d'une part, les cas d'urtication et les chenilles à poils urticants mises en cause et, d'autre part, les contextes et les facteurs de vulnérabilité (par exemple, dans des cas d'exposition n'impliquant pas un contact direct avec l'insecte).

A cela, s'ajoute le fait que les cas répertoriés par les CAP ne représentent qu'une partie des cas d'exposition, faute d'une collecte en routine des cas concernant la population générale comme la population professionnelle à risque, sur l'ensemble du territoire métropolitain ou ultramarin. Ce déficit de connaissances des cas cliniques en France empêche d'évaluer le fardeau sanitaire (pour la population générale et professionnelle) et le coût associé.

3.6.4 Impact des chenilles à poils urticants sur la santé animale

L'analyse de la bibliographie montre que les données disponibles sur l'exposition des animaux aux chenilles à poils urticants sont limitées. Cependant, l'analyse statistique des données des centres anti-poison vétérinaires (CAPV) mises à disposition du GT, a permis d'identifier certaines régions où l'augmentation des cas d'exposition déclarés peut être

¹² Les centres antipoison sont au nombre de 8 (Angers, Bordeaux, Lille, Lyon, Marseille, Nancy, Paris, Toulouse).

¹³ Pour rappel, ces 3 associations sont basées dans l'Ouest (Bretagne et Pays de la Loire), le Sud-Ouest ou l'Est (Franche-Comté) de la France métropolitaine.

associée à une augmentation des populations de processionnaires du pin dans le temps. En effet, l'analyse statistique confirme un accroissement significatif des cas d'exposition au cours du temps en régions Bretagne, Grand Est, Hauts-de-France, Île-de-France, Pays de la Loire, et Nouvelle-Aquitaine. Il convient cependant de souligner que les cas d'exposition déclarés aux CAPV sont en faible nombre, ce qui induit une incertitude élevée quant au résultat de l'analyse statistique.

La proximité physique entre certains animaux sensibles aux poils urticants (comme le chien ou le cheval) et les êtres humains montre que la question de l'exposition aux chenilles à poils urticants peut être appréhendée comme une question de santé globale à la confluence entre le biotope, le monde végétal et animal et qu'il existe un enjeu global à analyser les signaux d'alerte de ces atteintes à la santé et à l'environnement.

3.6.5 Evaluation socio-économique des impacts environnementaux liés aux chenilles à poils urticants

Les travaux du GT ont mis en évidence un impact marginal des défoliations par les chenilles à soies urticantes sur la production sylvicole tant à l'échelle de l'arbre qu'à celle du peuplement, excepté pour certaines conditions locales. Des phénomènes de dépérissement de peuplements induit par la processionnaire du chêne perturbent le régime d'exploitation sylvicole tandis que pour les défoliations par la processionnaire du pin, c'est le retard de croissance qui représente l'impact le plus significatif. Des outils méthodologiques d'évaluation économique de ces impacts existent mais nécessitent la production de données comparatives de la production sylvicole en situation d'infestation et de non-infestation. Une problématique similaire a été identifiée concernant le stockage de carbone atmosphérique.

Concernant l'évaluation économique de la perte récréative, la revue de littérature conduite par le GT a montré que les infestations par des ravageurs forestiers peuvent réduire les bénéfices récréatifs retirés des écosystèmes forestiers par le biais d'effets directs (*i.e.*, liés à la présence des insectes) et d'effets indirects (*i.e.*, liés aux impacts des infestations sur les arbres/peuplements et les actions de gestion associées). Plus spécifiquement, la perte de valeur récréative occasionnée en 2020 par les infestations de processionnaires du chêne dans le département des Vosges a été estimée entre 490 000 € et 1,5 million € pour l'ensemble de la saison estivale.

3.6.6 Analyse du risque sanitaire lié aux chenilles à poils urticants en France métropolitaine

En première analyse, il ressort de l'analyse multicritères telle qu'elle a été conduite par le GT (avec la grille de criticité choisie) que les zones à risque le plus élevé identifiées se situent dans les régions suivantes :

- région Bretagne : bombyx cul-brun, processionnaire du pin et processionnaire du chêne ;
- région Grand Est : processionnaire du chêne ;
- région Nouvelle-Aquitaine : bombyx cul-brun et processionnaire du pin ;
- région Pays de la Loire : processionnaires du pin et du chêne ;
- région PACA : bombyx cul-brun et processionnaire du pin.

Le GT tient à rappeler que les 3 cartes de risque qui ont été analysées et dont les conclusions saillantes sont résumées ci-dessus, visent à représenter différents niveaux de risque sur un territoire donné pour chacune des 3 espèces de Lépidoptères. Elles ne peuvent

être comparées entre elles pour comprendre le risque qu'elles sont censées représenter. Ainsi, un risque élevé (niveau 1) d'exposition au bombyx cul-brun n'est pas de même intensité qu'un risque élevé (niveau 1) d'exposition à la processionnaire du pin par exemple. Il est important de garder à l'esprit que le bombyx cul-brun est largement présent sur le territoire mais à des densités de populations plus faibles que celles des populations de la processionnaire du pin. Par ailleurs, le GT souligne qu'un risque d'exposition représente une probabilité basée sur des données dont la fiabilité est variable.

Les changements globaux dont le dérèglement climatique, affectent les aires de distribution et les dynamiques des espèces de Lépidoptères concernées, parfois de manière rapide. Les cartes d'aléa devront donc être revues et mises à jour. De même, les cartes de risque, qui sont issues de la grille de criticité définie par le GT, ne doivent pas être vues non plus comme stables dans le temps. Le GT a tenu compte des associations entre l'espèce cible et ses plantes hôtes dans la définition des aléas. Cependant, il faut rappeler ici que la liste exhaustive des plantes hôtes est parfois incertaine, et que leurs données de distribution ne sont pas toujours assez précises. La mise à disposition des cartes de vulnérabilité dans le rapport permet au lecteur d'identifier également les régions où la présence de Lépidoptères à chenilles à soies urticantes pourrait avoir des impacts importants sur les populations si ces régions étaient colonisées dans le futur (par exemple via l'expansion des aires de distribution).

3.7 Perspectives

Plusieurs sujets transversaux ont été identifiés au cours de l'expertise comme autant de perspectives pour des analyses et des évaluations d'intérêt futures.

A titre d'exemple, la question de l'impact des méthodes de lutte contre les chenilles processionnaires sur la préservation de la biodiversité peut illustrer cette nécessaire analyse globale du risque lié à la présence de populations de chenilles à poils urticants. Au-delà de l'identification de méthodes de lutte disponibles, il est important de souligner que leur utilisation contre les chenilles à poils urticants peut avoir un impact sur la faune et la flore, lors de leurs mises en œuvre.

D'autres questions en lien avec les écosystèmes ont été abordées par le GT :

- la prise en compte des services écosystémiques rendus par les chenilles à poils urticants (par exemple : elles sont une source de nourriture importante pour les mésanges bleues) ;
- l'influence de l'environnement (sur la performance des méthodes de lutte ou sur la présence des chenilles à poils urticants).

Les enjeux liés à l'exposition des populations humaines et animales aux chenilles à poils urticants en milieu urbain représentent également une autre question soulevée par cette expertise.

3.8 Recommandations

Compte tenu de l'efficacité documentée des produits à base de *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* (Btk) pour un usage phytopharmaceutique, de la spécificité de la cible (chenilles de Lépidoptères), de son faible risque pour la santé humaine et de son impact limité sur l'environnement (même si des risques pour les Lépidoptères non-cibles seront à prendre

en compte), le GT suggère que les autorités compétentes incitent les pétitionnaires à soumettre des demandes d'autorisation de mise sur le marché de produits à base de Btk pour la lutte contre la processionnaire du pin, dans le cadre de la réglementation biocide voire dans le cadre des deux réglementations phytopharmaceutique et biocide¹⁴ pour pallier l'absence d'autres produits biocides autorisés.

Les données actuellement disponibles sur l'impact des chenilles à poils urticants, tant en santé humaine qu'en santé animale, sont relativement limitées. Il serait pertinent d'envisager des études épidémiologiques afin de préciser la prévalence de ces cas d'intoxication, les contextes d'exposition et les modalités de contact, les différents tableaux cliniques, en particulier les formes graves et les atteintes oculaires, ainsi que les périodes à risque en fonction des régions. Par ailleurs, il n'existe pas en France, en santé humaine, d'outils disponibles de diagnostic en routine des réactions allergiques basées sur les IgE. Or, la mise au point et la mise à disposition d'extraits validés de venins de chenilles permettant des tests cutanés et sanguins, est indispensable pour la mise en place de ces outils. Ils pourraient notamment faciliter le diagnostic et le dépistage des réactions allergiques (qui peuvent être graves) chez les populations exposées.

L'utilisation de données qui pourraient être récoltées par les praticiens de santé ou les organismes professionnels vétérinaires devrait permettre d'établir des bulletins d'alerte (selon les résultats de surveillances entomologiques) et de mieux signaler l'arrivée et l'intensité du risque dans les territoires.

La question d'un manque de données est également soulevée pour l'évaluation de l'impact des chenilles à poils urticants sur la production sylvicole, le stockage de carbone et la fourniture de services culturels et des coûts associés. Plus spécifiquement, le GT encourage la collecte de données relatives au différentiel de production sylvicole et de stockage de carbone atmosphérique entre un scénario de référence et un scénario d'infestation ainsi que l'étude de la dégradation de la valeur récréative des espaces forestiers induite par une infestation par des chenilles à poils urticants.

En conclusion, à l'issue des travaux liés à l'analyse de risque associé aux chenilles à poils urticants pour la population générale et les populations professionnelles, le GT a défini différents niveaux de risques lors de l'analyse multicritères mise en œuvre dans le cadre de l'expertise. Il convient de rappeler que les 5 niveaux de risque ainsi définis ne sont pas comparables d'une espèce de Lépidoptère à une autre, et ne définissent pas un risque absolu mais relatif (par comparaison d'un niveau de risque à un autre) pour une espèce donnée.

Au vue des méthodes de lutte disponibles et/ou identifiées (curatives ou préventives) et des actions préventives ciblant les populations, les membres du GT recommandent des mesures de gestion proportionnées au niveau de risque identifié. Ces mesures de gestion combinent des méthodes de lutte et des actions (plus ou moins nombreuses et plus ou moins contraignantes) ciblant les populations selon le niveau de risque, et sont définies d'un point de vue générique, de la manière suivante :

- Classe de risque n°1 (niveau maximal) : mettre en place des mesures de surveillance (par exemple des pièges à phéromones, et observations directe et/ou indirectes) et selon les résultats de surveillance, informer le public, mettre en place des méthodes de lutte curatives (selon les zones infestées et les niveaux d'infestation), et

¹⁴ Règlement (CE) n°1107/2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques.
Règlement (UE) n°528/2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation des produits biocides.

potentiellement associer ces mesures à une limitation d'accès aux zones forestières ou aux espaces verts infestés.

- Classe de risque n°2 : mettre en place des mesures de surveillance (par exemple des pièges à phéromones, et observations directes et/ou indirectes) pour adapter les mesures de gestion à la densité de chenilles et, selon les résultats de la surveillance, informer le public. Cette surveillance pourrait donner lieu à la mise en place de méthodes de lutte curatives et préventives ;
- Classe de risque n°3 : mettre en place un dispositif de surveillance allégé reposant sur une observation directe et laissé à la discrétion du gestionnaire de risque et, selon les résultats de la surveillance, informer le public. Cette surveillance pourrait donner lieu à la mise en place de méthodes de lutte préventives et/ou curatives.
- Classe de risque n°4 : information du public dans le cas de pullulations occasionnelles ;
- Classe de risque n°5 (niveau minimal) : pas d'action requise.

4 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) endosse les conclusions du groupe de travail.

L'Anses souligne l'intérêt de cette expertise qui a permis de dresser une liste, la plus complète possible, des espèces de Lépidoptères à chenilles à poils urticants présentes sur le territoire français, en particulier pour les régions ultramarines où ces espèces sont mal ou peu connues sur le plan scientifique, en documentant tant la nature de leur appareil urticant qu'en indiquant l'existence de séquences d'ADN qui permettent de caractériser ces espèces. Cette expertise multidisciplinaire a également été l'occasion de mobiliser des compétences multiples (en entomologie, en médecines humaine et vétérinaire, en analyse socioéconomique et en santé des végétaux) pour avoir une approche globale de l'analyse de l'impact des chenilles à poils urticants tant sur le plan sanitaire (humain et animal) que sur le plan socio-économique ou sur celui de la santé des végétaux.

Cette approche globale s'est notamment traduite par la mise en œuvre d'une analyse multicritères pour conduire une analyse du risque en santé humaine sur la base de données identifiées et mobilisées dans le cadre de l'expertise en entomologie, en santé des végétaux, et en santé humaine. L'analyse multicritères a permis de produire trois cartes de risque (pour la processionnaire du pin, la processionnaire du chêne et le bombyx cul-brun) qui permettent d'appréhender de manière synthétique l'ensemble des analyses thématiques produites dans le cadre de la saisine et de représenter sous forme graphique l'analyse de risque sanitaire réalisée par le groupe de travail.

L'Agence tient à souligner qu'il est important de garder à l'esprit que l'analyse multicritères qui a été menée ne conduit pas à définir de manière absolue le niveau de risque vis-à-vis de l'exposition aux chenilles à poils urticants, même si l'exercice qui a été mené a établi 5 niveaux de risque (niveau 1 pour un niveau de risque maximal et niveau 5 pour un niveau de risque minimal). Il convient donc de considérer que le niveau de risque lié à l'exposition aux soies émises par l'une ou l'autre des chenilles des 3 espèces choisies pour l'exercice n'est pas comparable. Ainsi, les zones à considérer en priorité sont celles classées en niveau de risque 1 ou 2, particulièrement pour les zones infestées par les processionnaires

du chêne et du pin dont le venin est le plus urticant. Il convient aussi de considérer que ces illustrations cartographiques reposent sur des données dont la précision est hétérogène tant pour la caractérisation de l'aléa (notamment au regard de l'insuffisance de données de signalement sur le territoire métropolitain ou de la distribution géographique ou la gamme des plantes hôtes des chenilles) que pour la caractérisation de la vulnérabilité des populations humaines exposées aux chenilles urticantes de ces espèces de Lépidoptères. Ces cartes sont inévitablement amenées à évoluer au cours du temps du fait, d'une part, de l'évolution de la distribution géographique des 3 espèces de Lépidoptères sur le territoire métropolitain et d'autre part, de la manière de caractériser l'aléa (lié aux chenilles à poils urticants) et la vulnérabilité (lié à l'exposition des populations humaines aux chenilles à poils urticants) et de la précision des données qui seront utilisées. Les cartes de risque qui ont été réalisées dans le cadre de l'expertise doivent permettre d'identifier les zones a priori les plus à risque à l'échelle communale. Elles représentent un premier niveau d'information. Un second niveau d'information pourra être apporté par les dispositifs de surveillance dans les zones présentant le risque le plus élevé (niveaux 1, 2 ou 3) et faire ainsi remonter de l'information à partir du terrain, pour confirmer la prévision du niveau de risque.

L'intérêt des mesures de gestion proposées par le groupe de travail, proportionnées à 5 niveaux de risque, est avant tout de considérer la question d'un point de vue générique et faire repenser la démarche en priorité sur des mesures de surveillance.

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail recommande que des travaux de recherche puissent être menés pour pallier les manques de données relevés en santé humaine ou en santé animale, sur la prévalence des cas d'intoxication ou les périodes à risque notamment, et en santé des végétaux, sur l'impact des chenilles urticantes sur la production sylvicole. De telles données permettrait d'établir des bulletins d'alerte sur le niveau de présence des chenilles à poils urticants, de renseigner le niveau du risque dans les territoires et *in fine* de mieux évaluer l'impact des chenilles à poils urticants en santé humaine, en santé animale et sur les écosystèmes, et les coûts associés.

L'Anses souligne la nécessité de mener des campagnes de prévention auprès des populations de professionnels qui, de par leur exposition répétée aux chenilles à poils urticants, peuvent développer une réaction allergique pouvant aller d'une simple urticaire à un choc anaphylactique. Le port d'équipements de protection est à recommander, en particulier pour les communes de classes de risque n°1 et n°2 pour les chenilles processionnaires du pin et du chêne, lorsque le dispositif de surveillance indique un niveau d'infestation élevé de ces communes.

Pour permettre la caractérisation des cas d'exposition des populations, aux poils urticants des chenilles de Lépidoptères et ainsi faciliter la collecte de données, l'Anses recommande le développement d'outils de diagnostic des réactions allergiques en santé humaine.

Pr Benoit Vallet

MOTS-CLÉS

Chenille à poil urticant, soie détachable, soie non-détachable, épine, Lépidoptère, processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* L. 1758), processionnaire du chêne (*Thaumetopoea processionea* L. 1758), bombyx cul-brun (*Euproctis chrysorrhoea* L. 1758), bombyx cul-doré (*Euproctis similis* Fuessly, 1775), Lithosie quadrille (*Lithosia quadra* L. 1758), France métropolitaine, DROM, exposition, risque sanitaire, santé humaine, santé animale, impact, mesure de gestion, méthode de lutte préventive, méthode de lutte curative, analyse multicritères, aléa, vulnérabilité, grille de criticité

Irritating hairs caterpillar, true seta, modified seta, spine, Lepidoptera, pine processionary moth, oak processionary moth, brown-tail moth, metropolitan France, French overseas territories, exposure, health risk, human health, animal health, impact, control measure, preventive pest control method, curative pest control method, multicriteria analysis, hazard, vulnerability, criticality matrix

CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2023). Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'Analyse des risques sanitaires liés à l'exposition aux chenilles émettrices de poils urticants et élaboration de recommandations de gestion. (saisine n° 2020-SA-0005). Maisons-Alfort : Anses, 27 p.

ANNEXE 1

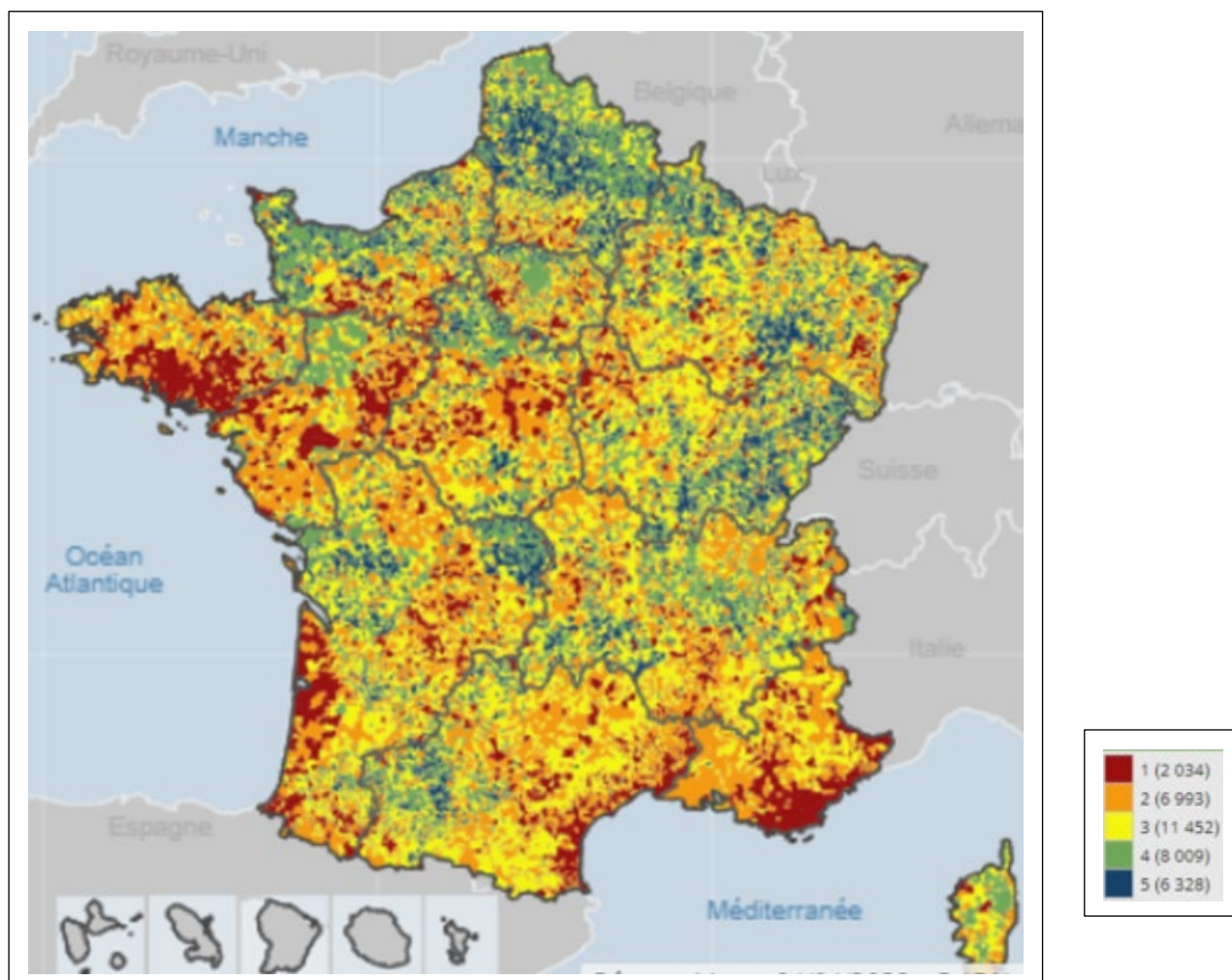


Figure 1 : Cartographie à l'échelle nationale des risques liés à la processionnaire du pin par commune (à droite de la carte, indication du nombre de communes classées dans chaque classe de risque)

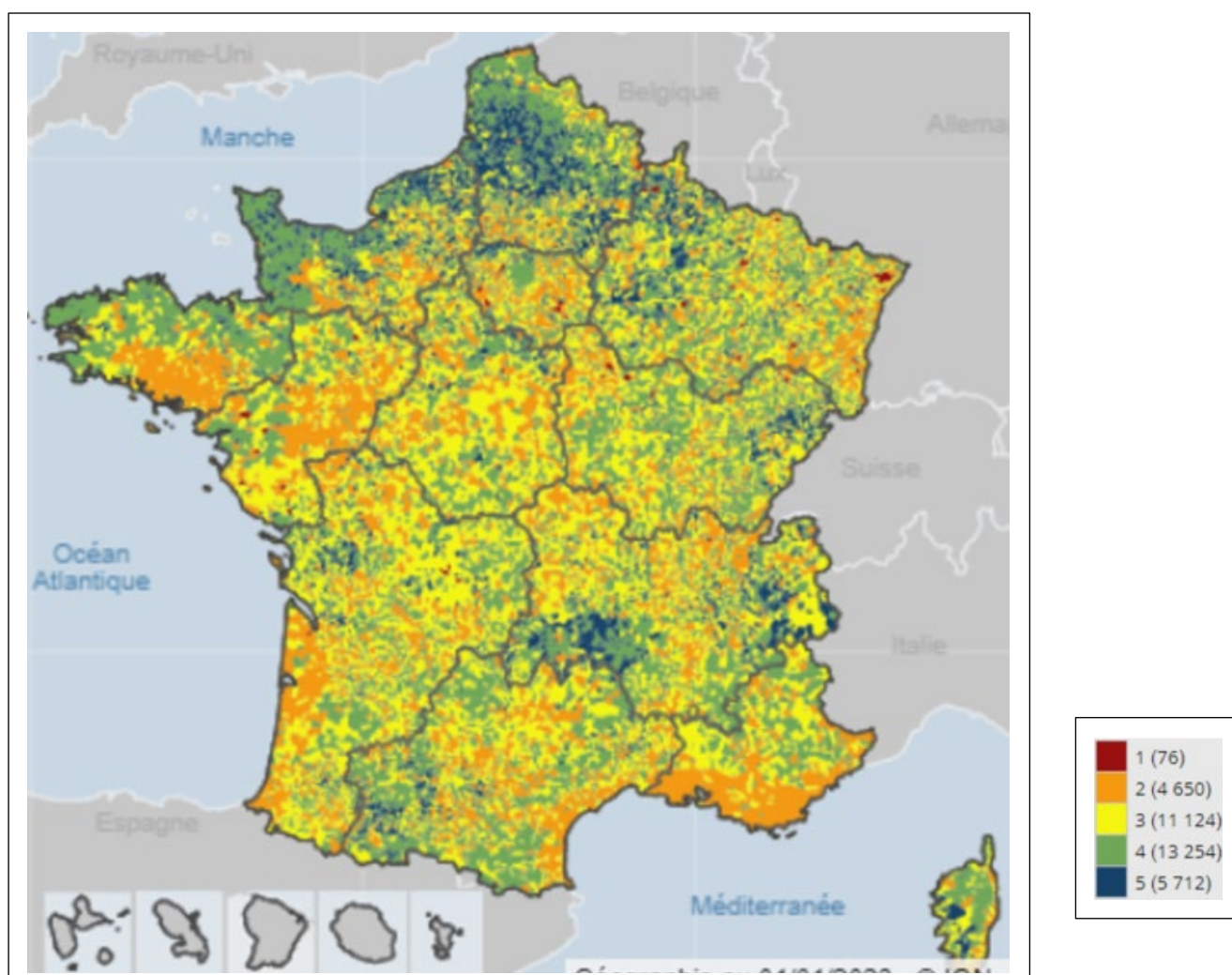


Figure 2 : Cartographie à l'échelle nationale des risques liés à la processionnaire du chêne par commune
(à droite de la carte, indication du nombre de communes classées dans chaque classe de risque)

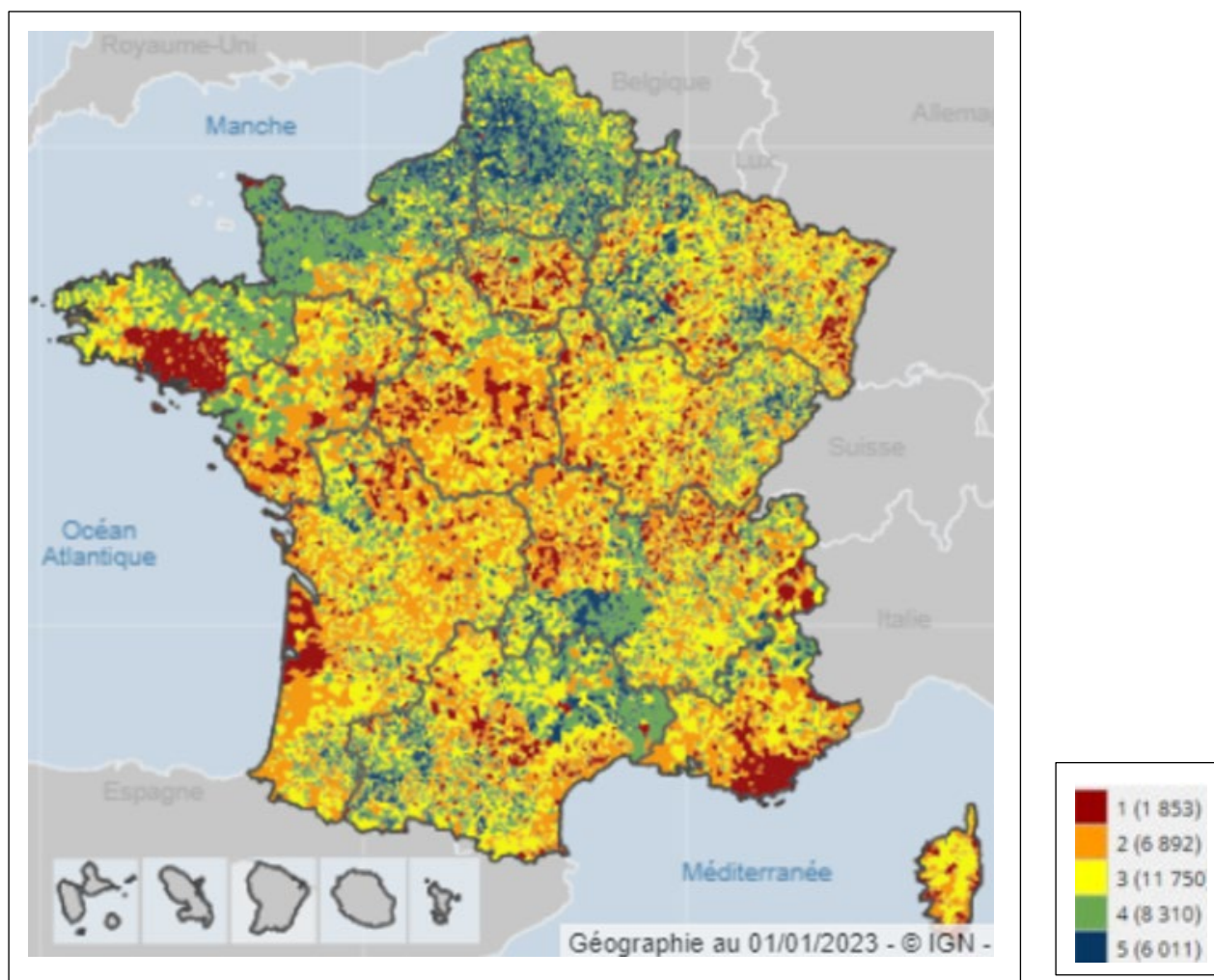


Figure 3 : Cartographie à l'échelle nationale des risques au bombyx cul-brun par commune (à droite de la carte, indication du nombre de communes classées dans chaque classe de risque)

ANNEXE 2 : SUIVI DES MODIFICATIONS DE L'AVIS

Modifications apportées à la version du 24 novembre 2023

Date	Version	Page	Description de la modification
01/12/2023	01	6	Remplacement « soies urticantes » par « poils urticants » (1 ^{ère} phrase de la section 3.2.1)
01/12/2023	01	9	Correction de la période de collecte des cas d'exposition aux chenilles à poils urticants (période de 1991 à 2021)
01/12/2023	01	18	Remplacement « soies urticantes » par « poils urticants » (1 ^{ère} phrase de la section 3.6.5)
01/12/2023	01	19	Remplacement « soies urticantes » par « poils urticants » (dernière phrase de la section 3.6.6)
01/12/2023	01	21	Ajout du qualificatif « humaine » pour compléter la phrase suivante : « Cette approche globale s'est notamment traduite par la mise en œuvre d'une analyse multicritères (...) et mobilisées dans le cadre de l'expertise en entomologie, en santé des végétaux, et en santé. » (1 ^{ère} phrase du 3 ^{ème} § de la partie Conclusions et recommandations de l'Agence)

Analyse des risques sanitaires liés à l'exposition aux chenilles émettrices de poils urticants et élaboration de recommandations de gestion

Saisine « n° 2020-SA-0005 – Chenilles à poils urticants »

RAPPORT d'expertise collective

**« Comité d'experts spécialisé sur les risques biologiques pour la santé des
végétaux »**

« Groupe de travail Chenilles à poils urticants »

Septembre 2023

Citation suggérée

Anses. (2023). Analyse des risques sanitaires liés à l'exposition aux chenilles émettrices de poils urticants et élaboration de recommandations de gestion. (saisine n° 2020-SA-0005). Maisons-Alfort : Anses, 336 p.

Mots clés

Chenille à poil urticant, soie détachable, soie non détachable, épine, Lépidoptère, processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* L. 1758), processionnaire du chêne (*Thaumetopoea processionea* L. 1758), bombyx cul-brun (*Euproctis chrysorrhoea* L. 1758), bombyx cul-doré (*Euproctis similis* Fuessly, 1775), Lithosie quadrille (*Lithosia quadra* L. 1758), France métropolitaine, DROM, exposition, risque sanitaire, santé humaine, santé animale, impact, mesure de gestion, méthode de lutte préventive, méthode de lutte curative, analyse multicritères, aléa, vulnérabilité, grille de criticité

Irritating hairs carterpillar, true seta, modified seta, spine, Lepidoptera, pine processionary moth, oak processionary moth, brown-tail moth , metropolitan France, French oversea territories, exposure, health risk, human health, animal health, impact, control measure, preventive pest control method, curative pest control method, multicriteria analysis, hazard, vulnerability, criticality matrix

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

M. Nicolas DESNEUX – Entomologie, écotoxicologie, lutte intégrée, spécialisation sur les parasitoïdes, écologie des communautés – INRAE

Membres

M. Andrea BATTISTI – Entomologie, spécialiste des chenilles à poils urticants – Université de Padoue

Mme Anne-Sophie BRINQUIN – Entomologie, lutte contre les chenilles à poils urticants en milieu forestier et urbain – INRAE

M. Rudy CAPARROS MEGIDO – Entomologie, interactions plantes/bioagresseurs, interactions bioagresseurs/auxiliaires – Université de Liège

M. Gilbert GAULT – Vétérinaire toxicologue et toxinologue, exposition des animaux domestiques et sauvages aux chenilles processionnaires, toxicovigilance – CNITV-Lyon Ecole vétérinaire Vetagrosup

Mme Carole KERDELHUE – Entomologie, espèces invasives, mécanisme d'action des poils urticants – INRAE

M. Jérôme ROUSSELET (démissionnaire) – Entomologie, spécialiste des chenilles processionnaires – INRAE

M. Stéphane KREBS – Economie de la santé animale, économie de la santé des forêts, évaluation des stratégies de prévention ou de lutte – INRAE

Mme Myriam MERAD – Analyse multicritères et multiacteurs – Université Paris-Dauphine

Mme Catherine PECQUET – Dermatologie, allergologie cutanée, pathologie induites liées à l'exposition aux chenilles processionnaires – Retraitée

Mme Tina RAMBONILAZA – Economie publique, évaluation multicritères des politiques publiques – INRAE

.....

RAPPORTEUR

M. JENS ABILDTRUP – Chargé de recherche, économiste de l'environnement spécialiste de l'évaluation économique des services écosystémiques – INRAE

.....

COMITE D'EXPERTS SPECIALISE

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

■ Risques biologiques pour la santé des végétaux – 2022/2026

Président

M. Thomas LE BOURGEOIS – Directeur de recherche, CIRAD, UMR
Botanique et Modélisation de l'Architecture des Plantes et des végétations

Membres

M. Philippe CASTAGNONE – Directeur de recherche, INRAE, Centre PACA, Institut Sophia
Agrobiotech

M. Thierry CANDRESSE – Directeur de recherche, INRAE, Centre Nouvelle-Aquitaine-
Bordeaux

M. Nicolas DESNEUX – Directeur de recherche, INRAE, Centre PACA, Institut Sophia
Agrobiotech

Mme Sandrine EVEILLARD – Chargée de recherche, INRAE, Centre Nouvelle-Aquitaine-
Bordeaux

Mme Florence FONTAINE – Professeure des Universités, Université Reims-Champagne-
Ardenne

M. Pascal GENTIT – Chef de l'Unité Bactériologie, Virologie, OGM, Laboratoire de la santé
des végétaux, Anses

M. Martin GODEFROID – Postdoctorant, CSIC, Espagne (Madrid)

Mme Lucia GUERIN – Maître de Conférences, Bordeaux Sciences Agro, Bordeaux

M. Bruno HOSTACHY – Retraité, Anses

M. Hervé JACTEL – Directeur de recherche, INRAE, Centre Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux,
UMR Biodiversité, Gènes & Communautés

Mme Eleni KAZAKOU – Professeure, SupAgro Montpellier

M. Christophe Le MAY – Maître de Conférences, Agrocampus Ouest, Rennes

M. Eric LOMBAERT – Ingénieur de recherche, INRAE, Centre PACA, Institut Sophia
Agrobiotech

M. David MAKOWSKI – Directeur de recherche, INRAE, Centre Ile-de-France-Versailles-
Grignon, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, UMR MIA

M. Charles MANCEAU – Retraité, INRAE

M. Benoit MARÇAIS – Directeur de recherche, INRAE, Centre Grand-Est-Nancy

M. Arnaud MONTY – Enseignant-chercheur, Université de Liège - Département Biodiversité
et Paysage

Mme Maria NAVAJAS – Directrice de recherche, INRAE, Centre Occitanie-Montpellier, UMR
CBGP Centre de biologie pour la gestion des populations

Mme Cécile ROBIN – Directrice de recherche, INRAE, Centre Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux

M. Aurélien SALLE – Maître de Conférences, Université d'Orléans

M. Frédéric SUFFERT – Ingénieur de recherche, INRAE, Campus Agro Paris-Saclay

M. Stéphan STEYER – Attaché scientifique, Centre wallon de Recherches Agronomiques, Département Sciences du Vivant, Responsable Virologie Végétale

M. Pierre-Yves TEYCHENEY – Directeur de recherche, Cirad, La Réunion

M. Éric VERDIN – Ingénieur de recherche, INRAE, Centre PACA Avignon, Unité de pathologie végétale

M. François VERHEGGEN – Enseignant-chercheur, Université de Liège - Unité Entomologie fonctionnelle et évolutive

.....

■ Risques biologiques pour la santé des végétaux – 2018/2022

Président

M. Thomas LE BOURGEOIS – Directeur de recherche, CIRAD, UMR

Botanique et Modélisation de l'Architecture des Plantes et des végétations

Membres

Mme Marie-Hélène BALESDENT – Directrice de recherche, INRAE, Centre Ile-de-France-Versailles-Grignon, UR BIOlogie et GEstion des Risques en agriculture

M. Antonio BIONDI – Enseignant-Chercheur, Université de Catane, Département Agriculture, Alimentation et Environnement, Italie

M. Philippe CASTAGNONE – Directeur de recherche, INRAE, Centre PACA, Institut Sophia Agrobiotech

Mme Péninna DEBERDT – Chercheur, CIRAD, UPR HORTSYS

M. Nicolas DESNEUX – Directeur de recherche, INRAE, Centre PACA, Institut Sophia Agrobiotech

Mme Marie-Laure DESPREZ-LOUSTAU – Chargée de mission INRAE (Directrice de recherche retraitée)

M. Abraham ESCOBAR-GUTIERREZ – Directeur de recherche, INRAE, Centre Nouvelle-Aquitaine-Poitiers, UR Pluridisciplinaire Prairies et Plantes Fourragères

M. Laurent GENTZBITTEL – Professeur des Universités, Skolkovo Institute of Science and Technology – Skoltech Moscow

M. Hervé JACTEL – Directeur de recherche, INRAE, Centre Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux, UMR Biodiversité, Gènes & Communautés

M. David MAKOWSKI – Directeur de recherche, INRAE, Centre Ile-de-France-Versailles-Grignon, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, UMR MIA

M. Arnaud MONTY – Enseignant-chercheur, Université de Liège - Département Biodiversité et Paysage

Mme Maria NAVAJAS – Directrice de recherche, INRAE, Centre Occitanie-Montpellier, UMR CBGP Centre de biologie pour la gestion des populations

M. Xavier NESME – Ingénieur de recherche retraité, INRAE, Centre Auvergne-Rhône Alpes, UMR Écologie microbienne

Mme Marie-Hélène ROBIN – Enseignante/chercheuse, Ecole d'Ingénieurs de Purpan, UMR AGIR

M. Stéphan STEYER – Attaché scientifique, Centre wallon de Recherches Agronomiques, Département Sciences du Vivant, Responsable Virologie Végétale

M. Éric VERDIN – Ingénieur de recherche, INRAE, Centre PACA Avignon, Unité de pathologie végétale

M. François VERHEGGEN – Enseignant-chercheur, Université de Liège - Unité Entomologie fonctionnelle et évolutive

M. Thierry WETZEL – Directeur de recherche, DLR RHEINPFALZ

.....

■ CES « Santé et bien-être des animaux » – 2022/2026

Président

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

Membres

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

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

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

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

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

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

M. Eric CARDINALE – Directeur Adjoint UMR Astre, CIRAD Montpellier - Épidémiologie, Microbiologie, zoonoses, maladies infectieuses, AMR, *One Health*

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

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

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

M. Veasna DUONG – Chef d'unité de virologie, Institut Pasteur du Cambodge - Virus émergents, zoonoses, diagnostic moléculaire et sérologique, enquête épidémiologique, maladies vectorielles, *One Health*, Asie

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

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

M. Lionel GRISOT – Vétérinaire libéral - Médecine et chirurgie vétérinaire, médicament vétérinaire, maladies des ruminants, des équidés et des animaux de compagnie, sécurité sanitaire des aliments

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

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

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

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

Mme 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

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

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

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

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

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

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

Mme 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

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

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

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

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

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

.....

■ CES « Substances et produits biocides » – 2019/2023

Président

M. Georges DE SOUSA – Ingénieur de Recherche, INRAE – Toxicologie, méthodologie *in vitro*, perturbateurs endocriniens, cinétique

Membres

M. Olivier ADAM – Dirigeant chez Hydrobio Conseil – Écotoxicologie, produits biocides TP8

M. Alain AYMARD – Ingénieur et enquêteur retraité de la DGCCRF – Réglementation, classification et étiquetage

M. Jean-Christophe CAHUZAC, vice-président – Ingénieur des Laboratoires du Ministère des Finances, Responsable de la section de produits chimiques, biocides et substances dangereuses – Physico-chimie, méthodes d'analyse, formulation, réglementation

M. Pierre GREVE – Professeur, Université de Poitiers – Perturbateurs endocriniens, différenciation sexuelle, reprotoxicité (faune), microbiologie, écotoxicologie des sols, tests comportementaux

M. Philippe HARTEMANN – Professeur de Santé Publique retraité – Microbiologie, désinfectants, hygiène

Mme Claire HELLIO – Professeur, Université de Bretagne Occidentale – Écologie, biotechnologie marine, biochimie marine

Mme Dominique PESSEL – Chef d'unité, Fougères, Anses – Physico-chimie analytique, résidus médicaments vétérinaires, résidus de biocides désinfectants

M. Vincent RICHARD – Ingénieur de recherche chez DIRECCTE Haute Normandie – Chimie, risque chimique, sécurité au travail, réglementation chimique

M. Christophe SOUMET – Ingénieur de recherche, Chef d'unité AB2R, Fougères, Anses – Microbiologie, désinfectants, résistance

.....

■ CES « Analyse socio-économique » – 2022/2025

Présidente

Mme Laura MAXIM – Chargée de recherche (CNRS) – Compétences : socio-économie, risques chimiques, incertitude

Vice-Président

M. Louis-Georges SOLER – Directeur scientifique adjoint (Inrae) – Compétences : économie des filières agricoles et agroalimentaires, politiques nutritionnelles

Membres

Mme Bénédicte APOUEY – Chargée de recherche (CNRS - Ecole d'Économie de Paris) – Compétences : économie de la santé, inégalités sociales de santé

M. Luc BAUMSTARK – Maître de conférence (Université Lyon2) – Compétences : économie publique, économie de l'environnement, économie de la santé, calcul économique public

Céline BONNET – Directrice de recherche (Inrae) – Compétences : économie industrielle, analyse des politiques alimentaires et environnementales

M. Thierry BRUNELLE – Chargée de recherche (Cirad) – Compétences : modélisation, usages des sols, sécurité alimentaire, biodiversité, changement climatique

Mme France CAILLAVET – Directrice de recherche (Inrae) – Compétences : déterminants socio-économiques des décisions alimentaires, inégalités, analyse des politiques alimentaires

M. Alain CARPENTIER – Directeur de recherche (Inrae) – Compétences : analyse des systèmes de production agricole, politique agro-environnementale, usage d'intrants chimiques

M. Thomas COUTROT – Retraité – Compétences : statistiques du travail, évaluation économique, organisation du travail

Mme Cécile DETANG-DESSENDRE – Directeur scientifique adjoint (Inrae) – Compétences : économie des espaces ruraux, marché du travail agricole

M. Serge GARCIA – Directeur de recherche (Inrae) – Compétences : économie des ressources naturelles, eau, forêt, services écosystémiques, politiques publiques environnementales

M. Julien GAUTHEY – Chargé de mission Recherche (OFB) – Compétences : sociologie, socio-économie, biodiversité, agroécologie, économie circulaire, micropolluants

Mme Emmanuelle LAVAINÉ – Enseignant chercheur (Université de Montpellier) – Compétences : économie appliquée en santé-environnement, évaluation des externalités environnementales de santé

M. Marc LEANDRI – Maître de Conférences (Université Versailles-Saint Quentin) – Compétences : économie du risque et de l'information, économie de la pollution, services écosystémiques, développement durable

Mme Christine LE CLAINCHE – Professeure des universités (Université de Lille) – Compétences : santé-travail, inégalités sociales de santé, prévention, équité et redistribution, l'économie comportementale

M. Youenn LOHEAC – Enseignant-chercheur (CNRS, université Rennes1, Rennes School of Business) – Compétences : économie expérimentale et comportementale, analyse des comportements alimentaires

M. Selim LOUAFI – Directeur adjoint (UMR AGAP- Cirad) – Compétences : sciences sociales, biodiversité, biotechnologies, développement durable, sécurité alimentaire, décision publique

M. Eric PLOTTU – Coordinateur scientifique (Ademe) – Compétences : théorie de la décision, méthodologie d'évaluation et aide multicritère à la décision, approches participatives, évaluation socio-économique et environnementale de projets

Mme Elodie ROUVIERE – Maître de Conférences (AgroParisTech) – Compétences : organisation industrielle, économétrie appliquée, filières agroalimentaires

Mme Maïder SAINT JEAN – Enseignante-chercheuse (Université de Bordeaux) – Compétences : économie de l'innovation, éco industrielle, l'économie de l'environnement, transition sociotechnique

M. Denis SALLES – Retraité – Compétences : sociologie de l'environnement et de l'action publique, gestion des ressources en eau

Mme Léa TARDIEU – Chargée de recherche (Inrae) – Compétences : Services écosystémiques, justice environnementale, biodiversité, analyses spatialisées

M. Jean-Christophe VERGNAUD – Directeur adjoint (Centre d'économie de la Sorbonne - Ecole d'Economie de Paris) – Compétences : économie publique appliquée en santé-environnement, théorie de la décision, économie expérimentale, REACH

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

M. Emmanuel GACHET – Coordinateur scientifique – Chef de l'Unité Expertise sur les risques biologiques – Laboratoire de la santé des végétaux – Anses

Contribution scientifique

Mme Isabelle ATTIG – Cheffe de l'Unité évaluation efficacité biocides – Direction de l'évaluation des produits réglementés – Anses

Mme Catherine COLLIGNON – Cheffe de projet scientifique – Unité évaluation des risques liés au bien-être, à la santé et à l'alimentation des animaux, et aux vecteurs – Direction de l'évaluation des risques – Anses

Mme Karine FIORE – Directrice adjointe de la DiSSES (Direction Sciences Sociales, Économie et Société) – Anses

Mme Emeline HILY – Chargée de projet et d'analyses socio-économiques – DiSSES – Anses

Mme Sandra SINNO-TELLIER – Adjointe à la Directrice des Alertes et Vigilances sanitaires – Anses

.....

Secrétariat administratif

Mme Françoise LOURENCO – Anses

AUDITION DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES

DGAI (Département de la Santé des Forêts)

M. François-Xavier SAINTONGE – Référent-expert national entomologie et dépérissement en forêt

INRAE (département ECODIV / unité Ecologie et Ecophysiologie forestière)

Mme Nathalie BREDA – Directrice de Recherche

.....

Cirad (unité Recherche Fonctionnement Agroécologique et Performances des Systèmes de Culture Horticoles)

M. Philippe RYCKEWAERT – Chercheur entomologiste

.....

CONTRIBUTIONS EXTÉRIEURES AU COLLECTIF

Objet de la contribution : « Production de données de fréquentation récréative de massifs forestiers dans 5 départements français (France métropolitaine : Alpes-Maritimes, Gironde,

Meurthe et Moselle, Seine-et-Marne et Vosges) » ; M. Jens ABILDTRUP – Chargé de recherche – INRAE

.....

Objet de la contribution : « Analyse statistique des données des Centres anti-poison vétérinaires relatives aux cas d'exposition des chiens à la chenille processionnaire du pin » ; M. David MAKOWSKI – Directeur de recherche – INRAE

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	3
Sigles et abréviations.....	16
Liste des tableaux	17
Liste des figures.....	19
1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise	22
1.1 Contexte	22
1.2 Objet de la saisine	22
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation.....	23
1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts	23
2 Entomologie : identification, sélection et description des genres et des espèces de Lépidoptères à chenilles à poils urticants.....	24
2.1 Méthodologie : structuration de la recherche d'espèces de Lépidoptères d'intérêt.....	24
2.1.1 Définition du périmètre d'investigation	24
2.1.2 Méthodologie de la sélection des espèces de Lépidoptères d'intérêt	24
2.2 Liste des espèces de Lépidoptères sélectionnées	27
2.3 Description des chenilles : écologie et phénologie des chenilles à poils urticants	28
2.3.1 Familles d'intérêt	28
2.3.2 Description de l'appareil urticant.....	33
2.3.3 Espèces représentatives	35
2.4 Lutte contre les chenilles à soies urticantes	55
2.4.1 Méthodes de lutte préventives.....	56
2.4.2 Méthodes de lutte curatives.....	57
2.4.3 Analyse des méthodes de lutte disponibles.....	64
2.5 Conclusions	76
3 Impacts sanitaires des chenilles à poils urticants sur la santé humaine	79
3.1 Démarche globale.....	79
3.2 Effets de l'exposition au venin des chenilles à poils urticants chez l'Homme	79
3.2.1 Description des mécanismes d'action physiopathologique chez l'Homme.....	79
3.2.2 Effets induits par l'exposition au venin chez l'Homme	85
3.3 Impacts des chenilles à poils urticants sur la santé humaine	86
3.3.1 Revue de la littérature sur l'impact sanitaire des chenilles à poils urticants	86
3.3.2 Évaluation de l'exposition et des impacts en santé humaine induits par les chenilles à poils urticants - Démarches d'enquête.....	105
3.3.3 Réflexion autour de l'évaluation économique de l'impact en santé humaine	108

3.4	Conclusions	110
4	Impacts des chenilles à poils urticants sur la santé animale	113
4.1	Recherche bibliographique	113
4.1.1	Méthodologie.....	113
4.1.2	Espèces animales	115
4.1.3	Modes et voies d'exposition	116
4.1.4	Facteurs de vulnérabilité	117
4.1.5	Signes cliniques	118
4.1.6	Diagnostic différentiel	120
4.2	Analyse des données issues des deux Centre AntiPoison Vétérinaires (CAPV) de Lyon et Nantes.....	121
4.2.1	Présentation des données	121
4.2.2	Répartition spatio-temporelle des cas d'exposition	124
4.2.3	Analyse statistique des données des deux CAPV	126
4.3	L'exposition des animaux indicatrice de l'exposition potentielle des propriétaires d'animaux et des professionnels	130
4.4	Conclusions	131
5	Evaluation socioéconomique des impacts des chenilles à poils urticants sur la fourniture des services écosystémiques forestiers.....	133
5.1	Cadre conceptuel.....	134
5.1.1	L'analyse socio-économique des perturbations forestières.....	134
5.1.2	L'évaluation économique des services écosystémiques	135
5.2	Impacts des chenilles à poils urticants sur la production sylvicole.....	139
5.2.1	Défoliations liées à la chenille processionnaire du chêne (<i>Thaumetopoea processionea</i>).....	139
5.2.2	Défoliations liées à la chenille processionnaire du pin (<i>Thaumetopoea pityocampa</i>).	144
5.2.3	Éléments de méthode pour l'évaluation économique de ces impacts	145
5.3	Impacts des chenilles à poils urticants sur le stockage du carbone et la régulation du climat global	148
5.3.1	Le service de régulation du climat global par les écosystèmes forestiers	148
5.3.2	Evaluation économique de l'impact des perturbations forestières sur le stockage de carbone	149
5.4	Impact des chenilles à poils urticants sur les services écosystémiques culturels	152
5.4.1	État des lieux de la valeur récréative de la forêt	152
5.4.2	Les services écosystémiques culturels – Éléments de définition	153
5.4.3	Axes d'analyse pour l'évaluation économique des impacts induits par les chenilles à poils urticants sur les services écosystémiques culturels.....	156

5.4.4	État des connaissances de terrain sur l'impact des chenilles à poils urticants sur les services écosystémiques culturels.....	161
5.4.5	Évaluation économique de l'impact de la mise en œuvre d'arrêtés d'interdiction de fréquentation de massifs forestiers	162
6	Expertise multi-acteurs et multicritères pour hiérarchiser les risques sanitaires liés à la présence des chenilles à poils urticants	174
6.1	L'élaboration d'un vocabulaire commun au sein du groupe de travail	176
6.2	La délimitation du périmètre d'analyse des risques	176
6.3	La délimitation de la maille géographique d'analyse et la définition de l'ensemble des objets d'étude.....	176
6.4	L'identification de familles cohérentes de critères caractérisant respectivement les aléas et les vulnérabilités liés à la processionnaire du pin, à la processionnaire du chêne et au bombyx cul-brun.....	177
6.4.1	Définition des critères aléas (chenilles à soies urticantes).....	178
6.4.2	Définition des critères de vulnérabilité en santé humaine	181
6.4.3	L'élaboration des tableaux des performances	183
6.4.4	Le choix d'une procédure d'agrégation multicritères.....	184
6.4.5	La détermination de jeux de poids pour les familles cohérentes de critères	185
6.4.6	Analyse de sensibilité et présentation des conclusions sur les cartographies d'aléas et les cartographies de vulnérabilité	187
6.4.7	La hiérarchisation des risques par typologie d'aléas (CPC, CPP et BYX).....	194
6.4.8	Éléments de discussion sur la cartographie des risques	199
7	Recommandations de mesures de gestion	200
7.1	Analyse des cartes de risques	200
7.2	Recommandations relatives à la maîtrise des expositions des différentes populations (population générale et populations de professionnels).....	201
8	Conclusions du groupe de travail	202
8.1	Conclusions.....	202
8.2	Perspectives.....	204
8.3	Recommandations.....	205
9	Bibliographie	207
9.1	Publications	207
9.2	Normes.....	225
9.3	Législation et réglementation.....	225
Annexe 1	: Lettre de saisine	227
Annexe 2	: Liste des genres et des espèces de Lépidoptères sélectionnés.....	229
Annexe 3	: Fiches des genres de Lépidoptères d'intérêt	232
Annexe 4	: Fiches des espèces de Lépidoptères d'intérêt.....	264

Annexe 5 : Glossaire	293
Annexe 6 : Questionnaire adressé à des associations de dermatologues	300
Annexe 7 : Données des deux centres anti-poison vétérinaires de Lyon et Nantes ...	303
Annexe 8 : Méthodes pour l'évaluation économique des services écosystémiques culturels	305
Annexe 9 : Services écosystémiques culturels fournis par les systèmes vivants	308
Annexe 10 : Arrêtés d'interdiction de fréquentation de massif mis en œuvre entre 2016 et 2021 en région Grand Est	309
Annexe 11 : Définition des unités forestières concernées par la mise en œuvre d'arrêtés d'interdiction de fréquentation.....	311
Annexe 12 : Hypothèses du modèle d'utilité	313
Annexe 13 : Famille de critères de l'aléa relatif à la processionnaire du pin, à la processionnaire du chêne et au bombyx cul-brun	315
Annexe 14 : Famille de critères de la vulnérabilité en santé humaine.....	321
Annexe 15 : Choix d'une procédure d'agrégation multicritères	324

Sigles et abréviations

AMC	: Analyse multicritères
BYX	: bombyx cul-brun
CABI	: Commonwealth Agricultural Bureaux International
CES	: Comité d'experts spécialisé
CPC	: chenille processionnaire du chêne
CPP	: chenille processionnaire du pin
CSP	: Code de la santé publique
DGAL	: Direction générale de l'alimentation
DGS	: Direction générale de la santé
DROM	: départements et régions d'outre-mer
DSF	: Département de la santé des forêts
EFESE	: Evaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques
GBIF	: Global Biodiversity Information Facility
IFN	: Inventaire forestier national
INPN	: Inventaire national du patrimoine naturel
OEPP	: Organisation européenne et méditerranéenne pour la protection des plantes

Liste des tableaux

Tableau 1 : Espèces de Lépidoptères sélectionnées sur la base des données GBIF et de la revue Kawamoto & Kumada (1984).....	26
Tableau 2 : Genres et espèces de Lépidoptères sélectionnés.....	27
Tableau 3 : État de développement des méthodes de lutte préventives contre la chenille processionnaire du pin (CPP).....	65
Tableau 4 : État de développement des méthodes de lutte curatives contre la chenille processionnaire du pin (CPP).....	66
Tableau 5 : État de développement des méthodes de lutte préventives contre la chenille processionnaire du chêne (CPC).....	72
Tableau 6 : État de développement des méthodes de lutte curatives contre la chenille processionnaire du chêne (CPC).....	73
Tableau 7 : Venin présent dans les poils urticants et manifestations cliniques liées au contact avec les chenilles à poils urticants - Données de la littérature	81
Tableau 8 : Revue de la littérature - Eléments de méthode	87
Tableau 9 : Contexte d'exposition	88
Tableau 10 : Modalités de contact.....	90
Tableau 11 : Illustration des différents types de coûts associés aux effets de santé (d'après Le Pen et Lévy, 2018)	109
Tableau 12 : Revue de la littérature - Eléments de méthode	114
Tableau 13 : Fréquence des voies de contamination par les soies urticantes des chenilles pour différentes espèces (sources : CNITV-LYON – G. Gault, 2023 ; M. Lefebvre, 2023).....	117
Tableau 14 : Signes cliniques présentés par les 717 chiens et les 57 chats exposés à des chenilles processionnaires et enregistrés par les centres anti poisons vétérinaires de janvier 1991 à décembre 2021.....	123
Tableau 15 : Effets de la tendance temporelle dans les régions où cette variable est sélectionnée- (source : D. Makowski).....	129
Tableau 16 : Espèces d'insectes étudiées dans les publications sélectionnées	157
Tableau 17 : Types de services étudiés dans les publications sélectionnées	157
Tableau 18 : Estimation de la fonction d'utilité liée à la fréquentation récréative des forêts	164
Tableau 19 : Hypothèses clés pour l'évaluation de la perte récréative induite par les arrêtés d'interdiction de fréquentation de massifs.....	166
Tableau 20 : Perte annuelle de bien-être induite par la mise en œuvre d'arrêtés d'interdiction de fréquentation de massifs forestiers dans les Vosges en 2020 par visite et par commune	168
Tableau 21 : Perte annuelle totale de bien-être induite par la mise en œuvre d'arrêtés d'interdiction de fréquentation de massifs forestiers dans les Vosges en 2020.....	168
Tableau 22 : Perte annuelle de bien-être totale induite par la mise en œuvre d'arrêtés d'interdiction de fréquentation de massifs forestiers dans les Vosges en 2020 avec et sans report des visites vers d'autres sites récréatifs	169

Tableau 23 : Poids de la famille de critères de l'aléa CPP (médiane des jeux de poids proposés par les experts).....	186
Tableau 24 : Poids de la famille de critères de l'aléa CPC (médiane des jeux de poids proposés par les experts).....	186
Tableau 25 : Poids de la famille de critères de l'aléa BYX (jeu de poids d'un seul expert)..	187
Tableau 26 : Poids de la famille de critères de vulnérabilité en santé humaine pour la CPP, le BYX et la CPC (médiane des jeux de poids proposés par les experts).....	187

Liste des figures

Figure 1 : Schéma représentatif : (a) poil d'insecte, (b) vraie soie, (c) soie modifiée non détachable et (d) épine. (source : Battisti <i>et al.</i> , 2011).....	35
Figure 2 : Nid d'hiver caractéristique de la chenille processionnaire du pin (source : J.-C. Martin).....	36
Figure 3 : Cycle biologique de la processionnaire du pin sous différents climats (en climat océanique ou océanique dégradé le stade chenilles peut s'étendre jusqu'à début mars).	37
Figure 4 : Les 5 stades larvaires de la chenille processionnaire du pin (la chenille au stade L5 mesure environ 4 cm de longueur ; source : G. Demolin).....	37
Figure 5 : Chenilles en procession en train de se regrouper pour s'enterrer dans le site de nymphose (source : J.-C. Martin)	38
Figure 6 : Signalements de la chenille processionnaire du pin en France métropolitaine de 1989 à 2021 (source : DSF, 2022)	39
Figure 7 : Carte de distribution de la processionnaire du pin en France métropolitaine, montrant sa progression vers le nord et en altitude depuis la fin des années 1980, ainsi qu'un certain nombre de populations isolées installées au-delà du front (source : Lannou <i>et al.</i> , 2023).....	39
Figure 8 : Démographie observée (trait épais) dans les pinèdes de deux secteurs du centre-nord de la France (Loiret ; Cher), et des prédictions (ligne pointillée) issues d'un modèle de Ricker (basé sur des données de températures, modifié de Robinet, 2006).	41
Figure 9 : Evolution démographique temporelle observée (lignes noires) et prédite (lignes pointillées grises) des infestations de processionnaire du pin dans 9 régions en France.....	42
Figure 10 : Procession de chenilles processionnaires du chêne (source : A.-S. Brinquin). ...	44
Figure 11 : Cycle biologique de la processionnaire du chêne avec les périodes de risque d'urtication (source : A.-S. Brinquin)	45
Figure 12 : Carte des occurrences de la processionnaire du chêne trouvées dans la littérature (la zone verte correspond à la zone de présence des plantes hôtes et les points correspondent aux occurrences de la processionnaire du chêne) (source : Godefroid <i>et al.</i> , 2020).....	46
Figure 13 : Signalements de la chenille processionnaire du chêne en France métropolitaine de 1989 à 2021 (source : DSF, 2022).....	46
Figure 14 : <i>Euproctis chrysorrhoea</i> : a. chenille ; b. papillon femelle ; c. papillon mâle ; d. nids sur une plante hôte (source : Milan Zubrik, Forest Research Institute - Slovakia, Bugwood.org)	48
Figure 15 : Signalements du bombyx cul-brun en France métropolitaine de 1989 à 2021 (source : DSF, 2022)	50
Figure 16 : Photographies des adultes femelle (à gauche ; http://www.pyrgus.de/bilder_en.php) et mâle (à droite ; https://www.gbif.org/occurrence/gallery?taxon_key=1821911).	51
Figure 17 : <i>Lithosia quadra</i> : a. chenille ; b. chenille ; c. papillon femelle ; d. papillon mâle ..	54
Figure 18 : Signalements de la Lithosie quadrille en France métropolitaine 1970 à 2020 (source : INPN).....	55

Figure 19 : Exemple d'éruption papuleuse (Photo : Daniel Ullrich ; source : Fredon Centre-Val de Loire).....	85
Figure 20 : Répartition géographique des cas rapportés par les dermatologues et allergologues	106
Figure 21 : Nombre et répartition de cas d'envenimation d'animaux domestiques recensés par département entre 2005 et 2010 (les départements en grisé n'ont pas été investigués) (source : J. Rivière, 2011)	115
Figure 22 : Cas d'exposition d'un chien, nécrose de la langue (source : M. E. Niza, <i>et al.</i> , 2012)	119
Figure 23 : Signes cliniques chez les chats et les chiens exposés à des chenilles processionnaires enregistrés par les centres anti poisons vétérinaires de janvier 1991 à décembre 2021 (source : Lefebvre, 2023).....	123
Figure 24 : Cas d'exposition à la chenille processionnaire du pin recensés par les deux CAPV sur l'ensemble du territoire métropolitain pour la période 1991-2021 (sources : CAPV Lyon et Nantes ; Lefebvre, 2023)	124
Figure 25 : Analyse statistique des données CAPV pour les régions où le modèle sélectionné (AIC minimal) inclut une tendance temporelle mais pas de cyclicité(courbe en trait plein : prédiction du modèle ; courbes avec tirets : intervalles de confiance à 95 %) (source : D. Makowski)	127
Figure 26 : Analyse statistique des données CAPV - pour les régions où le modèle sélectionné (AIC minimal) inclut à la fois une tendance temporelle et une cyclicité tendance temporelle (courbe en trait plein : prédiction du modèle ; courbes avec tirets : intervalles de confiance à 95 %) (source : D. Makowski).....	127
Figure 27 : Analyse statistique des données CAPV - pour les régions où le modèle sélectionné (AIC minimal) inclut une cyclicité tendance temporelle (courbe en trait plein : prédiction du modèle ; courbes avec tirets : intervalles de confiance à 95 %) (source : D. Makowski). Les régions Corse et Normandie ne sont pas présentées car le nombre de cas est très faibles (généralement nul).	128
Figure 28 : Cadre conceptuel pour l'analyse de l'impact des insectes ravageurs forestiers sur la fourniture de services écosystémiques culturels (d'après Rosenberger <i>et al.</i> , 2012)	155
Figure 29 : Cartographie des signalements et arrêtés d'interdiction de fréquentation de massifs dans les Vosges en 2020	162
Figure 30 : Perte moyenne de CAP par visite à l'échelle de la commune - Scénario minimum	169
Figure 31 : Perte moyenne de CAP par visite à l'échelle de la commune - Scénario maximum	170
Figure 32 : Cartographie à l'échelle nationale de l'aléa CPP par commune.....	188
Figure 33 : Cartographie à l'échelle nationale de l'aléa CPC par commune.....	189
Figure 34 : Cartographie à l'échelle nationale de l'aléa BYX par commune	190
Figure 35 : Cartographie à l'échelle nationale de la vulnérabilité en santé humaine liée à la CPP par commune	192
Figure 36 : Cartographie à l'échelle nationale de la vulnérabilité en santé humaine liée à la CPC par commune	193

Figure 37 : Cartographie à l'échelle nationale de la vulnérabilité en santé humaine lié au bombyx cul-brun par commune	194
Figure 38 : Grille de criticité du risque sélectionnée par le groupe de travail. Classes de risque : 1 (rouge), 2 (orange), 3 (jaune), 4 (vert) et 5 (bleu)	195
Figure 39 : Cartographie à l'échelle nationale des risques liés à la CPP par commune	196
Figure 40 : Cartographie à l'échelle nationale du risque lié à la CPC par commune	197
Figure 41 : Cartographie à l'échelle nationale du risque lié au BYX par commune	198

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

1.1 Contexte

Les chenilles de Lépidoptères tels que les processionnaires du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Denis et Schiffermüller 1775) et du chêne (*Thaumetopoea processionea* L. 1758), le bombyx cul-brun (*Euproctis chrysorrhoea* L. 1758) et la Lithosie quadrille (*Lithosia quadra* L. 1758), produisent des poils urticants qui, par contact direct cutané ou par inhalation, peuvent entraîner des réactions urticariennes ou allergiques chez l'espèce humaine avec un impact sanitaire significatif en cas de pullulation. Ces espèces peuvent, de plus, avoir des impacts sur certains végétaux (chêne, pin, etc.) et animaux (chien, chat, animaux d'élevage, etc.).

Plusieurs espèces de ces Lépidoptères semblent accroître d'année en année leur aire de répartition sur le territoire national, telle que la processionnaire du pin dont la présence était limitée historiquement au sud de la Loire et qui remonte graduellement vers le nord et en altitude à la faveur du dérèglement climatique. Le dérèglement climatique pourrait également avoir un impact sur l'évolution de l'aire de répartition et la phénologie des autres espèces de Lépidoptères à chenilles urticantes. Les chenilles émettrices de poils urticants constituent ainsi un enjeu de santé globale (en France hexagonale et ultramarine) dans les zones où elles sont déjà présentes ou dans des zones indemnes qu'elles pourraient coloniser dans un avenir proche.

1.2 Objet de la saisine

Le premier volet de la saisine, concernant l'analyse des données des Centres antipoison relatives aux expositions aux chenilles à poils urticants, a fait l'objet d'un rapport d'étude de toxicovigilance en juin 2020 (réf. D20DAVS0221).

La présente expertise qui est le second volet de la saisine, concerne l'analyse des risques sanitaires liés à l'exposition aux chenilles à poils urticants. (Cf. Annexe 1).

Dans une première partie, l'expertise portera sur :

- l'établissement d'une liste des différentes espèces de Lépidoptères recensées en France continentale et ultramarine produisant des poils urticants qui, notamment par contact direct cutané ou par inhalation, peuvent entraîner des réactions urticariennes ou allergiques chez l'espèce humaine ou l'animal, et/ou peuvent avoir un impact sur les végétaux ;
- une description de ces espèces (morphologie, biologie, écologie, répartition actuelle en France métropolitaine et dans les DROM, etc.) accompagnée d'informations sur les paramètres et les conditions favorables à leur développement en fonction des conditions pédoclimatiques, de la période de l'année, des pratiques d'agroforesterie, etc. ;
- une identification des contextes et des conditions d'exposition ;
- une description des effets et des conséquences des expositions aux chenilles urticantes sur la santé humaine et animale en précisant, le cas échéant, les facteurs de vulnérabilité ;

- une description des conséquences de la présence de ces espèces sur la biodiversité.

Dans une seconde partie, en s'appuyant sur l'analyse de l'efficacité des dispositifs de lutte contre les Lépidoptères à chenilles urticantes et de leur effet sur l'environnement recensés en France et dans d'autres pays, l'expertise visera à établir :

- une liste des critères à prendre en compte pour déterminer les options de gestion les plus adaptées selon les situations et les contextes, dans un souci de durabilité et de préservation de la biodiversité ;
- des recommandations quant à l'opportunité des traitements par des produits biocides ;
- des recommandations visant à maîtriser les expositions des différentes populations (dont les professionnels pouvant être en contact avec des chenilles).

1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

L'Anses a confié au groupe de travail « Chenilles à poils urticants », rattaché au comité d'experts spécialisé « Risques biologiques pour la santé des végétaux » l'instruction de cette saisine.

Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis régulièrement au CES « Risques biologiques pour la santé des végétaux » pour discussion (tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques), le 18/05/2021, le 06/07/2021, le 21/09/2021, le 16/11/2021, 18/01/2022, le 15/03/2022, le 10/05/2022, le 05/07/2022, le 14/09/2022, le 22/11/2022, 31/01/2023, le 28/03/2023, le 23/05/2023, le 04/07/2023 et le 26/09/2023.

Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis au CES « Substances et produits biocides » pour information et commentaires, le 20 juillet 2023 (sur la section 2.4 en particulier).

Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis au CES « Analyse socio-économique » pour information et commentaires, le 8 décembre 2022 et le 11 septembre 2023 (sur la section 3.3.3 et le chapitre 5 en particulier).

Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis au CES « Santé et bien-être des animaux » pour information et commentaires, le 12 septembre 2023, en particulier sur la partie relative à la santé animale (chapitre 4). Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences multiples et complémentaires.

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 (mai 2003) ».

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 de l'agence (<https://dpi.sante.gouv.fr/>).

2 Entomologie : identification, sélection et description des genres et des espèces de Lépidoptères à chenilles à poils urticants

2.1 Méthodologie : structuration de la recherche d'espèces de Lépidoptères d'intérêt

2.1.1 Définition du périmètre d'investigation

Le périmètre de l'expertise conduite par le groupe de travail (GT) pour rechercher et identifier les espèces de Lépidoptères d'intérêt a été défini selon deux axes.

Concernant le premier axe, le GT a tout d'abord jugé utile de définir précisément la nature des poils urticants qui sont l'objet de la présente saisine. Le terme poil est un terme générique mais d'un point de vue anatomique, les poils urticants se présentent sous trois formes appelées soies détachables, soies modifiées non détachables, et épines non détachables. La saisine étant centrée sur les chenilles produisant des soies urticantes, le GT a exclu de son champ d'investigation les systèmes de défense qui ne reposent pas sur des soies urticantes ou des épines. Le GT a ensuite considéré que l'expertise, portant sur les chenilles à poils urticants, excluait les autres stades du cycle biologique pouvant avoir un caractère urticant comme les formes adultes ou les œufs (ex : papillons femelles qui ont des soies urticantes responsables de papillonites).

Le GT a ensuite défini l'aire géographique pour rechercher les espèces d'intérêt. La saisine portant sur les espèces à chenilles à poils urticants en France métropolitaine et dans les départements et régions d'outre-mer (DROM¹), il a été convenu que la sélection de genres et d'espèces d'intérêt décrites comme ayant des poils urticants (détachables ou non) porterait sur les zones en question et les pays limitrophes à ces zones. Le GT a également décidé d'inclure Madagascar et le Mozambique car pour ces deux pays il existe des échanges commerciaux importants avec l'Ile de La Réunion et Mayotte.

2.1.2 Méthodologie de la sélection des espèces de Lépidoptères d'intérêt

Initialement, le GT a fait le constat que si une liste exhaustive des espèces de Lépidoptères dont les chenilles portant des poils urticants pouvait être réalisée pour la France métropolitaine dans le cadre de cette expertise, l'objectif n'était pas atteignable dans les DROM où le recensement et l'identification des espèces de Lépidoptères à chenilles urticantes sont lacunaires. L'approche en entonnoir prévue au début de l'expertise, pour classer les espèces identifiées en 3 catégories ((1) espèces dont l'impact sanitaire des chenilles est connu, (2) espèces pour lesquelles le caractère urticant des chenilles est à confirmer grâce à la bibliographie et (3) espèces pour lesquelles aucune information sur le caractère urticant des

¹ DROM : Guadeloupe, Guyane, Martinique, Mayotte, La Réunion

chenilles n'est disponible), à partir de l'exploitation de plusieurs bases de données (INPN², Fauna Europaea et Bold Systems), a donc été modifiée.

La démarche suivie par les experts du GT a consisté, dans une première étape, à établir les occurrences des genres de Lépidoptères d'intérêt en France métropolitaine et dans les DROM en croisant les informations de la base de données GBIF³ et celles disponibles dans la revue de synthèse de Kawamoto et Kumada (1984) qui recense les genres et les espèces connus comportant des chenilles à poils urticants. Le périmètre de l'investigation a été élargi en y intégrant les aires géographiques représentées par les pays limitrophes de la France métropolitaine et certains pays voisins des DROM (Brésil, Suriname, Madagascar, Mozambique et Tanzanie) pour prendre en compte les risques d'entrées pouvant provenir de zones limitrophes, en particulier pour les DROM pour lesquels les inventaires des espèces de Lépidoptères sont partiels. Par ailleurs, des informations complémentaires relatives aux espèces sélectionnées portant sur le caractère détachable des soies (pour documenter l'exposition humaine ou animale aux chenilles par les voies aériennes) et la disponibilité de séquences génétiques spécifiques (données de « barcoding ») ont été renseignées lorsque ces dernières étaient disponibles.

Après une répartition des différentes familles entre les experts, une liste de genres potentiels de chenilles à poils urticants de chacune des familles ciblées a été produite via une recherche dans la base de données GBIF (Cf. Tableau 1) sur la base des occurrences des genres présents en France métropolitaine ou dans des pays limitrophes (Allemagne, Belgique, Espagne, Luxembourg, Italie, Royaume-Uni et Suisse) et dans les DROM (Guadeloupe, Guyane, La Réunion, Martinique et Mayotte) ou dans des pays limitrophes (Brésil, Suriname, Madagascar, Mozambique et Tanzanie).

Les données extraites de GBIF ont été confrontées à celles de l'Inventaire national du patrimoine naturel (INPN) afin de vérifier les synonymies et éventuellement d'ajouter de potentielles occurrences manquantes.

Vu le nombre important de genres identifiés dans les différents territoires pour chaque famille d'intérêt, le passage aux espèces d'intérêt a été réalisé uniquement sur la base des genres identifiés dans la seule revue de la littérature disponible : Kawamoto et Kumada (1984) (Cf. Tableau 1). La liste des genres dans les familles a été mise à jour suite à la révision taxonomique de l'ordre des Lépidoptères par Van Nieuwerkerken et son équipe (Van Nieuwerkerken *et al.*, 2011).

Pour chaque famille d'intérêt, la liste des espèces présentes en France métropolitaine, dans les DROM ou dans les pays limitrophes précités a été ajoutée à la liste des genres potentiels via une recherche dans la base de données GBIF et sur la base des occurrences des espèces appartenant aux genres identifiés dans la revue de Kawamoto et Kumada (1984) (Cf. Tableau 1).

² Inventaire National du Patrimoine Naturel

³ Global Biodiversity Information Facility

Tableau 1 : Espèces de Lépidoptères sélectionnées sur la base des données GBIF et de la revue Kawamoto & Kumada (1984)

	Analyse de la BD GBIF	Analyse de la revue de Kawamoto & Kumada (1984)		Analyse croisée des deux BD
Famille	Genres dans la zone d'étude (France métropolitaine - DROM & pays limitrophes)	Genres cités dans la revue Kawamoto & Kumada (1984)	Espèces urticantes recensées dans les genres cités dans la revue Kawamoto & Kumada (1984)	Espèces conservées (présentes dans la zone d'étude)
Anthelidae	0	2	0	0
Erebidae	205	25	1842	455
Eupterotidae	8	1	0	9
Lasiocampidae	70	20	844	130
Limacodidae	43	23	344	28
Megalopygidae	13	6	104	29
Noctuidae	975	2	141	16
Nolidae	45	1	0	0
Notodontidae	203	6	45	20
Nymphalidae	359	5	76	15
Saturniidae	106	17	978	63
Zygaenidae	27	6	0	0

Douze familles de Lépidoptères⁴ ont ainsi été identifiées dont 4 ont été considérées comme sans intérêt du fait de l'absence de genres d'intérêt dans la zone d'étude⁵. Une recherche bibliographique sur le caractère urticant des soies des espèces d'intérêt a ensuite été menée dans la base de donnée Scopus (entre janvier et août 2023) au moyen d'une équation de mots-clés⁶. Lors de cette recherche bibliographique, une espèce urticante de la famille des Zygaenidae, récemment introduite en Italie, a été détectée sur la base de 3 publications scientifiques. Le GT a donc décidé de réintégrer cette famille dans le tableau de synthèse. Le résultat final de cette recherche bibliographique (Cf.) a permis d'identifier pour les familles:

- *Erebidae* : 8 genres comprenant 8 espèces (localisées en France métropolitaine et au Brésil) ;
- *Lasiocampidae* : 8 genres comprenant 9 espèces (localisées en France métropolitaine, Espagne et en Guyane française) ;
- *Limacodidae* : 3 genres comprenant 3 espèces (localisées en France métropolitaine, au Brésil et en Guyane française) ;
- *Megalopygidae* : 2 genres comprenant 4 espèces (localisées exclusivement en Guyane française) ;
- *Noctuidae* : 1 genre comprenant 1 espèce (localisée en France) ;
- *Notodontidae* : 1 genre comprenant 6 espèces (localisées en France métropolitaine, en Espagne et au Mozambique) ;
- *Nymphalidae* : 1 genres comprenant 4 espèces (localisées en Guyane française) ;

⁴ Anthelidae, Erebidae, Eupteridae, Lasiocampidae, Limacodidae, Megalopygidae, Noctuidae, Nolidae, Notodontidae, Nymphalidae, Saturniidae et Zygaenidae

⁵ Anthelidae, Eupteridae, Nolidae et Zygaenidae

⁶ (nom du genre OR nom d'espèce) AND (urtic* OR react* OR rash* OR dermatitis* OR ophtal* OR dendriliasis OR necros* OR dyspn* OR conjun*)

- *Saturniidae* : 4 genres comprenant plus de 19 espèces (localisées au Brésil et en Guyane française) ;
- *Zygaenidae* : 1 genre comprenant 1 espèce (localisée en Italie, où elle a été récemment introduite).

Tableau 2 : Genres et espèces de Lépidoptères sélectionnés

Familles de Lépidoptères criblées	Étape 1	Étape 2		Étape 3	
	Analyse de la BD GBIF et analyse de Kawamoto & Kumada (1984) (nb espèces conservées dans la zone d'étude)	Articles sélectionnés	Articles retenus*	Analyse de la BD GBIF + analyse de Kawamoto & Kumada (1984)	
				Nombre de genres	Nombre d'espèces
Anthelidae	0	-	-	-	-
Erebidae	455	386	7	8	8 (France, Brésil)
Eupterotidae	9	-	-	-	-
Lasiocampidae	130	91	5	8	9 (France, Espagne, Guyane française)
Limacodidae	28	43	2	3	3 (France, Brésil, Guyane française)
Megalopygidae	29	19	3	2	4 (Guyane française)
Noctuidae	16	15	0	1	1 (France)
Nolidae	0	-	-	-	-
Notodontidae	20	223	103	1	6 (France, Espagne, Mozambique)
Nymphalidae	15	13	1	1	4 (Guyane française)
Saturniidae	63	380	20	4	19 (Guyane française, Brésil)
Zygaenidae	-	3	2	1	1 (Italie)

* les articles retenus sont ceux qui ont permis de documenter le caractère urticant des chenilles des espèces de Lépidoptères et de faire le lien avec la santé humaine et la santé animale (Cf. équation des mots-clés)

2.2 Liste des espèces de Lépidoptères sélectionnées

Au total, 29 genres de Lépidoptères comprenant 55 espèces ont été sélectionnés par le GT (Cf. Annexe 2). Compte tenu du caractère partiel des inventaires de Lépidoptères dans les DROM, l'audition d'un entomologiste du Cirad spécialiste de la lépidofaune des DROM et des régions tropicales (Philippe Ryckewaert) a ensuite été organisée (le 19/10/2022) pour confronter la sélection du GT avec d'autres données qui seront incorporées dans la section 2.3.1.

2.3 Description des chenilles : écologie et phénologie des chenilles à poils urticants

Les Lépidoptères à chenilles à poils urticants sont décrits à trois niveaux taxonomiques : 1) la famille (généralités sur le nombre de genres urticants sélectionnés et sur la diversité des appareils urticants), 2) le genre (présentation des genres représentatifs des chenilles urticantes au sein de la famille sur la base d'espèces dominantes en termes de fréquence d'occurrence dans les bases de données sélectionnées et sur la base de références bibliographiques qui documentent leur impact sur la santé humaine ou sur la santé animale) et 3) le cas échéant, l'espèce (présentation des espèces représentatives). Les différents types de soies et les appareils urticants sont présentés dans une section dédiée (Cf. paragraphe 2.3.2).

Les fiches descriptives des espèces représentatives sont composées des rubriques suivantes (Cf. paragraphe 2.3.3) : i) position taxonomique, ii) présentation générale, iii) cycle biologique, iv) distribution géographique, v) plantes hôtes, vi) habitats et paysages, vii) dynamique de population, viii) période d'occurrence des stades urticants, x) méthodes de lutte (contre les chenilles et contre les papillons) et xi) références bibliographiques.

2.3.1 Familles d'intérêt

Les nombres de genres et d'espèces par famille sont extraits du travail d'actualisation de la classification de l'ordre des Lépidoptères de Van Nieukerken *et al.* (2011).

2.3.1.1 Erebidae

La famille des Erebidae (1760 genres, 24569 espèces) présente deux sous-familles d'intérêt ayant des poils urticants, les Arctiinae et les Lymantriinae.

Les Arctiinae sont caractérisées au stade chenille par des soies non détachables qui agissent après contact. Les Lymantriinae présentent des soies détachables ou non, au stade chenille et au stade adulte. Elles sont présentes dans le monde entier sur un très grand nombre d'espèces végétales, y compris sur des mousses et des lichens. Au sein des espèces d'Erebidae sélectionnées dans ce GT, figure l'espèce *Parasemia plantaginis* (L. 1758) localisée au Brésil, que Philippe Ryckewaert signale comme occupant plutôt les zones tempérées et qui devrait donc probablement se trouver au Sud du Brésil (zone tempérée) et non à proximité de la Guyane. Il signale également que la morphologie de cette espèce est très différente de celle des espèces présentes dans les zones tropicales, y compris en Guyane (Ryckewaert, 2022). Il signale enfin qu'il a été victime d'une urtication à Mayotte en manipulant une chenille qui appartiendrait à l'espèce *Euproctis rubricosta* Fawcet 1918, très polyphage. Une caractérisation de cette espèce par barcoding est prévue en raison du risque de confusion possible avec une espèce de ravageur de l'aubergine (*Selepa docilis* Butler 1881, de la famille des Nolidae), du fait de la forte ressemblance de leurs larves. Plus globalement, 161 espèces du genre *Euproctis* sont recensées dans la zone afrotropicale, dont certaines sont présentes à Madagascar.

Les genres *Arctia* (sur la base de l'espèce *Arctia caja* (L. 1758)) et *Lymantria* (sur la base de l'espèce *Lymantria dispar* (L. 1758)) ont été choisis comme genres représentatifs de la

famille des Erebidae (Cf. Annexe 3). Le genre *Euproctis* est également représentatif de la famille des Erebidae (Cf. Annexe 4)

Le genre *Arctia* compte 38 espèces avec un total de 97 594 occurrences dans GBIF (janvier 2023), dont 75 888 sont attribuées à *Arctia caja*. Les chenilles de cette espèce sont connues pour se nourrir de lichens présents sur l'écorce des arbres mais aussi au sol ou sur les bâtiments. Le contact avec l'Homme et les animaux a lieu le plus souvent pendant la dispersion des chenilles avant la nymphose. Les soies urticantes sont non-détachables et il faut un contact direct avec les chenilles pour développer des réactions. Des interrogations ont tout de même été soulevées lors du GT quant au réel impact urticant de l'espèce *Arctia caja* (Ryckewaert, 2022).

Le genre *Lymantria* compte 195 espèces avec un total de 99 973 occurrences dans GBIF (janvier 2023), dont 52 558 sont attribuées à *Lymantria dispar*. Les chenilles de cette espèce sont connues pour leur polyphagie (elles se nourrissent des feuilles ou des aiguilles de plusieurs espèces de plante-hôtes) et pour provoquer des dégâts importants qui peuvent déclencher des phénomènes de dépérissement. Le contact avec l'Homme et les animaux est possible au printemps lorsque les chenilles, quel que soit leur stade, sont présentes sur les arbres. Les soies urticantes sont non-détachables et il faut un contact direct avec les chenilles pour développer d'éventuelles réactions.

Le genre *Euproctis* compte 613 espèces avec un total de 94 462 occurrences dans GBIF (septembre 2023), dont 24 652 sont attribuées à *Euproctis chrysorrhoea*. Les chenilles de cette espèce se nourrissent de plusieurs espèces de feuillus, produisant des dégâts importants qui peuvent déclencher des phénomènes de dépérissement. La période où l'Homme et les animaux peuvent être exposés aux chenilles s'étale de l'automne au printemps. Les soies urticantes sont détachables. Les papillons femelles portent également des soies détachables avec lesquelles elles protègent les œufs lors de la ponte.

2.3.1.2 Lasiocampidae

Les chenilles de la famille des Lasiocampidae (224 genres, 1 952 espèces) portent des soies non-détachables et sont donc urticantes uniquement par contact. Les espèces sont réparties dans le monde entier. Leurs plantes hôtes appartiennent aux feuillus et aux conifères. Il est à noter que cette famille est fortement représentée en Guyane (des dizaines d'espèces y sont présentes) mais les observations des chenilles sont rares en forêt du fait d'une distribution géographique diffuse des insectes (Ryckewaert, 2022).

Le genre *Dendrolimus* (sur la base de l'espèce *Dendrolimus pini* (L. 1758)) a été choisi comme genre représentatif de la famille des Lasiocampidae (Cf. Annexe 3).

Le genre *Dendrolimus* compte 35 espèces avec un total de 20 609 occurrences dans GBIF (janvier 2023), dont 18 787 sont attribuées à *Dendrolimus pini*. Les chenilles de cette espèce sont connues pour se nourrir des aiguilles de plusieurs espèces de conifères et provoquer des dégâts importants qui peuvent déclencher des phénomènes de dépérissement. Le contact avec l'Homme et les animaux peut avoir lieu lorsque les chenilles sont présentes sur les arbres ou au sol pendant l'hiver. Les cocons sont également urticants parce que les chenilles perdent des soies lors du tissage. Les soies urticantes sont non-détachables et il faut un contact direct avec les chenilles ou les cocons pour développer des réactions.

2.3.1.3 Limacodidae

La famille des Limacodidae (301 genres, 1 672 espèces) comprend des chenilles très différentes. Elles sont urticantes du fait de la présence de structures complexes (soies non-détachables regroupées dans des structures appelées scoli), souvent colorées, qui sont des formes d'avertissement pour les prédateurs (aposématisme⁷). Les chenilles sont urticantes uniquement par contact. Les espèces de cette famille ont une large répartition mondiale, mais se retrouvent préférentiellement dans les zones tropicales d'Amérique du sud. Leurs plantes hôtes sont généralement des feuillus, mais la DEAL de Guadeloupe a récemment signalé la découverte de chenilles de Limacodidae sur palmiers chez deux pépiniéristes : l'un en Guadeloupe et l'autre à St Barthélemy. L'espèce concernée est *Acharia stimulea* (Clemens 1860) qui est connue pour sa polyphagie (Ryckewaert, 2022). Selon les services de Surveillance biologique du territoire de la DAAF de Guadeloupe, aucun autre signalement relatif à *A. stimulea* n'a été relevé en Guadeloupe en date du 10/01/2023. Par ailleurs, une chenille de la famille *Limacodidae* a été également signalée sur cacaoyer en 2022 à Mayotte, mais aucune information précise n'est disponible sur ce cas (Ryckewaert 2022).

Le genre *Parasa* (sur la base de l'espèce *Parasa lepida* (Cramer 1799)) a été choisi comme genre représentatif de la famille des Limacodidae (Cf. Annexe 3).

Le genre *Parasa* compte 68 espèces avec un total de 4 550 occurrences dans GBIF (janvier 2023), dont 190 sont attribuées à *Parasa lepida*. Les chenilles de *Parasa lepida* sont polyphages. Elles sont considérées comme des ravageurs mineurs natifs de la région indo-malaise. L'insecte a été introduit dans l'ouest du Japon et y est considéré comme un ravageur sur les arbres urbains. Le contact avec l'Homme et les animaux peut avoir lieu lorsque les chenilles, quel que soit leur stade, sont présentes sur les plantes. Les soies urticantes sont du type épine, elles sont non-détachables et il faut un contact direct avec les chenilles pour développer des réactions. Les toxines sont connues pour causer des symptômes importants chez l'Homme.

2.3.1.4 Megalopygidae

La famille des Megalopygidae (23 genres, 232 espèces) comprend des chenilles recouvertes par des structures épineuses complexes non-détachables. Les chenilles sont urticantes uniquement par contact. Les espèces de cette famille sont présentes particulièrement dans les zones tropicales d'Amérique du sud. Leurs plantes hôtes sont des feuillus.

Le genre *Megalopyge* (sur la base de l'espèce *Megalopyge opercularis* (JE Smith, 1797)) a été choisi comme genre représentatif de la famille des Megalopygidae (Cf. Annexe 3).

Le genre *Megalopyge* compte 47 espèces avec un total de 10 608 occurrences dans GBIF (janvier 2023), dont 5 226 sont attribuées à *Megalopyge opercularis*. Les chenilles de cette espèce ne sont présentes qu'en Amérique et elles sont connues pour leur polyphagie. Le contact avec l'Homme et les animaux peut avoir lieu lorsque les chenilles, quel que soit leur stade, sont présentes sur les plantes. Les soies urticantes sont du type épine et sont non-détachables. Il faut un contact direct avec les chenilles pour développer les réactions. Les toxines sont connues pour causer des symptômes importants chez l'Homme.

⁷ stratégie adaptative permettant à certains organismes d'émettre un signal pour avertir les prédateurs d'un danger et donc éviter la prédation

2.3.1.5 Noctuidae

La famille des Noctuidae (1 089 genres, 11 772 espèces) est caractérisée par quelques espèces à chenilles urticantes, présentes dans les régions tempérées de l'hémisphère nord. Leurs plantes hôtes appartiennent aux feuillus. Les soies sont non détachables, et les chenilles sont donc urticantes uniquement par contact.

Le genre *Acrionicta* (sur la base de l'espèce *Acrionicta aceris* L. 1758)) a été choisi comme genre représentatif de la famille des Noctuidae (Cf. Annexe 3).

Le genre *Acrionicta* compte 172 espèces avec un total de 392 981 occurrences dans GBIF (janvier 2023), dont 22 976 sont attribuées à *Acrionicta aceris*. Les chenilles de cette espèce sont connues pour leur polyphagie. Le contact, avec l'Homme et les animaux, peut avoir lieu lorsque les chenilles, quel que soit leur stade, sont présentes sur les plantes. Les soies urticantes sont du type épine et sont non-détachables. Il faut un contact direct avec les chenilles pour développer des réactions. Les symptômes chez l'Homme sont modérés.

2.3.1.6 Notodontidae

La famille des Notodontidae (704 genres, 3 800 espèces) est caractérisée par un nombre important (>100) d'espèces urticantes qui appartiennent toutes à la sous-famille des Thaumetopoeinae. Toutes les espèces de Thaumetopoeinae présentent des soies urticantes détachables au stade chenille et/ou au stade adulte (quelques espèces ne présentent des soies urticantes qu'au stade adulte). Il s'agit d'espèces à chenilles grégaires (processionnaires) qui sont présentes dans le monde entier à l'exception du continent américain. Leurs plantes hôtes sont des feuillus et des conifères.

Le genre *Thaumetopoea* (sur la base de l'espèce de *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller, 1775) et de l'espèce *T. processionea* (L.)) a été choisi comme genre représentatif de la famille des Notodontidae (Cf. Annexe 4).

Le genre *Thaumetopoea* compte 20 espèces avec un total de 110 927 occurrences dans GBIF (janvier 2023), dont 87 649 sont attribuées à *Thaumetopoea pityocampa* et 21 267 à *T. processionea*. Les chenilles de ces deux espèces sont connues pour leur oligophagie (sur feuillus et conifères selon les espèces du genre *Thaumetopoea*). Le contact avec l'Homme et les animaux peut avoir lieu lorsque les chenilles sont présentes sur les plantes mais également au cours d'autres phases du cycle biologique de *T. pityocampa* car les soies aéroportées restent dans l'environnement (air, nids même désertés par les chenilles, sites d'enfouissement au moment de la nymphose). Les soies sont connues pour causer des symptômes importants chez l'Homme et les animaux.

2.3.1.7 Nymphalidae

La famille des Nymphalidae (559 genres, 6 152 espèces) est caractérisée par un nombre limité d'espèces urticantes qui toutes possèdent des soies modifiées ou des épines au stade chenille. Il s'agit d'espèces dont la distribution géographique couvre le monde entier. Certaines ont des chenilles grégaires. Leurs hôtes sont des arbres feuillus et des herbacées.

Les genres *Aglaïs* (à partir de la description de l'espèce *Aglaïs io* (L. 1758)) et *Morpho* (à partir de la description de 4 espèces : *Morpho anaxibia* (Esper 1777), *M. cypris* (Westwood 1851), *M. menelaus* (L. 1758) et *M. rhetenor* (Cramer 1775)) ont été choisis comme genres représentatifs de la famille des Nymphalidae (Cf. Annexe 3).

Le genre *Aglais* compte 9 espèces et plus de 2,5 millions d'occurrences dans GBIF (janvier 2023), dont environ 1,5 millions sont attribuées à *Aglais io*. Les chenilles de cette espèce sont connues pour se nourrir de feuilles de plusieurs espèces de plante-hôtes. Le contact avec l'Homme et les animaux peut avoir lieu lorsque les chenilles, quel que soit leur stade, sont présentes sur les plantes. Les soies urticantes sont de type épine et sont non-détachables. Il faut un contact direct avec les chenilles pour développer les réactions. Les symptômes chez l'Homme sont modérés. Selon Philippe Ryckewaert, les chenilles d'*Aglais io* ne sont pas connues pour être urticantes mais comme elles se développent sur des orties, il pense que ce serait plutôt les orties qui seraient la cause des réactions allergiques décrites (Ryckewaert, 2022). Les membres du GT indiquent que des cas de réactions cutanées ont été rapportés dans le cas particulier d'élevage de ces insectes (Mullen et Durden, 2009).

Le genre *Morpho* compte 88 espèces et 23 993 occurrences dans GBIF (dont 2 804 pour les 4 espèces sélectionnées ; janvier 2023). Les chenilles sont présentes en Amérique et connues pour être polyphages. Le contact avec l'Homme et les animaux, a lieu lorsque les chenilles, quel que soit leur stade, sont présentes sur les plantes. Les soies urticantes sont de type épine et sont non-détachables. Il faut un contact direct avec les chenilles pour développer des réactions. Les symptômes chez l'Homme sont modérés. Parmi les espèces de *Morpho* répertoriées, Philippe Ryckewaert indique que les espèces de *M. anaxibia* et *M. cypris* ne sont pas présentes en Guyane. La première est présente dans le Sud du Brésil (dans la forêt côté façade atlantique qui n'est pas connectée à la forêt amazonienne) et la seconde est située dans la région centro-américaine (dans l'Ouest de la Colombie) (Ryckewaert 2022).

2.3.1.8 Saturniidae

Les membres de la famille des Saturniidae (169 genres, 2349 espèces) possèdent des soies détachables ou non, au stade chenille et au stade adulte. Certaines chenilles sont aussi recouvertes par des structures épineuses complexes non-détachables. Les chenilles sont urticantes soit par exposition aux soies détachables, soit par contact direct. Les espèces de cette famille sont présentes particulièrement dans les zones tropicales d'Amérique du sud. Leurs plantes hôtes sont des feuillus.

Les genres *Hylesia* (à partir de la description de l'espèce *Hylesia metabus* Cramer 1755) et *Lonomia* (à partir de la description de l'espèce *Lonomia obliqua* Walker 1855) ont été choisis comme genres représentatifs de la famille des Saturniidae (Cf. Annexe 3).

Le genre *Hylesia* compte 47 espèces avec un total de 10 608 occurrences dans GBIF (janvier 2023), dont 308 sont attribuées à *Hylesia metabus*. Les chenilles de cette espèce sont uniquement présentes en Amérique. Elles sont connues pour être polyphages et se développent sur des plantes comme les palétuviers blancs (*Avicennia germinans*), le mombin fou (*Tapirira guianensis*) ou encore le goyavier (*Psidium guajava*). Le contact avec l'Homme et les animaux peut avoir lieu lorsque les chenilles, quel que soit leur stade, sont présentes sur les plantes. Les soies urticantes sont du type épine et sont non-détachables. Il faut un contact direct avec les chenilles pour développer des réactions. Par ailleurs, les papillons femelles des *Hylesia* portent des soies détachables et sont connus en Amérique tropicale pour causer des réactions importantes chez l'Homme (papillonite).

Le genre *Lonomia* compte 93 espèces avec un total de 1 573 occurrences dans GBIF (janvier 2023), dont 58 sont attribuées à *Lonomia obliqua*. Les chenilles de cette espèce ne

sont présentes qu'en Amérique du Sud : elles sont connues pour être extrêmement polyphages, s'attaquant aussi bien à des feuillus qu'à des conifères. Les chenilles du genre *Lonomia* vivent sur différents arbres tels que le cèdre, le figuier, l'ipé et l'avocat. Elles vivent également sur divers arbres fruitiers comme le poirier, le pêcher et le prunier, ainsi que sur le bananier. Le contact, avec l'Homme et les animaux peut avoir lieu lorsque les chenilles, quel que soit leur stade, sont présentes sur les plantes, surtout lorsqu'elles sont groupées sur l'écorce pendant le jour. Les soies urticantes sont de type épine et sont non-détachables. Il faut un contact direct avec les chenilles pour développer des réactions. Les toxines présentes dans le creux des soies sont connues pour causer des symptômes importants, parfois mortels, chez l'Homme.

2.3.1.9 Zygaenidae

Les membres de la famille des Zygaenidae (170 genres, 1 036 espèces) possèdent des soies non détachables au stade chenille. Les chenilles sont urticantes uniquement par contact. Leur répartition géographique couvre le monde entier, en particulier les régions chaudes. La gamme d'hôtes est large mais exclut les conifères.

Le genre *Artona* (sur la base de l'espèce de *Artona martini* Efetov 1995) a été choisi comme genre représentatif de la famille des Zygaenidae (Cf. Annexe 3).

Le genre *Artona* compte 52 espèces et 366 occurrences dans GBIF (janvier 2023), dont 246 sont attribuées à *Artona martini*. Les chenilles de cette espèce sont présentes en Chine, au Japon et en Nouvelle-Zélande, et l'espèce a été récemment introduite en Italie. Ses chenilles sont polyphages et inféodées aux plantes de la famille des Poaceae. Le contact avec l'Homme et les animaux peut avoir lieu lorsque les chenilles, quel que soit leur stade, sont présentes sur les plantes. Les soies urticantes sont de type épine et sont non-détachables. Il faut un contact direct avec les chenilles pour développer des réactions. Les symptômes chez l'Homme sont modérés.

2.3.2 Description de l'appareil urticant

Les chenilles des Lépidoptères peuvent présenter des structures urticantes de nature complexe, que l'on peut classer en trois catégories principales : les vraies soies (*i.e.*, soies détachables), les soies modifiées, et les épines (Cf. Figure 1).

Les vraies soies, détachables, sont caractérisées par la perte de la connexion neuronale et le détachement de l'extrémité proximale du tégument (Figure 1b). La base de chaque soie est insérée dans le tégument via une structure appelée bulbe (Kawamoto et Kumada, 1984, Novak et Lamy, 1987, Novak *et al.*, 1987, Battisti *et al.*, 2011), et son détachement peut facilement être activé par n'importe quel type de stimulation mécanique. Les soies sont courtes (généralement 100–500 µm de long, 3–7 µm de diamètre) et présentent des barbes le long de la tige. Elles se localisent au niveau de parties spécifiques du corps de l'insecte appelées « miroirs » ou « champs de soies ». La densité des soies peut être très élevée, par exemple 60 000 soies/mm² pour la processionnaire du pin (Lamy *et al.*, 1982a, Battisti *et al.*, 2011). Les chenilles de premiers stades sont dépourvues de soies urticantes, alors que l'appareil cellulaire qui les produit est présent (Lamy, 1990). Chez les *Thaumetopoea* (processionnaires), les soies commencent à se développer au troisième stade larvaire et leur quantité augmente au fur et à mesure des mues successives, tandis que chez les *Euproctis*

les soies sont présentes à partir du deuxième stade larvaire. L'exuvie larvaire laissée après la mue peut porter les soies qui n'ont pas été dispersées au cours du stade larvaire précédent. De même, les exuvies laissées à l'intérieur du cocon, lors de la nymphose, sont recouvertes de nombreuses soies. Certaines espèces d'*Euproctis* peuvent rassembler ces soies à l'émergence des cocons et les utiliser pour protéger les œufs, seules ou en combinaison avec d'autres soies produites à cet effet (Kemper 1955). Certains papillons femelles du genre *Hylesia* ou *Anaphe* produisent les mêmes types de soies sur la partie terminale de leur abdomen (Lamy *et al.*, 1982b, Lamy et Lemaire, 1983, Lamy *et al.*, 1984, Rodriguez *et al.*, 2004). Les chenilles nouvellement écloses, même si elles ne sont pas en capacité de produire des soies, peuvent être urticantes du fait de la présence de soies d'origine maternelle sur les pontes (Pesce et Delgado, 1971).

Les soies modifiées ont une base émoussée et sont connectées au tégument (Figure 1c) ; la connexion neuronale est perdue et la soie est associée à une cellule avec une fonction de sécrétion (Kawamoto et Kumada, 1984, Battisti *et al.*, 2011). Les soies modifiées varient en taille mais sont généralement plus longues que les vraies soies (jusqu'à 1 mm), ont une extrémité distale très pointue, et ont des barbes de diverses tailles le long de la tige ou à sa base. Les soies modifiées sont regroupées à une densité beaucoup plus faible que les vraies soies et elles sont présentes sur différentes parties du corps. La soie modifiée pénètre dans la peau avec son extrémité distale tandis que la vraie soie pénètre avec son extrémité basale. Les soies modifiées se retrouvent chez un grand nombre d'espèces et de nombreux types ont été décrits par Kawamoto et Kumada (1984) et Battisti *et al.* (2011). Certaines chenilles peuvent utiliser ces soies lors de la nymphose et les incorporer dans le cocon comme protection (Balit *et al.*, 2004).

Les épines ont une structure plus complexe et impliquent un grand nombre de cellules spécialisées possédant également une fonction sensorielle (Figure 1d). Les épines sont raides, remplies d'une sécrétion et répondent aux stimulations ; le sommet peut se casser par contact et induire l'injection de la toxine contenue à la base de l'épine (Specht *et al.*, 2008). La taille des épines peut varier considérablement mais leur diamètre est généralement supérieur à celui des vraies soies et des soies modifiées. Les épines sont souvent regroupées autour d'une excroissance de tégument appelé scoli et sont présentes chez un certain nombre de famille, en particulier les Megalopygidae, les Limacodidae et les Saturniidae (Battisti *et al.*, 2011). Le nombre et la taille des scoli qui hébergent les épines augmentent avec le stade larvaire (e.g. *Lonomia obliqua* ; Specht *et al.*, 2008). Les épines peuvent se présenter seules ou en combinaison avec des soies modifiées (par exemple chez les Limacodidae), mais pas avec de vraies soies. La présence d'épines chez les chenilles est communément associée à des traits aposématifs, tels qu'une coloration vive, une forme inhabituelle ou une posture d'alerte (Specht *et al.*, 2008).

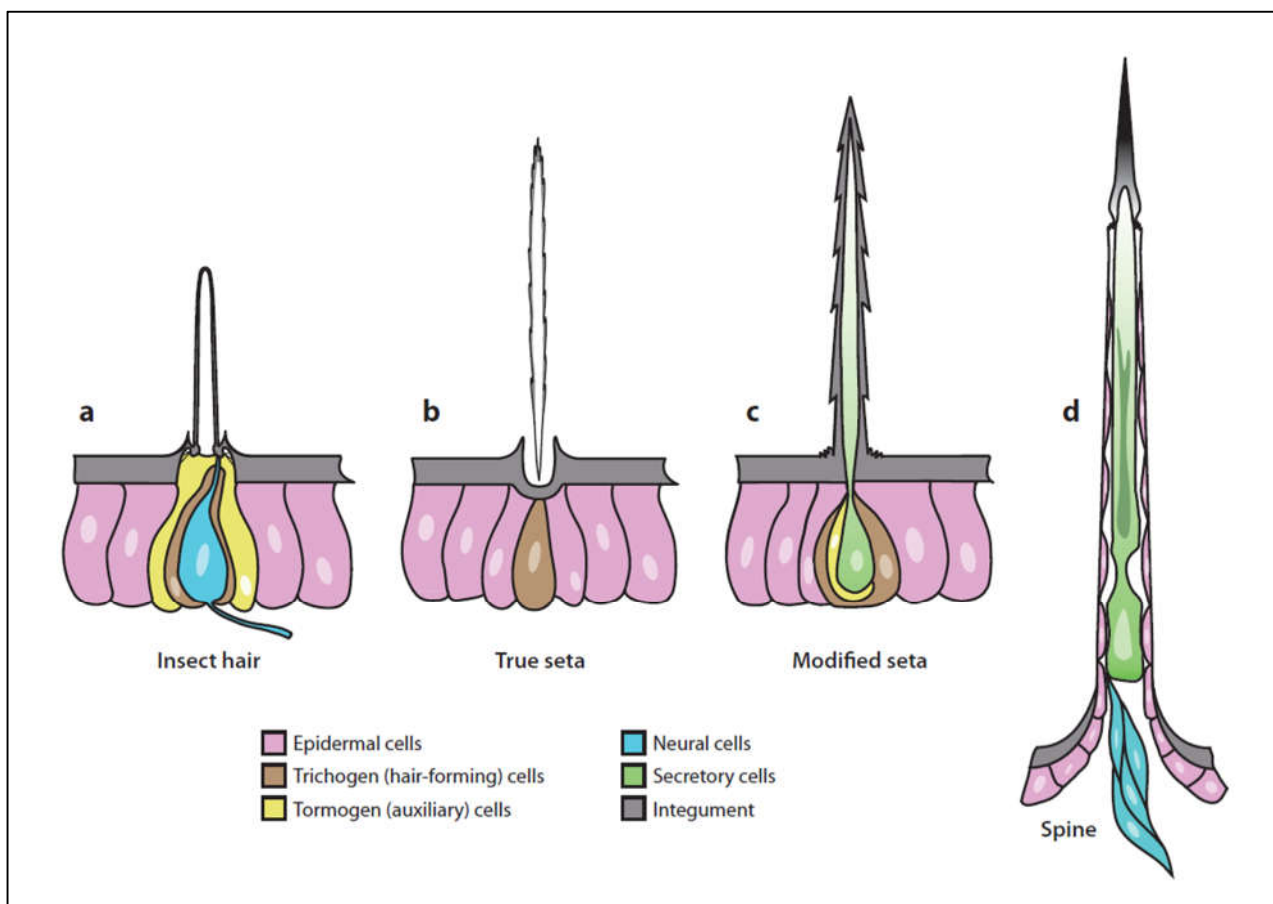


Figure 1 : Schéma représentatif : (a) poil d'insecte, (b) vraie soie, (c) soie modifiée non détachable et (d) épine. (source : Battisti et al., 2011)

2.3.3 Espèces représentatives

Les cinq espèces présentées ci-dessous sont jugées représentatives des espèces présentes sur le territoire métropolitain. Ces cinq espèces sont absentes dans les DROM (voir les sections ci-dessous). Ces espèces ont des chenilles à soies urticantes (pour la processionnaire du pin, la processionnaire du chêne, le bombyx cul-brun et le bombyx cul-doré) ou des soies modifiées non détachables (pour la Lithosie quadrille).

2.3.3.1 *Thaumetopoea pityocampa* (Cf. Annexe 4)

La processionnaire du pin est un lépidoptère associé aux pins et certains autres conifères (Roques, 2015). On la rencontre dans tous les milieux où des hôtes sont présents (forêts, bosquets, haies, paysages agricoles, parcs urbains, alignements, arbres isolés...). Elle est présente dans une grande partie de la France métropolitaine et la partie ouest du bassin méditerranéen (Kerdelhué et al., 2009). Les larves sont grégaires et tissent en hiver des nids soyeux et blancs caractéristiques (Cf. Figure 2) où elles se regroupent pendant la journée et d'où elles sortent la nuit pour se nourrir. Leur nom vient de leur comportement typique de déplacement en file indienne, notamment lorsqu'elles sont à la recherche d'un site de nymphose à la fin du développement larvaire (Battisti et al., 2015).

Position taxonomique

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Famille : Notodontidae

Sous-famille : Thaumetopoeinae

Genre : *Thaumetopoea* Hübner 1920

Espèce : *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller 1775)



Figure 2 : Nid d'hiver caractéristique de la chenille processionnaire du pin (source : J.-C. Martin)

Biologie de l'insecte

Le cycle biologique et ses variations en fonction du climat sont schématisés sur la Figure 3. D'une manière générale, les adultes émergent au cours de l'été selon les conditions environnementales, l'émergence des papillons étant plus précoce dans la limite nord de l'aire de distribution, à haute altitude et sur la façade atlantique qu'en région méditerranéenne (Battisti *et al.*, 2015 ; Robinet *et al.*, 2015). Les papillons ne vivent que 1 à 2 jours, le temps de trouver un partenaire et de s'accoupler. Chaque femelle pond près de 200 œufs regroupés le long de deux aiguilles de pin sous la forme d'un manchon, et plus rarement autour d'un rameau de leur arbre hôte. Les jeunes chenilles de premier stade éclosent environ un mois plus tard. Les chenilles issues d'une même ponte restent grégaires, et les chenilles issues de pontes différentes sur le même arbre peuvent, au cours de leur développement, se regrouper pour ne former qu'un seul nid. Le développement larvaire se déroule en automne et en hiver et compte 5 stades (Cf. Figure 4) qui se développent directement, sans interruption. A la fin du 5ème stade, les chenilles quittent le nid en procession (*i.e.*, en file indienne, voir Figure 5), descendent de l'arbre et recherchent un site favorable à la nymphose dans le sol. Une étude récente en forêts plantées a montré que les chenilles parcourent en moyenne 16 m entre leur arbre d'origine et leur site de nymphose (Uemura *et al.*, 2020). Elles s'enterrent alors, passent par un stade pré-pupal avant la nymphose proprement dite. Une diapause obligatoire a lieu au stade de chrysalide, jusqu'à émergence des adultes l'été suivant. Certains individus peuvent entrer en diapause prolongée et n'émerger qu'une ou plusieurs années après (Battisti *et al.*, 2015).

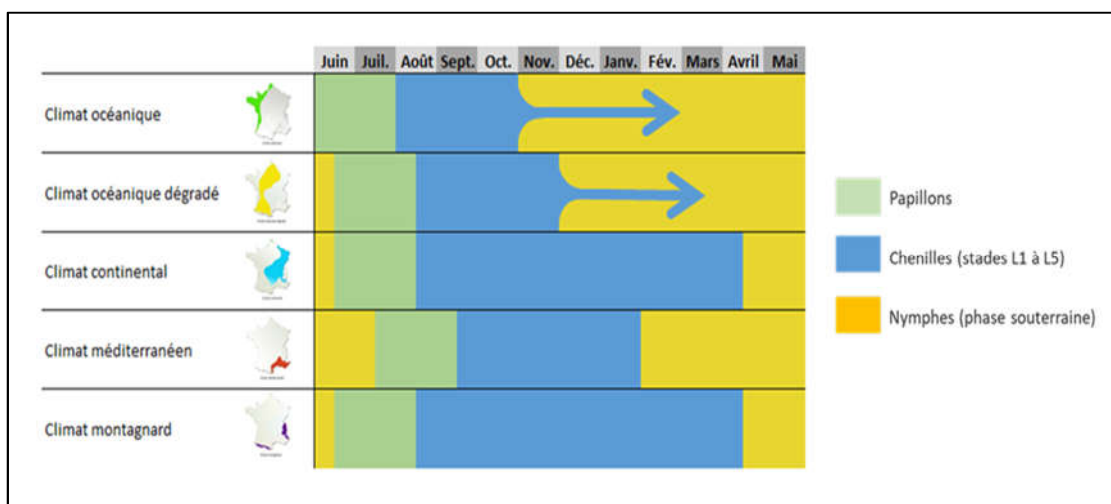


Figure 3 : Cycle biologique de la processionnaire du pin sous différents climats (en climat océanique ou océanique dégradé le stade chenilles peut s'étendre jusqu'à début mars).

Période d'occurrence des stades urticants :

Les stades urticants (stades larvaires L3 à L5 ; Cf. Figure 4) sont essentiellement présents en hiver, mais peuvent dans certaines régions apparaître en automne. Le risque principal de contact correspond à la période des processions (Cf. Figure 5), qui s'étend selon les régions de janvier à mai, même si des processions précoces sont parfois observées en décembre, voire avant. De plus, l'habitat (nids vides, sol...) peut rester contaminé par les soies urticantes pendant plusieurs mois, voire plusieurs années.



Figure 4 : Les 5 stades larvaires de la chenille processionnaire du pin (la chenille au stade L5 mesure environ 4 cm de longueur ; source : G. Demolin)



Figure 5 : Chenilles en procession en train de se regrouper pour s'enterrer dans le site de nymphose
(source : J.-C. Martin)

Distribution géographique de l'espèce

Distribution mondiale :

T. pityocampa est présente dans l'Ouest du bassin méditerranéen, du Portugal à l'Ouest de la Turquie sur la rive nord, et du Maroc à la Libye sur la rive sud. Une espèce sœur *T. wilkinsoni* (Tams) est présente en Turquie, à Chypre et au Moyen-Orient (Kerdelhué *et al.* 2009). Enfin une nouvelle espèce vient d'être décrite en Crète, où les populations de processionnaires sont désormais attribuées à *T. cretensis* İpekdağ and Avtziş (Basso *et al.*, 2023).

Distribution en France métropolitaine :

En France, *T. pityocampa* est présente sur une grande partie du territoire (Cf. [Figure 6](#)), où la température minimale moyenne de janvier reste supérieure à -4°C (Huchon, et Demolin, 1971). Son aire de distribution va des rives de la Méditerranée jusqu'à la Bretagne, le bassin parisien, la Champagne et la Bourgogne. Elle est absente au cœur du Massif Central et à haute altitude dans les Alpes (Roques *et al.*, 2015). Son aire de distribution est en expansion vers le nord et en altitude depuis plusieurs décennies, du fait du réchauffement climatique (Battisti *et al.*, 2005 ; Robinet *et al.*, 2014) (Cf. [Figure 7](#)). Depuis 2000, le front de colonisation progresse d'environ 5,6 km par an (Robinet *et al.*, 2012).

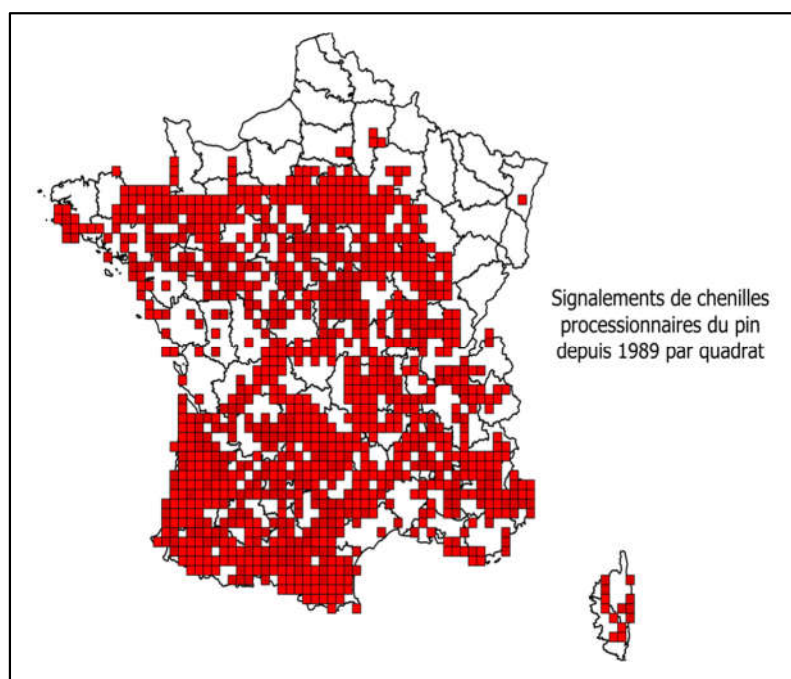


Figure 6 : Signalements de la chenille processionnaire du pin en France métropolitaine de 1989 à 2021 (source : DSF, 2022)

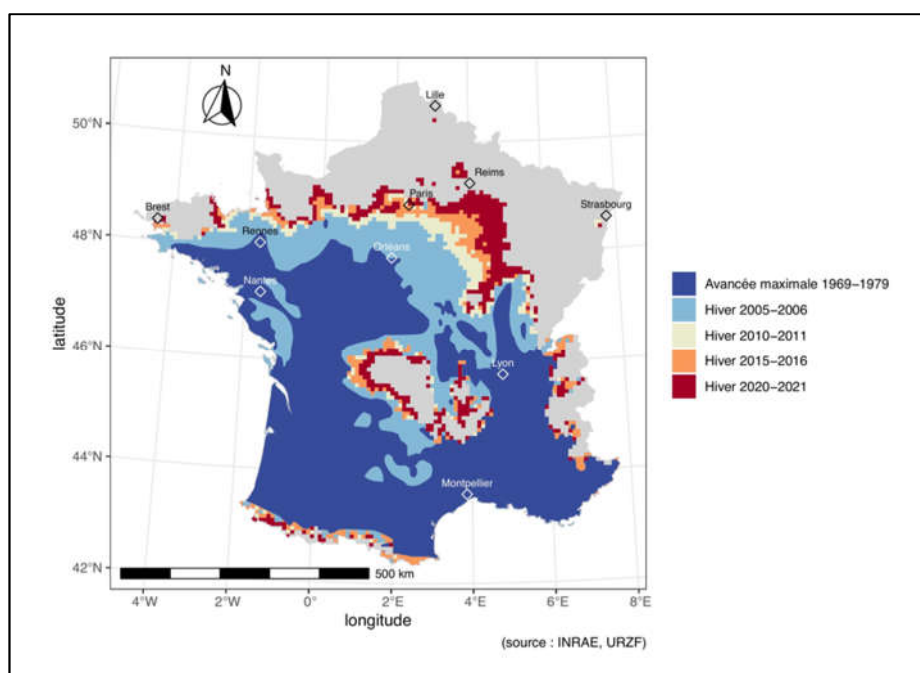


Figure 7 : Carte de distribution de la processionnaire du pin en France métropolitaine, montrant sa progression vers le nord et en altitude depuis la fin des années 1980, ainsi qu'un certain nombre de populations isolées installées au-delà du front (source : Lannou *et al.*, 2023).

Distribution dans les DROM :

L'espèce est absente dans les DROM.

Facteurs favorables au développement de la chenille

Plantes hôtes :

T. pityocampa se développe sur la plupart des espèces de pins (*Pinus* spp.), qu'ils soient naturellement présents en France ou plantés. On la trouve également sur différentes espèces de cèdre (*Cedrus* spp.), en particulier dans les parcs et jardins, et sur le sapin de Douglas *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Les taux d'attaque et les densités de nids sont variables selon les plantes hôtes ; le pin noir (*Pinus nigra*) est en général l'espèce la plus attaquée (Robinson, 1999, Battisti et al., 2015, Rossi et al., 2016b). Les espèces végétales sur lesquelles le développement n'est pas complet appartiennent aux genres *Abies* spp., *Larix* spp., *Picea* spp. (CABI online, EPPO online, Robinson, 1999, Battisti et al., 2015). Des espèces végétales appartenant aux genres *Crataegus* spp., *Quercus* spp. sont citées dans la littérature en tant que plantes hôtes mais leur statut n'est pas vérifié (CABI online, EPPO online, Robinson, 1999, Battisti et al., 2015).

Habitats et paysage :

La processionnaire du pin se développe sur ses hôtes dans des environnements variés, aussi bien en milieu forestier que sur des arbres isolés ou en haie (Rossi et al., 2016a). Elle est présente en plaine comme en montagne, ainsi que dans des environnements urbanisés (parkings, ronds-points, bords de route...) (Rossi et al., 2016b).

Dynamique de population :

La littérature rapporte souvent des périodes de proliférations de *T. pityocampa*, bien que la durée de ces périodes puisse être variable. Il s'agit de successions d'années avec de fortes infestations qui peuvent causer des dégâts importants, suivies d'une diminution des densités de populations pendant plusieurs années avant une nouvelle pullulation. Cela a été observé sur le pin en France entre 1959 et 1982 (Géri et al., 1985), dans les Alpes italiennes entre 1950 et 2011 (Tamburini et al., 2013), et en Algérie (Zamoum et al., 2007).

L'analyse de la variation de densité de population sur des séries temporelles longues (> 30 ans) dans des sites qui n'ont été traités avec aucun pesticide, suggère l'existence d'un cycle approximatif de 6 ans lorsqu'un modèle de Ricker retardé est appliqué (Cf. Figure 8 ; Robinet, 2006).

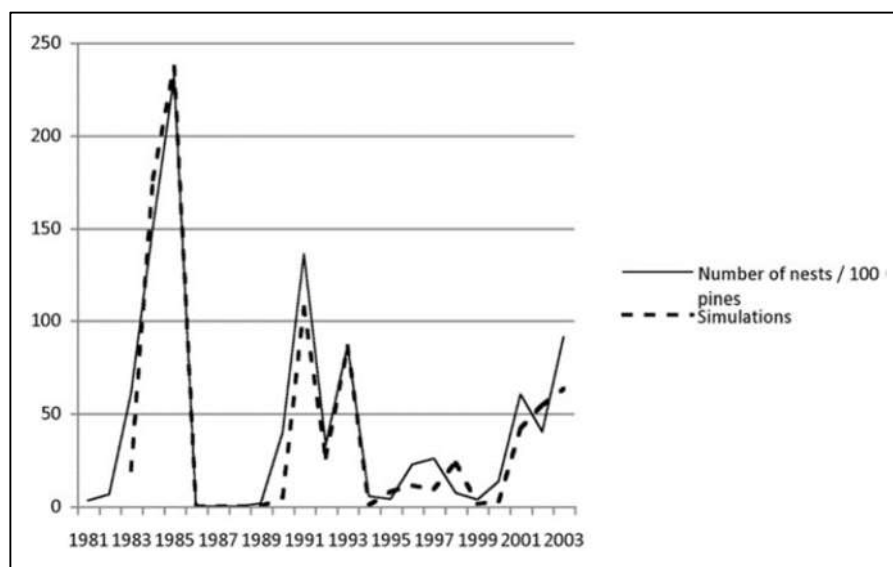


Figure 8 : Démographie observée (trait épais) dans les pinèdes de deux secteurs du centre-nord de la France (Loiret ; Cher), et des prédictions (ligne pointillée) issues d'un modèle de Ricker (basé sur des données de températures, modifié de Robinet, 2006).

D'autres données collectées en France suggèrent la même tendance. Dans la grande majorité des régions françaises où l'insecte est présent, des proliférations surviennent régulièrement avec des défoliations maximales tous les 7 à 11 ans en moyenne (Cf. Figure 8 et Figure 9 ; Li *et al.* 2015). Ces valeurs sont proches de celles mesurées par Géri *et al.* (1985) et Robinet (2006), variant entre 6 et 10 ans.

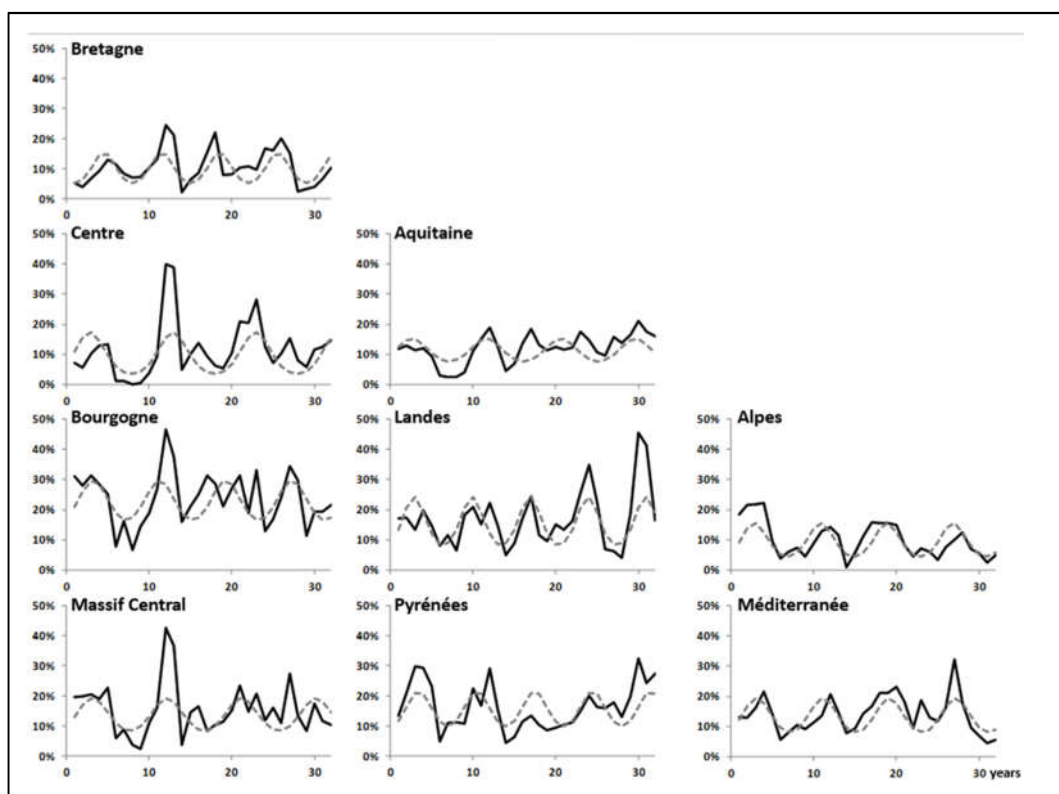


Figure 9 : Evolution démographique temporelle observée (lignes noires) et prédite (lignes pointillées grises) des infestations de processionnaire du pin dans 9 régions en France.

L'axe des abscisses représente le temps (0=1981, 30=2010) et l'axe des ordonnées représente le pourcentage moyen d'arbres infestés par unité de surface de 0,25 ha et par an (modifié de Li *et al.*, 2015).

Les méthodes de lutte contre *T. pityocampa* (processionnaire du pin) et la susceptibilité des arbres aux attaques de la processionnaire du pin diminuant avec l'âge des peuplements (donc l'impact sur la croissance des arbres est variable) (Li *et al.*, 2015) étant d'importants facteurs confondants (variables qui influencent à la fois la variable mesurée et les variables explicatives : l'existence de facteurs confondants limite l'interprétation de la corrélation éventuellement mise en évidence), il est difficile de tirer des conclusions. Les facteurs potentiels impliqués dans la dynamique des populations de *T. pityocampa* ont rarement été étudiés à l'aide de données de long terme. Tamburini *et al.* (2013) ont montré qu'une rétroaction dépendante de la densité des populations, avec un décalage d'un an, jouait un rôle majeur dans la dynamique des populations de processionnaire du pin dans les Alpes italiennes. Les mécanismes potentiels expliquant cette rétroaction incluent la détérioration de la qualité de l'hôte, une augmentation de la mortalité des insectes causée par des agents pathogènes et une augmentation de la diapause prolongée comme un mécanisme adaptatif pour échapper aux conditions défavorables. Toïgo *et al.* (2017) ont montré que la dynamique des populations de la processionnaire du pin est dépendante de leur densité ainsi que de l'augmentation des précipitations ou de la température, dans certaines régions de France. Peu d'informations sont disponibles sur la dépendance à la densité de la réponse des ennemis naturels, qui peut éventuellement affecter la périodicité des proliférations. L'ensemble de ces éléments rend la dynamique des populations de la processionnaire du pin difficile à prédire à l'échelle globale, alors qu'une périodicité semble bien exister à l'échelle locale.

Capacités de dispersion :

La dispersion active par le vol est assez limitée, la distance moyenne effectuée par un papillon femelle dans des conditions de laboratoire (manèges de vol) étant de 1,7 km/jour (Robinet *et al.*, 2012). A l'échelle de la France métropolitaine, de nouvelles populations peuvent apparaître au-delà du front (Cf. Figure 7), et il a été montré que certaines ont été fondées par des individus transportés passivement avec du matériel végétal, notamment lors de plantation de pins de grande taille le long d'infrastructures routières ou dans des parcs urbains (Robinet *et al.* 2012). L'hypothèse est que les individus sont déplacés alors qu'ils se trouvent sous forme de chrysalide dans la terre des arbres, et ne sont donc pas détectés lors des contrôles phytosanitaires.

Ennemis naturels :

De nombreuses espèces sont connues pour être parasites ou prédatrices de la processionnaire du pin à différents stades (Martin, 2015, Auger-Rozenberg *et al.*, 2015). Il existe un cortège de parasitoïdes capables de pondre dans les œufs, notamment les Hyménoptères *Baryscapus servadeii* (Domenichini, 1965), chalcidien spécialiste du genre *Thaumetopoea*, et les espèces généralistes *Ooencyrtus pityocampae* (Mercet, 1921) et *Trichogramma* spp. D'autres parasitoïdes s'attaquent aux chenilles ou aux chrysalides comme les Diptères de la famille des Tachinidae (Auger-Rozenberg *et al.*, 2015, Simonato *et al.*, 2019). Les œufs, les larves et les chrysalides peuvent également faire l'objet de prédation par des espèces d'insectes (éphippigères, fourmis) ou d'oiseaux (coucou, huppe fasciée, mésanges). Les adultes peuvent quant à eux être mangés par des oiseaux et des chauves-souris.

Des micro-organismes pathogènes sont également décrits comme ennemis de la processionnaire du pin tel que *Bacillus thuringiensis* kurstaki (Btk). Différentes maladies virales sont connues, et un virus de la famille des Cypovirus a même été utilisé en essai de lutte biologique dans les années 1950 (Grisson *et al.*, 1959). Des virus associés à la processionnaire du pin ont récemment été identifiés à partir de leur séquence génomique, mais leur éventuelle pathogénicité est inconnue (Dorkeld *et al.*, 2023). Les chrysalides peuvent être victimes de champignons du genre *Beauveria* dans le sol.

2.3.3.2 *Thaumetopoea processionea* (Cf. Annexe 4)

La processionnaire du chêne, *T. processionea* (L. 1758), est un Lépidoptère défoliateur, spécifiquement associé aux chênes. Cette espèce est présente en Europe de l'ouest, et plus fréquente dans le nord de cette région, dont le nord et l'est de la France. Les chenilles sont grégaires, vivent en colonies et se déplacent la nuit en procession sur leur arbre hôte pour aller se nourrir (Cf. Figure 10). Les chenilles sont responsables de problèmes phytosanitaires importants puisqu'elles s'alimentent du feuillage et des inflorescences de leur hôte au printemps, pouvant entraîner des réductions de croissance des arbres infestés. Du fait des soies urticantes qu'elles développent à partir du 3^{ème} stade larvaire (très urticant), elles sont également susceptibles de provoquer des urtications et des réactions allergiques chez l'Homme et les animaux.

Position taxonomique

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Famille : Notodontidae

Sous-famille : Thaumetopoeinae

Genre : *Thaumetopoea*

Espèce : *Thaumetopoea processionea* (L. 1758)



Figure 10 : Procession de chenilles processionnaires du chêne (source : A.-S. Brinquin).

Biologie de l'insecte

La processionnaire du chêne réalise une génération par an. Les œufs éclosent vers mi-avril, au moment du débourrement de leurs arbres hôtes (Cf. Figure 11). Les chenilles de premier stade s'agglutinent sur les bourgeons turgescents dans l'attente de s'alimenter des premières feuilles. Elles sont particulièrement résistantes au froid et sont capables de jeûner sur de longues périodes dans l'attente du débourrement des bourgeons (Meurisse *et al.*, 2012). Chaque ponte génère une colonie larvaire, début mai. Ensuite, les colonies forment un nid sur le tronc. Les chenilles se développent jusqu'en juillet en passant par 6 stades larvaires successifs, et se nourrissent dans la nuit du feuillage de leur arbre hôte. Elles deviennent urticantes à partir du 3^{ème} stade larvaire lorsque des poches contenant de microscopiques soies pourvues d'aiguillons urticants apparaissent sur leur dos. Ces soies sont véhiculées par le vent (jusqu'à 1 à 2 km selon le modèle de Fenk *et al.*, 2017) et sont susceptibles de causer de graves problèmes sanitaires. Au fur et à mesure du développement de l'insecte, les colonies du même arbre fusionnent formant de larges plaques de nymphose sur les troncs et branches charpentières, d'où émergeront environ 1 mois plus tard les papillons. Ceux-ci sont nocturnes et ne vivent que 2 jours maximum, le temps de se reproduire. Les femelles pondent sur de fins rameaux des plaques d'œufs (= ooplaques) pouvant compter une centaine d'œufs, généralement dans la partie supérieure des houppiers. Cet insecte passe l'hiver sous cette forme, et les œufs de cette nouvelle génération n'éclosent qu'à partir du printemps suivant.

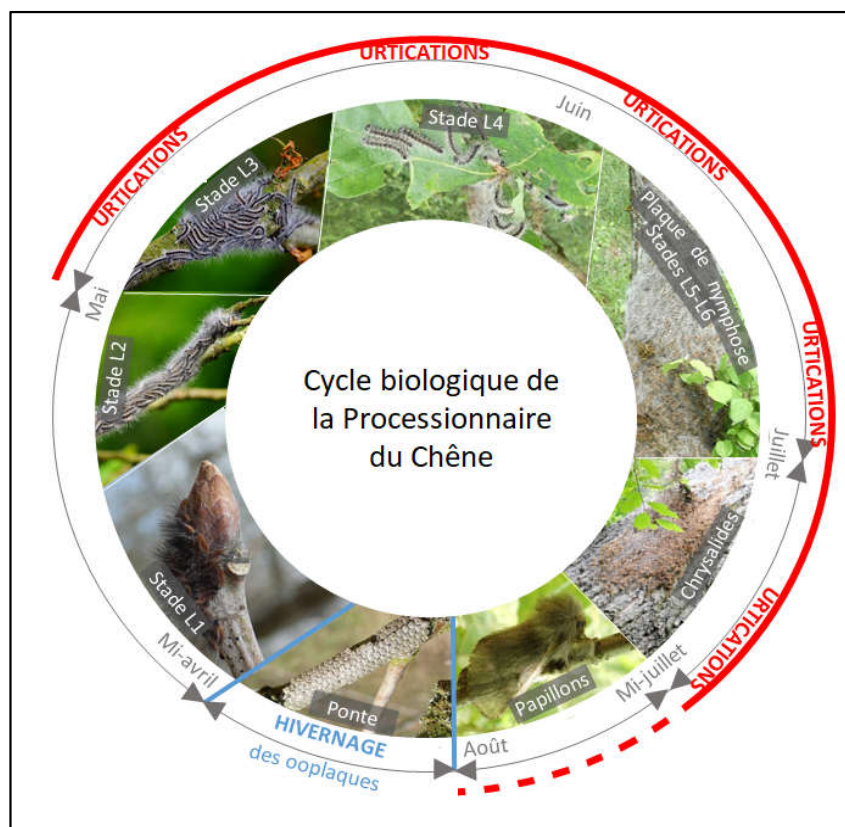


Figure 11 : Cycle biologique de la processionnaire du chêne avec les périodes de risque d'urtication (source : A.-S. Brinquin)

Période d'occurrence des stades urticants :

La période d'occurrence des stades urticants débute lorsque les chenilles atteignent leur 3^{ème} stade larvaire, à partir du mois de mai et jusqu'en juillet (Cf. Figure 11). Cette période s'étale jusqu'à ce que les papillons émergent des plaques de nymphose au cours de l'été, voire au-delà puisque ces dernières restent fortement chargées en exuvies et soies urticantes, et toujours attachées sur les troncs et branches charpentières des arbres infestés. Le risque sanitaire est donc important sur une période pouvant durer plusieurs mois voire plusieurs années, puisque les plaques de nymphose se dégradent lentement.

Distribution géographique de l'espèce

Distribution mondiale :

T. processionea est présente essentiellement en Europe centrale, de l'ouest et du sud, principalement aux Pays-Bas, en Allemagne, en Belgique et en France (Groenen *et al.*, 2012, Godefroid *et al.*, 2020) (Cf. Figure 12).

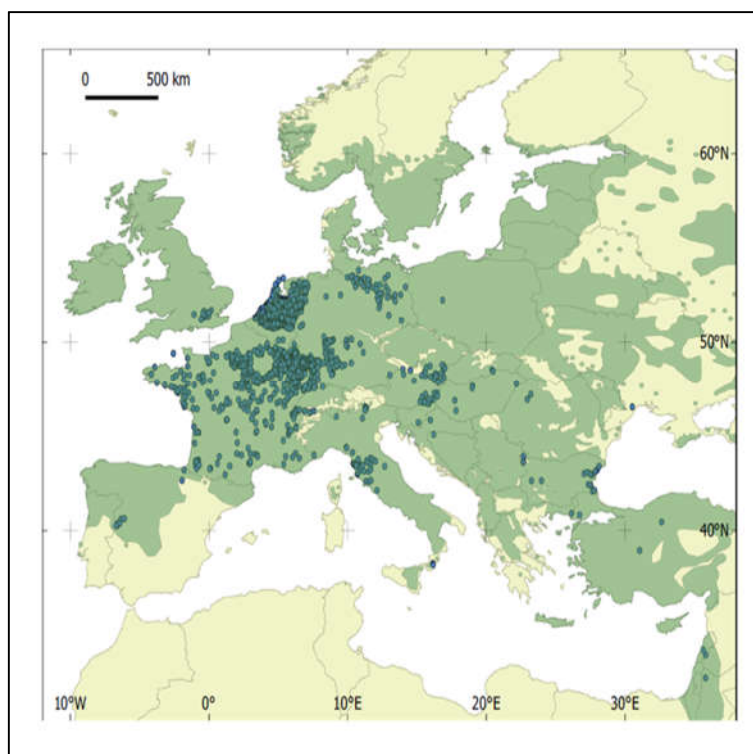


Figure 12 : Carte des occurrences de la processionnaire du chêne trouvées dans la littérature (la zone verte correspond à la zone de présence des plantes hôtes et les points correspondent aux occurrences de la processionnaire du chêne) (source : Godefroid *et al.*, 2020).

Distribution en France métropolitaine :

La processionnaire du chêne est présente dans plusieurs régions de France métropolitaine (Cf. Figure 13), et notamment la région Grand-Est (Groenen *et al.*, 2012).

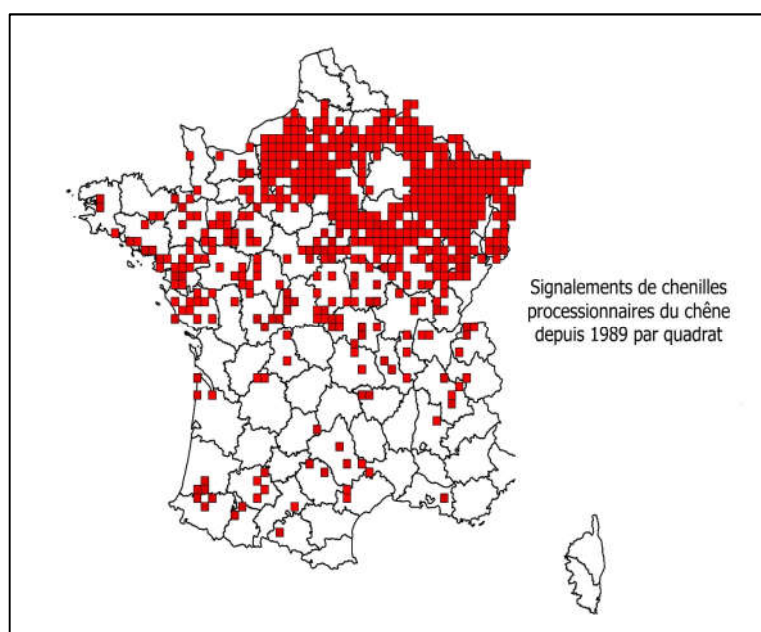


Figure 13 : Signalements de la chenille processionnaire du chêne en France métropolitaine de 1989 à 2021 (source : DSF, 2022).

Distribution dans les DROM :

L'espèce est absente dans les DROM.

Facteurs favorables au développement de la chenille**Plantes hôtes :**

La processionnaire du chêne se développe complètement sur la plupart des chênes à feuilles caduques, et en particulier le chêne sessile (*Quercus petraea*) et le chêne pédonculé (*Quercus robur*) (Robinson, 1999 ; Battisti *et al.*, 2015 ; Damestoy *et al.*, 2020).

Certaines espèces appartenant au genre *Fagus* sont connues comme plantes hôtes sur lesquelles le développement n'est pas complet (CABI online ; EPPO online ; Robinson, 1999 ; EFSA, 2009 ; Battisti *et al.*, 2015). Des espèces végétales appartenant aux genres *Acacia*, *Betula*, *Carpinus*, *Castanea*, *Corylus*, *Crataegus*, *Juglans*, *Pistacia*, *Pinus*, *Robinia*, *Sorbus*, sont citées dans la littérature en tant que plantes hôtes, mais leur statut n'est pas vérifié (CABI online ; EPPO online ; Robinson, 1999 ; EFSA, 2009 ; Battisti *et al.*, 2015).

Dynamique de population :

Généralement, la dynamique de population de *T. processionea* est cyclique (des phases de pullulations importantes pouvant durer de 1 à 3 années successives, suivies par des phases de forte régression), soit à cause de gels printaniers tardifs détruisant les jeunes feuilles de chêne, soit sous l'effet des cortèges de prédateurs, parasites et maladies agissant sur chacun des stades de développement de l'insecte (Klapwijk *et al.*, 2013 ; Csoka *et al.* 2018). Dans ce second cas, un équilibre écologique s'établit, ce qui permet de maintenir les populations du ravageur à des niveaux peu dommageables durant de nombreuses années.

Habitat et paysage :

T. processionea se développe préférentiellement dans des paysages ouverts tels que les lisières de peuplement et les clairières en milieu forestier, ou encore les arbres isolés en milieu urbain.

Capacités de dispersion :

La majorité des femelles pondent à proximité de leur lieu d'émergence. Cependant, une étude récente montre que la vitesse de dissémination des femelles varierait entre 1,66 et 6,17 km par an (Suprunenko *et al.*, 2021).

Ennemis naturels :

Un cortège d'ennemis naturels influe sur la régulation des populations de la processionnaire du chêne, notamment au cours des pullulations, en agissant sur chacun des stades de développement de l'insecte. Ce cortège est constitué notamment de prédateurs généralistes comme certains oiseaux (mésanges, fauvettes...), des chauve-souris et des Coléoptères comme *Calosoma sycophanta* (L. 1758) et *Calosoma inquisitor* (L. 1758) (Battisti *et al.*, 2015). Ce cortège compte également des parasitoïdes plus ou moins spécifiques tels que des Tachinidae (*Carcelia iliaca* (Ratzeburg 1840)) et des Hyménoptères (*Anastatus bifasciatus* (Geoffroy in Fourcroy, 1785), *Pimpla processioneae* (Ratzeburg 1849) et *Pimpla rufipes* (Miller 1759)) (Sands *et al.*, 2015 ; Zwakhals, 2005 ; Mirchev *et al.*, 2003 ; Stratan, 1971).

Enfin, la processionnaire du chêne peut être affectée par des pathogènes tels que des bactéries, des virus ou des champignons (Hoch *et al.*, 2008 ; Vago & Vasiljevic, 1955).

2.3.3.3 *Euproctis chrysorrhoea* (Cf. Annexe 4)

Euproctis chrysorrhoea (L. 1758), appelé le bombyx cul-brun, est un défoliateur bien connu des forêts de feuillus en Europe, dont il est natif, et en Amérique du Nord, où il a été accidentellement introduit. En France, dans la période 1986-1988, des attaques ont été observées dans la Haute-Vienne, la Creuse, la Charente et la Charente-Maritime avec des impacts des soies de papillons sur la santé humaine (Bois-Janicot, 1987 cité in Werno et Lamy, 1994). Les larves sont dotées de soies urticantes à partir du deuxième stade (Cf. Figure 14), et elles peuvent causer des réactions allergiques chez les humains et les animaux domestiques.

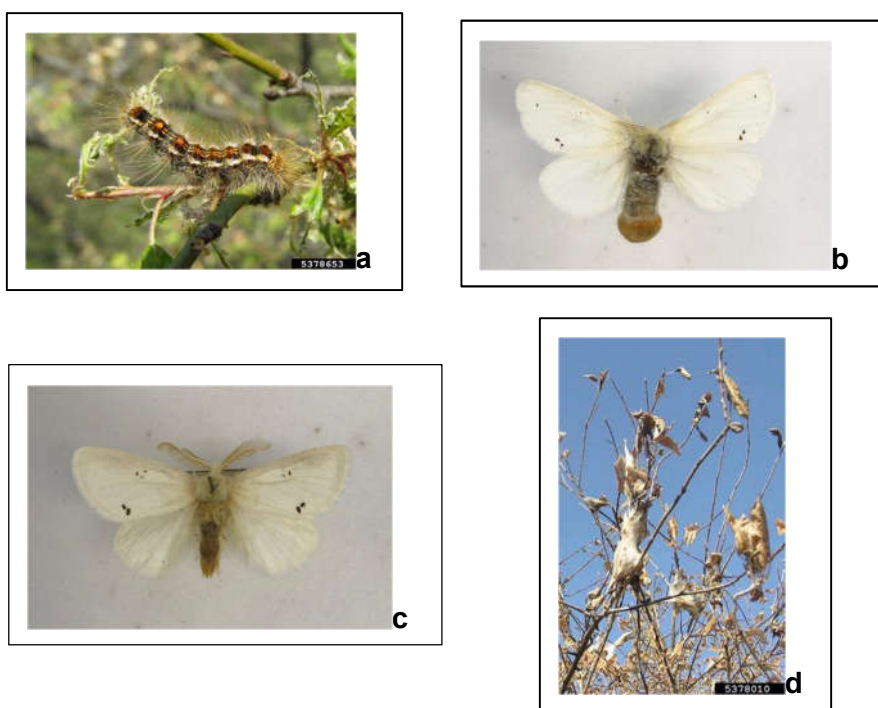


Figure 14 : *Euproctis chrysorrhoea* : a. chenille ; b. papillon femelle ; c. papillon mâle ; d. nids sur une plante hôte (source : Milan Zubrik, Forest Research Institute - Slovakia, Bugwood.org)

Position taxonomique

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Famille : Erebidae

Genre : *Euproctis* Hübner 1919

Espèce : *Euproctis chrysorrhoea* (L. 1758)

Biologie de l'insecte

Cette espèce réalise une seule génération par an et passe l'hiver au troisième stade larvaire à l'intérieur de nids allongés soyeux tissés entre les feuilles à l'apex des branches des plantes attaquées la saison précédente. En avril, les chenilles reprennent leur activité et défolient voracement les plantes jusqu'à fin juin ; elles se dispersent alors sur le feuillage et se nymphosent dans un cocon sur les rameaux ou sur les feuilles. Les adultes volent entre fin juin et juillet. Les femelles pondent de 150 à 200 œufs et les recouvrent d'une couche de poils abdominaux brun-jaune. Ces pontes sont similaires à celles de *L. dispar*, mais plus étroites et allongées, et généralement situées sur la face inférieure des feuilles. Au printemps, les chenilles se nourrissent individuellement par décapage de la face supérieure des feuilles. Les larves deviennent grégaires, d'août à fin septembre, lorsqu'elles tissent un nid hivernal plus volumineux pouvant accueillir des individus de pontes différentes.

Période d'occurrence des stades urticants :

Il existe des stades urticants en permanence. Les stades urticants correspondent selon la saison (i) aux adultes et aux pontes situées sur la face inférieure des feuilles en été, (ii) aux chenilles de l'été au printemps suivant dans les nids soyeux sur les arbres et les buissons, et (iii) aux chenilles en nymphose et aux cocons présents sur la végétation et le sol (au printemps, d'avril à mai).

Distribution géographique de l'espèce

Distribution mondiale :

E. chrysorrhoea est présente dans les zones tempérées d'Europe, surtout dans la partie occidentale. Elle est par ailleurs exotique envahissante dans le nord-est des États-Unis (Boyd *et al.*, 2021).

Distribution en France métropolitaine :

En France, *E. chrysorrhoea* est présente sur l'ensemble du territoire (Cf. Figure 15).

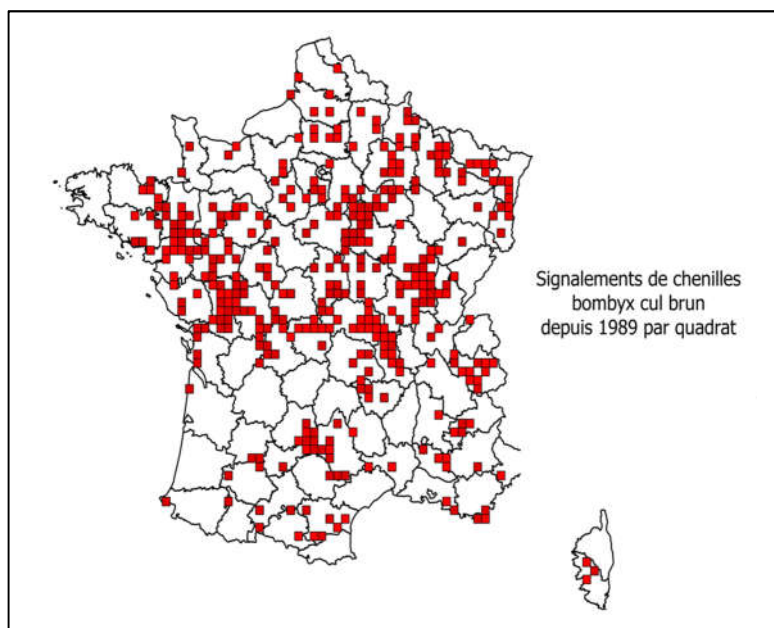


Figure 15 : Signalements du bombyx cul-brun en France métropolitaine de 1989 à 2021 (source : DSF, 2022)

Distribution dans les DROM :

L'espèce est absente dans les DROM.

Facteurs favorables au développement de la chenille

Plantes hôtes :

Euproctis chrysorrhoea est polyphage sur les arbustes et les arbres feuillus forestiers, fruitiers ou plantes ornementales, principalement dans les lisières forestières, les haies et les arbres isolés. Les espèces végétales dont le statut de plantes hôtes est confirmé dans la littérature appartiennent aux genres *Arbutus*, *Prunus* et *Quercus* (Robinson, 1999). En phase de latence des populations (années à faibles densités de populations), les nids sont facilement repérables sur les rosacées arbustives spontanées, en particulier les aubépines (*Crataegus* spp.), le prunellier (*Prunus spinosa* L.), le cerisier à grappes (*Prunus padus*) ; en région méditerranéenne, l'espèce se trouve de préférence sur les arbousiers (*Arbutus unedo* L.), les myrtes (*Myrtus* spp.) et les phillaires (*Phillyrea augustifolia* L.). Lors des infestations importantes, l'insecte s'attaque à la quasi-totalité des feuillus, en particulier les chênes (surtout le chêne pubescent (*Quercus pubescens* Willd.) et le chêne vert (*Quercus ilex* L.)), les hêtres et les charmes. D'autres espèces végétales sont citées dans la littérature en tant que plantes hôtes mais leur statut n'est pas vérifié (CABI online, EPPO online, EFSA 2009, Battisti *et al.*, 2015). Elles appartiennent aux genres suivants : *Acacia*, *Betula*, *Carpinus*, *Castanea*, *Corylus*, *Crataegus*, *Juglans*, *Pistacia*, *Pinus*, *Robinia*, *Sorbus*.

Habitats et paysage :

En Europe du sud, les conditions climatiques chaudes et sèches sont favorables à la survie de l'espèce. *E. chrysorrhoea* s'attaque principalement aux maquis et à la garrigue méditerranéens (les facteurs climatiques ayant davantage d'influence que la nature du sol).

En Europe du nord, les pullulations partent souvent de petits foyers d'infestation permanents présents sur des plantes isolées ou des haies, notamment l'aubépine, l'arbousier ou le chêne.

Dynamique de population :

Les pullulations durent généralement de 2 à 4 ans, alternant avec de longues périodes de faibles densités. Pendant les pullulations, les dégâts occasionnés en période printanière sont plus importants que ceux de l'automne, avec des défoliations totales pouvant affecter des milliers d'hectares.

Ennemis naturels :

Aucune information n'est disponible sur les ennemis naturels de cette espèce.

2.3.3.4 Euproctis similis (Cf. Annexe 4)

Euproctis similis (Füssli, 1775), appelé bombyx cul-doré, possède une aire de distribution plus vaste qu'*E. chrysorrhoea*, dont il est très proche par sa biologie et son écologie. Le cycle de développement des deux espèces est similaire, mais les chenilles d'*E. similis* ne sont pas grégaires.

Position taxonomique

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Famille : Erebidae

Genre : *Euproctis*

Espèce : *Euproctis similis* (Fuessly, 1775)

Biologie de l'insecte

Cette espèce non grégaire réalise une seule génération par an et passe l'hiver au troisième stade larvaire sur les arbres sous forme de chenille individuelle. En avril, les chenilles reprennent leur activité et défolient voracement les plantes jusqu'à fin juin ; enfin elles se nymphosent dans un cocon sur les rameaux ou sur les feuilles. Les adultes (Cf. Figure 16) volent entre fin juin et juillet ; les femelles pondent de 150 à 200 œufs qu'elles recouvrent d'une couche de poils abdominaux jaune-orange.



Figure 16 : Photographies des adultes femelle (à gauche ; http://www.pyrgus.de/bilder_en.php) et mâle (à droite ; https://www.gbif.org/occurrence/gallery?taxon_key=1821911).

Période d'occurrence des stades urticants :

Aucune donnée n'est disponible.

Distribution géographique de l'espèce**Distribution mondiale**

On la trouve dans les zones tempérées d'Europe et d'Asie, ainsi que dans quelques régions subtropicales.

Distribution en France métropolitaine

En France, *E. similis* est présente sur l'ensemble du territoire.

Distribution dans les DROM

L'espèce n'est pas signalée dans les DROM, mais elle est cependant présente à Madagascar, et il pourrait y avoir un risque d'introduction à La Réunion et à Mayotte.

Facteurs favorables au développement de la chenille**Plantes hôtes**

Euproctis similis est polyphage sur les arbustes et les arbres feuillus forestiers, fruitiers ou ornementaux. Les espèces végétales dont le statut de plantes hôtes est vérifié dans la littérature appartiennent à la famille des Betulaceae, des Fagaceae, des Ranunculaceae et des Rosaceae (Robinson *et al.*, 2023). On observe généralement les larves sur les rosacées arbustives spontanées, en particulier les aubépines (*Crataegus* spp.), le prunellier (*Prunus spinosa* L.) ou le cerisier à grappes (*Prunus padus*).

Dynamique de population

Aucune donnée relative aux dynamiques de population n'est disponible.

Habitats et paysage

On la trouve principalement dans les lisières forestières ou les haies mais aussi occasionnellement sur des arbres isolés. En Europe, l'espèce est répandue un peu partout mais assez rare. En Allemagne elle est considérée comme étant à risque de disparition par la modification du paysage.

Ennemis naturels

Aucune information n'est disponible sur les ennemis naturels de cette espèce.

2.3.3.5 *Lithosia quadra* (Cf. Annexe 4)

La Lithosie quadrille, *Lithosia quadra* L., 1758, est une espèce polyphage de la famille des Erebidæ. Cette espèce présente un dimorphisme sexuel important, et se nourrit principalement de lichens et d'algues poussant sur des arbres (notamment les chênes) ou des surfaces inertes (p.ex. roches, murs, etc.). Elle peut devenir nuisible dans certains cas (notamment lors de faible disponibilité de sa nourriture primaire) lorsqu'elle migre dans les habitations et est en contact avec les humains et les animaux domestiques. Les chenilles sont dotées de soies modifiées (non détachables) d'environ 1 mm de longueur et caractérisées par une ampoule basale remplie d'une substance urticante qui peuvent causer des réactions lorsqu'elles sont en contact direct (Faucheux, 2007).

Position taxonomique

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Famille : Erebidæ

Genre : *Lithosia* Fabricius 1798

Espèce : *Lithosia quadra* L. 1758

Biologie de l'insecte

L'espèce réalise généralement une génération par an, mais deux générations sont fréquemment observées dans le sud de son aire de répartition. L'adulte est nocturne (avec un vol nocturne et crépusculaire) et est actif de juin à octobre. La femelle pond des œufs en grand nombre (plusieurs centaines si l'on se base sur d'autres espèces de la famille des Erebidæ de taille similaire) par groupes de 20 à 50 sur les troncs ou les toits couverts de lichens. Le développement embryonnaire dure environ deux semaines. La chenille mesure jusqu'à 40 mm et est couverte de soies de différents types, dont certaines sont urticantes (les poils longs sont non urticants et les poils courts sont urticants : les seconds sont d'un seul type (soies non-détachables) ; description par Faucheux (2007)).

Elle hiverne au stade chenille dans des encroûtements de lichens ou sous les écorces. La nymphose se déroule en mai-juin. Les adultes semblent avoir une certaine activité migratrice, par exemple de fortes densités d'adultes ont pu être observées dans le Jura sans que des larves de cette espèce ne puissent être détectées (Luquet, 2015).

Lorsque l'espèce devient très abondante, une pénurie de nourriture peut pousser les larves à se nourrir sur des feuilles et des aiguilles d'arbres, et l'espèce peut alors devenir nuisible.

L'espèce présente un dimorphisme sexuel important. Les mâles sont de taille plus réduite que les femelles, avec une envergure variant de 35 à 43 mm chez les premiers, et de 35 à 62 mm chez les secondes. Par ailleurs, les mâles ont des ailes antérieures d'un jaune gris assez foncé et jaune d'or à la base (Cf. Figure 17d), tandis que les femelles ont les ailes antérieures jaunes avec deux points noirs sur chacune (Cf. Figure 17c). Les pattes des adultes sont noires et les antennes sont filiformes. Les chenilles sont gris ardoise, avec de fines lignes longitudinales, une tache noire transversale sur le dos en avant, une au centre et une en arrière. Sous le dos, il y a des rangées longitudinales de petites excroissances jaune rougeâtre (Cf. Figure 17a et b). La pupa est trapue, noire avec un éclat de porcelaine.

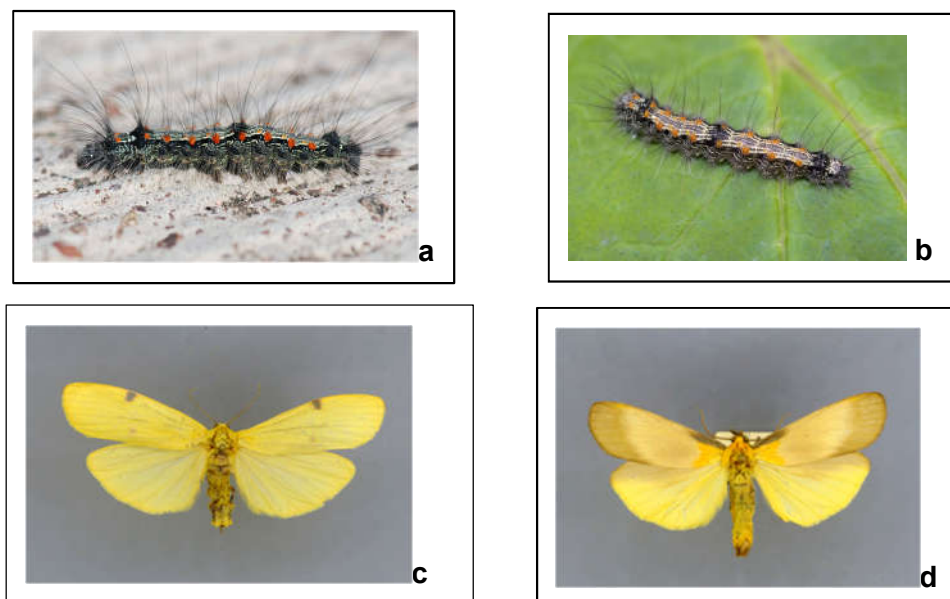


Figure 17 : *Lithosia quadra* : a. chenille ; b. chenille ; c. papillon femelle ; d. papillon mâle
(sources : Forum Natura Mediterraneo (photo a de chenille), E. Gil Alcubilla (photo b de chenille)
et P. Paolucci (photos de papillon))

Distribution géographique de l'espèce

Distribution mondiale

On trouve *L. quadra* dans le sud et le centre de l'Europe, ainsi qu'en Asie jusqu'en Chine et au Japon, mais avec des sous-espèces différentes (Dubatolov *et al.*, 2016). Elle est aussi présente dans le sud du Royaume-Uni, dans le sud de la Scandinavie, ainsi que dans certaines régions méditerranéennes (sud de la Grèce, Sicile, Malte, etc.).

Distribution en France métropolitaine

En France, *L. quadra* est présente sur l'ensemble du territoire métropolitain, Corse comprise (Cf. Figure 18).

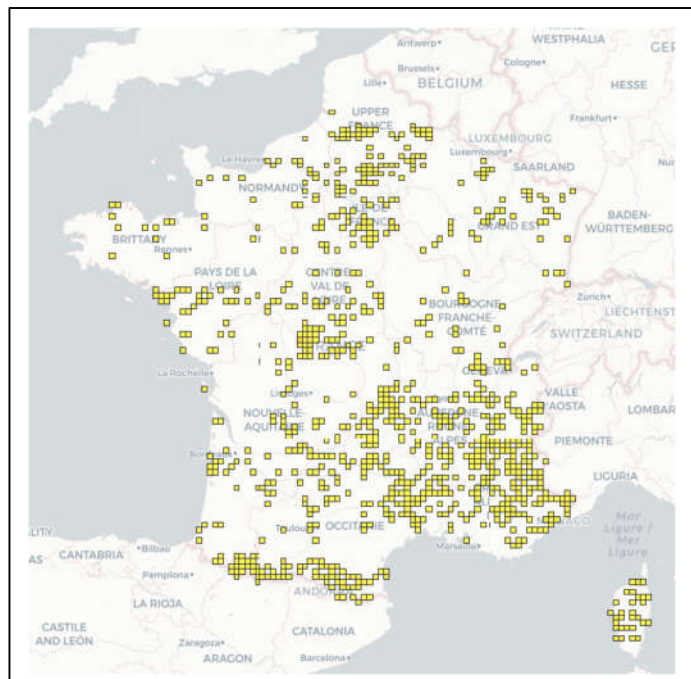


Figure 18 : Signalements de la *Lithosie quadrille* en France métropolitaine 1970 à 2020 (source : INPN)

Distribution dans les DROM

L'espèce n'est pas présente dans les DROM, ni dans des régions limitrophes aux DROM.

Facteurs favorables au développement de la chenille

Plantes hôtes

La chenille se nourrit de lichens (notamment de l'espèce *Xanthoria parietina* (L.) Beltr) et d'algues poussant sur les arbres (en particulier les chênes), les murs et les pierres.

Dynamique de population

Aucune donnée relative aux dynamiques de population n'est disponible.

Habitats et paysage

La lithosie quadrille est ubiquiste, elle fréquente tous les types de milieux (jusqu'à 1300 m d'altitude) et il n'est pas rare de la croiser en ville. Elle recherche cependant principalement des endroits humides et boisés présentant de vieux arbres recouverts de lichens. Si les conditions sont favorables elle peut devenir extrêmement abondante.

Ennemis naturels

Aucune information n'est disponible.

2.4 Lutte contre les chenilles à soies urticantes

Des méthodes de lutte préventive et curative vis-à-vis des chenilles processionnaires ont été répertoriées dans le rapport Anses (mars 2013, saisine n° 2012-SA-0149) relatif aux

méthodes de lutte alternatives à l'épandage aérien de produits phytosanitaires contre les processionnaires du pin et du chêne en conditions urbaines⁸. Ces méthodes ont été évaluées au vu de l'état actuel des connaissances quant à leur utilisation sur chenilles processionnaires du pin et du chêne, et leur niveau d'efficacité connu dans les tableaux 5 à 8. Les processionnaires du pin et du chêne étant les espèces les plus connues et pour lesquelles les méthodes de lutte ont été le plus étudiées, ont servi de référence pour dresser la liste des méthodes de lutte disponibles.

Dans le cadre de la présente saisine, la liste des méthodes de lutte préventive et curative a été mise à jour et complétée pour l'ensemble des chenilles à soies urticantes sélectionnées par le GT (Cf. section 2.3) et le GT a dressé un bilan des méthodes de lutte disponibles en 2022, 10 ans après l'expertise précédente (Cf. section 2.4.3).

2.4.1 Méthodes de lutte préventives

2.4.1.1 Lutte sylvicole ou lutte par diversification des essences plantées

La manière dont sont gérées les forêts peut avoir un impact important sur le développement des populations d'insectes ravageurs et leurs dégâts (Jactel *et al.*, 2008). Une analyse des relations entre pratiques sylvicoles et risques d'infestation peut donc être mise à profit pour prévenir ces dégâts.

Dans le cas de la chenille processionnaire du pin (CPP), le rapport Anses (mars 2013) présentait des recommandations sur l'itinéraire sylvicole, depuis le choix du matériel végétal, le choix des conditions stationnelles, les méthodes de plantation, jusqu'à l'entretien du sous-bois et des abords, et les éclaircies.

En 2023, l'optimisation sylvicole (gestion forestière pour réduire la susceptibilité des peuplements aux attaques par un mélange d'espèces d'arbres) n'est pas appliquée à grande échelle, même si la lutte par diversification des essences plantées a été validée au niveau expérimental (Damien *et al.*, 2016 ; Damestoy *et al.*, 2020). De plus, certaines de ces recommandations (densité du sous-bois, diminution des éclaircies, ...) ne sont plus toujours applicables du fait d'autres contraintes liées à des enjeux de productivité et/ou au changement climatique (accroissement du risque d'incendie et expansion de l'aire de distribution de la CPP qui augmente la susceptibilité des forêts). En revanche, en zone urbaine, cette approche est adoptée par un nombre important de communes (près de 15%). Le GT a jugé cette méthode assez efficace et opérationnelle (Cf. Tableau 3).

Dans le cas de la chenille processionnaire du chêne (CPC), le rapport de 2013 indiquait qu'il n'y avait pas de lien entre les méthodes de gestion des forêts de chêne et leur sensibilité à l'insecte ravageur. Le GT a jugé que l'efficacité de la lutte sylvicole n'a pas été démontrée dans ce cas (Cf. Tableau 5).

⁸ <https://www.anses.fr/fr/system/files/SVEG2012sa0149Ra.pdf>

2.4.1.2 Lutte par la gestion et conservation de la biodiversité

Le mélange de pins et d'essences feuillues, ou leur juxtaposition en bordure de peuplements de pin, permet la mise en œuvre de nombreuses interactions biotiques défavorables à la processionnaire du pin, en particulier dans les systèmes de monoculture (Castagneyrol *et al.*, 2014 ; Castagneyrol *et al.*, 2020 ; Charbonnier *et al.*, 2014 ; Damien *et al.*, 2016 ; Dulaurent *et al.*, 2012 ; Jactel *et al.*, 2011 ; Jactel *et al.*, 2014 ; Régolini *et al.*, 2014 ; Poeydebat *et al.*, 2021). La quantification de ces effets adverses demeure difficile et doit tenir compte d'autres effets, sans doute moins favorables à la croissance des pins, comme la compétition pour la lumière. Cependant l'avantage de cette méthode reposant sur les mélanges d'essences est que ses effets opèrent sur une longue durée (tant que vivent les feuillus).

Concernant la processionnaire du chêne, les données manquent pour inférer sur la possibilité de transposer les principes de résistance par association. En théorie cependant, rien n'indique que cela n'ait pas un impact favorable.

Cependant, tant pour la processionnaire du pin que pour la processionnaire du chêne, l'efficacité de cette approche qui présente un potentiel élevé reste à mesurer. Bien que prometteuse, le GT a jugé que cette méthode est encore au stade Recherche & Développement (Cf. Tableau 5).

2.4.2 Méthodes de lutte curatives

2.4.2.1 Les méthodes de lutte encadrées par une réglementation européenne

Certaines méthodes de lutte vis-à-vis des chenilles à soies urticantes sont encadrées par deux réglementations européennes, en fonction de l'objectif du traitement appliqué.

2.4.2.1.1 La réglementation phytopharmaceutique

Si l'objectif du traitement est de lutter contre des organismes nuisibles ou prévenir l'action de ceux-ci pour protéger des végétaux ou des produits végétaux, les produits chimiques utilisés sont autorisés selon le règlement (CE) n°1107/2009 relatif à la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques.

Dans le cadre de cette saisine, les usages phytopharmaceutiques visant les chenilles phytophages à considérer concernent les traitements destinés aux parties aériennes soit (i) d'arbres ou d'arbustes, soit (ii) de cultures forestières. Les chenilles phytophages identifiées dans ces usages ne sont pas toutes des chenilles à soies urticantes.

Selon le catalogue des usages phytopharmaceutiques, les ravageurs ciblés par ces deux usages (chenilles phytophages sur arbres et arbustes et chenilles phytophages sur forêt)⁹ appartiennent aux familles, genres ou espèces suivants : Arctiidae, *Argyresthia* sp. (teignes), *Dendrolimus* sp. (bombyx), *Dichomeris* sp. (teignes), *Diprion* sp. (lophyres), Geometridae (cheimatobies), Gracillartidae (teignes), Lasiocampidae (bombyx), *Lymantria* sp. (bombyx), Lymantriidae (bombyx), Lyonetiidae (teignes), *Neodiprion* sp. (lophyres), Noctuidae (noctuelles), Notodontidae, *Pristiphora* sp. (tenthredines), Pyralidae (pyrales), *Rhyacionia* sp.

⁹ Arbres et arbustes (d'ornement le cas échéant)*Trt Part.Aer.*Chenilles phytophages ; Forêt*Trt Part.Aer.*Chenilles phytophages

(tordeuses), Tenthredinidae (tenthrèdes), *Thaumetopoea* sp. (chenilles processionnaires), Tortricidae (tordeuses vraies), Yponomeutidae (hyponomeutes), *Zeiraphera* sp. (tordeuses).

En faisant correspondre la nomenclature entomologique utilisée dans le catalogue des usages phytopharmaceutiques (familles, genres, espèces employées indifféremment) et les genres d'intérêt identifiés à la section 2.2 (chenilles urticantes uniquement), les usages Arbres et arbustes et Forêt peuvent cibler un ou plusieurs types de chenilles urticantes des genres de la famille des Erebidae (Arctiidae), des Lymantriidae (*Lymantria* sp.), des Lasiocampidae (*Dendrolimus* sp.), des Noctuidae et des Notodontidae (*Thaumetopoea* sp.). En fonction du mode d'action du produit autorisé, la lutte contre ces ravageurs, ou une partie d'entre eux, pourra être autorisée sur la base d'essais d'efficacité.

Les genres appartenant aux familles Megalopygidae, Nymphalidae et Zygaenidae ne sont pas identifiés spécifiquement dans le cadre de cette réglementation.

Les substances actives approuvées, destinées à la lutte contre les chenilles identifiées comme urticantes dans le cadre de cette saisine pour des usages Arbres et Arbustes (ou Arbres et Arbustes d'ornement le cas échéant), sont :

- *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* (Btk¹⁰, plusieurs souches autorisées) sur chenilles de Lépidoptères ce qui inclut spécifiquement *T. pityocampa*, *T. processionea*, *L. dispar*. Les traitements microbiologiques à base de Btk tuent sans distinction toutes les espèces de chenilles de Lépidoptères. Dans le cadre de la lutte contre *T. pityocampa* ces traitements sont appliqués en automne, quand la plupart des autres insectes sont inactifs, et ont donc un impact limité sur les Lépidoptères non cibles. Ils sont efficaces jusqu'au quatrième stade larvaire, avec des persurances d'action de 8 à 10 jours après application si le produit n'est pas éliminé par la pluie. La réglementation n'a cessé d'évoluer depuis plus de dix ans, considérant cette « substance bioactive » comme un produit phytosanitaire depuis 2008, et interdisant depuis 2015 l'épandage aérien au profit de l'application par pulvérisation à partir du sol.
- Spinosad (processionnaire du chêne et processionnaire du pin). Le spinosad est un insecticide à large spectre d'action qui agit par contact et par ingestion. Il agit sur le système nerveux central, par dépolarisation des neurones en activant le récepteur nicotinique de l'acétylcholine, entraînant chez l'insecte des tremblements, une perte de coordination, puis une paralysie et la mort.
- Lambda cyhalothrine (noctuelles). La lambda-cyhalothrine appartient à la famille des pyréthrinoides de synthèse à large spectre d'action. Comme les autres pyréthrinoides, elle agit comme un modulateur des canaux sodiques. En perturbant le système nerveux des insectes, la lambda-cyhalothrine peut provoquer une paralysie et la mort de l'insecte.
- Les substances actives cyantraniliprole, diflubenzuron et pyréthrin + huile de colza sont aussi approuvées mais uniquement pour des usages sous abri hors-sol. L'usage de produits à base de ces substances actives n'est pas pertinent dans le cadre de cette saisine.

¹⁰ Btk est issue d'une bactérie à Gram positif, en forme de bâtonnet et formant des spores. Elle produit une inclusion protéique cristalline qui est toxique pour les larves de certains insectes Lépidoptères après ingestion. Les cristaux sont absorbés par les larves d'insectes cibles par ingestion et, dans les conditions alcalines présentes dans l'intestin des larves, le cristal se dissout en libérant les protéines actives δ -endotoxines. Ces protéines provoquent la désintégration de l'épithélium intestinal de la larve, ce qui entraîne sa mort.

Les substances actives approuvées, destinées à la lutte contre les chenilles phytophages pour des usages Forêts, sont :

- *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* (Btk, plusieurs souches autorisées) sur chenilles de lépidoptères incluant spécifiquement *T. pityocampa*, *T. processionea* et *L. dispar*.

2.4.2.1.2 La réglementation biocide

Si l'objectif du traitement est de lutter contre des organismes nuisibles pour la santé humaine ou animale et contre les organismes qui endommagent les matériaux naturels ou manufacturés, les produits chimiques utilisés sont encadrés par le règlement (CE) 528/2012 relatif à la mise sur le marché des produits biocides.

Dans le cadre de cette réglementation, les substances actives approuvées pour un usage de lutte contre les chenilles à soies urticantes sont :

- Btk souche ABTS 351 en type de produit 18 (insecticide). L'usage évalué dans le cadre du dossier substance active est la lutte contre les chenilles processionnaires du pin (*T. pityocampa*) et les chenilles processionnaires du chêne (*T. processionea*).
- La phéromone (13Z)-Hexadec-13-en-11-yn-1 acetate en type de produit 19 (attractant). L'usage évalué dans le cadre du dossier substance active est la lutte contre les papillons mâles de *T. pityocampa*. Cette substance agit selon le principe de confusion sexuelle en perturbant l'accouplement des papillons et ainsi le cycle de reproduction.

Cependant, aucun produit biocide n'est autorisé actuellement en France avec la substance active Btk souche ABTS 351. Un seul produit dispose d'une autorisation provisoire avec la substance (13Z)-Hexadec-13-en-11-yn-1 acetate, contre *T. pityocampa*.

Au regard de cette impasse réglementaire, les membres du GT ont évalué la manière de lever cet écueil pour la mise en œuvre de moyens de lutte :

- Le GT suggère d'inciter les pétitionnaires à soumettre des demandes d'autorisation de produits à base de Btk dans le cadre de la réglementation biocide, voire dans le cadre des deux réglementations biocide et phytopharmaceutique, pour pallier l'absence de produits biocides autorisés : les doses de traitement doivent vraisemblablement être similaires pour les deux usages et la cible du produit est toujours la chenille et le produit permet in fine de protéger l'Homme et les arbres.
- Dans certaines circonstances, il peut être possible d'utiliser des produits biocides normalement non autorisés par la réglementation¹¹. En effet, le règlement biocide prévoit la possibilité d'une dérogation¹² pour une période de 180 jours en vue d'une utilisation limitée et contrôlée, en raison d'un danger menaçant la santé publique, la santé animale ou l'environnement qui ne peut pas être maîtrisé par d'autres moyens. L'État membre qui a recours à cette disposition doit en avertir les autres États membres et la Commission européenne. Une telle dérogation peut être prolongée en cas de besoin, pour une durée maximale de 18 mois, sous réserve d'acceptation par la Commission Européenne. En France, en application de l'article 522-6 du Code de

¹¹ A noter que la non autorisation d'un produit peut résulter soit de la non-conformité de la demande au regard des principes uniformes définis dans le règlement (UE) n°528/2012, soit de l'absence de demande d'autorisation de mise sur le marché.

¹² Au paragraphe 1 de l'article 55, la possibilité d'une dérogation aux exigences mentionnées aux articles 17 (relatif à la mise à disposition sur le marché et utilisation des produits biocides) et 19 (relatif aux conditions d'octroi d'une autorisation) est envisagée.

l'Environnement, cette dérogation est délivrée via un arrêté par le ministre chargé de l'environnement, qui, sauf en cas d'urgence, consulte préalablement l'Anses.

Les usages phytopharmaceutiques autorisés « Arbres et arbustes » et « Forêt » pour les produits à base de Btk tels qu'ils sont présentés dans le Catalogue des produits phytopharmaceutiques et de leurs usages (base E-Phy) sont des usages génériques puisqu'ils ciblent globalement les chenilles phytophages. En conséquence, il conviendra de définir précisément les conditions d'utilisation des produits Btk pour augmenter leur spécificité et réduire les effets non-intentionnels. L'efficacité d'un traitement avec le Btk est maximale lors des premiers stades larvaires.

Le GT a jugé que l'épandage d'insecticides par voie terrestre avec des produits à base de Btk ou avec des insecticides de synthèse était efficace, en particulier sur des arbres de taille moyenne. Cependant, l'absence de produits autorisés pour des traitements biocides rend cette méthode de lutte non disponible immédiatement tant pour lutter contre la processionnaire du pin (Cf. Tableau 4) que pour lutter contre la processionnaire du chêne (Cf. Tableau 6).

2.4.2.2 Les autres méthodes de lutte

Le rapport Anses (mars 2013) relatif aux méthodes de lutte alternatives à l'épandage aérien de produits phytosanitaires contre les processionnaires du pin et du chêne en conditions urbaines répertoriaient des méthodes de lutte curative, qui ont depuis été abandonnées (Cf. Tableau 4 et Tableau 6) : traitement biologique contre la chenille processionnaire du pin avec des préparations de virus (*Smithiavirus pityocampae*) ou de champignons entomopathogènes (*Beauveria bassiana*) (manque d'efficacité, difficulté à déployer à large échelle, ou le sujet de recherche n'a pas été suffisamment soutenu), injection d'insecticides systémiques dans le tronc des pins (produits dont certaines substances actives ayant un large spectre d'efficacité présentent un risque écologique pour la faune non cible), prélèvement des chenilles par aspiration, répulsion par l'utilisation de méthyl-salicylate contre la chenille processionnaire du pin (des études complémentaires n'ont pas permis de confirmer ces résultats).

Plusieurs méthodes ont été étudiées pour cibler les chenilles à soies urticantes au cours de leur développement : le piégeage, la lutte biologique en favorisant notamment les oiseaux prédateurs, ainsi que la lutte mécanique. Cependant, le GT a jugé ces différentes approches peu efficaces (Cf. Tableau 4 et Tableau 6), ou leur efficacité reste à démontrer sur le terrain.

Concernant plus particulièrement *T. pityocampa*, d'autres techniques de lutte alternatives à l'utilisation de produits chimiques ont été développées ces dernières années : piégeage phéromonal, piégeage des chenilles, lutte biologique (pose de nichoirs à mésange), confusion sexuelle (Martin *et al.*, 2012a ; Martin *et al.*, 2012b). Ces techniques, décrites ci-dessous, visent différents stades de développement de l'insecte (Martin, 2015) et peuvent potentiellement être combinées (Brinquin & Martin, 2015 ; Brinquin *et al.*, 2013 ; Brinquin *et al.*, 2020).

2.4.2.2.1 Méthodes mécaniques

Les méthodes mécaniques consistent notamment à détruire des nids d'hiver et des plaques de nymphose (par incinération ou par aspiration). La fréquence d'utilisation de ces méthodes a diminué entre 2012 et 2022, principalement du fait qu'elles sont coûteuses en moyens humains et qu'elles nécessitent le port d'équipement de protection individuel (EPI).

Le GT a jugé ces méthodes efficaces mais peu pratiques donc inapplicables (Cf. Tableau 4 et Tableau 6), sauf éventuellement sur de petites surfaces, sur des arbres accessibles en hauteur, et plutôt en zones urbaines.

Ces méthodes visent principalement la protection des populations et moins la protection des arbres.

T. pityocampa

Pour la processionnaire du pin, la lutte mécanique (échenillage) est efficace mais ne peut se faire que sur de petites surfaces et avec un EPI (combinaison, masque, gants, lunettes). En effet, le risque sanitaire pour les applicateurs est très élevé du fait des poils urticants restants à l'intérieur et l'extérieur des nids.

T. processionea

La lutte mécanique consistant à prélever les plaques de nymphose des chênes infestés est également possible mais nécessite l'utilisation d'EPI (combinaisons, gants, lunettes et masques) et n'est pas envisageable sur de grands arbres. Les plaques sont plus difficiles à repérer, et leur destruction complète est improbable.

E. chrysorrhoea

En forêt péri-urbaine et dans les zones agricoles fréquentées par le public et/ou les animaux, l'aspect inesthétique des arbres défeuillés et les urtications provoquées par les chenilles peuvent justifier des décisions de lutte. En forêt de production, une intervention dans les jeunes plantations et à leur périphérie immédiate peut être mise en œuvre lorsque les défoliations peuvent compromettre la survie des jeunes arbres. En cas d'attaque ponctuelle sur des arbres de faible dimension et facilement accessibles, il est possible de lutter mécaniquement (échenillage sur jeunes arbres ou broyage sur haies basses), en détruisant les nids durant l'hiver.

Cas particulier du piégeage des chenilles

T. pityocampa

Les chenilles peuvent être interceptées au moment des processions de nymphose par un piège à collier posé autour du tronc de l'arbre infesté (de décembre à avril-mai selon le climat). Lors des processions, les chenilles descendent de l'arbre et s'engouffrent dans le sac du piège rempli de terre pour s'y nymphoser. S'il est bien installé, le piège peut capturer toutes les chenilles qui se trouvaient sur l'arbre infesté. Le sac et les chenilles qu'il contient peuvent alors être détruits.

L'utilisation de ces pièges a progressé depuis 2012. Leur utilisation est facile tout en limitant l'impact sur l'environnement, il est cependant réservé aux petites surfaces. Ces pièges sont très efficaces pour protéger les populations humaines (notamment les opérateurs en charge de la manipulation des pièges) et animales mais n'empêche pas les dégâts sur les arbres. Cette méthode utilisée comme moyen de lutte a été jugée efficace par le GT mais difficile à utiliser à une grande échelle (Cf. Tableau 4).

2.4.2.2.2 Méthodes de gestion visant les papillons

T. pityocampa

La lutte par piégeage de masse consiste à attirer les papillons mâles dans un piège via une phéromone sexuelle de synthèse, réduisant ainsi les accouplements et le nombre de

pontes. Elle demande beaucoup de logistique et de moyens humains et financiers. Les pièges doivent être installés avant l'émergence des papillons, c'est-à-dire de juin (voire mai pour le climat océanique) à août (voire octobre pour le climat méditerranéen). Ces pièges à phéromones, utilisés principalement en zones urbaines, représentent une méthode assez coûteuse dont l'efficacité est limitée lorsqu'elle est utilisée seule.

La confusion sexuelle est une méthode de lutte récente (en cours de développement ces 10 dernières années) dans la gestion de la processionnaire du pin. Cette méthode vise à saturer l'air en phéromone sexuelle afin de perturber le comportement des papillons mâles et ainsi entraver la reproduction. Cependant, en l'absence de données publiées, cette méthode n'a pas été jugée efficace par le GT (Cf. Tableau 4).

T. processionea

Diverses méthodes sont encore à l'essai et en cours de développement ou d'optimisation. Les diffuseurs de phéromones sexuelles testés n'ont pas démontré d'efficacité pour faire de la confusion sexuelle ou du piégeage de masse. Dans le premier cas, la technique consiste à installer des pièges à phéromone afin de capturer les papillons mâles (Williams *et al.*, 2013), et de réduire ainsi les accouplements et le nombre de pontes potentielles. A défaut d'être utilisée à des fins de lutte, cette méthode peut être employée dans le but de surveiller la dynamique de population de l'insecte et d'optimiser la mise en place d'autres techniques de gestion. Ce type de méthode utilisé comme moyen de lutte n'a pas été jugé efficace par le GT (Cf. Tableau 6).

2.4.2.2.3 Lutte biologique par des ennemis naturels

L'utilisation d'ennemis naturels vertébrés ou invertébrés contre les chenilles à soies urticantes est en nette progression depuis 2012. L'efficacité reste néanmoins limitée et doit être considérée dans un système de lutte intégrée. A l'inverse, la lutte biologique impliquant des micro-organismes, notamment virus ou champignons entomopathogènes, a fait l'objet de recherches mais n'a pas été déployée sur ces insectes.

T. pityocampa

La mésange est un oiseau insectivore connu pour sa prédation importante des chenilles processionnaires du pin de stades L4 et L5 (Pimentel & Nilsson, 2007). Cet oiseau prélève les chenilles à l'intérieur du nid, en perforant au travers de la soie un orifice du diamètre de sa tête. En quelques jours le nid est vidé de son contenu. La pose de nichoirs à mésanges permet de favoriser son implantation et peut contribuer à la prédation des chenilles de processionnaire du pin. Des nichoirs à chauve-souris peuvent également être installés, les chiroptères pouvant se nourrir des papillons de processionnaires du pin. D'autres ennemis naturels de *T. pityocampa* sont connus (voir 2.3.3.1) mais n'ont pas fait l'objet de développement en terme de lutte biologique. Plusieurs espèces de parasitoïdes de processionnaire sont notamment connues, mais aucune ne peut être élevée de manière massive, et ces agents de lutte potentielle ne sont pas commercialisés. Aucune solution de lutte biologique basée sur des insectes parasitoïdes ou prédateurs n'est donc proposée. Le GT a jugé la lutte biologique classique ou par conservation peu efficace (Cf. Tableau 4).

T. processionea

Des recherches doivent être menées et approfondies afin d'étudier l'impact réel de certains ennemis naturels sur les populations de processionnaire du chêne, et éventuellement

de développer par la suite des stratégies de lutte biologique, au travers de lâchers de parasitoïdes ou de prédateurs, ou encore l'installation de nichoirs à mésanges et à chauve-souris. D'autres ennemis naturels de *T. processionea* sont connus (voir 2.3.3.2) mais n'ont pas fait l'objet de développement en terme de lutte biologique. Le GT a jugé la lutte biologique classique ou par conservation respectivement peu efficace et assez efficace contre la processionnaire du chêne (Cf. Tableau 6).

E. chrysorrhoea

Parmi les antagonistes naturels potentiels du phytophage figurent plusieurs oiseaux, notamment les mésanges, qui pillent les nids d'hiver. Les œufs, les larves et les nymphes pourraient être parasités par de nombreuses espèces d'Hyménoptères et de Diptères parasitoïdes. L'intervention d'antagonistes naturels ou l'apparition d'épidémies virales, fongiques ou bactériennes se traduisent souvent par un retour rapide des populations de défoliateurs à un état de latence. Aucun développement en terme de lutte biologique basée sur des ennemis naturels n'a été identifié par le GT.

E. similis

Aucune information sur les méthodes de lutte par des ennemis naturels dédiée à *E. similis* n'est disponible. Cependant si certaines méthodes de lutte ciblant *E. chrysorrhoea* étaient développées, elles pourraient être utilisées aussi contre *E. similis*. Aucun développement en terme de lutte biologique basée sur des ennemis naturels spécifiques n'a été identifié par le GT.

L. quadra

Aucune information sur les méthodes de lutte par des ennemis naturels dédiée à *L. quadra* n'est disponible.

2.4.2.2.4 Recherches exploratoires sur des méthodes sémiochimiques ciblant les chenilles

Enfin, une étude plus exploratoire sur l'utilisation de la phéromone de trace, responsable du comportement grégaire des chenilles processionnaires du pin et du chêne, mériterait d'être poursuivie (Fitzgerald, 2003) dans le but de développer un perturbateur capable de disperser les colonies, rendant ainsi les chenilles vulnérables, ou bien à moindre concentration, de guider les chenilles vers un système de piégeage. Cependant, cette méthode utilisée comme moyen de lutte n'a pas été jugée efficace par le GT (Cf. Tableau 4). Son usage est davantage à envisager pour le monitoring de la processionnaire du pin.

2.4.3 Analyse des méthodes de lutte disponibles

Le bilan des méthodes de lutte disponibles en 2022 pour lutter contre les chenilles processionnaires du chêne et du pin (Cf. début de la section 2.4), a été réalisé en précisant notamment leur niveau d'efficacité. Trois critères ont été identifiés (le GT s'est appuyé sur la méthodologie développée dans le cadre d'une expertise visant à évaluer les méthodes de lutte alternatives aux insecticides à base de néonicotinoïdes¹³) pour caractériser les méthodes de lutte : i) la magnitude de l'efficacité, ii) l'opérationnalité et iii) la praticité. Une note de 1 à 3 a été attribuée par chaque expert entomologiste du GT pour chaque méthode évaluée, puis une note consensus a été adoptée par le GT.

L'échelle de notes pour les trois critères est définie de la manière suivante :

- *Magnitude de l'efficacité d'une méthode de lutte: note comprise entre 1 et 3*

La magnitude de l'efficacité (synonyme de « niveau » d'efficacité) correspond à la capacité de la méthode à réduire l'intensité et/ou la fréquence des dégâts infligés par les chenilles processionnaires.

1 = efficacité potentielle nécessitant des études complémentaires pour être confirmée

2 = efficacité prouvée mais insuffisante à elle seule (nécessitant l'usage d'autres méthodes de lutte complémentaires)

3 = efficacité avérée de la méthode en elle-même

- *Opérationnalité d'une méthode de lutte : note comprise entre 1 et 3*

L'opérationnalité exprime le niveau de disponibilité d'une technique en fonction de sa mise au point, de sa validation sur le terrain et éventuellement de son autorisation de mise sur le marché (AMM).

1 = stade recherche et développement

2 = en application quelque part dans le monde, et en France sur d'autres usages

3 = produit ayant une AMM dans le cadre de la réglementation appropriée pour l'usage revendiqué, en France, ou ayant reçu des dérogations pour cet usage, ou méthode non soumise à AMM en application en France.

- *Praticité d'une méthode de lutte : note comprise entre 1 et 3*

La praticité décrit la facilité de mise en œuvre de la méthode, en fonction notamment du matériel, du nombre de traitements ou d'interventions, du temps de travail et de la technicité nécessaires.

1 = difficile

2 = moyen

3 = facile

2.4.3.1 Les méthodes de lutte disponibles contre la chenille processionnaire du pin

Deux tableaux de synthèse présentent l'évaluation de l'état de développement des méthodes de lutte (préventive et curative) depuis 2012.

¹³ Saisine n° 2016-SA-0057

Tableau 3 : État de développement des méthodes de lutte préventives contre la chenille processionnaire du pin (CPP)

Liste des méthodes de lutte contre les chenilles processionnaires du pin citées dans le rapport Anses (saisine n°2012-SA-0149)	2012	2022	Niveau d'efficacité démontré (laboratoire/conditions contrôlées/dans environnement)	Magnitude *	Opérationnalité **	Praticité ***	Références
Lutte par diversification des essences plantées	Testé au niveau expérimental (Orphée), en privilégiant les essences moins sensibles (<i>Pinus pinaster</i> , <i>Pinus halepensis</i> , <i>Pinus pinea</i>) aux essences les plus sensibles (<i>Pinus radiata</i> , <i>Pinus nigra</i> et sous-espèces, <i>Pinus sylvestris</i>), en abattant les arbres touchés. En zone urbaine, utilisée par 6,1% des communes	Non appliquée à grande échelle. Contraintes liées au changement climatique et à l'expansion de la CPP (augmentation de la susceptibilité des forêts). En zone urbaine, utilisée par 14,6% des communes	Action sur le long terme	2	3	2	[1], [2], [3], [4], [6], [7]
Lutte par gestion et/ou conservation de la biodiversité (favoriser la présence d'ennemis naturels)	Non développée	Non développée	Potentiel élevé mais efficacité à mesurer, à considérer dans un système de lutte intégrée	1	3	1	[4]
Essais ponctuels d'éradication des foyers en bordure de distribution (coupe des branches sur lesquelles se trouvent les nids et éventuellement incinération)	Non développée	Non développée	Éradication impossible même à l'échelle locale (échec dans les foyers très isolés comme Obernai)	1	1	2	[4]

Tableau 4 : État de développement des méthodes de lutte curatives contre la chenille processionnaire du pin (CPP)

Liste des méthodes de lutte contre les chenilles processionnaires du pin citées dans le rapport Anses (saisine n°2012-SA-0149)	2012	2022	Niveau d'efficacité démontré (laboratoire/conditions contrôlées/dans environnement)	Magnitude *	Opérationnalité **	Praticité ***	Références
Méthodes mécaniques							
Destruction des nids (coupe des branches sur lesquelles se trouvent les nids et éventuellement incinération)	Méthode bien développée en 2012 (36,5% des communes la mettent en œuvre), généralement utilisée en zones urbaines plutôt qu'en forêt	Méthode moins pratiquée (22,6% des communes la mettent en œuvre) car risquée pour les opérateurs (besoin d'utiliser des EPI) et très coûteuse en moyens humains. Méthode pratiquée sur de petites surfaces et sur des arbres accessibles aisément (sinon, besoin de nacelles pour les arbres de grandes hauteurs)	Efficace pour la protection de la population humaine et animale sur de petites surfaces, mais comportant des risques pour les opérateurs (besoin d'utiliser des EPI)	3	3	1	[1], [2], [3], [4], [6], [7]
Élimination des chenilles	Piégeage des chenilles de dernier stade par l'installation d'Ecopièges® (pièges à collier consistant en un sac qui empêche la descente des chenilles de l'arbre, lors de leur procession durant la période de nymphose) ou équivalents sur les arbres infestés. Méthode développée en 2009 et déjà bien utilisée par les communes en 2012 (15,8%)	Piégeage des chenilles de dernier stade par l'installation d'Ecopièges® ou équivalents sur les arbres infestés. Méthode en progression (21,5% des communes la mettent en œuvre) car facile d'utilisation et avec un impact limité sur l'environnement et les opérateurs. Toutefois, pratiquée sur de petites surfaces	Très efficace pour la protection de la population humaine et animale (échelle locale, voire individuelle) si bien installé (colmatage des espaces entre le tronc et le piège), mais n'empêche pas les dégâts sur les arbres	3	3	2	[1], [2], [3], [4], [6], [7]

Liste des méthodes de lutte contre les chenilles processionnaires du pin citées dans le rapport Anses (saisine n°2012-SA-0149)	2012	2022	Niveau d'efficacité démontré (laboratoire/conditions contrôlées/dans environnement)	Magnitude *	Opérationnalité **	Praticité ***	Références
Méthodes chimiques microbiologiques							
Épandage d'insecticides par voie aérienne	Utilisation du <i>Bacillus thuringiensis kurstaki</i> (Btk) par les communes (15,4%) et en forêt	Produits à base de Btk non disponibles pour des traitements biocides et interdits par traitement aérien en tant que traitement phytosanitaire. Méthode devenue contraignante au niveau réglementaire et moins utilisée par les communes (5,8%)	Traitement aérien efficace si réalisé au bon moment (besoin de bonnes conditions climatiques pendant le traitement, et plus grande efficacité sur les premiers stades larvaires (L1 à L3), mais très rarement autorisé (soumis à dérogations))	3	2	2	[1], [2], [3], [4], [6], [7]
Épandage d'insecticides par voie terrestre	<i>Bacillus thuringiensis kurstaki</i> (Btk), insecticides de synthèse (lambda cyhalothrine)	Arbres : Btk, Spinosad Forêt : Btk Produits non disponibles pour des traitements biocides	Traitement efficace si appliqué au début de la défoliation et sur les premiers stades larvaires (L1 à L3). Toutefois, beaucoup de gaspillage de produit car application peu précise, et difficulté d'application sur les grandes surfaces et les arbres de grande hauteur	3	2	2	[4], [6]
Injection d'insecticides systémiques	Non autorisée en France	Non autorisée en France	Très efficace et utilisée dans d'autres pays au niveau urbain. Toutefois, certaines substances actives ont un large spectre d'efficacité avec un risque écologique sur la faune non cible	3	2	2	[4]
Application de virus et champignons entomopathogènes	a. Virus <i>Smithiavirus pityocampae</i> étudiée par INRAE. b. Champignon entomopathogène <i>Beauveria</i>	a. Méthode non développée (méthode restée à l'étape de R&D)	a. Excellents résultats obtenus sur les virus mais arrêt des essais du fait de la difficulté à produire des élevages de CPP virosées.	2	1	1	[4]

Liste des méthodes de lutte contre les chenilles processionnaires du pin citées dans le rapport Anses (saisine n°2012-SA-0149)			Niveau d'efficacité démontré (laboratoire/conditions contrôlées/dans environnement)	Magnitude *	Opérationnalité **	Praticité ***	Références
	2012	2022					
	<i>bassiana</i> testé en conditions contrôlées par INRAE.	b.Méthode non développée (méthode restée à l'étape de R&D)	b. Rôle régulateur avéré notamment au stade nymphal, la contamination se faisant généralement au cours des processions au sol et des enfouissements.				
Méthodes sémiologiques							
Piégeage de masse à l'aide de pièges à phéromone	Appliqué plus facilement en zone urbaine (15,8% des communes la mettent en œuvre) qu'en forêt	Appliqué plus facilement en zone urbaine (14,2% des communes la mettent en œuvre) qu'en forêt	Méthode avec une efficacité limitée, à considérer dans un système de lutte intégrée en la combinant avec d'autres méthodes de lutte. Sa mise en place est coûteuse en moyens humains et financiers et n'est donc pas adaptée aux forêts. Toutefois, le piégeage phéromonal a un intérêt dans le monitoring de la CPP.	1	3	2	[1], [2], [3], [4], [6], [7]
Confusion sexuelle	Résultats prometteurs sur la chenille processionnaire du pin, mais pas encore valorisée par une exploitation commerciale	Appliquée en forêt et en zone urbaine (2,2% des communes la mettent en œuvre)	Méthode gagnant en efficacité sur de grandes surfaces (> 4 hectares) à des taux d'infestation peu élevés. Méthode moins adaptée aux zones urbaines du fait des zones à traiter souvent morcelées et limitées en nombre d'hectare	1	3	2	[2], [3], [4], [7]
Répulsion	Méthyle salicylate (MeSa) utilisé en tant que répulsif de la CPP.	D'autres études menées par INRAE n'ont pas permis de confirmer ces résultats.	MeSa classé CMR2 selon le Règlement UE 2021/849 mis en application le 17/12/22.	1	1	2	[4], [5]

Liste des méthodes de lutte contre les chenilles processionnaires du pin citées dans le rapport Anses (saisine n°2012-SA-0149)	2012	2022	Niveau d'efficacité démontré (laboratoire/conditions contrôlées/dans environnement)	Magnitude *	Opérationnalité **	Praticité ***	Références
Efficacité testée et validée par INRAE.							
Méthodes biologiques							
Lutte biologique classique (introduction des ennemis naturels de la chenille processionnaire du pin)	Non appliquée dans l'aire de répartition	Non appliquée dans l'aire d'e répartition mais colonisation naturelle observée	Pas de production commerciale d'ennemis naturels. Efficacité limitée, à considérer dans un système de lutte intégrée	1	1	1	[4]
Lutte biologique par conservation (par l'amélioration des conditions de survie des ennemis naturels avec des sources additionnelles de nourriture ou des proies alternatives et en favorisant leur arrivée sans intervention humaine, et leur installation, par la présence d'habitats ou de sites favorables à leur reproduction (haies, nichoirs, murs, etc.)	Appliquée à différentes échelles pour invertébrés et vertébrés (pose de nichoirs, abris pour chauve-souris, maintien des habitats). Peu développée en 2012 (6,9% des communes la mettent en œuvre)	Appliquée à différentes échelles avec invertébrés et vertébrés. Méthode en nette progression (18,6% des communes la mettent en œuvre) dans les communes	Efficacité limitée, à considérer dans un système de lutte intégrée	1	2	2	[1], [2], [3], [4], [6], [7]

* **Magnitude de l'efficacité d'une méthode de lutte** (critère n°1) : capacité de la méthode à réduire l'intensité et/ou la fréquence des dégâts infligés par les CPP. Note comprise entre 1 et 3 :

- 1 = efficacité potentielle nécessitant des études complémentaires pour être confirmée
- 2 = efficacité prouvée mais insuffisante à elle seule (nécessitant l'usage d'autres méthodes de lutte complémentaires)
- 3 = efficacité avérée de la méthode en elle-même

** **Opérationnalité d'une méthode de lutte** (critère n°2) ce critère exprime le niveau de disponibilité d'une technique en fonction de sa mise au point, de sa validation au champ et éventuellement de son autorisation de mise sur le marché (AMM) ou de son inscription aux Catalogues des variétés dans le cas de la lutte génétique. Note comprise entre 1 et 3 :

- 1 = stade recherche et développement
- 2 = en application quelque part dans le monde, ou en France sur d'autres usages
- 3 = ayant une AMM pour l'usage « Lutte contre les CPP » en France, ou ayant reçu des dérogations pour cet usage

*** **Praticité d'une méthode de lutte** (critère n°3) : décrit la facilité de mise en œuvre de la méthode, en fonction notamment du matériel, du nombre de traitements ou d'interventions, du temps de travail et de la technicité nécessaires. Note comprise entre 1 et 3 :

- 1 = difficile
- 2 = moyen
- 3 = facile

Références du tableau

- [1] (Brinquin A.-S. *et al.*, 2013)
- [2] (Brinquin A. S. & Martin J. C., 2014)
- [3] (Brinquin A.-S. *et al.*, 2020)
- [4] (Anses, 2013)
- [5] (Jactel H. *et al.*, 2011)
- [6] (Martin J. C. *et al.*, 2012)
- [7] (Muller L. *et al.*, 2020)

2.4.3.2 Les méthodes de lutte disponibles contre la chenille processionnaire du chêne

Deux tableaux de synthèse présentent l'évaluation de l'état de développement des méthodes de lutte (préventives et curatives) depuis 2012.

Tableau 5 : État de développement des méthodes de lutte préventives contre la chenille processionnaire du chêne (CPC)

Liste des méthodes de lutte contre les chenilles processionnaires du chêne citées dans le rapport Anses (saisine n°2012-SA-0149)	2012	2022	Niveau d'efficacité démontré (laboratoire/conditions contrôlées/dans environnement)	Magnitude *	Opérationnalité **	Praticité ***	Références
Lutte sylvicole (plantation en mélange d'espèces végétales non-hôtes et recherche d'espèces de chênes moins favorables à la chenille processionnaire du chêne)	Aucune publication pertinente permettant de relier les méthodes de gestion des forêts de chêne avec leur sensibilité (espèces testées : chêne rouge, pédonculé, sessile)	Aucun lien démontré entre gestion et diminution du risque	Pas d'efficacité démontrée	1	1	1	[2]
Lutte par gestion et/ou conservation de la biodiversité	Non développée	Non développée	Les données manquent concernant l'effet de la « résistance par association » et des forêts mixtes sur les infestations de CPC	1	1	1	[2]
Essais ponctuels d'éradication des foyers en bordure de distribution	Non développée	Non développée	Tentatives intensives d'éradication infructueuses aux Pays-Bas et à Londres, du fait de la difficulté de détecter les populations en voie d'installation dans une nouvelle zone	1	2	1	[2]

Tableau 6 : État de développement des méthodes de lutte curatives contre la chenille processionnaire du chêne (CPC)

Liste des méthodes de lutte contre les chenilles processionnaires du chêne citées dans le rapport Anses (saisine n°2012-SA-0149)	2012	2022	Niveau d'efficacité démontré (laboratoire/conditions contrôlées/dans environnement)	Magnitude *	Opérationnalité **	Praticité ***	Références
Méthodes mécaniques							
Destruction des nids	Très complexe à mettre en place pour la chenille processionnaire du chêne (CPC) du fait de la localisation des plaques de nymphose sur les troncs et charpentières	Il existe des plateformes d'aspiration des plaques de nymphose. Cette technique comporte toutefois des risques pour les opérateurs (besoin d'utiliser des EPI).	Très complexe à mettre en place notamment sur de grands arbres et sur de grandes surfaces, et comportant des risques pour les opérateurs (besoin d'utiliser des EPI)	2	3	1	[1], [2], [3], [5], [6]
Élimination des chenilles	Pas de solution de piégeage pour la CPC	Pas de solution de piégeage pour la CPC	Pas de solution de piégeage pour la CPC	1	1	1	[2]
Méthodes chimiques microbiologiques							
Épandage d'insecticides par voie aérienne	Utilisation du <i>Bacillus thuringiensis kurstaki</i> (Btk)	Produits à base de Btk non disponibles pour des traitements biocides et interdit par traitement aérien en tant que traitement phytosanitaire	Traitement aérien efficace si réalisé au bon moment (besoin de bonnes conditions climatiques pendant le traitement, et plus grande efficacité sur les premiers stades larvaires (L1 à L3), mais très rarement autorisé (soumis à dérogations)	3	2	2	[1], [2], [3], [4], [5], [6]
Épandage d'insecticides par voie terrestre	<i>Bacillus thuringiensis kurstaki</i> (Btk), insecticides de synthèse (lambda cyhalothrine)	Arbres : Btk, Spinosad Forêt : Btk	Traitement efficace si appliqué au début de la défoliation et sur les premiers stades larvaires (L1 à L3). Toutefois, beaucoup de gaspillage de produit car application peu précise, et difficulté d'application sur les	3	2	2	[1], [2], [3], [5], [6], [7]

Liste des méthodes de lutte contre les chenilles processionnaires du chêne citées dans le rapport Anses (saisine n°2012-SA-0149)	2012	2022	Niveau d'efficacité démontré (laboratoire/conditions contrôlées/dans environnement)	Magnitude *	Opérationnalité **	Praticité ***	Références
			grandes surfaces et les arbres de grande hauteur				
Injection d'insecticides systémiques	Non autorisée en France	Non autorisée en France	Très efficace et utilisée dans d'autres pays au niveau urbain. Toutefois, certaines substances actives ont un large spectre d'efficacité avec un risque écologique sur la faune non cible	3	2	2	[2], [6]
Application de virus et champignons entomopathogènes	Pas disponible pour la CPC	Pas disponible pour la CPC	Pas disponible pour la CPC	1	1	1	[2]
Méthodes sémiochimiques							
Piégeage de masse à l'aide de pièges à phéromone	Pas disponible pour la CPC	Pas disponible pour la CPC	Tests d'efficacité de diffuseurs en cours	1	1	1	[1], [2], [3], [5], [6]
Confusion sexuelle	Pas disponible pour la CPC	Pas disponible pour la CPC	Tests d'efficacité en cours	1	1	1	[2], [6]
Répulsion	Pas disponible pour la CPC	Pas disponible pour la CPC	Pas disponible pour la CPC	1	1	1	[2]
Méthodes biologiques							
Lutte biologique classique	Pas disponible pour la CPC	Pas disponible pour la CPC	Pas disponible pour la CPC	1	1	1	[2], [6]
Lutte biologique par conservation	Appliquée à différentes échelles avec invertébrés et vertébrés (pose de nichoirs, abris pour chauve-souris, maintien des habitats)	Appliquée à différentes échelles avec invertébrés et vertébrés	Efficacité jamais testée, à considérer dans un système de lutte intégrée	2	2	2	[1], [2], [3], [5]

* **Magnitude de l'efficacité d'une méthode de lutte** (critère n°1) : capacité de la méthode à réduire l'intensité et/ou la fréquence des dégâts infligés par les CPC. Note comprise entre 1 et 3 :

- 1 = efficacité potentielle nécessitant des études complémentaires pour être confirmée
- 2 = efficacité prouvée mais insuffisante à elle seule (nécessitant l'usage d'autres méthodes de lutte complémentaires)
- 3 = efficacité avérée de la méthode en elle-même

** **Opérationnalité d'une méthode de lutte** (critère n°2) ce critère exprime le niveau de disponibilité d'une technique en fonction de sa mise au point, de sa validation au champ et éventuellement de son autorisation de mise sur le marché (AMM) ou de son inscription aux Catalogues des variétés dans le cas de la lutte génétique. Note comprise entre 1 et 3 :

- 1 = stade recherche et développement
- 2 = en application quelque part dans le monde, ou en France sur d'autres usages
- 3 = ayant une AMM pour l'usage « Lutte contre les CPC » en France, ou ayant reçu des dérogations pour cet usage

*** **Praticité d'une méthode de lutte** (critère n°3) : décrit la facilité de mise en œuvre de la méthode, en fonction notamment du matériel, du nombre de traitements ou d'interventions, du temps de travail et de la technicité nécessaires. Note comprise entre 1 et 3 :

- 1 = difficile
- 2 = moyen
- 3 = facile

Références du tableau

- [1] (Brinquin A.-S. *et al.*, 2022)
- [2] (Anses, 2013)
- [3] (Guérin M. *et al.*, 2020)
- [4] (Leroy B. *et al.*, 2019)
- [5] (Muller L. *et al.*, 2020)
- [6] (Stigter H. & Das F., 1996)
- [7] (Straw N. & Forster J., 2022)

2.5 Conclusions

La saisine concerne les espèces de chenilles qui produisent des poils urticants. La liste des espèces de Lépidoptères concernées, en France métropolitaine et dans les DROM, s'est révélée complexe à définir, car aucune revue récente de la littérature n'existait sur ce sujet et les espèces présentes dans les DROM sont souvent mal connues et potentiellement nombreuses. Le GT a donc choisi une approche large, incluant toutes les espèces dont les chenilles sont décrites comme ayant des soies urticantes (détachables ou non), et présentes en France métropolitaine et dans les DROM mais aussi dans les pays limitrophes (pour inclure les espèces décrites dans un territoire proche mais non signalée dans les régions d'intérêt). La sélection des genres et des espèces de Lépidoptères à chenilles à poils urticants s'est appuyée sur : i) l'analyse des données d'occurrence de la base de données GBIF dans les zones géographiques définies par le groupe de travail (France métropolitaine et pays européens limitrophes, et DROM en incluant également certains pays limitrophes), ii) la revue de Kawamoto et Kumada (1984) recensant les genres de Lépidoptères dans lesquels se trouvent des espèces dont les chenilles ont des poils urticants et iii) une recherche bibliographique pour confirmer le caractère urticant des chenilles des espèces de Lépidoptères identifiées. Le bilan de la sélection des Lépidoptères d'intérêt est de 55 espèces réparties en 29 genres qui se répartissent en 9 familles (Erebidae, Lasiocampidae, Limacodidae, Megalopygidae, Noctuidae, Notodontidae, Nymphalidae, Saturniidae, Zygaenidae). Le GT a ensuite pu associer à chaque espèce sélectionnée le type de poils portés par la chenille (soies détachables, soies modifiées non détachables, épines) et l'existence éventuelle d'une caractérisation de l'espèce par une séquence ADN (DNA barcode). Ce travail permet donc de proposer une liste très complète des Lépidoptères dont les chenilles portent des soies urticantes ciblées par la saisine, y compris des espèces peu citées dans la littérature (Cf. Annexe 2).

En France métropolitaine, les espèces les plus connues, et éventuellement les plus dangereuses, sont *Thaumetopoea pityocampa* (processionnaire du pin), *Thaumetopoea processionea* (processionnaire du chêne) et *Euproctis chrysorrhoea* (bombyx cul-brun) dont les chenilles portent des soies urticantes et font l'objet d'un suivi régulier en France métropolitaine et de longue date de la part du DSF. Cependant, l'espèce dont le cycle biologique et la dynamique des populations ont été le plus étudiés demeure *T. pityocampa*. A l'inverse, beaucoup d'espèces concernées par la saisine sont très mal connues : la revue de littérature réalisée par le GT a montré que les informations disponibles sur le cycle biologique, l'écologie et même la répartition géographique de beaucoup d'espèces, notamment ultramarines, sont extrêmement fragmentaires. La liste des plantes-hôtes est souvent incertaine, ce qui limite fortement la possibilité de proposer des hypothèses pour limiter les risques de contact. En effet, on dispose souvent d'une liste d'espèces de plantes sur lesquelles les chenilles ont été observées, sans savoir si l'espèce est capable d'y réaliser son cycle complet et sans garantie sur l'exhaustivité de cette liste. Un autre facteur limitant de l'étude est que l'identification des chenilles est souvent difficile (les espèces étant décrites à partir des adultes, et les chenilles pouvant être morphologiquement très similaires au sein d'un genre ou d'une famille). Cela réduit donc les données disponibles et rend difficile le lien entre la présence d'une espèce et les impacts sanitaires éventuellement signalés. L'outil de diagnostic moléculaire pour aider à leur identification (*i.e. barcoding*) permettrait de mieux documenter les aires de répartition et les plantes-hôtes de certaines espèces.

Le GT souhaite par ailleurs pointer le fait que les changements environnementaux en cours (dérèglement climatique, usage des terres, pollutions...) et le risque consécutif d'expansion de l'aire de distribution, y compris depuis des régions géographiques éloignées (i.e. invasions biologiques), pourront à court ou moyen terme modifier l'état des lieux présenté dans ce rapport. En effet, les aires de distribution des espèces d'insectes se modifient rapidement et sont largement dépendantes des conditions climatiques (températures, précipitations, événements extrêmes) ainsi que des usages forestier, agronomique ou horticole (modification de la répartition des plantes hôtes, transports passifs des insectes). On observe ainsi pour la processionnaire du pin une expansion importante de son aire de répartition vers le nord et en altitude en France métropolitaine, en lien avec l'augmentation des températures hivernales. Il est probable que les distributions des autres espèces soient également affectées par les changements environnementaux, mais cela n'est pas ou peu documenté. Les changements environnementaux peuvent également avoir des effets sur la dynamique des populations (risque de pullulation) ou sur la phénologie (cycle biologique) de nombreuses espèces. Les périodes de présence des stades urticants seront probablement modifiées à l'avenir (présence plus précoce ou plus tardive, développement possible d'une génération supplémentaire pour certaines espèces...). Ainsi, l'augmentation des signalements de processionnaire du chêne dans un grand quart Nord-Est de la France métropolitaine pourrait être due à des changements environnementaux ; la cyclicité des populations de processionnaire du pin observée dans certaines régions pourrait également être modifiée. Enfin, le taux d'introduction en Europe d'espèces d'insectes phytophages exotiques envahissantes est toujours en augmentation, ainsi d'autres espèces urticantes actuellement présentes sur d'autres continents sont susceptibles d'arriver aussi bien en France métropolitaine que dans un DROM et de s'y établir si les conditions biotiques et abiotiques leur sont favorables. C'est à ce type de scénario que correspond le cas récemment identifié en Italie d'une espèce de Lépidoptère dont la chenille urticante attaque les bambous, le *Zygène Artona martini*.

En ce qui concerne les mesures de gestion malgré un niveau de connaissance relativement élevé pour certaines de ces espèces de Lépidoptères (notamment la processionnaire du pin), on constate que les méthodes de lutte disponibles sont limitées, qu'elles soient préventives ou curatives. Les méthodes de lutte identifiées ont été principalement testées sur *T. pityocampa* (processionnaire du pin, sur la chenille ou sur la forme adulte) et *T. processionnea* dans une moindre mesure (processionnaire du chêne, sur la chenille).

Il ressort de l'analyse comparative des méthodes de lutte identifiées en 2012, dans le cadre d'une précédente expertise de l'Anses sur les méthodes de lutte alternatives au traitement chimique contre les processionnaires du pin et du chêne en conditions urbaines, qu'il y a peu d'évolution concernant les méthodes efficaces et disponibles y compris pour les traitements à base de la substance active *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* (Btk) (compte tenu de l'absence d'autorisation de produits en tant que biocides ou du fait de l'interdiction des traitements aériens). Le nombre de méthodes disponibles est globalement en diminution. Il est préconisé de combiner plusieurs méthodes visant différents stades de développement des Lépidoptères ciblés afin de gagner en efficacité en terme de lutte.

En résumé, on peut recenser :

- pour les méthodes préventives : la plantation de plantes non hôtes par diversification des essences forestières (exclusivement destinée à la lutte contre la processionnaire du pin) ;

- pour les méthodes curatives : les méthodes mécaniques par la destruction manuelle des nids ou par la pose de pièges aux troncs des arbres (cette dernière ciblant exclusivement la processionnaire du pin).

D'autres méthodes curatives efficaces basées sur l'application de produits phytopharmaceutiques à base par exemple d'extraits de *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* ou de spinosad (produit dérivé du mélange de 2 toxines sécrétées par une bactérie du sol, *Saccharopolyspora spinosa*) existent. Cependant, si des produits à base, notamment, de *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* ou de spinosad sont autorisés dans le cadre de la réglementation phytopharmaceutique, même si les traitements aériens sont interdits, aucun produit ne bénéficie d'une autorisation de mise sur le marché pour lutter contre les processionnaires du pin ou du chêne dans le cadre de la réglementation biocide.

3 Impacts sanitaires des chenilles à poils urticants sur la santé humaine

3.1 Démarche globale

Dans la saisine, il est demandé de réaliser une analyse des risques sanitaires liés aux chenilles urticantes en santé humaine en apportant des réponses sur les questions d'identification des contextes et conditions d'exposition¹⁴ et une description des effets et conséquences de l'exposition à ces chenilles sur la santé humaine en précisant, le cas échéant, les facteurs de vulnérabilité¹⁵.

Pour ce faire le GT a mis en œuvre une revue de la littérature médicale disponible. En raison du caractère restreint du corpus disponible pour la France, le GT a mis en œuvre des démarches d'enquête visant à caractériser le contexte d'exposition aux chenilles à poils urticants en France métropolitaine et d'autre part à objectiver les facteurs de vulnérabilité en lien avec l'exposition professionnelle aux chenilles.

Enfin dans une perspective d'aide à la décision publique, le GT a souhaité aller au-delà de l'identification des impacts en santé humaine et étudier la faisabilité de mener une évaluation économique du fardeau sanitaire.

3.2 Effets de l'exposition au venin des chenilles à poils urticants chez l'Homme

3.2.1 Description des mécanismes d'action physiopathologique chez l'Homme

3.2.1.1 Nature des toxines produites par les appareils urticants des chenilles et symptômes associés aux toxines

La pénétration des soies et épines des chenilles dans la peau ou dans les muqueuses entraîne, suite à leur rupture ou leur dégradation, le plus souvent le relargage de différentes substances responsables de réactions toxiques et plus rarement allergiques.

Ces substances sont de natures variables selon les espèces de Lépidoptères concernées (Villas-Boas, 2018 ; Seldeslachts *et al.*, 2020). Elles appartiennent à différentes familles biochimiques comprenant des substances vasodilatatrices comme l'histamine, les leucotriènes, les prostaglandines, de nombreuses protéines (estérases, protéases, phospholipase A...) dont certaines à activité histamino-libératrice, des substances agissant sur la coagulation, etc. Les recherches scientifiques ont principalement porté sur l'analyse et les fonctions des protéines libérées par les soies et les épines.

Les conséquences sont entre autres l'activation des mastocytes avec libération de substances vasodilatatrices et pro-inflammatoires comme l'histamine, les leucotriènes, prostaglandines induisant la dermatite papuleuse classique avec érythème, œdème et prurit

¹⁴ Exposition : contact possible d'une personne aux poils urticants des chenilles

¹⁵ Vulnérabilité : c'est l'aptitude d'une espèce à présenter des symptômes et des dommages suite à une infection par un agent pathogène.

le plus souvent et des réactions inflammatoires pouvant toucher d'autres tissus selon l'espèce en cause.

Pour *T. pityocampa*, l'action histamino-libératrice des substances libérées au contact de la peau a été décrite d'abord pour la thaumetopoéine, une protéine de 28 kDa formée de 2 bandes de 13 et 15 kDa en électrophorèse (Werno, 1993). Les travaux de Moneo (2003, 2015) et Rodriguez-Mahillo (2012) ont ensuite identifié et caractérisé les deux premières protéines responsables des allergies IgE médiées, Tha p1 (15 kDa) et Tha p2 (115 acides aminés, 13 kDa). Dans son analyse protéomique, Berardi (2017) a mis en évidence 353 protéines dans les soies de *T. pityocampa* dont sept reconnues comme des allergènes. L'allergénicité des protéines varie en fonction du stade larvaire avec une importante augmentation entre les stades L4 et L5 (Rebollo, 2002). Parmi les protéines de *Thaumetopoea pinivora* (Treitschke 1834), les enzymes intervenant dans la synthèse de la chitine ont un rôle dans la réponse lymphocytaire T (Holm, 2014) et les sérines protéases participent également à la réaction inflammatoire.

La composition des venins des chenilles d'*Euproctis* a été plus anciennement étudiée. En plus de protéines (estérases, protéases, phospholipases A2) et d'histamine, responsables d'une réaction inflammatoire non spécifique, une fraction protéique de 20-40 kDa a été également décrite par Natsuaki (2002) comme allergène.

La composition des venins des autres espèces de Lépidoptères, synthétisée dans le Tableau 7, explique la particularité des autres lésions possibles selon l'espèce en cause (Seldeslachts *et al.*, 2020 ; Alvarez-Flores, 2021).

Pour les espèces du genre *Hylesia*, les soies urticantes ventrales de la femelle contiennent différentes substances en particulier des protéines pour protéger les œufs dans les cocons dont les effets peuvent varier en fonction des espèces (Carrijo-Carvalho, 2007 ; Casafùs, 2022). La description des lésions et des substances composant le venin sont décrites dans le Tableau 7.

Tableau 7 : Venin présent dans les poils urticants et manifestations cliniques liées au contact avec les chenilles à poils urticants - Données de la littérature

Famille	Genre / espèces	Manifestations	Composition et action du venin	Source (étude ou cité dans)
Erebidae	<i>Arctia caja</i>	Dermatite papuleuse Ophtalmie noueuse	Peu connue : acétylcholine	Hossler (2010 a), Villas-Boas (2018 et 2016)
Erebidae	<i>Euproctis</i>	Dermatite eczématiforme, dermatite papuleuse, éruption vésiculo-bulleuse, conjonctivite, rhinite 1 cas d'anaphylaxie (Blair, 1979)	<i>E. chrysorrhoea</i> : Activité fibrinolytique, hémolytique, anti-complément, Histamine, libérateur d'histamine, sérotonine, nicotine, Phospholipase A, estérases : trypsine-like, chymotrypsine-like, sérines protéases dont kalicrine, sérine estérases <i>Euproctis pseudoconspersa</i> Strand 1923 : histamine	Villas-Boas (2018), Bonamonte (2013) Natsuaki (2002)
Erebidae	<i>Lymantria dispar</i>	Eruption papuleuse urticarienne Eruption eczématiforme	Histamine, nicotine	Villas-Boas (2018) Hossler (2009)
Erebidae	<i>Orgyia antiqua</i> (L. 1758)	Dermatite	<i>Pas de données identifiées</i>	Hossler (2009)
Erebidae	<i>Lithosia quadra</i>	<i>Dermatite</i>	<i>Pas de données identifiées</i>	Faucheux,(2007), Hossler (2009, 2010b), Walker (2020)
Erebidae	<i>Eilema caniola</i> Hübner 1827	<i>Pas de données identifiées</i>	<i>Pas de données identifiées</i>	
Erebidae	<i>Parasemia</i> Hübner 1820	Dermatite	<i>Pas de données identifiées</i>	Hossler (2009)
Lasiocampidae	<i>Dendrolimus pini</i> (L. 1767)	Eruption maculo-papuleuse, polyarthrite inflammatoire migratrice, polychondrite, ostéoarthrite chronique, plus rarement sclérite aiguë	Peu connue Formaldéhyde, histamine-like, histamine Toxines agissant sur des récepteurs osseux et cartilagineux	Villas-Boas (2018) Seldeslachts (2020)
Lasiocampidae	<i>Eriogaster</i> Germar 1810	Dermatite urticarienne	<i>Pas de données identifiées</i>	Goldman (2021)
Lasiocampidae	<i>Lasiocampa</i> Schrank 1802	Erucisme ¹⁶	<i>Pas de données identifiées</i>	Hossler (2009)

¹⁶ Erucisme : lésions causées par les poils des chenilles et Lépidoptérisme : lésions induites par les lépidoptères adultes.

Famille	Genre / espèces	Manifestations	Composition et action du venin	Source (étude ou cité dans)
Lasiocampidae	<i>Euthrix</i> Meigen 1830	<i>Pas de données identifiées</i>	<i>Pas de données identifiées</i>	
Lasiocampidae	<i>Gastropacha Ochsenheimer</i> 1810	<i>Pas de données identifiées</i>	<i>Pas de données identifiées</i>	
Lasiocampidae	<i>Malacosoma</i> Hübner 1820	Dermatite	<i>Pas de données identifiées</i>	Hossler (2009)
Lasiocampidae	<i>Streblote</i> Hübner 1820	<i>Pas de données identifiées</i>	<i>Pas de données identifiées</i>	
Lasiocampidae	<i>Artace</i> Walker, 1855	<i>Pas de données identifiées</i>	<i>Pas de données identifiées</i>	
Limacodidae	<i>Heterogenea</i> Knoch 1783	<i>Pas de données identifiées</i>	<i>Pas de données identifiées</i>	
Limacodidae	<i>Sisyrosea</i> Grote 1876	<i>Pas de données identifiées</i>	<i>Pas de données identifiées</i>	
Limacodidae	<i>Parasa</i> Moore 1860	Sensation de brûlure immédiate, œdème pouvant durer plusieurs jours	<i>Pas de données identifiées</i>	Hossler (2009 et 2010b) , Walker (2021)
Limacodidae	<i>Parasa lepida</i> (Cramer 1779)	<i>Pas de données identifiées</i>	Inhibiteurs de protéases (coagulation, réponse immunitaire, enzymes protéolytiques). Peptides neurotoxiques (21 <i>P. lepida</i> novel Knottin-like peptides), CAP protéines pouvant (allergènes possibles), Dipeptidyl peptidase IV (action sur système immunitaire et allergène possible). Venom Acid Phosphatase (histaminolibérateur et allergène possible). Carboxylestérase-6 (allergène possible). Sérines protéases (coagulation, vasodilatation, système immunitaire). Lipocalines (immunité, synthèse de prostaglandines, coagulation). Inhibiteur de sérine protéases (coagulation, réponse inflammatoire et immunitaire). Phospholipase A2 (réponse inflammatoire, coagulation, transmission neuromusculaire). Peptides antimicrobiens.	Mitpuangchon (2021)

Famille	Genre / espèces	Manifestations	Composition et action du venin	Source (étude ou cité dans)
Limacodidae	<i>Parasa chloris</i> (Herrich-Schäffer 1854) <i>Parasa indetermina</i> (Boisduval 1832)	Prurit, érythème, œdème Sensation de brûlure modérée à sévère	<i>Pas de données identifiées</i>	Villas-Boas (2016)
Megalopygidae	<i>Megalopyge</i> Hübner 1820 <i>Megalopyge opercularis</i> (Smith 1797)	Sensation de brûlure intense, douleur intense avec irradiation érythème, vésicules hémorragiques, pustules, pseudo-paralysie, signes généraux (fièvre, céphalées, vomissements, douleurs abdominales)	Non caractérisée	Villas Boas (2018 et 2016), Diaz (2005), Estrella (2020), Hossler (2009)
Megalopygidae	<i>Podalia</i> Walker 1856	Erythème, œdème et douleurs	Serpines, sérine protéases et inhibiteurs de sérines protéases agissant sur coagulation, (action fibrinolytique et sur fibrogène), activité phospholipase A 2. Action réponse inflammatoire et immunitaire	Villas Boas (2018), Mitpuangchon (2021) Seldeslachts (2020)
Noctuidae	<i>Acronicta</i> Ochsenheimer 1816	<i>Pas de données identifiées</i>	<i>Pas de données identifiées</i>	
Notodontidae	<i>Thaumetopoea</i> Hübner 1820	Dermatite papuleuse prurigineuse, œdème, atteinte muqueuse et oculaire. Réactions allergiques	<i>T pityocampa</i> : nombreuses protéines dans les soies avec diverses actions dont sérine-protéases, enzymes intervenant dans la synthèse de chitine stimulant la prolifération des lymphocytes T, histamino-libératrices. 3 protéines allergènes - Thaumétopoéine : dans les chenilles, dégranulant les mastocytes (histamino-libératrice) ; - Tha p 1 allergène, environ 15kDa - Tha p 2 : protéine de 115 acides aminés, 15 kDa, abondante, action histamino-libératrice et allergène.	Berardi (2017 et 2015), Bonamonte (2013), Moneo (2015 chapitre 8) et Moneo (2003), Hossler (2009), Villas-Boas (2018), Werno (1993)
Nymphalidae	<i>Aglais io</i> (L. 1758)	<i>Pas de données identifiées</i>	<i>Pas de données identifiées</i>	
Nymphalidae	<i>Nymphalis</i> Kluk 1802	Légère piquûre	<i>Pas de données identifiées</i>	Villas-Boas (2016)
Nymphalidae	<i>Morpho</i> Fabricius 1807	Dermatite urticarienne	<i>Pas de données identifiées</i>	Villas-Boas (2016)

Famille	Genre / espèces	Manifestations	Composition et action du venin	Source (étude ou cité dans)
Saturniidae	<i>Automeris</i> Hübner 1819	Douleurs, sensation de brûlures, papules urticariennes de brève durée, rarement douleur irradiante	Inconnue. Pas de rôle de l'histamine	Villas-Boas (2016 et 2018), Hossler (2009), Citeli (2021), Diaz (2005), Hossler (2010 b)
Saturniidae	<i>Dirphia</i> Hübner 1819	Douleur à type de brûlure irradiante, éruption érythémateuse et œdème, réponse inflammatoire Atteinte rénale,	Histamine isolée soie de larves	Citeli (2021), Seldeslachts (2020), Villas-Boas (2016)
Saturniidae	<i>Hylesia metabus</i> Cramer 1775	Éruption papulo-vésiculeuse, prurit intense, sensation de malaise, atteinte oculaire (principalement papillonite)	Activité enzymatique de sérine protéases pour. 60 % des protéines (28)45 kDa du venin = 5 protéases (sous famille S1A). Réponse inflammatoire due à protéases et chitinase Pas d'histamine. Différentes protéines à activité protéolytique, fibrinolytique, pro-inflammatoire	Berardi (2017), Cabrera (2016), Cabrera (2017) Lundberg (2007)
Saturniidae	<i>Hylesia nigradorsata</i> Dognin 1912	<i>Pas de données identifiées</i>	Plusieurs protéines de 10 à 97 kDa, sérines protéase, serpine, hémoline, activité protéolytique dégranulation des mastocytes.	Casafus M 2022
Saturniidae	<i>Lonomia</i> Walker 1885	Douleurs, sensation de brûlure, puis envenimation avec syndrome hémorragique par coagulopathie de consommation, néphrotoxicité. Avec insuffisance rénale. <i>L. achelous</i> : activité pro-coagulante avec coagulation intra-vasculaire disséminée modérée suivie d'une anticoagulante avec fibrinolyse. <i>L. obliqua</i> : activité pro-coagulante avec coagulopathie de consommation et fibrinolyse.	<i>L. achelous</i> : Activité plasmine-like (Achelase I et II), Lonomine V : dégradation de la fibrine, fibrinogène, facteur XIII, activation du plasminogène Lonomine III, IV, VI, VII : action sur coagulation, sur endothélium vasculaire, génération de médiateurs pro-inflammatoires. <i>L. obliqua</i> : Lonofibrase fibrinogénolytique, Phospholipase A2, hyaluronidases. Altération endothélium vasculaire. Activateurs du facteur X (Losac) et de la prothrombine (Lopap) : action sur coagulation et cellules endothéliales. Lectines, transferrine, Laminine, trypsine...	Villas-Boas (2018), Alvares-Flores (2021), Seldeslachts (2020), Veiga (2005)
Zygaenidae	<i>Artona martini</i> Efetov 1997	<i>Pas de données identifiées</i>	<i>Pas de données identifiées</i>	

3.2.2 Effets induits par l'exposition au venin chez l'Homme

Le contact avec les soies urticantes (soies des chenilles du genre *Thaumetopoea* et *Euproctis*) peut avoir lieu selon deux modalités :

- *Directe* lors d'un contact avec la chenille elle-même ou le nid qui est couvert de soies,
- *Indirecte* par manipulation d'objets contaminés (branches ou cônes, sable ou terre), par contact avec des animaux dont le pelage est contaminé
- ou encore par contact aéroporté suite à la dissémination aérienne des soies (Bonamonte, 2013 ; Hossler, 2009 ; Hossler, 2010a, 2010b).

Les parties du corps les plus touchées sont les zones non couvertes par les vêtements : dos des mains, espaces interdigitaux, poignets, visage, paupières, décolleté, nuque, faces latérales du cou. En cas de contact direct avec la chenille, les lésions prédominent sur la zone de contact (Bonamonte, 2013 ; Hossler, 2010a, 2010b ; Moneo, 2014, chapitre 8).

L'aspect le plus fréquent est celui d'une dermatite (inflammation de la peau) se traduisant par une éruption érythémateuse papuleuse prurigineuse (Cf. Figure 19) qui apparaît dans les heures qui suivent le contact. Ces lésions vont durer d'un à plusieurs jours et sont parfois entretenues par le grattage. Elles peuvent prendre un aspect de prurigo pouvant être bulleux (Bonamonte, 2013 ; Ducombs, 2007 ; Ellis, 2021 ; Fagrell, 2008 ; Hossler, 2009 ; Hossler, 2010b ; Haddad, 2012).



Figure 19 : Exemple d'éruption papuleuse (Photo : Daniel Ullrich ; source : Fredon Centre-Val de Loire)

L'atteinte du visage et en particulier des paupières peut se traduire par un œdème pouvant être pris pour une réaction d'hypersensibilité immédiate (allergie IgE médiée).

L'atteinte oculaire entraîne une impression de corps étranger, un larmoiement avec conjonctivite et photophobie avec un risque de formation ultérieure de nodules conjonctivaux (ophtalmie noueuse) qui vont englober les soies de chenille. La migration des soies de la cornée vers les couches postérieures avec possibilité d'atteinte de la rétine peut entraîner une perte de l'acuité visuelle (son caractère permanent dépend de la localisation et des possibilités d'extractions des soies) car l'ablation des soies est souvent incomplète du fait de leur nombre

ou de leur positionnement dans les structures oculaires (Bonamonte, 2013 ; Hossler, 2009 ; Hossler, 2010a ; Hossler, 2010b).

Sur le plan respiratoire, la gêne se manifeste par une toux, une dyspnée pouvant aller jusqu'au bronchospasme. En cas de contact avec la muqueuse pharyngo-laryngée l'importance de l'œdème peut entraîner une asphyxie (Hossler, 2009).

En cas d'ingestion des soies, des troubles digestifs avec douleurs abdominales et diarrhée sont possibles.

Des atteintes plus spécifiques sont décrites pour d'autres espèces ou genres de Lépidoptères et sont plus rarement rapportées comme des lésions osseuses, des paresthésies de la Paramorse du Brésil décrite chez les travailleurs au contact des hévéas porteurs de chenilles *Premolis semirufa* Walker 1856 (Erebidae), et en Chine, la dendrolimiose due aux contacts avec la chenille *Dendrolimus pini* responsable de polyarthrite chronique et polychondrite chez les travailleurs forestiers (Bonamonte, 2013 ; Hossler, 2010a ; Hossler 2010b ; Huang, 1991).

Des manifestations allergiques sont possibles chez les personnes déjà sensibilisées par des contacts antérieurs. Ces manifestations apparaissent en moins d'une heure après le contact avec les soies et peuvent prendre différentes formes (Moneo, 2015 ; Hossler, 2010a ; Hossler 2010b ; Haddad, 2012) :

- Éruption sous forme de papules d'urticaire qui vont disparaître en moins de 24 h,
- Œdème (urticaire profonde) en particulier sur les zones de peau fine comme les paupières et sur les muqueuses,
- Crise d'asthme,
- Choc anaphylactique (urticaire généralisée, atteinte respiratoire, chute tensionnelle...).

La présence d'IgE spécifiques sériques a été mise en évidence dans plusieurs études témoignant de la possibilité de développer une réaction allergique aux composants du venin des chenilles (Vega J.M., 1997, 1999, 2014 ; Vega J., 2004 ; Nikolov, 2020 ; Moneo, 2015 ; Rodriguez-Mahillo, 2015). Certaines chenilles peuvent entraîner des signes d'envenimation plus spécifiques comme les chenilles du genre *Lonomia* avec des troubles de la coagulation (Diaz, 2005 ; Hossler, 2009 ; Alvarez-Flores, 2021 ; Villas-Boas, 2016 ; Hossler, 2010a ; Hossler, 2010b ; Haddad, 2012).

3.3 Impacts des chenilles à poils urticants sur la santé humaine

3.3.1 Revue de la littérature sur l'impact sanitaire des chenilles à poils urticants

3.3.1.1 Démarche de recherche bibliographique

Le GT a mené une analyse de la littérature médicale afin de collecter des données relatives à l'épidémiologie des pathologies induites par les chenilles processionnaires, les facteurs de vulnérabilité et les différents tableaux cliniques décrits.

Cette analyse bibliographique non exhaustive a été réalisée par le biais de la base PubMed à partir des mots-clés figurant au Tableau 8 (dernières requêtes en 2022). Le

périmètre de la recherche a été réduit par le biais de filtres : seules les publications portant sur les atteintes en santé humaine, publiées à partir de 1990, en langue anglaise et française ont été intégrées au corpus analysé. La sélection des articles pertinents (Cf. Tableau 8) s'est faite par tri manuel d'après les résumés. Les doublons ont été éliminés par tri manuel. Cette bibliographie a été complétée par des articles non répertoriés identifiés dans les références bibliographiques (deux thèses et un rapport).

Enfin, cette revue de la littérature s'est appuyée sur la liste des 55 espèces de chenilles à poils urticants établie par le GT (voir section 2.2). *In fine*, 141 publications ont été analysées se répartissant en trois catégories :

- 21 revues générales
- 42 études (études épidémiologiques, études cliniques)
- 78 rapports de cas ou de séries de cas cliniques

Tableau 8 : Revue de la littérature - Eléments de méthode

Mots-clés	Nombre de références obtenues avant tri	Nombre de références exclues et motifs	Nombre de références retenues après tri
Processionary caterpillar	95	(animal 13 ; autres langues : 7 ; sans rapport santé humaine : 24)	51
Caterpillar dermatitis	83	(12 : animal, autres langues)	71
Erucism	13	0	13
Urticating AND caterpillar	15	(1 publication portant sur une tarentule)	14
Urticating AND moths	15	0	15
Caterpillar anaphylaxis	7	0	7
Processionary caterpillar	44	(1 publication concernait une atteinte sur un chien et 1 autre un traitement uniquement)	43
<i>Ophtalmia nodosa</i>	28	(9 : autres causes que chenilles)	19

L'analyse des **publications de cas cliniques** ou série de cas cliniques a été basée sur 73 articles portant sur plus de 300 cas publiés entre 1990 et 2022. Certaines publications concernant des genres / espèces de chenilles non retenues dans la sélection entomologique ont été conservées en raison d'un intérêt particulier, cas signalé ci-après par un astérisque (population, contexte et mode d'exposition, tableau clinique...).

3.3.1.2 Résultats de l'analyse bibliographique

3.3.1.2.1 Identification des espèces de chenilles en cause

La nature des chenilles était souvent non identifiée ou non précisée (38 cas). Pour les chenilles identifiées la majorité des cas décrits concernaient *Thaumetopoea pityocampa* (processionnaire du pin ; 57 cas), *Thaumetopoea processionea* (processionnaire du chêne ; 16 cas), *Lophocampa* Harris 1841* (Erebidae ; 14 cas). Peu de publications dans les années sélectionnées ont concerné les cas liés à *Euproctis* (2 cas).

3.3.1.2.2 Le contexte d'exposition

Tableau 9 : Contexte d'exposition

Contexte d'exposition		Nombres de publications (avec un ou plusieurs cas cliniques)	Références
professionnel	jardinage, taille et tonte	6	Avilan L 2010, Fuentes-Aparicio V 2004, Gardner TL 1997, Haq M 2021, Michienzi AE 2022, Vega J 2004
	travailleur forestier	5	Blériot A 2015, Milkova L 2013, Ricciardi L 2021, Vega J 2004, Vega JM 1997
	récolteur de cônes, nids de chenilles	3	Morales-Cabeza C 2016, Portero A 2013, Vega JM 1997,
	autres : ouvrier puits de pétrole, marin tanker, nettoyage stalle écurie, ferme élevage chenilles, cameraman	5	Gonzalez C 2021, Hassing RJ 2008, Haq M 2021, Julianne R 2015, Taskiran Comez A 2013
milieu forestier ou à proximité d'arbres infestés		13	Campolmi N 2014, Conrath J 2000, Couppié P 1998, Fuentes-Aparicio V 2004, Hoesly PM 2019, Hugo J 2019, Kozer E 1999, Milkova L 2013, Paniz-Modolfi AE 2011, Perez-Bartolome F 2020, Portero A 2013, Santos Magadan S 2009, Tan MKH 2021
villes, parcs, jardins publics et privés, écoles, campings		14	Al Somali Al 2021, Bayraktutar BN 2020, Couppié P 1998, Dunlop K 1997, Inal A 2006, Gonzalez-Martin-Moro J 2019, Haq M 2021, Izquierdo-Rodriguez C. 2022, Maler H 2004, Müller C 2011, Perez-Bartolome F 2020, Perrot JL 2016, Shkalim V 2008, Spiegel W 2004
parcs de loisirs, centres communautaires (lieux où plusieurs personnes peuvent être présentes)		9	Balit CR 2001, Chandrasekaran M 2008, Fournier I 2011, Fuentes-Aparicio V 2004, Haq M 2021, Gottschling S 2006, Jadoo AS 2020, Konstat-Korzenny E 2020, Kozer E 1999,
aire de repos		1	Paniz-Modolfi AE 2011
montagne		1	Agarwal M 2017

Quand il était précisé, il s'agit pour *Thaumetopoea pityocampa* d'exposition lors :

- de contacts survenant chez les habitants vivant à proximité de forêts de pins (Fuentes-Aparicio, 2004 ; Vega J., 2004) ou avec des pins infestés dans leur jardin (Inal, 2006) ;
- lors de promenade en forêt ou à proximité de forêts avec des pins infestés (Campolmi, 2014 ; Fuentes-Aparicio, 2004 ; Perez-Bartolome, 2020 ; Portero, 2013 ; Tammaro, 2016) ;
- lors du travail en forêt (Vega J., 2004 ; Vega J.M., 1997), comme par exemple lors de la récolte de cônes (Morales-Cabeza, 2016 ; Portero, 2013), ou de nids de chenilles (Bayraktutar, 2020 ; Shkalim, 2008) ;
- lors de la taille de cyprès à proximité de pins infestés (Fuentes-Aparicio, 2004) ;
- d'une série de trois cas dans un élevage de chenilles est à noter (1 veilleur et 2 éleveurs) (Taskiran Comez, 2013).

Pour *Thaumetopoea processionea*, l'exposition est liée à :

- un séjour dans un parc de loisirs avec un chêne infesté (Gottschling, 2006),
- dans des jardins privés avec un chêne atteint ou à proximité d'un chêne porteur d'un nid (Maier, 2004 ; Müller, 2011 ; Spiegel, 2004) ;
- lors de promenade à pied ou vélo dans des forêts avec des chênes atteints (Tan, 2021) ;
- lors de l'empilage de bois dans une forêt de chêne (Milkova, 2013) ou lors de la récolte d'un nid (Gonzalez-Martin-Moro, 2019).

Pour *Thaumetopoea wilkinsoni* Tams 1925, l'exposition est consécutive à l'installation de tentes dans une forêt de pins infestés (Kozer, 1999).

Pour *Euproctis edwardsii* Newman 1856, l'exposition a touché une partie du personnel et des visiteurs d'un centre communautaire contaminé par la proximité des chenilles (Balit, 2001).

Pour *Hylesia*, il s'agit de contact avec des papillons sur une aire de station d'essence ou en zone d'endémie au Venezuela (Paniz-Modolfi, 2011 ; Gonzalez, 2021) ou après une escale en Guyane française (Hassing, 2008) ou de contact direct avec des chenilles (Couppié, 1998).

Au regard de ces éléments, il est difficile de préciser le contexte d'exposition général aux chenilles à poils urticants par espèce ou dans leur ensemble, en dehors de la certitude que les expositions ont eu lieu par un contact direct car les lésions rapportées et les topographies sont suggestives d'une exposition à des soies urticantes dans des zones où les chenilles sont présentes.

3.3.1.2.3 Les modalités de contact

Tableau 10 : Modalités de contact

Modalités du contact		Nombre de publications (un cas ou série de plusieurs cas par publication)	Références
Direct	retrait nid ou contact avec nid	9	Bayaraktutar BN, 2020, Blériot A 2015, Conrath J 2000, Gonzalez-Martin-Moro J 2019, Haq M 2021, Ricciardi L 2021, Shkalim V 2008, Tammaro A 2016, Vega JM 1997
	marche sur chenille	2	Chan K 2008, Coupié P 1998
	chute de chenille	12	Avilan L 2010, Blériot A 2015, Coupié P 1998, Fraser SG 1994, Gardner TL 1997, Hoesly PM 2019, Horng CT 2000, Inal A 2006, Izquierdo-Rodriguez C 2022, Michienzi AE 2022, Morales-Cabeza C 2016, Vega JM 1997
	jeu avec chenille ou nid de chenilles	4	Gottschling S 2006, Kozer E 1999, Müller C 2011, Teske SAH 1991
	chenille dans vêtements ou sur la peau ou les muqueuses	22	Al Somali Al 2021, Coupié P 1998, Fraser SG 1994, Gonzalez C 2021, Greene SC 2018, Haq M 2021, Hugo J 2019, Inal A 2006, Jadoo AS 2020, Konstat-Korzenny E 2020, Paniz-Modolfi AE 2011, Perez-Bartolome F 2020, Santos JHA 2017, Savage ND 2018, Shkalim V 2008, Tan MKH 2021, Taskiran Comez A 2013, Teske SAH 1991, Torrents R 2015, Tsai MK 2018, Viseux V 2003, Zavar V 2019
aéroporté	au cours promenade ou travail en forêt	7	Campolmi N 2014, Izquierdo-Rodriguez C 2022, Perez-Bartolome F 2020, Perrot JL 2016, Portero A 2013, Ricciardi L 2021, Tan MKH 2021
	dans parc de loisirs	3	Balit CR 2001, Chandrasekaran M 2008, Gottschling S 2006
	à proximité arbres infestés, jardin, habitation, collège, ferme d'élevage...	11	Coupié P 1998, Dunlop K 1997, Fournier I 2011, Fuentes-Aparicio V 2004, Gottschling S 2006, Haq M 2021, Hugo J 2019, Maler H 2004, Santos Magadan S 2009, Spiegel W 2004, Taskiran Comez A 2013
indirect (contact avec objets souillés si précisés)	salive chien	1	Maronna A 2008
	lingette	1	Agarwal M 2017
	nettoyage stalle écurie	1	Julienne R 2015
	contact avec bois contaminé	1	Milkova L 2013
modalités non précisées		5	Coupié P 1998, Cuevas P 2011, Turkmen H 2004, Sridhar MS 2004, Vega J 2003

Dans les publications où plusieurs cas sont présentés, différentes modalités de contact peuvent avoir lieu.

Quand elles étaient précisées il s'agissait :

- Pour *T. pityocampa* d'un :
 - contact direct avec des nids (Bayaraktutar, 2020 ; Tammaro, 2016 ; Vega J.M., 1997) ;
 - contact direct avec la chenille (Inal, 2006 ; Morales-Cabeza, 2016 ; Shkalim, 2008 ; Viseux, 2003). A noter que 3 des cas (par contact direct avec les chenilles) touchaient des enfants (Shkalim, 2008 ; Inal, 2006 ; Viseux, 2003).

- contact aéroporté lors d'activité de loisirs comme marche / vélo en forêt ou à proximité, chasse, contact avec un sol contaminé ou taille de haie (Campolmi, 2014 ; Fuentes-Aparicio, 2004 ; Izquierdo-Rodriguez, 2022 ; Portero, 2013).
- Pour *T. processionea* d'un :
 - contact direct avec un nid (Gonzalez-Martin-Moro, 2019) ou par jeu avec un nid au sol pour 2 enfants (Müller, 2011) ;
 - contact direct avec la chenille à vélo ou dans les chaussures (Tan, 2021 ; Zawar, 2019) ;
 - contact aéroporté lors de séjour dans un parc de loisirs avec chênes infestés (Gottschling, 2006, 2007), dans un jardin personnel à proximité ou avec un chêne infesté (Maïer H., 2004 ; Spiegel, 2004), lors de promenade à pied ou en vélo en forêt ou à proximité de chênes infestés (Tan, 2021), et par contact avec la salive contaminée d'un chien qui avait joué avec un nid au sol de chenilles processionnaires du chêne (Maronna, 2008).
- Pour *T. wilkinsonii*, d'un contact direct lors de jeu avec une chenille chez des jeunes lors d'un camp installé sous des pins infestés (Kozer, 1999).
- Pour *Euproctis*, d'un contact indirect (Balit, 2001).
- Pour *Hylesia*, d'un contact direct avec des papillons (Gonzalez, 2021 ; Paniz-Modolfi, 2011) et avec des chenilles sous les vêtements (Coupié, 1998).

Lorsque la nature de la chenille est inconnue ou non précisée, il s'agissait de :

- contact direct avec des nids (Blériot, 2015 ; Ricciardi, 2021), ou suite à une chute de chenille(s) sur le revêtement cutané ou au niveau des yeux (Al Somali, 2021 ; Fraser, 1995 ; Ricciardi, 2021 ; Savage, 2018, Tsai MK A J 2018, Teske SAH 1991), ou marche sur chenilles (Chan K 2008) ou lors de jeu avec les chenilles (Teske SAH 1991).
- contact indirect avec du linge contaminé (Agarwal, 2017), ou aéroporté lors de jeux dans un parc de loisirs ou dans un champ (Chandrasekaran, 2008 ; Singh, 2017), ou au collège avec arbres infestés à proximité (Fournier, 2011), sous ou à proximité d'arbres contaminés (Randell, 2017 ; Santos Magadan, 2009) ou lors de travaux forestiers (Ricciardi, 2021) ou de nettoyage de stalles d'écurie (Julienne, 2015).

Au regard de ces éléments, il subsiste de grandes incertitudes concernant les modalités exactes du contact de l'homme avec les chenilles à poils urticants, en dehors d'un contact direct établi d'après l'analyse (du peu) de publications qui font état d'un contact précis.

3.3.1.2.4 Facteurs de vulnérabilité

3.3.1.2.4.1 Les enfants

Les publications analysées ont porté sur 65 cas d'enfants de 2 mois à 15 ans dont 33 âgés de 2 mois à 5 ans (Al Somali, 2021 ; Bhardwaj, 2020 ; Claudet, 2009 ; Coupié, 1998 ; Dunlop, 1997 ; DuGar, 2014 ; Greene, 2018 ; Inal, 2006 ; Jadoo, 2020 ; Konstat-Korzenny, 2020 ; Maïer, 2004 ; Müller, 2011 ; Pitetti, 1999 ; Ramesh Bhat, 2010 ; Teske, 1991 ; Tripi, 2010, van Bockxmeer, 2013 ; Vega J.M., 2003 ; Viseux, 2003).

Pour la classe d'âge de 2 mois à 5 ans, les chenilles en cause étaient (les espèces suivies d'un astérisque ne sont pas mentionnées dans la liste des espèces sélectionnées par le GT : le maintien de ces espèces a été décidé par le GT du fait d'un mode de contact particulier avec un portage à la bouche plus fréquent de ce type de chenilles et des manifestations cliniques qui peuvent être différentes) :

- *T. processionea* pour 4 enfants (Maier, 2004 ; Müller, 2011) ;
- *T. pityocampa* pour 6 enfants (Inal, 2006 ; Vega J.M., 2003 ; Viseux, 2003), *Euproctis edwardsii* pour 1 (Dunlop, 1997) ;
- *Megalopyge* pour 2 (Greene, 2018 ; Konstat-Korzenny, 2020) ;
- *Lophocampa* * pour 13 enfants (Bhardwaj, 2020 ; DuGar, 2014 ; Pitetti, 1999) ;
- *Acharia stimulea* * pour 1 cas (Claudet, 2009) ;
- *Tussock moth* (Erebidae) pour 1 cas (Ramesh Bhat, 2010) ;
- *Dirphia* pour 1 cas (Claudet, 2009) ;
- *Ochrogaster* * pour 1 cas (van Bockxmeer, 2013) ;
- et espèce non précisée ou inconnue pour 3 publications (Al Somali, 2021 ; Jadoo, 2020 ; Teske, 1991).

Pour ces enfants de 2 mois à 5 ans (33 cas),

- un contact accidentel avec une chenille est noté dans 9 cas (Al Somali, 2021 ; Claudet, 2009 ; Couppié, 1998 ; Greene, 2018, Inal, 2006 ; Konstat-Korzenny, 2020 ; Ramesh Bhat, 2010 ; Vega J.M., 2003) ;
- un contact direct par jeu avec une chenille ou un nid de chenilles est noté dans 7 cas (DuGar, 2014 ; Jadoo, 2020 ; Müller, 2011 ; Teske, 1991 ; van Bockxmeer, 2013) ;
- une mise à la bouche de chenilles est notée dans 13 cas (12 fois *Lophocampa* * et 1 fois *T. pityocampa*) (Bhardwaj, 2020 ; Pitetti, 1999 ; Tripi, 2010 ; Viseux, 2003) ;
- le contact est indirect pour 6 cas (Dunlop, 1997 ; Maier, 2004 ; Müller, 2011).

Pour les enfants de 6 à 15 ans, il s'agit de contact direct accidentel (6 cas) (Alves, 2018 ; Campolmi, 2014 ; Chandrasekaran, 2008 ; Fournier, 2011 ; Paniz-Modolfi, 2011 ; Teske, 1991), 3 cas de contact direct par jeu (Teske, 1991 ; Kozar, 1999) et un cas de contact indirect (Fuentes-Aparicio, 2004).

3.3.1.2.4.2 La présence d'un terrain atopique

La présence d'un terrain atopique peut être définie comme une prédisposition génétique à développer une réaction vis-à-vis de substances allergènes de l'environnement se traduisant par asthme, rhino-conjonctivite, dermatite atopique.

Cette donnée est le plus souvent manquante (présente dans 15 publications seulement) **ne permettant pas de conclure sur un rôle éventuel dans la gravité** (Qualité de ce qui apporte des conséquences graves c'est-à-dire, en médecine, une invalidité ou une incapacité, des soins prolongés ou pénibles et, à l'extrême, le décès). Elle est évaluée par des scores de gravité comme le PSS¹⁷ **des réactions ou un rôle favorisant pour la survenue de réactions allergiques** en cas de contact avec les soies urticantes. A noter que pour deux des cas de réaction anaphylactique décrits dans la littérature, l'absence de terrain atopique est précisée (Morales-Cabeza *et al.*, 2016 ; Tsai & Yang, 2018).

¹⁷ PSS : Poisoning severity score

3.3.1.2.4.3 Les antécédents de réaction allergique aux venins d'hyménoptères

Un terrain d'allergie sévère au venin d'abeille n'a pas entraîné de réaction en dehors de la zone de contact avec une chenille du genre *Limacodidae* (Alves, 2018). Dans l'étude prospective d'Everson (1990), parmi les personnes ayant appelé le Regional Poison center de Louisiane, 16 % (8 cas) avaient un antécédent d'allergie aux hyménoptères et aucun n'a présenté de réaction anaphylactique aux chenilles ni de réaction sévère. Dans l'étude de Vasseur (Vasseur, 2022), un des 2 cas jugés sévères (éruption cutanée papuleuse diffuse, dysphonie et dysphagie après exposition à un nid de chenilles) avait un antécédent de réaction allergique au venin d'hyménoptère.

3.3.1.2.5 *Les manifestations cliniques*

3.3.1.2.5.1 Lésions les plus fréquentes

Il s'agit chez les adultes le plus souvent de dermatite papuleuse prurigineuse classique avec en cas de contact muqueux des réactions œdémateuses avec rhinite, conjonctivite, gêne respiratoire.

3.3.1.2.5.2 Atteintes oculaires

Vingt-neuf publications ont concerné les atteintes oculaires.

Pour ces atteintes oculaires, le contact avec les chenilles est le plus souvent direct et intervient :

- lors de retrait de nids (Bayaraktutar BN, 2020 ; Conrath, 2000) ;
- lors de jeu avec les chenilles (Saleh, 2020 ; Teske, 1991) ;
- ou lors de diverses activités extérieures (Al Somali, 2021 ; Blériot, 2015 ; Fraser, 1994 ; Fraser, 1995 ; Gonzalez-Martin-Moro, 2019 ; Horng, 2000 ; Savage, 2018 ; Tan, 2021 ; Teske, 1991).

Les contacts aéroportés sont signalés lors :

- de marche en forêt ou à proximité d'arbres infestés (Agarwal, 2017 ; Campolmi, 2014 ; Fournier, 2011 ; Hugo, 2019 ; Izquierdo-Rodriguez, 2022 ; Pérez-Bartolomé, 2020 ; Portero, 2013 ; Singh, 2017 ; Tan, 2021) ;
- de la récolte de cônes (Portero, 2013) ;
- du nettoyage de stalles d'écurie (Julienne, 2015) ;
- dans un élevage de chenilles (Taskiran Comez, 2013).

Ces atteintes ophtalmologiques ont toutes nécessité un recours aux services spécialisés d'ophtalmologie avec le plus souvent nécessité de l'ablation des soies conjonctivales et cornéennes.

La persistance de soies malgré des interventions itératives de retrait est rapportée (Blériot, 2015 ; Campolmi, 2014 ; Fournier, 2011 ; Gonzalez-Martin-Moro, 2019 ; Horng, 2000 ; Hugo, 2019 ; Pérez-Bartolomé, 2020 ; Saleh, 2020 ; Savage, 2018 ; Tan, 2021 ; Teske, 1991).

Une baisse d'acuité visuelle séquellaire à distance est notée pour 2 des 10 patients de la série de Sridhar (2004) et dans les observations de Fraser (1994) et de Bayaraktutar (2020).

3.3.1.2.5.3 Réactions allergiques

Il n'est pas toujours facile de distinguer sur les publications les manifestations de mécanisme immunologique¹⁸ des réactions toxiques en l'absence de données précises sur le délai d'apparition des signes par rapport à l'exposition ainsi que du fait de l'emploi d'une terminologie ne semblant pas toujours adéquate pour les manifestations cutanées. En particulier, la dermatite papuleuse peut être appelée à tort urticaire (papules érythémateuses, œdémateuses prurigineuses fugaces et migratrices). Par ailleurs, l'œdème et la gêne respiratoire, conjonctivite et rhinite peuvent être présents dans les deux mécanismes.

Un cas d'anaphylaxie chez un enfant de 5 ans exposé par jeu avec un nid de chenilles (*Lophocampa maculata* Harris 1841*) est rapporté sur terrain atopique (rhinoconjonctivite) (DuGar, 2014).

Fuentes-Aparicio et ses collègues (Fuentes-Aparicio *et al.*, 2006) ont suivi par tests cutanés avec un extrait de chenilles (*T. pityocampa*) et recherche des IgE spécifiques (marqueur d'une sensibilisation), une série de 16 patients âgés de 6 à 15 ans sélectionnés sur divers symptômes identifiés comme allergiques mis en lien avec l'exposition à des chenilles de *T. pityocampa* dont un cas d'anaphylaxie (9 ans, non atopique) mais sans détail complémentaire.

Un cas d'anaphylaxie avec détresse respiratoire, et perte de connaissance apparues en moins de 10 minutes après contact accidentel avec *T. pityocampa* est rapporté chez un récolteur de cônes sans antécédent atopique ou d'allergie ni alimentaire ni aux hyménoptères mais révélant une mastocytose (pathologie des mastocytes exposant à des réactions sévères secondaires à une histamino-libération massive) (Morales-Cabeza C., 2016). La nature allergique de la réaction a été confirmée par la présence d'IgE spécifiques (tests cutanés et transfert de protéines).

Une réaction généralisée avec éruption urticarienne, angioœdème facial, gêne respiratoire, nausées, malaise est décrite chez une femme de 24 ans, atopique, dans des conditions d'exposition et de délai d'apparition non précisées mais en dehors d'un contexte professionnel après une première réaction d'urticaire généralisée par contact aéroporté à *T. pityocampa*, mais sans détail sur la prise en charge. Les tests cutanés et immunoblott ont confirmé la présence d'IgE (Santos Magadan, 2009).

Spiegel rapporte le cas d'un homme de 60 ans, subissant des expositions indirectes multiples et répétées à *T. processionea* dans son jardin, qui a présenté un prurit immédiat lors de marche dans son jardin suivi d'éruption, gêne respiratoire, malaise et un épisode de bronchoconstriction de survenue immédiate lors d'une exposition ultérieure à distance de tout contact direct avec les chenilles, le tout évoquant une sensibilisation préalable par expositions répétées. Il n'y a pas eu d'exploration immuno-allergologique (Spiegel, 2004).

Un cas d'anaphylaxie mais de début retardé (15 heures) après contact avec une chenille non identifiée au niveau du cou, est décrit chez un jeune de 20 ans ayant une urticaire

¹⁸ Les manifestations de mécanisme immunologique d'hypersensibilité immédiate (*i.e.*, réactions allergiques) peuvent être qualifiées par le biais du délai d'apparition après le contact, celui-ci devant être de moins d'une heure après le contact, du type de manifestations cliniques et de leur durée.

chronique avec d'abord éruption localisée sur la zone de contact puis secondairement urticaire généralisée, chute tensionnelle et atteinte respiratoire (Tsai and Yang, 2018). Des IgE spécifiques sont présentes pour Taon, Fourmi de feu, Moustique et papillon sans autre précision.

Dans une série de 30 patients sélectionnés pour des réactions identifiées comme urticaire immunologique liées à une exposition professionnelle à *T. pityocampa*, Vega (2004) rapporte la survenue d'une anaphylaxie pour 12 de ces 30 patients. La réaction est définie comme atteinte cutanée avec au moins une autre atteinte : rhinite pour 6, conjonctivite pour 10, hypotension pour 1 mais sans autre précision. Les recherches d'IgE spécifiques en immunoblot montrent une fixation des IgE sur des protéines de différents poids moléculaires.

3.3.1.2.5.4 Tableaux particuliers chez les enfants de moins de 5 ans

Pour les enfants de moins de 5 ans sont également rapportés,

- un cas d'anaphylaxie après exposition à *Lophocampa* * (DuGar, 2014) ;
- un tableau d'intoxication avec détresse respiratoire et fièvre (Tussock moth, Ramesh *et al.*, 2010) ;
- un tableau appendiculaire (*Megalopyge*, Greene *et al.*, 2018) ;
- un syndrome micro géodique des phalanges (*T. pityocampa*, Viseux *et al.*, 2003) ;
- un tableau d'ostéomyélite (*Ochrogaster**, van Bockxmeer & Green, 2013).

3.3.1.2.5.5 Autres formes cliniques décrites en fonction des chenilles identifiées

Les tableaux cliniques sont présentés ci-dessous espèce par espèce.

T. wilsoni : réaction locale œdémateuse, douleurs abdominales, hypertension et tachycardie (Kozer, 1999).

Megalopyge opercularis :

- douleurs immédiates au contact avec irradiations à distance, puis troubles de coagulation (Avilan, 2010) ;
- éruption vésiculeuse à évolution hémorragique et croûteuse (Gardner, 1997) ;
- tableau de douleurs abdominales pseudo-appendiculaires ayant nécessité une prise en charge en hospitalisation (Greene, 2018) ;
- genre *Megalopyge* sans identification, en Guyane française : douleurs intenses gênant la mobilisation (3 cas) (Torrents, 2015).

Automeris liberia Cramer 1780 (Saturniidae) : placard inflammatoire, nécrose cutanée et douleur syncopale nécessitant le recours aux services d'urgence et hospitalisation (Couppié, 1998).

Lymantria dispar : éruptions érythémateuses très prurigineuses pouvant être extensives apparaissant de quelques heures à 48 h après le contact avec une durée pouvant être de 2 à 3 semaines (Haq, 2021).

Norape ovina (Sepp 1852) (Megalopygidae) : douleurs intenses, de la zone de contact avec éruption érythémateuse œdémateuse d'évolution prolongée suivie de troubles de pigmentation sur plus de 2 mois (Michienzi, 2022).

Hylesia metabus : sensation de brûlures intenses sur la zone de contact, éruption pouvant avoir une évolution prolongée, impotence fonctionnelle du membre atteint, malaise, hypersudation, vomissements nécessitant une prise en charge spécifique (Paniz-Modolfi, 2011).

Lophocampa caryae Harris 1841 (Erebidae)* : suite à la mise à la bouche par des enfants, réaction œdémateuse locale, hypersalivation, refus d'alimentation et boisson, nécessitant le recours aux services de pédiatrie avec prise en charge et exploration pour mise en évidence et ablation des soies dans la muqueuse oropharyngée (Pitetti, 1999 ; Tripi, 2010).

Tussock moth (*Orygia* spp. ; Erebidae) : suite à un contact prolongé (chenilles dans les vêtements), éruption diffuse, détresse respiratoire avec fièvre avec un mécanisme toxique évoqué (Ramesh Bhat, 2010).

Lonomia sp. : éruption sur zone de contact, paresthésies, avec apparition à 24 h d'hémorragies gingivales, troubles de coagulation sévères avec coagulopathie de consommation et fibrinolyse, gravité du tableau rapporté au retard de l'administration de l'anti-venin (Santos, 2017).

T. pityocampa : lésions cutanées d'atrophie folliculaire due à un champignon *Trichophyton mentagrophytes* (C.P. Robin) Sabour identifié également dans le nid de chenille (Tammaro, 2016).

Espèce non identifiée : le tableau d'envenimation évoquant des lésions secondaires correspond à une exposition à une chenille probablement du genre *Lonomia* après marche nu-pied (Pérou), avec troubles de la coagulation et, malgré le traitement par anti-venin, défaillance multiviscérale et décès (Chan, 2008).

3.3.1.2.6 Prise en charge et traitements

Les traitements sont adaptés aux manifestations cliniques, à la localisation de l'atteinte et à l'espèce de chenille en cause (pour certaines chenilles en Amérique du sud, nécessité d'un anti-venin spécifiques) (Panzer, 2020).

3.3.1.2.7 Données épidémiologiques de la littérature médicale

Les données publiées (Cf. Tableau 7) sont issues :

- des appels aux centres d'information spécialisés dans les intoxications ou de cas enregistrés (Balit, 2003 ; Citelli, 2021 ; Everson, 1990 ; Hesler, 1999 ; Kikuchi, 2012 ; Lee, 1999 ; Redd, 2007 ; Rodriguez-Morales, 2005 ; Sengupta, 2010 ; Vasseur, 2022) ;
- d'enquêtes épidémiologiques par questionnaires (Debreux, 2004 ; Huang, 1991 ; Forkel *et al.*, 2021 ; Gottschling *et al.*, 2007 ; Maier *et al.*, 2003 ; Prudhomme et Alsibai, 2005 ; Vega J.M., 2014 ; Vega J.M., 2011 ; Vega M.L., 2003).

3.3.1.2.7.1 Les études épidémiologiques en France

Il n'y a que peu d'études en France.

La **thèse de Pharmacie de C. Debreux** (Nancy, 2004) porte sur une enquête épidémiologique par questionnaire adressé à 360 habitants d'une commune de Meurthe et Moselle située à moins d'un kilomètre d'une forêt infestée par *T. processionea* (processionnaire du chêne). Parmi les 194 répondants (60 familles, soit 53,8 % de la population), 84 (soit 43,3 % des répondants) ont déclaré avoir été incommodés par la présence des chenilles, 53 % d'enfants et 38 % d'adultes. Pour les adultes, le contact est signalé aussi bien lors de sorties en forêt que sur le lieu d'habitation. Le rôle de l'affouage (collecte de bois de chauffage en forêt) est également signalé. Les atteintes sont cutanées pour tous les cas, respiratoires et oculaires dans 3,6 % des cas. Les zones cutanées atteintes sont les zones non couvertes par

les vêtements sauf pour les travailleurs (sans autre précision) avec atteinte aussi sous les vêtements. L'atteinte cutanée prédomine aux zones de plis (pli du coude, genoux et de la nuque). Deux des trois cas d'atteinte respiratoire sont bénins. Les trois atteintes oculaires sont des conjonctivites. Parmi les 110 des répondants qui n'ont rien ressenti, 16 d'entre eux n'ont pas eu d'aggravation des symptômes d'année en année, ce qui n'évoque donc pas une sensibilisation. Le mode de contamination est uniquement aéroporté sans contact direct avec les chenilles.

L'impact sanitaire des processionnaires du chêne en Région Lorraine a été étudié en 2005 par le **CIR Epidémiologie Est** (Prudhomme, 2005). Cette étude s'appuie sur deux enquêtes. D'une part, une enquête par questionnaire téléphonique¹⁹ a été conduite auprès de 232 médecins généralistes sur huit zones d'impact en Moselle (42 % en milieu urbain et 58 % en milieu rural). Elle a produit les résultats suivants :

- Pour la strate urbaine, 110 consultations imputables à la processionnaire d'avril à septembre 2005 ont été rapportées par 21 médecins. Pour la strate rurale, 330 consultations imputables à la chenille processionnaire du chêne effectuées auprès de 34 médecins ont été rapportées ;
- Le nombre total de consultations sur la période d'avril à septembre 2005 pour une « urtication » attribuable à un contact avec les soies de la chenille est de 110 avec une moyenne de consultations par médecin de 5 (0-25) pour la strate urbaine et de 330 avec une moyenne de consultations par médecin de 8 (0-50) pour la strate rurale, représentant respectivement 0,74 % et 0,87 % des consultations totales ;
- Les atteintes ont lieu surtout en juin et juillet ;
- Tous les médecins consultés ont vu des lésions cutanées alors que 4 médecins ont observé des atteintes oculaires et 3 des atteintes respiratoires (dont 1 avec antécédent d'allergie). Aucune réaction allergique généralisée n'est signalée ;
- Pour la strate urbaine, le contact est rapporté comme consécutif à des promenades en forêt. Pour la strate rurale il est lié aux travaux forestiers et aux promenades en forêt. Les contacts hors forêt (voie publique, camping, centre aéré, écoles, habitations, piscine privée, jardin privé, parc public) sont davantage cités par les médecins de la strate rurale que par ceux de la strate urbaine (respectivement 28,6 % et 20 % des médecins).
- Deux médecins constatent une augmentation de fréquence de cette pathologie attribuable aux chenilles entre 2003 et 2005.
- Seulement deux des 38 médecins ayant répondu à la question relative à une aggravation de la symptomatologie au fur et à mesure des expositions disent l'avoir observée.

L'étude de la CIR Epidémiologie Est s'appuie d'autre part sur une enquête complémentaire par questionnaire conduite par courrier auprès de divers autres acteurs comme les mairies, inspection académique, direction départementale jeunesse et sport, sur la survenue d'événements sanitaires liés aux chenilles. Sur les 31 questionnaires envoyés, 13 réponses ont été reçues dont 12 pour des signalements d'événements sanitaires liés aux chenilles. Pour 8 événements sanitaires, les données sur le nombre de personnes présentes et le nombre de personnes avec symptômes étaient précisées. Par ailleurs, pour 11

¹⁹ Cette enquête a été conduite fin septembre 2005 selon la méthode de sondage aléatoire systématique simple stratifié. Le taux de refus de participation est de 34,4% pour la strate urbaine et de 14% en milieu rural.

événements sanitaires, les symptômes ont été renseignés mais pas le nombre de personnes atteintes.

Dans 8 événements sanitaires (qui n'auraient pas donné lieu à une consultation auprès d'un médecin généraliste), une exposition à la processionnaire du chêne a été rapportée :

- sur 1 boulodrome avec les deux personnes présentes touchées ;
- dans une école lors de quatre événements avec 75 personnes (sur 204 personnes présentes) atteintes (36,8 %) ;
- dans un établissement de sports de nature lors d'un événement avec les cinq personnes présentes atteintes ;
- une habitation avec les dix personnes présentes atteintes ;
- lors d'une promenade en forêt organisée par une école (45 /45 personnes atteintes) ;
- trois autres événements pour lesquels le nombre de personnes atteintes n'est pas connu.

Pour les 11 événements sanitaires pour lesquels les données médicales étaient complétées, tous les cas symptomatiques présentaient des atteintes cutanées. Une atteinte respiratoire était observée dans 5 événements, sans pouvoir chiffrer le nombre de personnes atteintes. Il n'y a pas eu d'atteinte oculaire ni de réaction allergique sévère.

Enfin, dans le cadre de cette même étude, les données de la MSA de 2004 recueillies auprès de 220 bûcherons et ouvriers forestiers sont présentées. Trente pour cent (66/220) des individus observés se déclarent incommodés par les chenilles avec 100 % d'atteintes cutanées, 1/3 de gêne respiratoire, 1/5 de conjonctivite et une urticaire généralisée pour deux travailleurs.

La troisième étude française est une étude rétrospective à partir des appels enregistrés dans les centres antipoison en France de 2012 à 2019 (Vasseur, 2022 ; Rapport Anses d'étude de Toxicovigilance, juin 2020).

L'extraction des données a porté sur les cas symptomatiques enregistrés par les centres antipoison suite à l'exposition aux chenilles à poils urticants en France. Ces cas ont été analysés sous différents paramètres : âge, sexe, conditions et modalités d'exposition, lieu de l'exposition, exposition professionnelle ou non, antécédents médicaux en particulier allergiques. La gravité a été appréciée en cinq niveaux (de *absente* à *décès*), l'imputabilité a été établie selon les méthodes de toxicovigilance de l'OMS²⁰.

Au total, 1 274 cas ont été retenus, âgés de 2 mois à 87 ans (âge médian 11 ans). L'exposition à des chenilles processionnaires concernait 95,9 % des cas avec une exposition à la processionnaire du pin dans 56,3 % des dossiers, une exposition à celle du chêne dans 25,8 %, et à des chenilles processionnaires sans précision sur l'espèce, dans 13,8 % des cas. Aucun cas symptomatique au bombyx cul-brun ou à la lithosie quadrille n'a été identifié. Quatre-vingt-cinq pourcent (85 %) des dossiers impliquant la processionnaire du pin sont associés à des appels entre janvier et avril tandis que 90,7 % des dossiers impliquant la processionnaire du chêne sont associés à des appels entre avril et juin. Pour la

²⁰ <https://www.who.int/publications/m/item/poisoning-severity-score> - Persson H, Sjöberg G, Haines J, Pronczuk de Garbino J. Poisoning Severity Score: Grading of acute poisoning. J Toxicology - Clinical Toxicology (1998) 36:205-13.

processionnaire du pin, le nombre de dossiers a augmenté de 2013 à 2015 et les années 2014 et 2017 sont celles comptabilisant le plus grand nombre d'appels. Sur les 1 022 cas d'exposition pour lesquels les informations personnelles sont disponibles, un quart des appels concernent les enfants. L'exposition est estimée indirecte dans 40,4 % des cas (aéroportée, manuportée, contact par les vêtements etc.). Le contact direct est plus fréquent chez les enfants de moins de 5 ans avec une exposition plus fréquente par voie orale. L'atteinte cutanée est rapportée dans 96,6 % des cas, l'atteinte ophtalmique dans 8,4 %. Les autres atteintes sont plus rares. La gravité était jugée faible dans 96,3 %, modérée dans 3,5 % et sévère dans 0,2 % (2 cas). Pour ces deux cas, il s'agissait d'une part d'un enfant présentant des signes cutanés, muqueux, généraux nécessitant son hospitalisation suite à l'ingestion d'une chenille et, d'autre part, d'un adulte aux antécédents d'allergie au venin d'hyménoptère qui a présenté une éruption cutanée papuleuse diffuse, dysphonie et dysphagie après exposition à un nid de chenilles. Une exposition d'origine professionnelle a été déclarée dans 1,7 % des cas (17 cas) avec une proportion de cas de gravité moyenne ou élevée plus importante que dans la population générale (11,8% vs 3,6 %, $p=0,13$), mais non statistiquement significative (faible nombre de cas professionnels, $n=17$). Les données ne montrent pas un risque de gravité particulier en cas d'antécédents allergiques.

3.3.1.2.7.2 Études épidémiologiques pour *Thaumetopoea pityocampa*

Les études épidémiologiques pour *T. pityocampa* résultent des travaux d'équipes espagnoles.

Vega J.M. (2011) a étudié la prévalence des réactions cutanées à *T. pityocampa* dans une population adulte par le biais d'une enquête téléphonique menée auprès des résidents d'une zone d'endémie de *T. pityocampa* avec stratification en trois zones (urbaine, semi-urbaine et rurale) et trois groupes d'âge. Sur la base d'un taux de réponse de 24 % (1 224/4 904 appels), la prévalence a été estimée globalement à 10,5 %. Elle est cependant plus élevée pour la strate rurale (12 %) que pour les strates semi-urbaine (9,6 %) et urbaine (4,4%). Les facteurs de risques identifiés sont le sexe masculin (OR²¹ 1.84, 1.2-2.8), la visite quotidienne de forêt de pins (OR 2.1, 1.4-3.2), l'exposition professionnelle (OR 5.04, 2.8-10.2) et la récolte de cônes (OR 7.75, 2.9-20.8). L'atopie n'est pas un facteur de risque (OR 1.29, 0.7-2.3) (critères d'atopie non précisés). Parmi les 125 personnes ayant déclaré des symptômes, une évaluation hospitalière avec des questions complémentaires a été réalisée pour 38 % d'entre eux (48/125). Le prurit est présent dans tous les cas, la conjonctivite dans 29,2 % des cas. Le recours aux services médicaux d'urgence a été nécessaire dans 19 % des cas. Le contact avec les soies est estimé direct pour 64,6 % des cas. Des symptômes apparaissant toute l'année sont rapportés par 27 % des personnes, et apparaissant pendant le mois des stades larvaires pour 96 %.

Dans le cadre d'une autre étude, Vega M.L. *et al.* (2003) ont étudié une population d'enfants dans une zone de forêts de pins infestés. Un questionnaire a été adressé à 1 101 enfants de 3 à 17 ans sur une population estimée à 1 303 dans la zone rurale étudiée. Les participants ayant signalé des réactions cutanées après une exposition dans le cadre d'activités de jeu ou de marche sous des pins ou ayant rapporté un contact avec une chenille ayant entraîné des atteintes entre octobre et avril et en l'absence d'autres causes ont été intégrés à une étape d'explorations complémentaires par tests cutanés. Le taux de réponse à

²¹ OR : odds ratio (mesure du degré de dépendance entre des variables qualitatives)

cette enquête est de 59 % (653 réponses ont été obtenues). Parmi les répondants, 60/653 (9,2 %) ont rapporté des réactions cutanées aux soies urticantes des chenilles.

Des lésions papuleuses ou œdémateuses d'une durée de moins de 24 h (urticaire de contact) sont présentes pour 55 % des cas (33/60), et pour 30 % des cas (18/60) les lésions ont une durée supérieure à 24 h (dermatite papuleuse). Neuf (15 %) ne peuvent renseigner la durée. Les lésions touchent les extrémités dans 72 % des cas, le tronc dans 35 % des cas, le cou dans 13 % des cas et la tête dans 12 % des cas.

Les tests cutanés aux pneumallergènes (évocateur d'une atopie) sont positifs pour 53 % des cas (32 / 60), et les tests à un extrait de chenille sont positifs pour 22 % des cas (13/60). Pour 12 de ces derniers cas, la recherche d'IgE spécifiques par immunoblot a été faite et n'est positive que pour 4 sérums. Pour les auteurs, les enfants ont des symptômes moins sévères que les adultes (pas de cas d'anaphylaxie). L'atteinte des extrémités est mise en rapport avec les activités de jeu. La sensibilisation IgE²² détectée en immunoblot est estimée moins fréquente que pour les adultes (6,8 % versus > 50 %) (Vega J.M. *et al.*, 1997, 1999, 2000).

Vega J.M. *et al.* (2014) ont réalisé une étude épidémiologique randomisée (cross-sectional study) sur une série de patients qui ont présenté des lésions cutanées rapportées à la processionnaire du pin en zone d'endémie pour évaluer un extrait de soies et un extrait de larves en tests cutanés et sériques dans le diagnostic d'une sensibilisation IgE et un possible risque de réaction allergique. Cette étude rassemble 48 patients sélectionnés de façon randomisée sur leur âge, sexe, région et sur des critères cliniques :

- papules d'urticaire, dermatite papuleuse ou dermatite survenant moins de 24 h après un passage dans une zone de pins ;
- des localisations de l'atteinte cutanée (non précisées) ;
- lésions survenant entre octobre et avril, si elles sont en relation avec la récolte de bois, de cônes ou de sable dans une forêt de pins infestée ou toute l'année ;
- l'absence d'autres causes.

Les tests cutanés (Prick-tests) sont positifs pour 47,9 % (23/48) de ces patients. Un terrain atopique n'est présent que pour trois des 23 patients testés positifs sans différence avec le groupe testé négatif. Des associations significatives ($p < 0,05$) sont notées entre la positivité des tests d'une part, avec l'extrait chenille, le sexe masculin, la fréquence d'une exposition à des pins ou une exposition professionnelle d'autre part. Dans le groupe présentant des tests cutanés positifs, les lésions les plus fréquentes sont l'urticaire de contact ($p < 0,0001$), les lésions non-IgE médiées ($p < 0,005$), les lésions à la nuque ($p < 0,005$). Dans ce groupe présentant des tests positifs le délai d'apparition des lésions est plus rapide (23 min. et 69 sec.) que dans le groupe présentant des tests négatifs (201 min.) ($p < 0,0001$) et la durée des lésions est significativement plus courte que dans le groupe à test négatif ($p < 0,0001$). La recherche des IgE spécifiques en Immunoblot est positive pour 27 des 48 patients dont 21 des 23 patients à tests cutanés positifs à l'extrait de chenilles. La prévalence de sensibilisation IgE des personnes exposées calculée par les auteurs est de 48 % (sans rôle mis en évidence du terrain atopique) mais ce taux élevé sur un faible effectif est probablement à mettre en relation avec le mode de sélection des patients (les patients ayant présenté une probable réaction allergique ont été sélectionnés).

²² Les IgE sont les immunoglobulines responsables des réactions allergiques immédiates comme les rhinite, l'asthme, l'allergie alimentaire, l'urticaire allergique, l'anaphylaxie.

3.3.1.2.7.3 Études épidémiologiques pour *Thaumetopea processionea*

Maier *et al.* (2003) ont conduit une enquête par questionnaire par téléphone auprès des familles et institutions localisées à moins de 500 m d'un arbre infesté avec recueil d'informations sur la démographie, les symptômes et les traitements reçus. Les personnes ayant développé des signes cutanés ont reçu un questionnaire complémentaire par voie postale afin de renseigner les conditions d'exposition, les manifestations, leur délai de survenue, leur fréquence de survenue, leur durée, la présence d'un terrain atopique et le traitement de ces signes cutanés. Seuls ont été retenus les cas dont les symptômes apparaissent dans la période larvaire.

Le taux de réponse a été de 67 % (1 025 personnes interrogées). Cinquante-sept d'entre eux (5,6 %) ont rapporté avoir eu au moins une fois des lésions liées aux chenilles, (20 hommes et 37 femmes). Il s'agit de prurit (96 %), lésions cutanées (95 %), conjonctivite (14 %), atteinte des voies respiratoires supérieures (14 %) et détresse respiratoire (4 %). Pour les 37 personnes sur les 54 ayant complété le questionnaire par voie postale, 22 % (8/37) se disent atopiques, 43 % décrivent des manifestations survenues à plusieurs reprises. Pour tous, le prurit est immédiat, d'abord sans lésions cutanées. Pour 6/37 (dont 5 enfants) les papules apparaissent en 1 à 2 heures. L'éruption apparaît dans un délai de 6 à 8 heures pour 8/37 (22 %). Les lésions sont persistantes pour 49 % jusqu'à 10 jours. L'éruption est mixte, les papules œdémateuses apparaissant en moins de 2 heures avec une réaction retardée 6 à 8 heures après l'exposition pour 24 % (9/37). Deux cas d'atteinte respiratoire plus sévère sont notés sur un terrain d'asthme et de bronchite chronique. L'exposition aux chenilles est rapportée comme liée au passage à pied sous les arbres infestés (97 %), au passage sur la route principale sous un arbre infesté (97 %), à la présence d'un arbre infesté dans le jardin voisin (57 %), à la présence d'un arbre infesté dans son propre jardin (32 %), à un contact direct avec les larves ou les exuvies (38 %). Les traitements sont locaux (35 %), associés à un traitement par voie générale (antihistaminique et corticoïdes) dans 35 % des cas.

La méthodologie de cette étude ne permet pas de donner une réelle prévalence mais elle souligne que la proximité d'un arbre infesté par des chenilles processionnaires du chêne n'entraîne pas l'émergence de manifestations pour la totalité de la population exposée.

La description de la symptomatologie est intéressante malgré la petite taille de l'effectif et l'auto-diagnostic.

Forkel (2021) a adressé un questionnaire internet à 719 personnes pouvant être en contact avec les chenilles processionnaires du chêne dans le cadre de leur activité professionnelle (forestier, arboriste, chasseur). Il ressort de cette étude que 80,1 % (566/719) des répondants ont eu un contact avec des chenilles dans le cadre de leur activité professionnelle. Il s'agit de 83,9 % d'hommes, et les âges sont principalement compris entre 21 et 60 ans (86 %). Le contact est accidentel dans 66,8 % des cas. Les symptômes sont déclarés présents pour 62,12 % et correspondent à des démangeaisons pour 97 % des cas, une éruption visible pour 82 % des cas, une fièvre pour 1,4 % des cas, une atteinte bronchique pour 10,3 % des cas et une atteinte oculaire dans 10,5 % des cas. Les signes apparaissent en moins d'une heure pour 33 % des cas, en 1 à 6 heures après le contact pour 53,27 % des cas. La durée des lésions est supérieure à 24 heures pour 74,6 % des cas. Les répondants ayant déclaré une atteinte bronchique n'ont pas montré de risque de gravité plus importante. Un recours à un médecin a été nécessaire dans 18,6 % des cas et 4,6 % ont déclaré devoir

changer de travail pour raison médicale. Une notification à l'assurance de l'employeur n'est faite que par 7,12 % des répondants.

Gottschling *et al.* (2007) ont enquêté auprès de parents d'enfants (47) fréquentant un jardin d'enfants avec trois chênes infestés pour estimer l'incidence de la dermatite aux chenilles chez ces enfants. Le taux de réponse est de 51 % (24/47). Quarante-deux pour cent des enfants (10/24) rapportent des symptômes avec des lésions cutanées pour 8/10, un prurit pour 5/10, une atteinte respiratoire pour 5/10, malaise et fièvre pour 4/10 et une atteinte oculaire pour 1/10. Sept des 24 répondants (29 %) déclarent être atopiques et quatre d'entre eux présentent des signes imputés aux chenilles. Une consultation médicale a été nécessaire pour 7 enfants sur les 10 avec des symptômes. Pour quatre cas un traitement a été mis en route. Cette enquête a un faible taux de réponse avec de très petits effectifs sur des données rétrospectives et auto-déclaratives et ne donne pas les circonstances d'exposition ni les modalités du contact.

Hesler (1999) étudie de façon rétrospective la fréquence des dermatites vues aux urgences d'un hôpital militaire et survenues en juin et juillet 1995. L'enquête était conduite quelques jours après la consultation hospitalière sur les activités, l'hygiène, l'exposition à des contaminants intérieur et extérieur (arthropodes). Il est noté un excès de dermatites de 144 patients (au lieu des 21 escomptés en fonction des données des jours précédant l'épidémie où des symptômes de dermatites ont été observés) surtout sur 7 jours fin juin mis en lien avec la présence de nids de chenilles *T. processionea* dans des chênes à proximité. La décroissance des occurrences de dermatites est rapide après le traitement des arbres.

3.3.1.2.7.4 Etudes épidémiologiques concernant d'autres espèces

Pour *Lymantria dispar*, l'enquête de Kikuchi (2012) est réalisée au Japon sur la base d'un questionnaire dans une ville de 7 770 résidents (2 891 foyers) située en zone de montagnes largement infestée. Cette étude est réalisée à la suite d'une première étude rétrospective des cas vus à l'hôpital régional portant principalement sur les caractéristiques cliniques. Le taux de réponse a été de 64 % (4 871/7 770) avec 2039 personnes (42 %) ayant eu une dermatite au printemps 2009. Le sexe n'est pas un facteur de risque. L'incidence est plus faible pour les plus de 70 ans. Le risque de survenue de la dermatite est plus élevé en cas d'atteinte l'année précédente.

Pour *Hylesia metabus*, l'étude rétrospective de Rodriguez-Morales (2005) a porté sur les cas enregistrés dans un hôpital d'un district du nord-est du Venezuela de 1970 à 2002. Cinquante cas ont été rapportés avec 58 % d'homme et un âge moyen de 14 ans, soit 2 à 3 cas par an et plus en cas de saison pluvieuse et d'inondation. Les lésions apparaissent 2 à 3 mois après le début des pluies sauf pour les signes respiratoires (en période sèche). L'exposition est décrite principalement lors du nettoyage des maisons surtout des lampes et lampadaires. L'atteinte cutanée est présente dans 98 % des cas avec une dermatose prurigineuse (96 %) et dermatite œdémateuse des membres supérieurs (2 %). Six pour cent ont une atteinte oculaire avec conjonctivite et œdème périorbitaire (6 %). Une atteinte respiratoire est rapportée dans 6 % des cas dont 4 % avec une bronchite asthmatiforme et 2 % une pharyngite aiguë. Les enfants et adolescents représentent 70 % des cas dont 23 % ont moins d'un an. Ils présentent des lésions plus sévères que les adultes. Les traitements sont des corticoïdes et antihistaminiques. Il n'y a pas de complications ni séquelles.

Pour *Dendrolimus pini*, Huang (1991) a réalisé une étude observationnelle sur 612 habitants exposés dans une zone contaminée en Chine. Cinquante-huit habitants sur 612 ont

présenté des lésions (44 paysans, 11 étudiants, 2 enseignants, 1 enfant, 30 hommes, 28 femmes ; âges de 1 à 67 ans ; moyenne d'âge : 27 ans). Les lésions apparaissent 1 à 48 jours après le contact, le plus souvent 1-3 jours, sous forme d'arthrite inflammatoire douloureuse des petites articulations, arthrite migratrice dans 15/58 cas et récidivante. Les articulations les plus touchées sont celles des mains (11/58), les genoux (7/58), les orteils (6/58). Les niveaux de gravité sont évalués en gravité faible pour 36 %, moyenne pour 36 %, sévère pour 28 % avec ostéo-arthropathie pour 25/58, atteinte cutanée pour 17/58, forme oedémateuse 9/58, atteinte des cartilages pour 4/58, atteinte mixte pour 3/58. Des séquelles articulaires sont notées pour 59 % et des séquelles cartilagineuses pour 7 %.

Pour *Automeris egeus* (Cramer 1776), au Brésil, l'étude de Citeli *et al.* (2021) porte sur les cas d'envenimation liés aux chenilles au Brésil et rapportés sur la plateforme du ministère de la santé de 2007 à 2019. Sur les 54 855, on dénombre 29 cas mortels et 3 160 sans suivi connu. L'incidence est estimée à 2,21/100 000 habitants. L'atteinte prédomine dans le sud du Brésil. Il n'y a pas d'identification des chenilles en cause. Cependant, le genre *Lonomia* a été exclu de l'analyse des cas rapportés parce que les déclarations relatives à ce genre sont enregistrées, par ailleurs, dans une autre base de données (Cf. Brazilian Reportable Disease Information System (SINAN)).

3.3.1.3 Discussion

L'impact réel en France métropolitaine sur la santé humaine de la présence des chenilles à soies urticantes est difficile à établir et encore plus difficile pour les DROM.

En premier lieu, il n'existe pas de données épidémiologiques exhaustives ou représentatives de l'ensemble des expositions en population générale française, même si certaines données sont disponibles :

- Les données des Centres anti-poison (CAP) correspondent à des appels reçus dans le cadre de leur mission de soins, pour un conseil médical et/ou une expertise toxicologique. Si les données des CAP ne permettent pas d'estimer une prévalence d'exposition de la population, le suivi d'une même source de données au cours du temps peut apporter une information sur l'évolution d'un phénomène. Entre janvier 2012 et juillet 2019, 1274 personnes exposées à des chenilles processionnaires et ayant présenté un ou plusieurs symptômes avaient appelé un CAP (Vasseur P., 2022). Dans l'étude en question, la répartition annuelle des expositions aux chenilles processionnaires (avec ou sans précision de l'espèce) avait été multiplié par 4 de 2012 à 2018 (sans que les causes de cette augmentation ne soient identifiées de façon factuelle). L'évolution annuelle de la répartition géographique avait montré une progression des zones d'exposition, du sud vers le nord à l'ouest et à l'est pour les processionnaires du pin, et une apparition progressive à l'ouest, en région parisienne et à l'est pour les processionnaires du chêne. Ces données étaient cohérentes avec celles de suivi des colonies larvaires réalisé par INRAE. Les évolutions des répartitions géographique et temporelle des expositions aux chenilles processionnaires enregistrés par les CAP peuvent être en faveur d'une augmentation de l'impact sur la santé humaine.
- En Moselle l'enquête par questionnaire dans une commune avec infestation de *T. processionea* montre que 43 % des répondants sont incommodés mais le taux de réponse à l'enquête n'est que de 53 % (Debreux, 2004).

- Les consultations en médecine générale ne semblent pas être un canal suffisant pour capter les cas d'exposition aux chenilles à soies urticantes. Par exemple, en Lorraine, l'étude de 2005 auprès de médecins généralistes révèle que les consultations imputables aux soies des chenilles processionnaires du chêne d'avril à septembre représentent 0,74 % en strate urbaine et 0,87 % en strate rurale du total de leurs activités de consultation (Prudhomme, 2005). Les médecins généralistes ne représentent qu'une partie de la prise en charge de ces patients (automédication, pharmaciens, dermatologues, allergologues) sans compter que les praticiens de santé consultés peuvent ne pas être en mesure d'identifier la cause des symptômes.
- Les résultats d'estimations de prévalence dans la littérature sont incertains (faibles taux de réponses aux enquêtes réalisées et/ou résultats hétérogènes ; Cf. Vega M.L., 2003 ; Vega J.M., 2011 ; Maier, 2003 ; Gottschling, 2007).
- Aucune donnée d'impact en santé humaine n'est disponible pour les autres espèces emblématiques, en France métropolitaine (en particulier pour la Lithosie et le genre *Euproctis*).

En deuxième lieu, les diagnostics cliniques sont délicats. Les études existantes, malgré leurs incertitudes méthodologiques, tendent à montrer que la proportion de la population exprimant des pathologies après possible exposition à des soies urticantes est variable selon, notamment, les activités pratiquées lors de l'exposition, les modalités de contact, l'état cutané ou l'existence d'une sensibilisation. De plus, en dehors d'un contact avéré avec les chenilles, lorsque des lésions sont constatées, un diagnostic clinique de certitude est rendu difficile par l'absence de spécificité des lésions. Les modalités du contact sont le plus souvent indirectes, et l'identification de la chenille absente. En outre, ces données sont issues, dans la plupart des études, d'auto-diagnostic. Ces sources d'incertitudes supplémentaires limitent les possibilités d'évaluer l'impact sanitaire associé aux chenilles à soies urticantes.

En troisième lieu, les pathologies induites par l'exposition aux chenilles à soies urticantes sont variables et difficiles à caractériser. En effet, ces pathologies sont le plus souvent sans gravité, comme la dermatite papuleuse, sauf lorsqu'il y a des atteintes oculaires avec un risque de séquelles visuelles, ou pour certaines modalités de contact (par exemple, l'ingestion de chenilles par les jeunes enfants, le contact avec plusieurs chenilles ou encore avec certaines chenilles d'espèces de Lépidoptères non présentes en France métropolitaine mais possiblement dans les DROM). En outre, la part des réactions allergiques est difficile à estimer en raison de critères d'allergie ou d'anaphylaxie très variables utilisés dans la littérature analysée avec une confusion possible entre la dermatite papuleuse et les lésions d'urticaire, les atteintes muqueuses (rhinite conjonctivite, toux, bronchoconstriction) par mécanisme d'hypersensibilité IgE médiée ou par réaction inflammatoire non allergique induite par les substances des venins. Le risque de sensibilisation existe pour les expositions répétées comme les expositions professionnelles avec des prévalences de sensibilisation très variables selon les critères d'inclusion des populations explorées (Vega, 2004, 2014). De plus, l'anaphylaxie, réaction allergique sévère avec potentiellement un risque léthal, a une prévalence encore plus difficile à préciser. Les critères de diagnostic utilisés dans certaines publications ne correspondent pas toujours à ceux de la World Allergy Organization (WAO Anaphylaxis Committee, 2019). Dans la littérature médicale analysée, moins de 25 publications rapportent des cas d'anaphylaxie (sans mortalité) mais cela ne reflétant probablement pas la réalité, du fait des biais de publications. Par ailleurs, le terrain atopique n'est que peu précisé dans les publications analysées. Pour Vega J.M. *et al.* (2011) l'atopie n'est pas un facteur de risque.

Du fait du manque de cette donnée, il est difficile de conclure sur son rôle éventuellement aggravant en cas de contact avec des soies urticantes de chenilles.

Enfin, les antécédents d'allergie aux hyménoptères sont peu rapportés dans les publications analysées. Dans l'étude prospective d'Everson (1990), aucun des patients allergiques aux venins d'hyménoptères n'a présenté de réaction sévère à l'exposition aux soies de chenilles. Un des 2 cas sévères de l'étude de Vasseur avait un antécédent d'allergie au venin d'hyménoptère mais avec aussi une exposition massive aux soies de chenilles urticantes. Il est donc difficile de conclure sur un éventuel rôle aggravant d'un antécédent d'allergie au venin d'hyménoptères en cas d'exposition aux soies urticantes de chenilles.

En dernier lieu, les modalités de l'exposition aux soies urticantes des chenilles sont variables, rendant complexe la caractérisation des modes de contamination. Le contact avec les soies urticantes est le plus souvent aéroporté. Les contacts directs sont accidentels ou par jeu surtout chez les enfants : jeu avec des chenilles, des nids de chenille, avec portage à la bouche surtout chez les enfants de moins de 5 ans entraînant des lésions buccales pouvant être sévères. Ce type d'exposition est surtout décrit pour des chenilles dites « exotiques ». Les conduites exploratoires des enfants (et le comportement main-bouche) sont certainement un facteur de risque quelle que soit la chenille en cause.

En conclusion et du fait de ces différents éléments, l'évaluation de l'impact sanitaire associé à l'exposition aux chenilles à soies urticantes est considérée difficile à réaliser avec un degré de confiance raisonnable. En l'état actuel des connaissances, le résultat d'une tentative d'évaluation serait incertain avec un risque de surestimation comme de sous-estimation.

3.3.2 Évaluation de l'exposition et des impacts en santé humaine induits par les chenilles à poils urticants - Démarches d'enquête

3.3.2.1 Enquête auprès des dermatologues allergologues du réseau Revidal-Gerda

3.3.2.1.1 Contexte et objectifs

La revue de la littérature conduite sur l'impact sanitaire des chenilles à poils urticants permet dans une certaine mesure de renseigner le contexte et les conditions d'exposition des cas symptomatiques. L'étude des expositions aux chenilles processionnaires enregistrées par les Centres antipoison (CAP ; Rapport Anses, 2020) a permis de décrire l'exposition en population générale, notamment chez les enfants à partir des cas notifiés aux CAP.

Un manque de données a été relevé lors de la recherche bibliographique. Le GT a donc choisi de mener une enquête auprès des médecins dermatologues/allergologues en France métropolitaine. Cette démarche d'enquête a également permis de collecter des éléments visant à documenter les facteurs de vulnérabilité (âge, profession pour les expositions professionnelles) et les symptômes ainsi que les modalités de prise en charge et de traitement des patients.

3.3.2.1.2 Méthode d'enquête

Un questionnaire d'enquête a été élaboré par le GT (Cf. Annexe 6) et adressé à trois associations régionales de dermatologues²³ :

- Pour la Bretagne et Pays de Loire : l'Association des Dermatologues de l'Ouest ;
- Pour le Sud-Ouest : AERPID ET ADVSO ;
- Pour la Franche-Comté : ASFODER.

Le questionnaire d'enquête a également été transmis pour diffusion au réseau de vigilance en dermato-allergologie (REVIDAL) du Groupe d'Etudes et de Recherche en Dermato-Allergologie (GERDA) et sur la plateforme internet AdviceMedica (allergologues et dermato-allergologues), sur toute la France métropolitaine.

Un premier envoi du questionnaire a été effectué en juillet 2021, invitant les praticiens à transmettre leurs données pour l'année 2020. Une relance a été effectuée en septembre 2021. Un second envoi du questionnaire a été effectué en décembre 2021, invitant les praticiens à transmettre leurs données pour l'année 2021 ; deux relances ont été effectuées en janvier puis mars 2022.

3.3.2.1.3 Résultats

Dix-neuf médecins ont répondu et fourni les données relatives à 53 patients vus en consultation en 2020. Par ailleurs, 6 cas connus mais non vus en consultation ont été décrits ainsi que des cas familiaux non chiffrés. Huit médecins déclarent ne pas avoir reçu de patients en consultation à la suite d'une exposition aux chenilles à soies urticantes en 2020. La répartition géographique des réponses est visible sur la carte ci-après (Cf. Figure 20).

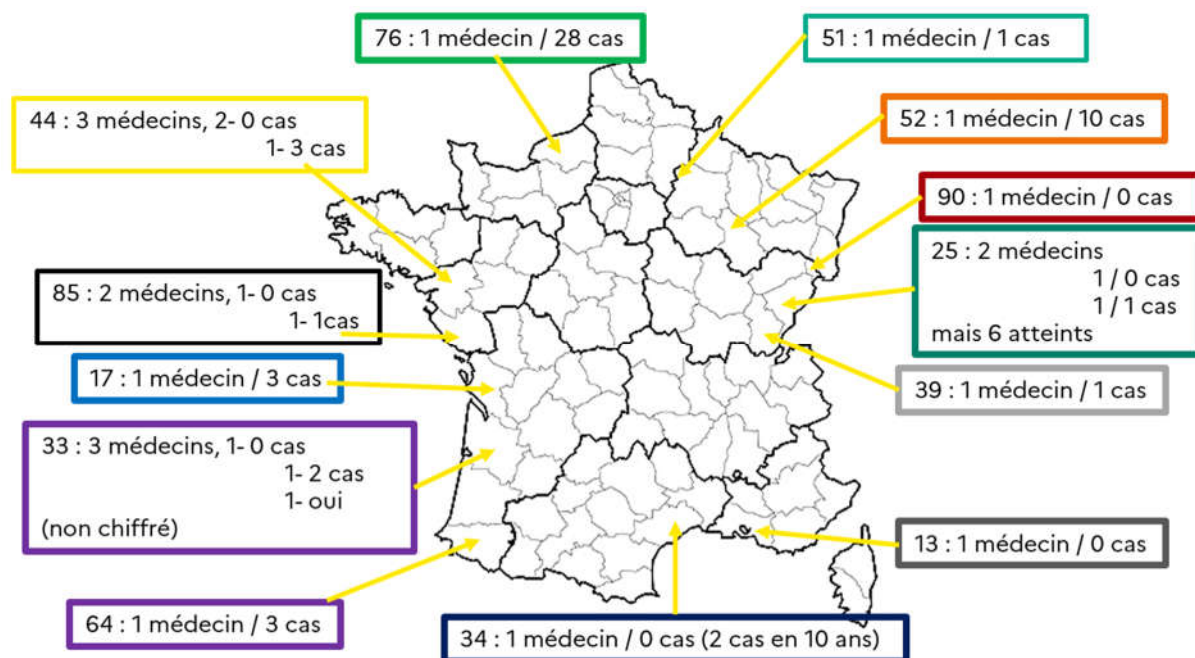


Figure 20 : Répartition géographique des cas rapportés par les dermatologues et allergologues
Contexte et conditions d'exposition :

²³ les associations régionales regroupent également des dermatologues des régions limitrophes.

La période où les patients ont été vus en consultation était surtout le printemps (24 cas) et l'été (24 cas). Les expositions aux chenilles avaient lieu surtout lors d'activités de plein air, jardinage et promenade en forêt (19 cas).

Les zones d'exposition étaient pour les zones urbaines : le jardin personnel, la cour d'école avec du sable sous des pins infestés (3 cas), un parking avec des arbres contaminés (28 cas).

En zone rurale il s'agit de forêt ou prairie (18 cas), jardin personnel (1 cas), et voirie avec arbres contaminés (1).

Le principal mode de contamination observé est le contact avec des soies aéroportées (45 cas). Des contacts directs ont été rapportés dans une moindre mesure (contact direct avec les chenilles et les nids : 3 cas). Trois cas de contact indirect par le biais de sable contaminé ont été rapportés.

L'identification de la chenille était absente le plus souvent. Il s'agit de la processionnaire du pin dans 5 cas pour les départements de la Charente-Maritime et de la Gironde, et de la processionnaire du chêne pour 28 cas dans le département Seine-Maritime et pour 1 cas dans le département de la Marne.

Profil des patients :

Les consultations ont concerné 3 enfants de moins de 5 ans, 7 de 5 à 18 ans, 43 adultes.

Deux expositions étaient signalées comme professionnelles chez des travailleurs forestiers du Jura et de la Marne.

Symptômes rapportés :

Les lésions étaient le plus souvent la dermatite papuleuse classique (32 cas). Une urticaire de contact était rapportée pour 9 cas :

- 3 enfants exposés au sable contaminé ;
- 5 personnes exposées via des arbres infestés sur un parking ;
- 1 travailleur forestier.

Deux fois, une atteinte respiratoire associée était rapportée avec atteinte conjonctivale.

Traitements :

Les traitements ont été majoritairement uniquement locaux. Dans 7 cas, un traitement a été donné par voie systémique et 3 recours aux services d'urgence pour des enfants ont été notés.

3.3.2.1.4 Discussion

Cette enquête a été réalisée et diffusée par le biais d'associations professionnelles auprès de médecins dermatologues, dermato-allergologues et allergologues ciblant plus particulièrement certaines régions (Bretagne, Pays de la Loire, Sud-Ouest et Franche-Comté) sur les cas de dermatite identifiée comme étant liée aux chenilles processionnaires vues durant l'année 2020. Elle n'est qu'une image de ce que peuvent voir les praticiens spécialistes de ces régions et ne reflète pas la réalité du problème.

Dans cette enquête les adultes sont plus touchés que les enfants, la contamination est le plus souvent aéroportée par le biais d'activités de plein air surtout en zone rurale. Les lésions ont l'aspect classique d'une dermatite papuleuse, plus rarement d'une urticaire de contact et l'atteinte respiratoire est encore plus rare. Les traitements sont surtout locaux et plus rarement systémiques.

Cette enquête permet de souligner le rôle des arbres infestés dans des lieux publics, comme une cour d'école et un parking, dans l'apparition de nuisances liées aux poils urticants de ces chenilles.

3.3.3 Réflexion autour de l'évaluation économique de l'impact en santé humaine

3.3.3.1 Principes généraux de l'évaluation économique du fardeau sanitaire

Comme évoqué tout au long de ce chapitre, l'exposition aux chenilles à poils urticants induit des impacts en santé humaine pouvant se traduire en termes de coûts pour la société. Au-delà de l'identification des impacts, le GT a jugé pertinent d'étudier la faisabilité d'une évaluation de ce fardeau sanitaire sur le plan économique dans une perspective d'aide à la décision publique jugée utile à plusieurs titres. Cette évaluation permet d'une part de donner à voir l'ampleur des impacts associés à cette problématique selon différentes métriques (dont économique) et de la mettre en regard avec les impacts induits par d'autres problématiques de santé publique. L'évaluation économique du fardeau peut d'autre part être mobilisée afin d'appuyer la réflexion sur la mise en œuvre d'actions de gestion du risque en permettant une comparaison du fardeau et des coûts associés à ces actions sur un même plan monétaire.

Mener une évaluation économique du fardeau sanitaire consiste à quantifier la charge – exprimée sous forme d'un coût – générée pour l'ensemble de la société par une pathologie spécifique (exemple : fardeau sanitaire associé au cancer du sein) ou un phénomène induisant plusieurs effets sur la santé (exemple : fardeau sanitaire associé aux pathologies induites par une exposition à un air intérieur pollué). Une exposition aux chenilles à poils urticants pouvant induire la survenue de plusieurs effets sur la santé (voir notamment les sections 3.2.2 et 3.3.1.2.5), cette expertise se place dans le second cas de figure. Aussi, réaliser une évaluation économique du fardeau sanitaire nécessite d'avoir accès à plusieurs types de données « d'entrée » :

- Tout d'abord, avant de procéder à tout exercice d'évaluation économique d'un fardeau, il est nécessaire d'identifier pour chaque pathologie le nombre de cas *directement attribuables* au phénomène étudié. Cela implique de disposer, d'une part, de données épidémiologiques relatives aux effets sur la santé considérés (données de prévalence ou d'incidence) ainsi que de la fraction de risque attribuable²⁴ relative au phénomène étudié.
- Sur cette base, il s'agit ensuite de quantifier les coûts associés à ces effets de santé pour les cas estimés selon une approche économique. Ces coûts peuvent être décomposés en trois catégories : directs, indirects, intangibles :
 - **Coûts directs** : couvrant les coûts directs médicaux et coûts directs non médicaux (voir également Tableau 11 pour une illustration). Les coûts directs médicaux comprennent les coûts résultant de la prise en charge des impacts sur la santé (Clément *et al.*, 2011). Les coûts directs non médicaux correspondent aux coûts induits par la prise en charge médicale hors médication et actes médicaux en eux-mêmes (transport personnel jusqu'aux lieux de soin par exemple). L'évaluation des coûts directs médicaux apparaît pertinente dans le cadre de la

²⁴ Coste *et al.* (1991) définissent la fraction de risque attribuable comme « la proportion de cas de la maladie qui seraient évités si l'exposition considérée était supprimée ».

présente expertise au regard des effets induits par une exposition aux chenilles et de leur nécessaire prise en charge (voir section 3.2).

- **Coûts indirects** : relatifs aux pertes de productivité, ces coûts sont également considérés comme pertinents dans le cadre de la présente expertise au regard des éléments identifiés dans la littérature et relatif à l'exposition des populations dans le cadre de leur activité professionnelle (voir en particulier section 3.3.1.2.7.3). Pour cette catégorie de coûts également, on peut faire la distinction entre les coûts médicaux et les coûts non médicaux (voir Tableau 11) ;
- **Coûts intangibles** : relatifs à une perte de qualité de vie au sens large (souffrance, douleur, stress, etc.). L'évaluation de ces coûts apparaît, là encore, pertinente dans le cadre de la présente expertise (sensibilisation dans le cas d'une exposition professionnelle répétée ou séquelles liées à une atteinte oculaire par exemple) cependant la disponibilité des données épidémiologiques pour ces différents effets de santé compromet la conduite d'une telle analyse (voir page 103 section 3.3.1.3).

Tableau 11 : Illustration des différents types de coûts associés aux effets de santé (d'après Le Pen et Lévy, 2018)

	<u>Coûts médicaux</u>	<u>Coûts non médicaux</u>
Coûts directs	Ressources (biens et services) du secteur sanitaire utilisées pour le traitement (consultations, examens, médicaments, hospitalisation)	Ressources non sanitaires (autres secteurs) utilisées pour le traitement (transports, aménagement du logement, aide domestique, services sociaux)
Coûts indirects	Coût des pathologies futures non liées au traitement	Coût du temps perdu du fait de la maladie Perte de productivité (absentéisme, présentéisme pour les malades et les aidants)

Après le choix du type de coûts à retenir pour l'évaluation économique du fardeau sanitaire, il est également nécessaire de définir un horizon temporel identique pour l'ensemble des coûts considérés : le fardeau sanitaire peut par exemple être mesuré à l'échelle d'une année ou de la survenue de l'effet de santé jusqu'au décès.

3.3.3.2 Discussion de la faisabilité d'une évaluation économique du fardeau sanitaire induit par les chenilles à poils urticants

Sur la base des éléments méthodologiques exposés à la section précédente et au regard des données disponibles dans la littérature, le GT n'a pas été en mesure de conduire un exercice d'évaluation économique du fardeau sanitaire induit par les chenilles à poils urticants en France. Cette section vise donc à expliciter les obstacles rencontrés et les besoins en connaissance associés.

Le manque de données disponibles pour l'estimation du nombre de cas pour chaque effet de santé induit par une exposition aux chenilles à poils urticants représente un premier frein. En effet, les études épidémiologiques disponibles pourraient permettre de déduire - à partir d'une évaluation quantitative de la population exposée - un nombre de cas pour certains effets de santé (à titre d'illustration, Maier *et al.*, 2003 et Debreux, 2004 documentent l'émergence de plusieurs effets de santé tandis que Vega J.M. *et al.* (2011) étudient

exclusivement les effets cutanés). Cependant, ces études sont menées sur des populations soumises à des conditions spécifiques d'exposition aux chenilles à poils urticants (par exemple : une commune située à moins d'un kilomètre d'une forêt infestée par la processionnaire du chêne pour Debreux (2004) ; une population située en zone d'endémie de la processionnaire du pin pour Vega J.M. *et al.* (2011)). L'extrapolation de ces conditions d'exposition représente un premier facteur d'incertitude, en particulier pour les études étrangères²⁵. Par ailleurs, la mobilisation de telles données épidémiologiques est vaine, à l'heure actuelle, en l'absence de données sur le nombre d'individus exposés à l'échelle de la population française. L'impossibilité d'estimer un nombre de cas attribuable aux effets de santé induits par une exposition aux chenilles à poils urticants compromet la mise en œuvre d'une évaluation du fardeau.

Par ailleurs, l'état des données disponibles freine plus spécifiquement l'évaluation des coûts directs et indirects. En effet, comme exposé à la section 3.3., les atteintes induites par une exposition aux chenilles présentent un niveau de diversité important, tant sur le plan de la nature du symptôme (*i.e.*, cutané, oculaire, respiratoire, etc.) que de l'étendue et du niveau de gravité. L'ensemble de ces facteurs influence la prise en charge qui fait l'objet, comme évoqué à la section 3.3.1.2.6, d'une adaptation complète aux effets observés. Le GT n'a donc pas pu identifier de données de prise en charge « standardisées ». De plus, l'importante variabilité des atteintes n'a pas permis d'envisager un travail d'évaluation basée sur une typologie d'effets de santé suffisamment resserrée (*i.e.*, typologie prenant en compte la dimension gravité et type d'atteinte). Enfin, en dépit de la collecte par le GT - dans la littérature²⁶ et par le biais de l'audition menée auprès de la CCMSA (Caisse centrale de la mutualité sociale agricole) - de données traduisant des impacts en santé humaine significatifs pour les populations professionnelles, aucune donnée relative à la prescription d'arrêts maladie n'a pu être collectée, compromettant ainsi toute évaluation des coûts indirects.

3.4 Conclusions

L'analyse bibliographique a permis de faire une synthèse des symptômes associés aux principales espèces de Lépidoptères à chenilles à poils urticants sélectionnées dans le cadre de l'expertise. Dans un premier temps, la pénétration dans la peau ou dans les muqueuses, des poils urticants des chenilles, provoque des réactions toxiques et plus rarement des manifestations allergiques, par la libération de molécules de natures diverses, selon les espèces de Lépidoptères, ayant des propriétés vasodilatatrices et pro-inflammatoires (histamine, nombreuses enzymes) ou agissant par exemple sur la coagulation. La libération de ces molécules active des mastocytes (cellules appartenant au système immunitaire) qui libèrent alors des substances vasodilatatrices et pro-inflammatoires. Dans un second temps, certaines protéines des venins peuvent entraîner une sensibilisation (c'est-à-dire une réaction immunitaire) avec la production d'immunoglobulines E (IgE) spécifiques. Lors d'une exposition ultérieure, la fixation de ces protéines de venin sur leurs IgE spécifiques présentes sur la membrane des mastocytes, entraîne l'activation des mastocytes qui déclenche une réaction allergique (pouvant aller d'une simple urticaire à un choc anaphylactique).

²⁵ On peut s'interroger à la fois sur l'extrapolation des conditions environnementales mais aussi des « habitudes de vie ».

²⁶ Comme évoqué précédemment, Forkel (2021) mentionne que 4,6 % des individus enquêtés pouvant avoir un contact avec des chenilles urticantes dans le cadre de leur activité professionnelle ont déclaré avoir dû changer de travail pour raison médicale.

L'analyse du venin de *Thaumetopoea pityocampa* (chenille processionnaire du pin) a permis de caractériser une protéine responsable d'urtication, la thaumetopoéine. Une analyse protéomique a par ailleurs mis en évidence 353 autres protéines dont 7 sont reconnues comme allergènes potentiels. Parmi les protéines composant le venin d'une autre espèce du genre *Thaumetopoea* (*T. pinivora*), on trouve des enzymes qui interviennent dans la synthèse de la chitine et qui jouent un rôle dans la réponse lymphocytaire T ainsi que des sérines protéases qui participent à la réaction inflammatoire. Enfin, la composition des venins des chenilles du genre *Euproctis* comprend, outre des enzymes et de l'histamine, une fraction protéique (de 20 à 40 kDa) potentiellement allergène.

Au regard des références bibliographiques analysées et des données des centres antipoison²⁷, il ressort que l'espèce de Lépidoptère incriminée ne peut être identifiée qu'en cas de contact direct avec la chenille. Il est donc souvent difficile de préciser les circonstances d'exposition²⁸ aux chenilles à poils urticants de manière générale ou par espèce. Le diagnostic est souvent posé sur l'aspect des lésions et de leurs topographies (peau, œil) qui sont indicatrices d'une exposition à des poils urticants dans des zones où les chenilles sont présentes. Par ailleurs, suite à l'analyse des références bibliographiques disponibles, les modalités exactes du contact de l'humain avec les chenilles à poils urticants sont souvent peu documentées, en dehors d'un contact direct établi.

Actuellement, il n'existe pas en France d'outil disponible de diagnostic en routine des réactions allergiques basées sur les IgE. Or, la production et la mise à disposition d'extraits validés de venins de chenilles, permettant des tests cutanés et sanguins, est indispensable pour faciliter le diagnostic et le dépistage des risques allergiques des populations exposées.

Afin de préciser les facteurs de vulnérabilités²⁹ des populations aux venins transmis par les poils urticants des chenilles et les contextes d'exposition des populations à ces mêmes chenilles, le GT a décidé de réaliser deux enquêtes : l'une ciblait la population non professionnelle qui est amenée à consulter des médecins dermatologues et allergologues en cas d'exposition, l'autre à destination des populations les plus exposées aux chenilles à soies urticantes dans le cadre professionnel.

La première enquête a été menée en 2021 auprès de trois associations de praticiens dermatologues et/ou allergologues basées dans l'Ouest (Bretagne et Pays de la Loire), le Sud-Ouest et dans l'Est (Franche-Comté) de la France métropolitaine par l'intermédiaire d'un questionnaire. Les principaux enseignements de cette enquête, bien que d'ordre qualitatif (53 cas rapportés), montrent que les consultations ont concerné un profil de patients très large en termes d'âge (de moins de 5 ans à des personnes adultes). Par ailleurs, les symptômes rapportés ont concerné majoritairement la dermatite papuleuse classique. Une urticaire de contact a été rapportée dans 9 cas.

La seconde enquête a été menée en 2023 auprès des professionnels des filières forêt-bois, JEVI³⁰ et des métiers du cheval par l'envoi d'un questionnaire adressé à 50 000

²⁷ Cf. rapport d'étude de toxicovigilance en juin 2020 (réf. D20DAVS0221)

²⁸ Exposition : contact possible d'une personne aux soies urticantes des chenilles

²⁹ Vulnérabilité : aptitude d'une espèce à présenter des symptômes et des dommages suite à une infection par un agent pathogène ; le terme renvoie dans le cas présent à la fois à une exposition potentiellement plus forte (du fait, par exemple, d'un comportement exploratoire prononcé chez les enfants ou d'une activité professionnelle) et à une susceptibilité de présenter des impacts sur la santé.

³⁰ Jardins Espaces végétalisés et Infrastructures

adhérents de la CCMSA. Mille vingt-six personnes ont accepté que des données à caractère personnel soient utilisées. Au final, 900 questionnaires ont pu être exploités pour une analyse statistique. Les premiers résultats de l'enquête se résument ainsi. Six cent quarante-sept personnes ont été exposées à des chenilles processionnaires (71,8 % de l'échantillon des questionnaires sélectionnés pour l'analyse statistique). Trois cent quatre-vingt-dix-neuf personnes étaient symptomatiques (61,6 % de l'échantillon) contre 248 non symptomatiques. Par ailleurs, 66 % des personnes constituant l'échantillon avaient un métier agricole, 22 % des personnes travaillaient dans la filière bois et 12 % avaient un métier en lien avec l'activité hippique. Enfin, les femmes étaient moins souvent exposées que les hommes. Elles étaient également plus souvent représentées dans les métiers du cheval, qui correspondaient à la catégorie la moins souvent exposée aux chenilles processionnaires. La classe d'âge la plus exposée était celle des 30-39 ans, les professionnels étaient davantage exposés lorsqu'ils se déplaçaient dans plusieurs régions pour exercer leur activité.

Pour conclure, il ressort que l'analyse des données (bibliographiques, centres antipoison et résultats des enquêtes) a confirmé le risque sanitaire. En effet, l'impact sur des populations vulnérables est certain avec i) des lésions cutanées et des muqueuses engendrées par le contact avec les poils de chenilles urticantes, et un risque de séquelles en cas d'atteinte oculaire et ii) un risque de développer, en cas d'expositions répétées, une sensibilisation avec survenue lors d'expositions ultérieures de réactions allergiques pouvant aller jusqu'au choc anaphylactique.

Par ailleurs, le GT a cherché à compléter la caractérisation du risque en santé humaine par une évaluation du fardeau sanitaire et les coûts associés. Au-delà de l'identification des impacts sanitaires, le GT a jugé pertinent d'étudier l'opportunité d'une évaluation de ce fardeau sanitaire sur le plan économique dans une perspective d'aide à la décision publique jugée utile à plusieurs titres. Cette évaluation permet d'une part, de donner à voir l'ampleur des impacts associés à cette problématique selon différentes métriques (dont économique) et de la mettre en regard avec les impacts induits par d'autres problématiques de santé publique. L'évaluation économique du fardeau peut, d'autre part, être mobilisée afin d'appuyer la réflexion sur la mise en œuvre d'actions de gestion du risque en permettant une comparaison du fardeau et des coûts associés à ces actions sur un même plan monétaire. La démarche n'a pu aboutir faute de données épidémiologiques. Le GT souligne l'intérêt qu'aurait la production de telles données.

Le risque sanitaire nécessite d'autant plus d'être pris en compte que les aires de distribution géographique des chenilles à poils urticants sont amenées à s'étendre dans le futur du fait du dérèglement climatique. Or, des populations vulnérables et plus exposées comme les enfants, les usagers sportifs des espaces publics, ou les populations professionnelles des filières bois, agricoles ou horticoles seront d'autant plus exposées à ce risque qu'elles se trouveront dans des zones nouvellement colonisées (ex : forêts, parcs urbains) du fait de leur méconnaissance du danger et donc du risque représenté par ces chenilles.

4 Impacts des chenilles à poils urticants sur la santé animale

4.1 Recherche bibliographique

4.1.1 Méthodologie

Le GT a questionné la littérature vétérinaire et toxicologique afin de détecter des articles de synthèse fiables ou des observations bien documentées induites par les chenilles processionnaires ou d'autres chenilles à poils urticants. Les facteurs de vulnérabilité et les différents tableaux cliniques décrits en ont été extraits. Cette recherche bibliographique non exhaustive a utilisé différents moteurs de recherche (PubMed, Science direct, Google, base de données du CNITV LYON ; consultation entre janvier 2021 et mars 2023) sur la base des mots-clés figurant dans le Tableau 12.

Le périmètre de la recherche a été réduit par le biais de filtres : seules les publications portant sur les atteintes en santé animale, publiées en langue anglaise et française, ont été intégrées au corpus analysé. La sélection des articles pertinents s'est faite sur la base des résumés. De nombreuses références ont été obtenues avec la base de données PubMed et ScienceDirect en utilisant les mots-clés suivants : moth/caterpillar/Thaumetopoea/animals. Cependant, la plupart des références portaient sur la description d'exposition de cas humains.

Cette revue bibliographie a été complétée par des articles non répertoriés identifiés dans les références bibliographiques ou de la veille bibliographique du centre antipoison vétérinaire de Lyon (dans les revues vétérinaires praticiennes). Ainsi, 18 articles de revues spécialisées (Toxicon, Vet record, Point vétérinaire...), 8 thèses vétérinaires et 13 articles périodiques (Semaine Vétérinaire, Action vétérinaire, Phytoma...) ont également été consultés.

Enfin, cette revue de la littérature s'est limitée à la liste des espèces de chenilles à poils urticants établie par le GT (voir section 2.2). *In fine*, 96 publications ont été analysées.

Tableau 12 : Revue de la littérature - Eléments de méthode

Mots-clés	Nombre de références obtenues avant tri	Nombre de références exclues et motifs	Nombre de références retenues après tri
BD PubMed			
caterpillar AND animal AND health	152	15 concernent réellement les animaux et 6 ne concernent pas des chenilles à soies urticantes	9
moth AND caterpillar AND Thaumetopoea	191	11 concernent la santé animale	11
BD Science Direct			
moth AND caterpillar AND Thaumetopoea	555	peu de références en santé animale	4
moth AND caterpillar AND Thaumetopoea AND toxicity	181		1
moth AND caterpillar AND Thaumetopoea AND intoxication	29		3
BD CNITV LYON			
Thaumetopoea AND (pityocampa OR processionea) AND chenilles	52		35

Des publications en allemand ont également été identifiées (le nombre de publications trouvées par les moteurs de recherche utilisés étant assez faible, la recherche bibliographique a été étendue à d'autres ressources documentaires comme les bases de données du Centre antipoison vétérinaire de Lyon ou les bibliographies de toxicologues vétérinaires sollicités individuellement) pour informer d'un risque existant en Allemagne et l'une d'entre elles (Baur, 2019), relatant le cas clinique d'une chienne de 10 ans, attribue les signes cliniques à une réaction allergique alors que, compte tenu de l'évolution, il s'agit d'une nécrose toxique (avis du GT).

La majorité des publications concernent les chenilles processionnaires du pin et du chêne. Un cas d'exposition en Nouvelle-Calédonie à la processionnaire du Gaïac (*Ochrogaster circumfumata*) a été observé mais la publication n'a pas été retenue car l'espèce est en dehors du champ de l'expertise.

De même, le *Mare Reproductive Loss Syndrome*³¹ décrit en Australie et aux États-Unis n'a jamais été formellement identifié en France métropolitaine et ultramarine. Il est en outre suspecté avec des genres de Lépidoptères extérieurs au champ de l'expertise (*Lonomia* spp

³¹ *Mare Reproductive Loss Syndrome* (MRLS) : le syndrome de perte de reproduction de la jument est un syndrome composé d'avortements équités pour lequel les chenilles semblent favoriser les infections systémiques abortives.

(Etats-Unis), *Ochrogaster lunifer* et *Euproctis edwardsi* (Australia)) (Tobin *et al.*, 2004 ; Cawdell-Smith *et al.*, 2009).

4.1.2 Espèces animales

La littérature rapporte des cas d'envenimation liées à des chenilles à soies urticantes chez des espèces d'animaux de compagnie et de loisir (chiens, chats, chevaux) et de rente (bovins, ovins, caprins, porcins).

Rivière (2011) cite plusieurs études mentionnant le chien comme l'espèce la plus touchée par les envenimations (Charmot, 1987 ; Darrasse, 1991 ; Bergia et Keck, 1991 ; Blanchard, 1994 ; Gleyze, 1995 ; Pineau et Romanoff, 1995 ; Pineau, 1999 ; Scheiner, 2003 ; Turpin, 2006). L'analyse d'enquêtes rétrospectives conduites auprès de 94 vétérinaires praticiens entre 2005 et 2010, conforte ces données bibliographiques : ainsi, sur au moins 1112 cas liés aux chenilles processionnaires (Cf. Figure 21), 74,3 % (n=826) concernaient des chiens, 9,5 % (n=106) des chats, 8,6 % (n=96) des chevaux et 7,6 % (39 bovins, 45 ovins et caprins) des ruminants³². Tous les vétérinaires praticiens interrogés lors de cette étude ont observé des cas chez les chiens (Rivière, 2011).

Concernant la faune sauvage, un cas d'intoxication chez une antilope de parc zoologique est rapporté (G. Gault, communication personnelle). En revanche, un suivi de cerfs dans le sud-est de l'Angleterre n'a pas mis en évidence de troubles liés au développement de la processionnaire du chêne dans cette région. Les oiseaux semblent par leur bec et leur tractus digestif kératinisé peu sensibles à l'action des soies urticantes, ce qui leur permet d'être prédateurs des chenilles même pendant leur stade urticant (Barbaro, 2011).

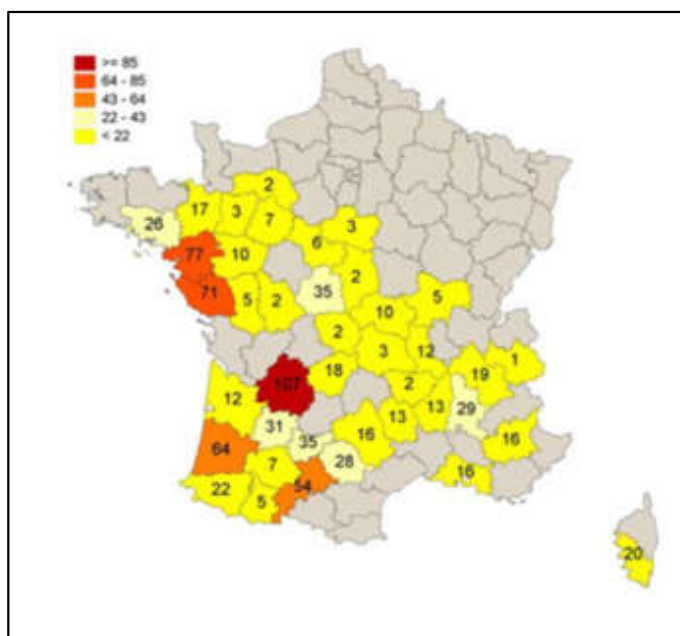


Figure 21 : Nombre et répartition de cas d'envenimation d'animaux domestiques recensés par département entre 2005 et 2010 (les départements en grisé n'ont pas été investigués) (source : J. Rivière, 2011)

³² Certains vétérinaires n'ont pas précisé le nombre d'animaux impactés par cas.

Le nombre de cas d'envenimation rapportés par vétérinaire était plus élevé dans le Sud-Ouest de la France (dans les anciennes régions administratives Aquitaine et Midi-Pyrénées) et au Nord-Ouest (région Pays de la Loire), qui correspondent à des zones endémiques où les processionsnaires sont présentes depuis longtemps (Rivière, 2011).

4.1.3 Modes et voies d'exposition

Le **mode d'exposition** des animaux dépend de leur mode de vie et de leur comportement (Charmot, 1987) :

- les chiens présentent un comportement exploratoire buccal marqué, par léchage, notamment chez les jeunes animaux. Habituellement, ils se contaminent par contact avec des chenilles en procession (Tavernier, 2019 ; Senechal, 2023). Ils peuvent également entrer en contact avec des éléments contaminés par des soies urticantes ou avec des nids tombés au sol (Chermette et Chareyre (1994) cité par J. Rivière (2011) ; Kaszak *et al.*, 2015). Ils peuvent se contaminer à l'occasion d'une promenade en forêt ou dans les parcs publics et privés. Dans leur publication, Kammerer et Pouliquen (2018) décrivent la découverte d'une chenille dans les selles d'une jeune Husky quelques jours après un tableau clinique de nécrose de la langue ;
- les chats, plus prudents dans leur comportement exploratoire, sont rarement en contact avec les chenilles et les cas d'envenimation sont rares (Darrasse, 1991 ; Poisson *et al.*, 1994 ; Pineau et Romanoff, 1995 ; Gleyze, 1995). L'exploration buccale est moins développée chez l'espèce féline au profit du tapotement par les pattes avant (observation de pododermatite) ;
- les chevaux et les ruminants (Braque, 1999 ; Gourreau *et al.*, 2002 ; Winjberg *et al.*, 2009) peuvent être exposés lors de préhension de fourrage contaminé par des soies abandonnées dans l'herbe ou, lors du broutage au pâturage, sur des végétaux de prairies naturelles pendant les processions. Une exposition est également possible par du fourrage contaminé par dispersion aéroportée des soies lors de stockage à proximité d'arbres hébergeant des colonies de chenilles. Il semblerait que l'ingestion de chenilles soit exceptionnelle ;
- les porcs ou les sangliers peuvent être exposés du fait de leur comportement alimentaire de fouissement, *i.e.* en retournant la terre à la recherche de larves d'insectes, de glands et de racines.

Il convient de noter que le mode d'exposition des animaux aux soies urticantes peut varier selon qu'il s'agit des chenilles processionsnaires du pin ou des chenilles processionsnaires du chêne :

- concernant la processionnaire du pin, le passage au sol du stade larvaire urticant expose particulièrement au risque de contact direct entre chenille et animaux. L'exposition peut alors résulter d'un contact direct avec les soies urticantes portées par les chenilles ou avec celles abandonnées sur le chemin de leur procession. Quelques cas d'exposition par un vecteur alimentaire (foin d'herbes) souillé ont été ponctuellement décrits (Gault *et al.*, 2018) ;
- concernant la processionnaire du chêne, les expositions par contact direct avec les chenilles sont plus rares car elles n'ont pas l'obligation de passer par le sol pour leur diapause nymphale. Néanmoins, des chutes de chenilles ou de plaques de chenilles au sol sont parfois observées après des phénomènes météorologiques violents

(tempête, orages, grêle, etc.), ce qui est susceptible de contaminer des aliments pour les herbivores ou de susciter l'intérêt des carnivores domestiques. Le mode principal de contamination sera par voie aéroportée, et de ce fait avec une concentration plus diluée en soies, aurait un effet minorant sur la gravité des signes cliniques observés. Seuls les chats qui grimpent dans les arbres ont fait l'objet de notifications, essentiellement dans la région Grand-Est.

Compte tenu de ces comportements, la voie de contamination des animaux par les soies urticantes des chenilles est principalement orale. Les autres voies de contamination (oculaire et respiratoire), sont plus rares. Des données quantitatives ont pu être analysées pour décrire les voies de contamination des principales espèces (Cf. Tableau 13). Les pourcentages obtenus sont accompagnés d'une appréciation qualitative du niveau de gravité des expositions respectives (0 : absence d'effet ; +/- : très faible ; + : faible ; ++ : moyen ; +++ : élevé).

Tableau 13 : Fréquence des voies de contamination par les soies urticantes des chenilles pour différentes espèces (sources : CNITV-LYON – G. Gault, 2023 ; M. Lefebvre, 2023)

Espèce	Voie orale	Voie oculaire	Voie respiratoire	Voie cutanée
Canine (n=717)	+++ (95,1 %)	+/- (0,7 %)	+/- (2,5 %)	+/- (1,7 %)
Féline (n= 57)	+++ (96,6 %)	0	+/-	+/-
Lagomorphes (n=2)	+	+++	+	0
Equine (n=5)	+++	+	+	++
Bovine (n=2)	+	+	+	0
Ovine/caprine (n=1)	+	+	+	0

NB : les % ne sont pas indiqués lorsque les cas d'exposition sont faibles pour une espèce donnée

4.1.4 Facteurs de vulnérabilité

Toutes les espèces de mammifères faisant l'objet d'un suivi semblent sensibles à la toxicité des soies en contact avec leurs muqueuses, mais seules les espèces qui transpirent ont des risques de troubles cutanés généralisés. Ainsi, seuls les chevaux, par leur transpiration et les glandes sudoripares associées, expriment des troubles cutanés inflammatoires et nécrotiques.

4.1.4.1 Race des animaux

Concernant les chiens, en France, dans l'étude de Pouzot-Névoret *et al.* (2017) relative à des cas graves chez 109 chiens admis aux urgences de l'Ecole nationale vétérinaire de Lyon entre 2006 et 2016, les races des 106 chiens étaient diverses, mais les plus représentées étaient le Labrador Retriever (7 %), le Golden Retriever (6 %), le Cocker Spaniel (5 %) et le Berger Allemand (4 %), à l'image de la démographie canine nationale (ces quatre races sont en tête des races déclarées sur la période). L'étude de Niza *et al.* (2012) ne suggère pas de représentation raciale particulière chez les 41 chiens appartenant à 20 races différentes. Concernant les autres espèces animales, aucune relation sur une sensibilité liée à la race des animaux n'a été mise en évidence.

4.1.4.2 Âge des animaux

Chez les chiens, dans deux études portant sur des cas cliniques, les animaux atteints étaient jeunes. Ainsi, dans l'étude de Pouzot-Névoret *et al.* (2017) l'âge médian des chiens était de 12,5 mois (entre 8 mois et 48 mois) et, dans l'étude de Niza *et al.* (2012), 23 des 41 chiens avaient moins d'un an (entre 4 mois et 5 ans).

Chez les chats, une étude de Pouzot-Névoret *et al.* (2018), portant sur 11 animaux admis aux urgences de l'école nationale vétérinaire de Lyon entre 2004 et 2016, met en évidence un âge médian de 3 ans (entre 5 mois et 8 ans). Il convient de noter que, dans les deux études de Pouzot-Névoret (2017, 2018), les cas rapportés concernent des animaux présentés en consultation dans un service d'urgence de rayonnement plutôt départemental (voire régional). Il serait donc intéressant de disposer de données plus générales couvrant d'autres départements/régions, et en provenance de cabinets et cliniques vétérinaires.

En Espagne, dans une étude portant sur 140 chiens présentant des troubles oculaires dus aux soies urticantes de chenilles processionnaires du pin, l'âge moyen était de 4,2 ans (entre 4 mois et 13 ans) (Costa *et al.*, 2016).

Pour l'atteinte digestive, les animaux jeunes de moins d'un an semble la classe d'âge la plus exposée à ce risque (Niza *et al.*, 2012 ; Pouzot Nevoret *et al.*, 2017).

4.1.5 Signes cliniques

4.1.5.1 Cas rapportés en lien avec des chenilles processionnaires du pin

Chez les chiens, en France, Pouzot-Névoret *et al.* (2017) ont recensé une majorité d'atteintes de la langue (86 % des cas). La langue était œdématiée dans deux cas sur trois. Les ulcérations linguales étaient observées dans un cas sur cinq. Si la nécrose à l'admission concernait 16 % des chiens, elle s'est développée pendant l'hospitalisation dans deux cas sur cinq (au total, 3 chiens sont morts sur les 109 examinés). L'atteinte linguale était accompagnée dans 38 % des cas, d'atteintes labiales, gingivales et de la face. L'atteinte buccale s'accompagnait dans 55 % des cas d'autres signes cliniques, surtout des vomissements et, plus rarement, de dyspnée, d'hypovolémie ou de diarrhée. Les atteintes oculaires étaient rares (8 % des cas). Une étude espagnole a décrit les signes oculaires chez 140 chiens, dominés par une kératite (99 % - 138 chiens) et une uvéite antérieure (79 % - 110 chiens) (Costa *et al.*, 2016).

Les signes cliniques apparaissent brutalement, quelques minutes à quelques heures à peine après une promenade en forêt, dans un parc ou simplement dans un jardin. Dans quelques cas, l'ingestion de la chenille ou le jeu avec la procession sont décrits par les propriétaires. Il convient de souligner l'importance d'une prise en charge médicale très rapide lors d'intoxication par des chenilles, *i.e.* dans les 6 heures suivant la contamination par les soies urticantes selon Pouzot-Névoret *et al.* (2017). Dans une précédente étude sur 41 chiens, Niza *et al.* (2012) suggèrent une prise en charge médicale moins de deux heures après contamination pour réduire le risque de nécrose de la langue (Cf. Figure 22).

Si les cas semblent graves aux urgences, la gravité diminue dans l'exercice quotidien des vétérinaires généralistes. Aucune référence bibliographique ne montre l'impact lié à l'exposition aux chenilles processionnaires du pin dans le cadre d'un exercice quotidien (données qualitatives uniquement). A titre d'illustration, le 21 février 2007 dans un cabinet vétérinaire du nord de Lyon des consultations et des opérations non urgentes ont été annulées pour prendre en charge 21 cas de chiens ayant été en contact avec des soies urticantes (lors

de descentes massives de chenilles suite à un vent chaud du sud avec une température de 24°C détectée au niveau des troncs de pins). Sur 21 chiens, 17 présentaient une atteinte légère avec perte faible de substance linguale essentiellement, 3 autres une atteinte plus importante avec une nécrose partielle de la langue, et, le dernier, un chiot de 4 à 5 mois a dû être euthanasié en raison d'une nécrose plus étendue ayant atteint le frein de la langue (G. Gault, communication personnelle).



Figure 22 : Cas d'exposition d'un chien, nécrose de la langue (source : M. E. Niza, *et al.*, 2012)

Chez les chats, des atteintes podales (pododermatite interdigitée) et surtout digestives (hypersalivation après ingestion de soies par léchage du pelage et, très rarement, ingestion de chenilles) sont observées. Pouzot-Névoret *et al.* (2018) ont décrit, chez les 11 chats de l'étude, un tableau clinique assez similaire à celui observé chez les chiens, mais montre une gravité et une prévalence atténuées (la pathologie est moins observée chez les chats que chez les chiens). L'œdème lingual reste, avec l'hypersalivation, le signe d'appel (10 cas sur 11). Aucun trouble oculaire ou respiratoire n'a été observé dans cette étude.

Dans le cas relaté par Niza *et al.* (2006), le chat femelle de 8 ans a présenté brutalement de l'hypersalivation, la bouche béante, un prurit facial et labial et des vomissements, après être monté dans un pin comportant des cocons et des chenilles. L'évolution a été favorable en une douzaine d'heures après un traitement de décontamination, sans nécrose linguale.

Aucun cas de troubles à médiation allergique, qui s'expriment le plus souvent par un érythème cutané chez le chien ou le chat avec des dépilations, du prurit et parfois des surinfections de plaies de grattage léchage, n'a été trouvé dans la littérature.

Chez les chevaux, une congestion de la langue, des coliques et une urticaire étendue ont été observées. D'après les observations de Darrasse (1991), le prurit est parfois intense et peut conduire à une automutilation (par exemple, une jument, afin de soulager l'urticaire des flancs, se donnait fréquemment des coups de sabots sur l'abdomen). La sudation peut également être importante (Charmot, 1987).

Chez les ruminants, des lésions buccales et linguales ont été rapportées, par exemple des ulcères linguaux profonds chez des bovins et des vésicules linguales suivies d'ulcères superficiels chez des ovins, souvent associées à une hypersalivation, de l'abattement et une perte d'appétit (Rivière, 2011). L'exposition de la langue de ruminants à des molécules caustiques ou à des foin abrasifs / irritants renforcerait sa kératinisation et la rendrait moins sensible aux atteintes des soies urticantes et de leur protéine nécrosante (G. Gault, communication personnelle).

Plusieurs auteurs et acteurs, membres des centres antipoisons vétérinaires (Tavernier, 2019 ; Lefebvre, 2023), pointent le manque d'études auprès de cliniques vétérinaires susceptibles de mieux documenter l'impact réel sur la santé des animaux, notamment la proportion de formes graves, ainsi que les périodes à risque de survenue des accidents. La prévalence dans les clientèles ainsi que l'incidence entre les différentes zones d'enzootie et sur le front de colonisation des chenilles mériteraient d'être mieux recensées pour améliorer la connaissance de ces intoxications par les chenilles à soies urticantes.

4.1.5.2 Cas rapportés en lien avec des chenilles processionnaires du chêne

Quelques rares cas liés à des chenilles processionnaires du chêne ont été rapportés dans la littérature. Ainsi, en Allemagne, Maronna *et al.* (2008) ont décrit le cas d'un chiot de 10 semaines qui, après avoir pris un nid de chenille processionnaire du chêne dans sa gueule, a présenté une hypersalivation marquée, accompagnée de prurit, de vomissements et d'œdème de la langue et du pharynx.

En France, aucune donnée de la littérature scientifique n'a fait état d'une atteinte par des soies urticantes de processionnaire du chêne.

4.1.5.3 Autres chenilles à poils urticants

Aucune donnée métropolitaine n'a fait état d'une atteinte par des soies urticantes par des espèces autres que les processionnaires du pin ou du chêne. Lorsque l'espèce n'est pas précisée, la période hivernale oriente vers la chenille processionnaire du pin.

4.1.6 Diagnostic différentiel

Le diagnostic d'envenimation par les soies urticantes des chenilles repose sur les signes cliniques évocateurs décrits ci-dessus, ainsi que sur des données épidémiologiques (par exemple : saisonnalité, proximité de pins ou de chênes). Les autres causes possibles de ces signes cliniques doivent être envisagées, et varieront en fonction de l'espèce animale considérée.

4.1.6.1 Chez les chiens

Les consultations sont saisonnières et ont principalement lieu du mois de février au mois de mai pour des cas d'exposition à la chenille processionnaire du pin (Rivière, 2011). Les observations récentes dans les deux centres antipoison vétérinaires modulent cette observation avec des cas observables pour la chenille processionnaire du pin d'octobre à mai (Lefebvre, 2023).

Les animaux sont le plus souvent amenés en urgence chez le vétérinaire, en raison de la rapidité d'apparition des signes cliniques et de leur caractère spectaculaire, qui peut évoquer une intoxication.

Le contexte et le tableau clinique (dominés par une glosso-stomatite ulcéreuse, voire nécrosante, et un abondant ptyalisme) sont assez caractéristiques d'une intoxication liée aux soies urticantes, et seule l'exposition à des caustiques rentre dans le diagnostic différentiel.

En revanche, chaque signe clinique pris séparément peut conduire à la production d'un tableau de diagnostic différentiel très divers (Blanchard (1994) cité par J. Rivière, 2011). Aucune maladie infectieuse d'importance ne semble pouvoir être suspectée sur ce tableau clinique.

4.1.6.2 Chez les ruminants

Le diagnostic différentiel peut inclure des maladies infectieuses à l'origine notamment de lésions buccales et d'hypersalivation, en particulier la fièvre catarrhale ovine (FCO) et la fièvre aphteuse (FA), maladies virales avec un impact sanitaire et économique majeur chez ces espèces.

Ainsi, selon l'étude de Rivière (2011), trois praticiens (3/7) confrontés à une envenimation chez les bovins ont éprouvé des difficultés à établir le diagnostic : deux ont évoqué la FCO, un la FA. Les quatre autres praticiens n'ont pas rencontré de difficulté particulière, mais ont tout de même évoqué certaines affections pouvant potentiellement prêter à confusion : la FCO (2/4), le coryza gangréneux (2/4), la FA (1/4), ou tout autre contact irritant (1/4). Un praticien considérait qu'aucune affection ne pouvait être confondue avec une envenimation par les chenilles processionnaires chez les bovins.

Deux praticiens (2/4) confrontés à une envenimation chez les petits ruminants ont éprouvé des difficultés à établir le diagnostic : l'un a évoqué une confusion avec des piqûres de guêpes, l'autre n'a pas précisé. Les deux praticiens n'ayant pas connu de difficulté à poser le diagnostic ont évoqué la FCO comme affection pouvant éventuellement prêter à confusion (Rivière, 2011).

Lors d'atteintes linguales, le diagnostic différentiel peut inclure la causticité des Euphorbiaceae, surtout dans les cas d'ingestion de fourrage ou d'herbe contaminée.

4.1.6.3 Chez les Equidés

Dans les cas d'hypersalivation massive, l'atteinte par la toxine de *Rhizoctonia* doit être évoquée. En l'absence de nécrose, ainsi que le décalage temporel (la période favorable au développement de *Rhizoctonia* se situe entre la fin de l'été et le début de l'automne) et les conditions d'hygrométrie et de température permettent d'exclure l'hypothèse d'une atteinte par des chenilles processionnaires.

Dans les cas de nécrose de la langue ou de gingivite, il convient d'évaluer la possibilité d'exposition à des substances caustiques synthétiques ou naturelles (soude, latex d'*Euphorbia* spp., sève de renoncules ou d'Araceae...).

En cas d'érythème cutané, selon l'incidence chez les chevaux présents dans l'effectif, une allergie cutanée peut être suspectée en cas d'une expression unique sinon l'hypothèse la plus probante est selon les vétérinaires équins l'application d'un composé irritant et les soies urticantes de chenilles.

4.2 Analyse des données issues des deux Centres AntiPoison Vétérinaires (CAPV) de Lyon et Nantes

4.2.1 Présentation des données

Les appels reçus par les CAPV concernent majoritairement les chiens (91,7 %).

En ce qui concerne les notifications de cas d'intoxication par les soies urticantes de chenilles, il convient de souligner le biais de sélection lié au fait que tous les cas animaux d'intoxication par des chenilles à soies urticantes ne sont pas notifiés aux CAPV. Ainsi, le nombre de cas rapportés, basé sur des déclarations volontaires ne reflète vraisemblablement pas la réalité du terrain, en particulier dans les régions où les chenilles à soies urticantes sont installées et l'intoxication des animaux bien connue. Par ailleurs, ces données ne permettent pas de distinguer les chenilles processionnaires du chêne de celles du pin, les notifications étant identifiées par « chenille processionnaire » ou « chenille » (Lefebvre, 2023). Les sollicitations des CAPV résultent d'appels en urgence ou en début d'évolution sans que la suite soit obligatoirement connue. De ce fait, ce sont des déclarations tronquées qui mériteraient, pour affiner les connaissances, de pouvoir obtenir l'évolution du tableau complet et la chronologie. Il conviendrait de renforcer l'enregistrement des signes précoces.

Les notifications de cas d'intoxication par les soies urticantes de chenilles concernent 91,7 % (717 dossiers) de chiens, 7,3 % (57 dossiers) de chats, 0,7 % (5 dossiers) de chevaux, ainsi qu'un bovin, un lapin et une chèvre (Lefebvre, 2023). Dans l'étude de Pineau (1999), couvrant les années 1991-1997, la chenille processionnaire est la deuxième source (20 %) d'envenimation chez le chien après les serpents alors que, chez les chats, elle arrive en cinquième position (7 %), et la prévalence pour les carnivores domestiques est de 95 % de cas canins et 5 % de cas félin. Aucun cas dans la faune sauvage libre n'a été porté à la connaissance des CAPV de Lyon et de Nantes. Les proportions de chiens et de chats restent proches des observations du service d'urgence de l'école vétérinaire de Lyon (Pouzot-Nevoret *et al.*, 2017 et 2018).

Les intoxications chez les chiens surviennent principalement à la fin de l'hiver et au début du printemps selon les régions, période où les processions des chenilles sont majoritairement observées (des processions peuvent également être observées entre la fin du printemps et l'automne). Les signes cliniques observés résultent principalement d'une interaction directe entre le chien et la chenille. Chez les jeunes chiens, certains décrivent l'ingestion d'une ou plusieurs chenilles en procession. Ces contacts directs avec des chenilles conduisent à une contamination par un grand nombre de soies et, en conséquence, à des signes cliniques graves, et à d'importantes nécroses (Cf. Figure 22) assombrissant notamment le pronostic pour l'animal (Cf. Figure 23 et Tableau 14).

Chez les chats, les contacts directs se traduisent plutôt par des pododermatites ou des atteintes de la langue (œdèmes, ptyalisme) par léchage secondaire des zones contaminées (Cf. Figure 23 et Tableau 14). Ce mode de contamination a tendance à diminuer le niveau d'exposition aux soies urticantes en contact avec les muqueuses et les organes, et de ce fait minore la gravité clinique.

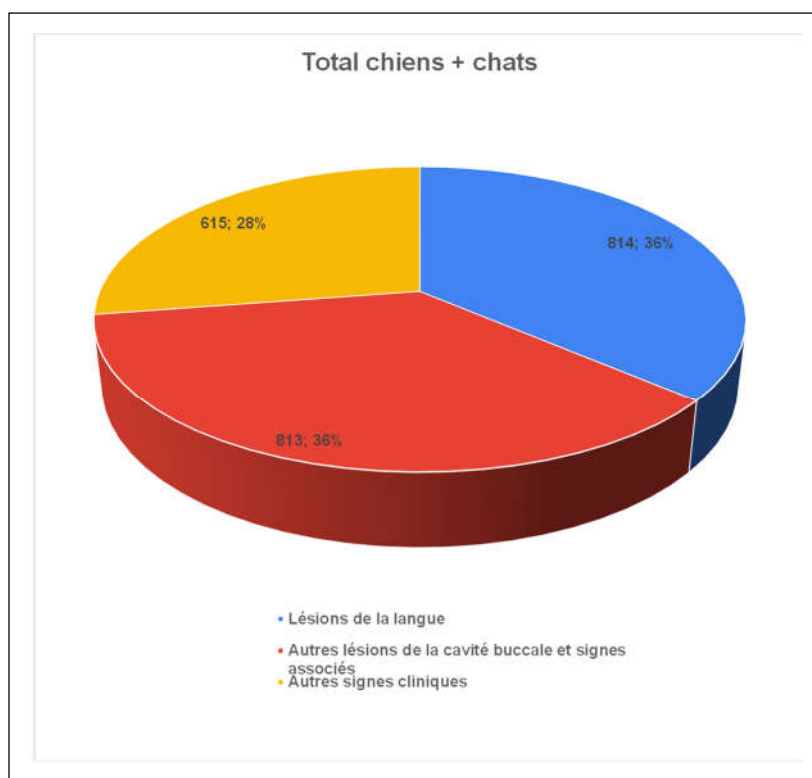


Figure 23 : Signes cliniques chez les chats et les chiens exposés à des chenilles processionnaires enregistrés par les centres anti poisons vétérinaires de janvier 1991 à décembre 2021 (source : Lefebvre, 2023)

Tableau 14 : Signes cliniques présentés par les 717 chiens et les 57 chats exposés à des chenilles processionnaires et enregistrés par les centres anti poisons vétérinaires de janvier 1991 à décembre 2021

		Chien	Chat	Total chiens + chats (%)
Lésions de la langue	Œdème	475	31	506 (22,6 %)
	Nécrose	179	9	188 (8,4 %)
	Ulcères	94	12	106 (4,7 %)
	Erythème	11	3	14 (0,6 %)
Autres lésions de la cavité buccale	Œdème buccal	364	23	387 (17,3 %)
	Ulcères buccaux	128	12	140 (6,2 %)
Signe associé aux lésions bucco-linguales	Hypersalivation	256	30	286 (12,8 %)
Autres signes cliniques	Vomissements	214	20	234 (10,4 %)
	Abattement	134	13	147 (6,5 %)
	Douleur	80	2	82 (3,7 %)
	Hyperthermie	56	6	62 (2,8 %)
	Hémoglobinurie	30	2	32 (1,4 %)
	Troubles respiratoires	23	2	25 (1,1 %)
	Irritation cutanée	15	3	18 (0,8 %)

		Chien	Chat	Total chiens + chats (%)
	Tachycardie	9	0	9 (0,4 %)
	Conjonctivite	6	0	6 (0,3 %)
	TOTAL	2074	168	2242*

*Les animaux peuvent présenter plusieurs signes cliniques

4.2.2 Répartition spatio-temporelle des cas d'exposition

Une analyse des données des deux CAPV sur l'ensemble de la période où des données ont été collectées a été réalisée (1991-2021). Un histogramme présentant les données regroupées en deux périodes de durée égale (1991-2005 ; 2006-2021) et distribuées selon les 13 régions administratives du territoire métropolitain a été réalisé (Cf. Figure 24 Figure 24 et Annexe 7).

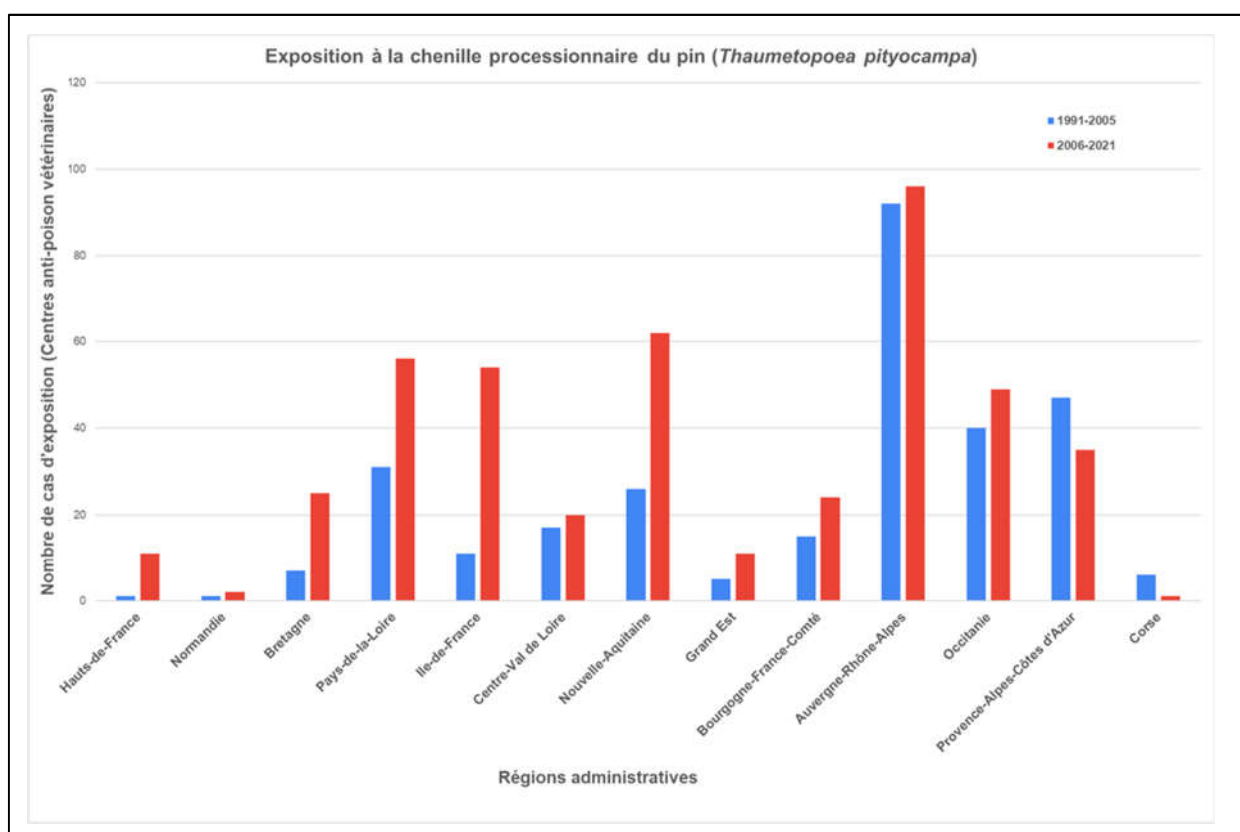


Figure 24 : Cas d'exposition à la chenille processionnaire du pin recensés par les deux CAPV sur l'ensemble du territoire métropolitain pour la période 1991-2021 (sources : CAPV Lyon et Nantes ; Lefebvre, 2023)

Les régions ont été ordonnées de gauche à droite sur l'axe des abscisses du nord vers le sud et de l'ouest vers l'est de la France. Les histogrammes couvrant les deux périodes ont été juxtaposés, pour chaque région, afin de mettre en évidence l'évolution temporelle des cas d'exposition recensés sur l'ensemble de la période suivie.

Les anciennes régions administratives restent bien représentées (Aquitaine, Occitanie, Rhône-Alpes). Cependant, si on examine les régions comme les Hauts-de-France ou la région

Ile de France voire la Bretagne et les Pays de la Loire, le nombre de notifications est plus important pour la période 2010-2022 que sur la période précédente, avec un nombre plus important sur le front de progression de la processionnaire du pin.

Certains territoires comme le Périgord, au paysage vallonné et avec des plateaux, montrent des variations spatio-temporelles notables. Ainsi, certaines années, entre la vallée et les plateaux, la période des cas s'échelonne au minimum sur un mois entre les contreforts ensoleillés et les plateaux en pente exposés aux vents du nord. Au printemps 2022, les fortes chaleurs du mois de mars ont raccourci la période des cas à une dizaine de jours, provoquant un engorgement des urgences des cabinets vétérinaires locaux et engendrant des reports d'interventions non urgentes. Ces données ponctuelles et non publiées illustrent la variation entre les différentes années dans la prise en charge des cas d'exposition (G. Gault, communication personnelle).

De manière générale, la plupart des situations s'expliquent par l'évolution de l'aire de distribution de la processionnaire du pin. Dans le détail, le GT considère que :

- les régions du Grand Est, des Hauts-de-France et de Normandie ont récemment été colonisées, ce qui explique qu'il y ait moins de cas d'exposition signalés ;
- la Bretagne et l'Île-de-France étaient déjà touchées en 2005 mais de manière assez ponctuelle. Il n'est pas étonnant qu'une augmentation des cas d'exposition soit observée depuis cette date ;
- pour les régions Auvergne-Rhône-Alpes, Bourgogne-Franche-Comté, Centre-Val de Loire, Occitanie et PACA, la distribution géographique de la processionnaire du pin n'a pas beaucoup évolué, d'où une stabilité des cas d'exposition. Dans les Hautes-Alpes, une progression de la processionnaire du pin est observée en altitude ;
- en Nouvelle-Aquitaine et dans les Pays de la Loire, l'augmentation est jugée inattendue ;
- en Corse, le nombre de cas d'exposition est faible. La dynamique de population de la processionnaire du pin semble moins affectée par le changement climatique même si la processionnaire du pin se trouve à présent en altitude (aux sommets des montagnes). Le faible nombre de cas d'exposition vient également probablement du fait que les chiens ne se promènent pas forcément dans ces territoires infestés par les chenilles en altitude.

Le GT souligne, par ailleurs, qu'une progression de la processionnaire du pin est observée sur tout le continent européen : la présence de la processionnaire du pin est observée jusqu'en Autriche (dans la région de Vienne). Il semble très probable que tout le territoire métropolitain français sera, à terme, colonisé par la processionnaire du pin, avec des niveaux de pullulation variables selon les régions. Le seul paramètre pouvant limiter l'expansion de l'aire de répartition de la processionnaire est l'absence de plantes hôtes.

Plus largement, le GT attire l'attention sur le fait que les nombres d'appels téléphoniques sont corrélés avec l'implantation des CAPV. Ainsi, 35 % des appels téléphoniques parvenant au CAPV de Lyon, proviennent de la région Auvergne-Rhône-Alpes. Le GT suggère à ce sujet que d'autres données des CAPV qui concernent des appels pour d'autres cas d'intoxication, soient analysées pour vérifier si une éventuelle différence de distribution des cas d'exposition est observée ou pas. Les cas rapportés se trouvent essentiellement en milieu urbain ou périurbain même si les cas de chiens exposés, rapportés en novembre et en janvier, concernent les chiens de chasse.

4.2.3 Analyse statistique des données des deux CAPV

4.2.3.1 Analyse des données

Dans un second temps, les données du nombre de cas d'exposition des CAPV ont fait l'objet d'une analyse statistique. Des données annuelles étant disponibles, des modèles statistiques ont pu être ajustés aux données pour décrire la dynamique des cas d'exposition dans le but de vérifier si l'évolution du nombre annuel de cas d'exposition est significative ou non, ou/et, si cette évolution est significativement différente d'une région à l'autre (le taux de variation devant être significativement différent de 0). La cyclicité de la pullulation des populations de chenilles de la processionnaire du pin a déjà été étudiée pour la France antérieurement par Li *et al.* (2015). Il ressort de cette étude qu'il n'existe pas de synchronicité à l'échelle nationale, mais qu'elle est observée à l'échelle régionale. La durée moyenne du cycle de pullulation de la processionnaire du pin est de 7 ans mais elle varie de 5 à 11 ans selon les régions. En Corse, la processionnaire du pin présente la particularité d'avoir une durée du cycle de pullulation de 2 ans (Li *et al.*, 2015). Il en découle qu'il est important, pour interpréter correctement les données des cas d'exposition, de tenir compte de la position de l'année analysée dans le cycle de pullulation des populations de chenilles sur l'ensemble de la période de suivi. Comme les données disponibles couvrent plusieurs années, il est possible de prendre en compte une cyclicité dans l'analyse statistique. Selon l'année, la taille des populations de la processionnaire du pin peut être très variable d'une région à l'autre. La variation du nombre de cas d'exposition doit être recalée sur le cycle de pullulation de manière à corriger le niveau apparent des cas d'exposition observés.

L'analyse statistique a donc porté sur l'évolution temporelle du nombre de cas d'exposition région par région. Le type de modèle utilisé est un modèle linéaire généralisé basé sur la Loi de Poisson, loi de probabilité qui permet d'analyser des données de comptage. Ce modèle présente l'avantage de pouvoir incorporer plusieurs variables explicatives. Dans ce cas précis, les variables explicatives sont : i) un accroissement continu temporel, ii) la périodicité de type cosinus et iii) la périodicité de type sinus. Toutes les combinaisons de ces variables ont été testées (*i.e.* 128 modèles testés par région, couvrant différentes périodicités).

Pour chaque région, le meilleur modèle a été sélectionné selon le critère d'information d'Akaike AIC (qui permet de sélectionner un modèle parcimonieux expliquant au mieux les données). Le type de modèle sélectionné diffère selon les régions : i) certains modèles sélectionnés incluent une augmentation temporelle (*Cf.* Figure 25), ii) d'autres incluent une périodicité (*Cf.* Figure 26) et enfin iii) certains modèles sélectionnés incluent à la fois une tendance temporelle et une périodicité (*Cf.* Figure 27). Sur chaque figure la courbe en trait continu représente la prédiction du modèle. Les deux courbes en pointillés représentent les intervalles de confiance à 95 %. Ces courbes ont été tracées au-delà de la dernière année d'observation (2021) jusqu'en 2031. Plus l'extrapolation est importante, plus l'incertitude grandit (l'intervalle de confiance s'élargit). Les résultats obtenus pour la Corse et la Normandie ne sont pas présentés car le nombre total de cas est faible dans ces deux régions, ce qui rend les résultats difficiles à interpréter.

Le tableau 17 présente les tendances temporelles estimées et leurs significativités statistiques, pour les régions où le modèle sélectionné inclu une tendance temporelle.

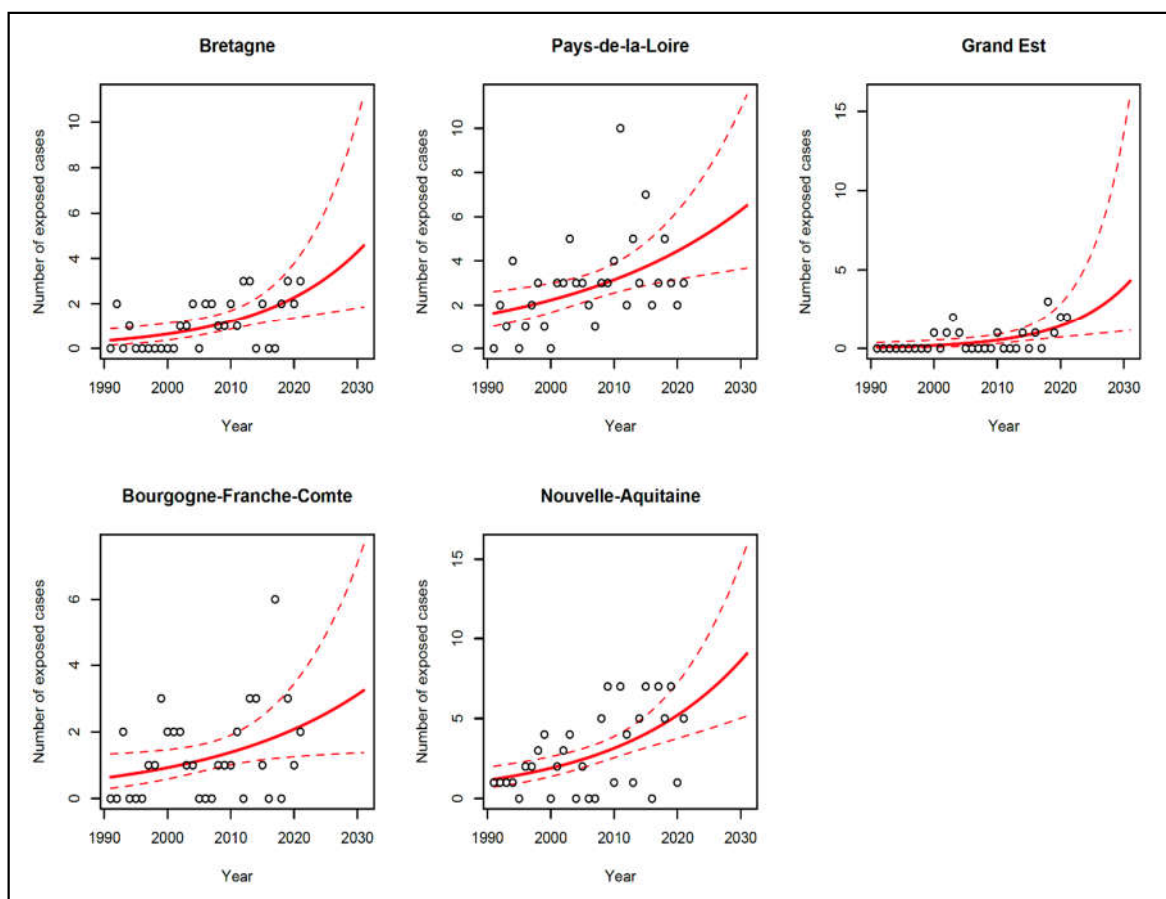


Figure 25 : Analyse statistique des données CAPV pour les régions où le modèle sélectionné (AIC minimal) inclut une tendance temporelle mais pas de cyclicité (courbe en trait plein : prédiction du modèle ; courbes avec tirets : intervalles de confiance à 95 %) (source : D. Makowski)

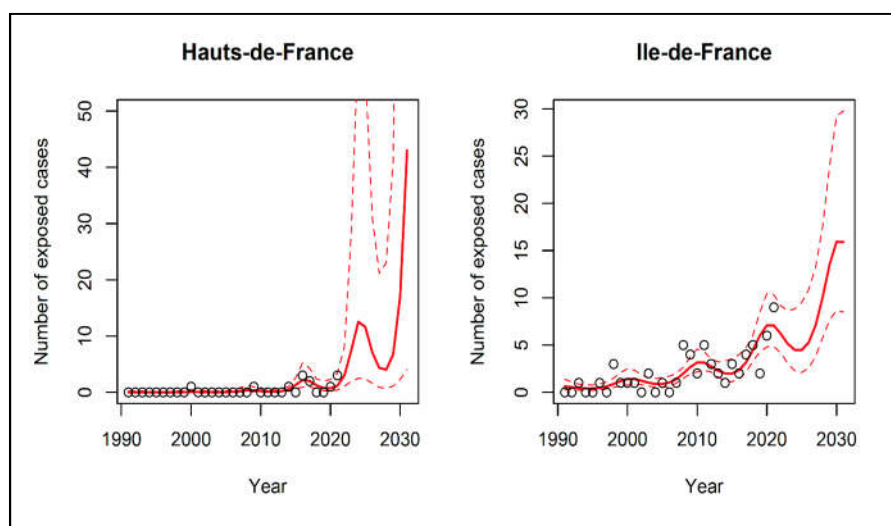


Figure 26 : Analyse statistique des données CAPV - pour les régions où le modèle sélectionné (AIC minimal) inclut à la fois une tendance temporelle et une cyclicité (courbe en trait plein : prédiction du modèle ; courbes avec tirets : intervalles de confiance à 95 %) (source : D. Makowski)

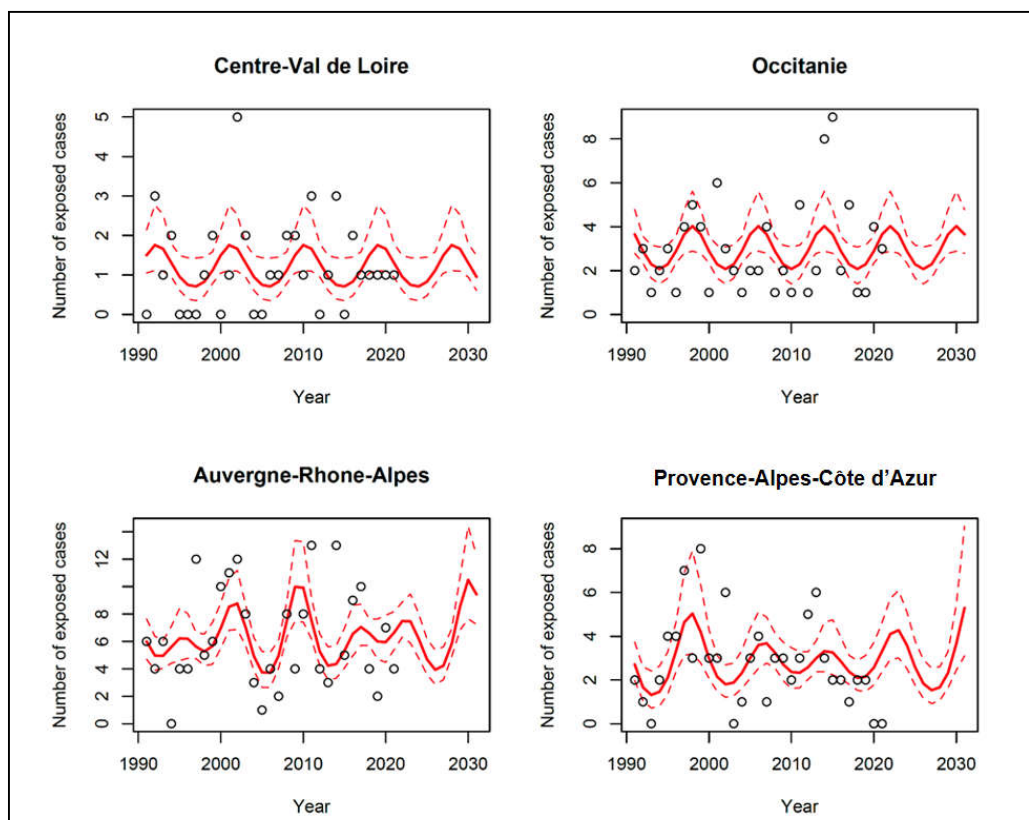


Figure 27 : Analyse statistique des données CAPV - pour les régions où le modèle sélectionné (AIC minimal) inclut une cyclicité tendance temporelle (courbe en trait plein : prédiction du modèle ; courbes avec tirets : intervalles de confiance à 95 %) (source : D. Makowski). Les régions Corse et Normandie ne sont pas présentées car le nombre de cas est très faible (généralement nul).

4.2.3.2 Discussion

L'analyse des cas d'exposition qui concernent quasi exclusivement la processionnaire du pin a été mise en parallèle avec la cyclicité modélisée des pullulations de populations de chenilles processionnaires du pin dans les régions Auvergne Rhône-Alpes, Centre Val-de-Loire, Hauts-de-France, Île-de-France, Occitanie et Provence-Alpes-Côte d'Azur par Li *et al.* (2015).

La cyclicité des cas d'exposition se retrouve dans les régions où la processionnaire est présente historiquement et une augmentation significative est observée dans les régions en cours de colonisation. La région Île-de-France, qui cumule une tendance significative à la hausse et une cyclicité des cas d'exposition, est une région anciennement colonisée (Cf. Tableau 17). Enfin, la Nouvelle-Aquitaine semble avoir un profil de région nouvellement colonisée alors qu'il s'agit d'une région historique de présence de la processionnaire du pin. Cet écart entre le résultat de l'analyse statistique et la situation réelle sur la présence de la processionnaire du pin provient vraisemblablement du fait que la région Nouvelle-Aquitaine doit présenter de fortes disparités concernant la présence de la processionnaire du pin, avec par exemple une présence historique dans la forêt des Landes et une présence récente en Haute-Vienne. Dans la première série de courbes produites, seul le meilleur modèle a été sélectionné alors qu'un second modèle pourrait apporter une dimension cyclique (dans le cas de la Nouvelle-Aquitaine par exemple).

**Tableau 15 : Effets de la tendance temporelle dans les régions où cette variable est sélectionnée-
(source : D. Makowski)**

Région	Coefficient de régression	Ecart-type	p-value	Taux d'accroissement (%)
Pays de la Loire	0,035	0,014	0,017	3,52
Bourgogne-Franche-Comté	0,040	0,021	0,064	4,13
Nouvelle Aquitaine	0,050	0,016	0,003	5,17
Bretagne	0,063	0,020	0,004	6,53
Ile-de-France	0,081	0,015	0,000	8,43
Grand Est*	0,100	0,035	0,008	10,48
Hauts-de-France*	0,218	0,064	0,002	24,39

* taux d'accroissement à relativiser du fait d'un nombre faible de cas d'exposition

Le jeu de données analysées concerne essentiellement des cas individuels d'exposition du chien (à hauteur de 92 %) et du chat (à hauteur de 7,3 %) à la processionnaire du pin (99 % des cas). Quelques cas groupés d'exposition sont recensés pour les animaux de rente. L'analyse statistique n'a pu prendre en compte que les seuls cas d'exposition à la processionnaire du pin. Les CAPV n'ont pas supprimé les données qui ne concernent pas la processionnaire du pin ou les cas d'exposition d'animaux individuels afin d'éviter tout biais d'interprétation, particulièrement si ces données diverses sont localisées dans une région particulière.

Afin d'affiner l'analyse statistique, le GT a jugé intéressante la possibilité de disposer de données sur la densité de chenilles processionnaires du pin et sur la densité de chiens présents dans chaque région. Cependant, les données du DSF relatives au décompte annuel des nids de processionnaires du pin en milieu forestier comme celles relatives à la densité de population des carnivores par région n'ont pu être analysées. En effet, les données sur le nombre d'animaux recensés par espèce (chiens, chats et furets) et par département ne portent que sur les 3 dernières années (2020, 2021 et 2022). Il en est de même pour les données du DSF relatives au nombre de nids de la processionnaire du pin et au nombre d'arbres attaqués par la chenille, car le suivi du DSF n'est pas documenté pour des départements dans certaines régions clés et couvre moins d'années que pour le suivi des cas d'exposition des chiens.

4.2.3.3 Conclusions

L'analyse statistique des cas d'exposition des chiens aux soies des chenilles de la processionnaire du pin (soit environ 93 % des cas d'exposition enregistrés dans les CAPV) montre que, dans six régions, il existe un accroissement significatif ($p < 0.02$) du nombre de cas d'exposition au cours du temps (Cf. Tableau 17) : Bretagne, Grand Est, Hauts de France, Île-de-France, Pays de la Loire, et Nouvelle-Aquitaine. Dans une région supplémentaire (Bourgogne Franche Comté), l'existence d'une tendance temporelle est à la limite de la significativité ($p < 0,07$). Dans ces régions, les taux d'accroissement annuel sont estimés entre 3,5 et 24 % (Cf. Tableau 17).

Les perspectives identifiées pour améliorer cette analyse statistique sont : i) de préciser la périodicité si elle est connue, ii) de tester de manière plus approfondie l'existence de

différences significatives entre régions, iv) de prendre en compte la densité de population de chenilles de chaque région (dans le cas présent, c'est la population de la chenille processionnaire du pin) et v) dans le cas où plusieurs modèles différents ont des performances très proches, de les combiner (en pondérant les modèles pour leur donner une importance relative selon leur performance).

Enfin, le caractère prédictif du modèle est jugé intéressant dans le cadre d'une évaluation du risque pour chaque région, en dépit d'une incertitude élevée liée au manque de représentativité des données des CAPV.

4.3 L'exposition des animaux indicatrice de l'exposition potentielle des propriétaires d'animaux et des professionnels

Quelques cas d'exposition humaine ont été rapportés en association avec des cas animaux. Ainsi, selon une publication de Maronna *et al.* (2008) (Cf. § 4.1.5.2), les deux propriétaires du chiot se sont contaminés lors de sa manipulation et de son transport chez un vétérinaire. Ils ont présenté des papules, des macules prurigineuses et quelques vésicules au niveau des zones exposées à la salive du chiot, ainsi qu'une hyperthermie et de l'asthénie dans l'un des deux cas.

Dans une notification concernant un club hippique dans le Grand Est, c'est l'atteinte des cavaliers, des lads et de la vétérinaire qui a suscité l'appel au centre antipoison humain et, suite à l'examen approfondi des chevaux par la vétérinaire, des signes cutanés de type érythémateux sont venus compléter la gingivite et l'hypersalivation ayant motivé la consultation. Ainsi, l'examen a mis en évidence la présence de soies urticantes dans le foin (compte tenu de la zone de production, la saison de la fenaison et la proximité des chênes à feuilles caduques, ce sont les chenilles processionnaires du chêne qui ont été imputées comme toxique).

Lors de suspicion d'intoxication par des chenilles à soies urticantes, il convient de souligner que l'examen clinique doit être réalisé avec précaution, pour éviter une aggravation des lésions chez l'animal, et pour prévenir une contamination du personnel manipulant l'animal. En particulier, l'examen de la cavité buccale doit être minutieux et réalisé avec prudence. Il faut veiller à ne pas casser des soies urticantes présentes dans la gueule de l'animal, sous peine de favoriser la libération de la substance urticante (Rivière, 2011). De plus, si l'examen à distance évoque une potentielle envenimation par des chenilles processionnaires, il est conseillé de porter un masque, des gants, des lunettes de protection et une blouse à manches longues lors de l'examen clinique rapproché, pour prévenir une contamination du personnel de la clinique vétérinaire. En effet, le personnel vétérinaire peut développer des symptômes cutanés quelques minutes après le contact avec des chiens atteints d'une envenimation par les chenilles processionnaires du pin. Dans les deux cas rapportés par Bruchim *et al.* (2005), les symptômes se sont résolus spontanément en 24h.

De manière générale, concernant la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*), le chien pourrait constituer un candidat pour détecter l'émergence de la période à risque ou du danger sur un territoire enzootique ou émergent (naïf ou indemne). Concernant la processionnaire du chêne (*Thaumetopoea processionea*), le cheval pourrait également constituer un candidat pour détecter l'arrivée des soies urticantes dans l'environnement impactant la santé humaine. Par exemple, lors d'une flambée de prolifération de nids de chenilles processionnaires du chêne aux Pays-Bas, de nombreux chevaux ont exprimé une

atteinte linguale (Wijnberg *et al.*, 2009). Ces détections pourraient requérir un système d'enregistrement et de diffusion des notifications. Il convient de noter que le rôle potentiel des chiens et chevaux constituerait un complément d'information à d'autres moyens de détection de la présence de chenilles à soies urticantes, tels que, l'observation de nids ou de processions de chenilles, plus facilement détectables. Les experts soulignent qu'en zone d'enzootie, des mesures de suivi (recherche de nids, de processions), la pose de pièges sur les pins ou les chênes, ainsi que des campagnes d'information (par des panneaux de mise en garde en forêt infestée) sont mises en place dans l'objectif de prévenir les cas humains et animaux.

4.4 Conclusions

Les chenilles processionnaires du chêne et du pin sont à l'origine de cas d'intoxications chez différentes espèces animales, en particulier les chiens en France métropolitaine. A la différence des cas humains, les lésions chez les animaux se situent principalement au niveau de la cavité buccale, en lien avec le mode d'exposition (léchage, prise en gueule de chenilles par les chiens, ingestion par les chevaux et les ruminants de végétaux contaminés). Une complication majeure est la nécrose plus ou moins étendue de la langue, qui peut être prévenue ou limitée par une prise en charge médicale très rapide de l'animal.

Chez les animaux de rente, du fait des lésions buccales observées, le diagnostic différentiel de cette affection peut inclure des maladies épizootiques d'impact sanitaire et économique majeur, telles que la fièvre catarrhale ovine ou la fièvre aphteuse.

Le GT s'est concentré sur l'analyse des données des deux centres antipoison vétérinaires (CAPV) existant en France (celui de Lyon et celui de Nantes) concernant les cas d'exposition du chien à la chenille processionnaire du pin. Les chiens représentent la majorité des cas d'exposition aux chenilles à soies urticantes enregistrés par les CAPV. Il ressort de l'analyse statistique qu'un accroissement significatif des cas d'exposition (sur la période de 1991 à 2021) est observable en régions Bretagne, Grand Est, Hauts de France, Île-de-France, Pays de la Loire, et Nouvelle-Aquitaine. Ces conclusions sont cependant à relativiser car elles ne reposent que sur les données des CAPV qui ne sont que des cas d'exposition déclarés conduisant de fait à une sous-estimation des cas d'exposition sur l'ensemble du territoire métropolitain.

Par ailleurs, les risques d'exposition des chiens aux chenilles à soies urticantes pourraient être supérieurs dans les régions nouvellement colonisées par la chenille processionnaire du pin, notamment du fait d'une moindre connaissance, par les maîtres, du danger que représentent ces chenilles. Lors d'émergence ou de réémergence de chenilles à poils urticants dans une zone, la contamination d'animaux, notamment de chiens ou de chevaux, pourrait contribuer à détecter la présence des chenilles, ce qui ne constituerait qu'un complément à d'autres moyens de détection de la présence de ces chenilles, tels que l'observation de processions ou de nids (plus fréquente et facile à réaliser) ou de cas humains.

Plus généralement, lors d'atteinte de chiens, de chats ou de chevaux, les praticiens vétérinaires constatent régulièrement que les propriétaires ou les professionnels côtoyant l'animal sont également atteints. Cela illustre le fait que les expositions des animaux et des humains peuvent être liées et dépendre de l'environnement dans lequel ces derniers évoluent.

Les données actuellement disponibles sur l'impact sur la santé animale des chenilles à poils urticants sont limitées. Il serait pertinent d'envisager des études, notamment auprès des vétérinaires praticiens, afin de préciser la prévalence de ces cas d'intoxication, la proportion

de formes graves et les périodes à risque en fonction des régions. L'utilisation de telles données qui pourraient être collectées par les organismes professionnels vétérinaires pourrait permettre d'établir des bulletins d'alerte et d'anticiper l'arrivée du risque dans les territoires.

5 Evaluation socioéconomique des impacts des chenilles à poils urticants sur la fourniture des services écosystémiques forestiers

Ce chapitre vise à répondre à la question n°5 formulée dans la saisine (Cf. Annexe 1) portant sur la « description des conséquences de la présence des [espèces de chenilles à poils urticants] sur la biodiversité ». Les espèces de Lépidoptères qui font l'objet de la présente saisine sont des espèces indigènes, le GT a par conséquent considéré qu'il serait difficilement réalisable de documenter l'impact de ces espèces en matière de biodiversité. En effet, à la différence d'espèces exotiques envahissantes, il n'est pas possible d'évaluer ces impacts sur la base d'une comparaison entre une situation de référence (sans présence de l'espèce) et une situation dans laquelle l'espèce est présente. Par ailleurs, l'impact des Lépidoptères sur la biodiversité (forestière notamment) demeure mal documenté. Le GT n'a en effet pu identifier dans la littérature qu'une étude portugaise (Branco *et al.*, 2008) faisant état de la présence dans les nids de *Thaumetopoea pityocampa* d'une soixantaine d'espèces d'arthropodes. Le GT a ainsi décidé de se focaliser sur les impacts de la présence des chenilles en matière de fourniture de services écosystémiques. Sur la base des quelques données disponibles dans la littérature (voir notamment Gatto *et al.*, 2009 et Petucco et Andrés-Domenech, 2018) ainsi que celles remontées du terrain, le GT s'est focalisé sur les milieux forestiers et trois services écosystémiques spécifiques : la production sylvicole, la régulation du climat global par le biais du stockage de carbone atmosphérique et les services culturels. Les données recueillies dans le cadre de ces travaux montrent en effet que ces impacts sont de nature variée. Les défoliations induites par les chenilles entraînent des impacts sur la santé des peuplements forestiers et la production sylvicole associée (retards de croissance radiale et dépérissements, voir section 5.2). Par voie de conséquence, cela amène à s'interroger sur la capacité des arbres touchés à stocker du carbone atmosphérique (voir sections 5.2 et 5.3). De plus, la présence des chenilles à poils urticants (en marge des effets de santé associés à une exposition) peut affecter la qualité du cadre de vie des individus vivant à proximité d'arbres infestés ainsi que la qualité récréative des milieux touchés (voir section 5.4). Ces perturbations se traduisent par une réduction de la capacité de la forêt à fournir des services écosystémiques évoqués supra, celle-ci pouvant s'accompagner d'une perte de valeur économique. Le GT a documenté et – lorsque cela était possible – quantifié les impacts des pullulations de chenilles à soies urticantes sur l'écosystème forestier et la perte de valeur économique associée en s'appuyant sur le concept de « perturbation forestière » et le cadre méthodologique de l'évaluation économique des services écosystémiques. Les sections suivantes présentent tout d'abord le cadre théorique mobilisé par le GT suivi des résultats des évaluations conduites.

5.1 Cadre conceptuel

5.1.1 L'analyse socio-économique des perturbations forestières

Les impacts induits par les chenilles à poils urticants peuvent être analysés en s'appuyant sur la notion de « perturbation forestière » définie par la Food and Agriculture Organization (FAO) comme « une perturbation provoquée par un facteur (biotique ou abiotique) qui lèse la vigueur et la productivité de la forêt et qui n'est pas le résultat direct d'activités humaines » (FAO, 2018). Dans son document cadre pour l'évaluation des ressources forestières mondiales pour l'année 2020, la FAO rappelle également que ces perturbations peuvent réduire la capacité des forêts à « fournir une gamme complète de biens et de services écosystémiques » (FAO, 2018). En termes économiques, ce même concept peut être défini comme « un événement qui interrompt ou entrave le flux de biens et de services [marchands ou non-marchands]³³ fournis par les écosystèmes forestiers et recherchés par les populations » (Holmes, 2008 – traduction réalisée par le GT).

Ces perturbations forestières constituent en effet une source de risque économique puisqu'elles peuvent se traduire par des pertes de revenus et/ou par des dépenses plus élevées pour les gestionnaires forestiers (Montagné-Huck et Brunette, 2018). Dans ce contexte, l'analyse socio-économique peut être appliquée à l'étude des perturbations forestières sous deux angles : cette dernière permet d'une part, d'évaluer l'impact des perturbations forestières sur les activités économiques associées aux écosystèmes forestiers et ce, à différentes échelles (échelle du gestionnaire forestier, du marché, point de vue de la société dans son ensemble, etc.), et d'autre part, et dans une perspective d'appui à la décision, de déterminer des mesures de gestion du risque permettant d'éviter ou de réduire les conséquences économiques de tels phénomènes (Montagné-Huck et Brunette, 2018).

Il existe une littérature abondante en économie appliquée aux perturbations forestières³⁴ portant en particulier sur les impacts induits par les ravageurs forestiers. Bien que cette littérature soit focalisée sur l'Amérique du Nord et les ravageurs d'essences résineuses (Montagné-Huck et Brunette, 2018), les questions posées par cette littérature montrent les différents axes d'analyse qui pourraient être développés concernant la problématique des chenilles à poils urticants pour la filière forêt-bois. Une évaluation d'impact peut être focalisée sur différents indicateurs et concerner :

- la perte de rendement sylvicole induite par une infestation de chenilles,
- la perte de valeur du bois sur pied,
- la perte de valeur du fonds forestier³⁵,
- les coûts de traitement, d'enlèvement et de remplacement des arbres touchés
- l'impact en termes d'offre de bois, de prix de marché ou encore d'échanges internationaux.

Ainsi, une telle évaluation d'impact peut être conduite de la parcelle forestière au marché en fonction du niveau d'analyse pertinent sur lequel il convient de s'interroger. Elle

³³ Certains services rendus par les écosystèmes (ex : production de bois) font l'objet d'échanges marchands, c'est à dire, d'échanges entre agents économiques à un prix calculé pour couvrir le coût de production. Cependant, la plupart des services rendus par les écosystèmes (c'est notamment le cas des services de régulation) ne s'échangent pas entre agents économiques autour d'un prix de marché.

³⁴ Voir par exemple Yousefpour *et al.*, 2012 ; Montagné-Huck et Brunette, 2018 ; Bastit *et al.*, 2023 pour une revue de la littérature.

³⁵ La valeur d'un fond forestier correspond à la valeur du sol forestier nu dans sa capacité à porter un peuplement (Peyron et Maheut, 1999).

permet également de considérer une diversité d'acteurs : gestionnaire forestier, filière dans son ensemble, consommateurs, etc. Une évaluation des mesures de gestion du risque peut elle aussi se pencher sur un large panel d'options de gestion mises en œuvre par une diversité d'acteurs à différentes échelles. On peut alors s'interroger sur l'identification de stratégies optimales de contrôle des ravageurs (surveillance, traitement), l'identification de pratiques de gestion sylvicole adaptées (choix des essences, durée de la rotation), de modalités de régulation des échanges commerciaux, etc.

La présente expertise vise à fournir une évaluation économique des impacts induits par les chenilles à poils urticants dans une perspective d'appui à la décision publique. Cette évaluation doit donc prendre en considération l'ensemble des acteurs impactés par ces espèces et rendre compte de la distribution des impacts ainsi que des coûts associés entre ces acteurs. L'analyse socio-économique reposant par ailleurs sur un raisonnement comparatif, il s'agit ici d'identifier les impacts induits par la présence des chenilles à poils urticants en comparaison à un scénario de référence correspondant à une absence de nuisance. Les résultats de cette évaluation d'impact pourront alimenter la décision publique et fournir une base à l'évaluation de mesures de gestion, là-aussi selon une approche comparative³⁶. Il s'agit alors de définir des scénarios de gestion (consistant en une mise en œuvre d'une ou plusieurs mesures de gestion) puis de caractériser ceux-ci en termes de coûts de mise en œuvre et de bénéfices associés, ces bénéfices correspondant à tout ou partie des impacts évalués en première étape et des coûts associés (considérés alors comme des coûts évités par les mesures de gestion).

Par ailleurs et comme évoqué *supra*, en marge des impacts sur les activités de production de bois, la présence des chenilles à poils urticants peut aussi engendrer une perte de valeur marchande (ex : baisse du nombre de visites guidées en forêt) et non marchande (ex : valeur subjective associée à une visite en forêt) liée à la dégradation de la qualité et/ou la quantité de services écosystémiques rendus par la forêt. Ces impacts échappent généralement au cadre des marchés et ce en dépit de leur importance et de leur valeur économique pour la société. Aussi, au regard de la diversité des impacts rapportés, le GT a souhaité appuyer son exercice d'évaluation sur le concept de services écosystémiques et plus particulièrement sur le cadre conceptuel de l'Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques (Efese). En effet, le concept de service écosystémique permet de considérer et de caractériser, dans un cadre méthodologique unifié, les biens et services rendus par les écosystèmes en bon état aux sociétés humaines qu'ils soient marchands ou non-marchands.

5.1.2 L'évaluation économique des services écosystémiques

Médiatisé par le Millenium Ecosystem Assessment (MEA)³⁷, le concept de service écosystémique a été défini dans ce cadre comme les « biens et services que les Hommes peuvent tirer des écosystèmes, directement ou indirectement, pour assurer leur bien-être »

³⁶ Une telle approche peut être conduite dans le cadre d'une analyse coûts-bénéfices ou coût-efficacité.

³⁷ Le *Millenium Ecosystem Assessment* consiste en une démarche d'évaluation environnementale globale menée sur demande du Secrétariat général des Nations Unies entre 2001 et 2005. Elle s'appuie sur les contributions de 1 360 experts du monde entier et avait notamment pour objectif d'évaluer - sur des bases scientifiques - l'ampleur et les conséquences des modifications subies par les écosystèmes dont dépend le bien-être humain ainsi qu'à hiérarchiser les actions à entreprendre pour restaurer et assurer un usage durable des écosystèmes. Cette initiative a joué un rôle central dans le processus de reconnaissance internationale de la notion de service écosystémique.

(MEA, 2005).³⁸ Dans son rapport de 2019, les auteurs de l'*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES)³⁹ ont substitué le concept de services écosystémiques par celui de « contributions de la nature aux populations » permettant d'inclure l'ensemble des dépendances positives ou négatives⁴⁰ que les individus et communautés entretiennent avec la nature, au-delà des seuls services écosystémiques.⁴¹ Dans ses travaux, le GT s'appuie plus particulièrement sur le cadre conceptuel fourni par l'EFESE (CGDD 2020 ; voir Encadré 1), cadre de référence national bien établi et partagé par une large communauté scientifique ainsi que des parties prenantes en France. L'EFESE définit les services écosystémiques comme l'« utilisation par l'homme des fonctions écologiques de certains écosystèmes, à travers des usages et une réglementation qui encadrent cette utilisation [...]. Ils peuvent être décrits à travers les avantages retirés par l'homme de son utilisation actuelle ou future de diverses fonctions des écosystèmes, tout en garantissant le maintien de ces avantages dans la durée » et dénombre trois grands types de services écosystémiques :

- les **services écosystémiques d'approvisionnement** (ou biens issus des écosystèmes) qui rassemblent la fourniture de l'ensemble des biens prélevés dans les écosystèmes ;
- les **services écosystémiques de régulation** qui désignent « les avantages qui résultent de la capacité des écosystèmes à réguler les cycles climatiques, hydrologiques et biogéochimiques, les processus de surface de la Terre et une variété de processus biologiques » ;
- les **services écosystémiques culturels** qui désignent « les avantages dérivés des usages récréatifs, éducatifs et expérientiels des écosystèmes ».

L'opérationnalisation d'une évaluation économique par le biais des services écosystémiques nécessite l'identification au préalable de l'ensemble des acteurs impactés ainsi que les types d'usages des services pour mieux circonscrire à la fois l'échelle spatiale et temporelle de l'évaluation. A titre d'illustration, le service récréatif correspond plutôt à un usage direct, localisé et immédiat de l'écosystème (ici la forêt), quand le service de stockage du carbone atmosphérique en lien avec l'atténuation du réchauffement climatique relève d'un usage indirect et globalisé.

³⁸ Si l'on peut noter des visions anthropocentrées bien antérieures, le concept de service écosystémique trouve ses racines dans les années 1970 sur le plan conceptuel (voir par exemple Méral, 2012).

³⁹ L'*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (IPBES) est un organe intergouvernemental indépendant créé par 94 États membres en 2012. Il fournit aux décideurs des évaluations scientifiques objectives de l'état des connaissances sur la biodiversité de la planète, les écosystèmes et leurs bénéfices pour les individus, ainsi que les outils et les méthodes pour protéger et utiliser de manière durable ces ressources naturelles vitales. La mission de l'Ipbes est de renforcer, grâce à la science, les connaissances qui serviront de fondement à la formulation de meilleures politiques pour la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité, le bien-être à long terme des populations et le développement durable. Contrairement au Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) auquel il est souvent comparé, l'IPBES n'est pas placé sous l'égide des Nations Unies.

⁴⁰ Cela est pris en compte dans le cadre conceptuel de l'Efese à travers la notion de « contrainte », complétant celle de service écosystémique.

⁴¹ Comme le rappellent Diaz et al. (2018) la nature renvoie à différents concepts pour différentes personnes : la biodiversité, les écosystèmes, la Terre nourricière, les systèmes de vie et d'autres concepts analogues. De fait les « contributions de la nature aux populations » englobent différents concepts tels que les biens et les services écosystémiques mais aussi les dons de la nature et autres relations symboliques. Cette nouvelle notion permet de prendre en compte davantage de relations de dépendances entre des entités non-humaines et les sociétés humaines que le concept de services écosystémiques. En contrepartie, il faut souligner que le concept de nature demeure moins bien défini que le concept d'écosystème (Cf. Ducarme, Flipo, et Couvet, 2021).

En référence à la notion de perturbations forestières mentionnées *supra*, et au regard de l'état des connaissances scientifiques disponibles dans la littérature d'une part, et les données de terrain pouvant être recueillies par le GT d'autre part, la présente expertise s'est attachée à documenter l'impact des chenilles à poils urticants sur trois services écosystémiques :

- la production sylvicole (service d'approvisionnement) ;
- la régulation du climat globale par le stockage de carbone atmosphérique (service de régulation) ;
- les services récréatifs et le cadre de vie offerts par les paysages forestiers (services culturels).

Encadré 1 : L'Évaluation Française des Écosystèmes et des Services Écosystémiques (Efese)

Initiée en 2012, l'Efese est une plateforme science-politique-société pilotée par le ministère chargé de l'Environnement. Elle vise à fournir aux décideurs des évaluations scientifiques objectives de l'état des connaissances sur la biodiversité mondiale et les valeurs associées. L'Efese vise également à sensibiliser les acteurs aux enjeux de la préservation et de l'utilisation durable de la biodiversité et à améliorer le pilotage des politiques en faveur de la reconquête de la biodiversité et leur intégration dans les politiques sectorielles (santé, logement, mobilité, sécurité, etc.).

Associée au groupe de travail sur l'évaluation et la cartographie des écosystèmes et de leurs services (MAES) mis en place par la Commission Européenne, l'Efese est également dotée d'une gouvernance nationale qui associe experts, décideurs et parties prenantes. Ce cadre de gouvernance vise à garantir la pertinence pour la décision, la crédibilité scientifique et la légitimité aux yeux des acteurs des évaluations conduites.

L'Efese s'appuie sur un cadre conceptuel propre, développé pour répondre à des critiques soulevées par des scientifiques français au sujet des cadres internationaux. Il reconnaît la multiplicité des valeurs des écosystèmes et de la biodiversité. Il s'écarte résolument de l'idée de calculer une « valeur économique totale » d'un écosystème pour distinguer et restituer fidèlement un ensemble de valeurs des écosystèmes français et leur biodiversité. L'Efese distingue en particulier les valeurs :

- Utilitaires^b ;
- Patrimoniales^c – cette notion venant compléter la notion de service écosystémique pour intégrer l'ensemble des valeurs non-utilitaires ;
- Et écologiques^d, ce type de valeur permettant d'intégrer, comme une fin en soi, l'enjeu de préservation de la fonctionnalité d'ensemble des écosystèmes.

Entrée dans sa seconde phase en 2019 – celle-ci visant à développer des outils d'évaluation opérationnels pour accompagner la transition écologique de la société française – L'Efese s'est traduite, au cours de sa première phase (2012-2018), par la publication de six évaluations couvrant l'ensemble des écosystèmes français^a ainsi que plusieurs évaluations ciblées sur des services écosystémiques particuliers (pollinisation des cultures, séquestration in situ du carbone, etc.). Ces évaluations permettent de disposer d'un bilan d'ensemble des connaissances disponibles. Elles rassemblent des éléments pour éclairer les décisions, mais témoignent aussi de nombreux besoins de connaissances, de données et d'études.

^a : Écosystèmes forestiers, Écosystèmes agricoles, Milieux humides, Milieux marins et littoraux, Écosystèmes urbains, Zones rocheuses et de haute montagne.

^b : Dans le cadre de l'Efese, les valeurs utilitaires, associées aux biens, services et contraintes écosystémiques, correspondent aux avantages dérivés de l'utilisation, directe ou indirecte, des écosystèmes. Il peut s'agir, par exemple, de la contribution des milieux marins au niveau de vie des populations à travers la fourniture de denrées alimentaires, ou de la contribution de la végétation urbaine à la qualité du cadre de vie et à la santé des populations.

^c : Dans le cadre de l'Efese, les valeurs patrimoniales, désignent l'ensemble des valeurs non-utilitaires attachées à des éléments particuliers d'un écosystème (arbre remarquable, espèce rare ou menacée, site classé, paysage traditionnel, etc.). Il peut s'agir, par exemple, de valeurs de legs traduisant une volonté collective d'éviter l'extinction d'espèces en vue de leur transmission aux générations futures.

^d : Dans le cadre de l'Efese, les valeurs écologiques désignent les motivations qui sous-tendent une volonté de préserver la fonctionnalité d'ensemble des écosystèmes, et qui ne sont pas directement liées à une volonté de préserver ou développer un ensemble de services particuliers ou de conserver certains éléments patrimoniaux.

5.2 Impacts des chenilles à poils urticants sur la production sylvicole

Afin d'évaluer l'impact des défoliations par les chenilles à poils urticants sur la production sylvicole, le GT a réalisé une revue de la littérature existante (publications scientifiques et littérature grise), en se focalisant sur la processionnaire du chêne (CPC) et la processionnaire du pin (CPP). Deux auditions ont également été réalisées, afin de mieux documenter ces impacts : auditions de François-Xavier Saintonge pour le département de la santé des forêts (DSF) le 25 janvier 2022, et de Nathalie Bréda (INRAE), le 25 mars 2022.

5.2.1 Défoliations liées à la chenille processionnaire du chêne (*Thaumetopoea processionea*)

5.2.1.1 Impact sur la croissance et la mortalité à l'échelle de l'arbre et du peuplement

L'impact des défoliations par la CPC est décrit comme généralement faible **à l'échelle de l'arbre** (absence de dépérissements observés), lorsque celles-ci sont modérées (auditions de F.X. Saintonge, et de N. Bréda). A l'échelle européenne, l'impact de ce défoliateur est également jugé comme non significatif (EFSA, 2009). Les défoliations engendrées débouchent bien sur une baisse de l'activité photosynthétique, avec notamment pour conséquence une moindre croissance de l'arbre (en diamètre comme en hauteur), mais celle-ci demeure généralement limitée, du fait de la capacité de récupération de l'arbre. La perte de croissance engendrée par la défoliation est par ailleurs estimée marginale par les acteurs de terrain au regard de l'âge d'exploitation qui est de plus d'un siècle (100 à 200 ans – audition de F.X. Saintonge), mais des données précises ne sont actuellement pas disponibles.

Cependant, **à l'échelle des peuplements forestiers**, la CPC est considérée dans certaines conditions locales (rapportées en Allemagne, en France et en Italie) comme un ravageur favorisant la survenue de crises sylvo-sanitaires et impactant de manière significative la santé et la productivité des peuplements (EFSA, 2009 ; Nageleisen *et al.*, 2013 ; auditions de F.X. Saintonge et de N. Bréda). Ces crises sylvo-sanitaires peuvent être récurrentes à l'échelle d'un même massif (Nageleisen *et al.*, 2013, audition de N. Bréda). L'impact sylvicole de la CPC est ainsi considéré comme important par le DSF, ce dernier estimant qu'entre 2007 et 2019, 15 % en moyenne des phénomènes de dépérissement du chêne étaient liés à des défoliations par la CPC (avec des fluctuations interannuelles variant entre 4 % et 30 %). Des analyses dendrochronologiques ont mis en évidence certains facteurs induisant de tels impacts significatifs. D'une part, il semblerait que la résilience de l'arbre en termes de croissance soit entamée à partir d'un seuil de défoliation de 25% ; d'autre part, la survenue de défoliations répétées (toutes espèces de défoliateurs confondus) au printemps et en été et ce, pendant plusieurs années (2 à 4 ans) serait de nature à induire des dépérissements. Cette baisse de résilience à l'échelle de l'arbre est liée à un dysfonctionnement du cycle du carbone de l'arbre : on observe une baisse de la photosynthèse, induisant un surcoût en réserves glucidiques lors du développement d'une nouvelle feuillaison et ainsi une perturbation de l'allocation des ressources carbonées entre croissance et stockage. Les dysfonctionnements observés sont proportionnels au pourcentage de défoliation de l'arbre et se traduisent en impacts sur les capacités de défenses chimiques et mécaniques (par exemple : formation de cals cicatriciels colmatant les galeries formées par les agriles) et physiologiques de l'arbre à lutter contre des bio-agresseurs secondaires (Bréda, communication personnelle).

Si l'impact des défoliations importantes et/ou répétées par la CPC peut être considéré comme significatif (auditions de F.X. Saintonge et de N. Bréda), le GT n'a pas identifié de travaux déterminant la part des mortalités attribuables aux défoliations par ce seul ravageur. La complexité de ce type de démarche a été soulignée dans le cadre des auditions réalisées. En effet, les processus de dépérissement et de dégradation de l'état sanitaire des essences forestières sont multifactoriels et peuvent impliquer la conjonction de facteurs, biotiques comme abiotiques (e.g., Bréda *et al.*, 2006 ; Jactel *et al.*, 2012 sur les interactions entre sécheresse, défoliations par les insectes et maladies). Cela vaut également pour les différentes essences de chênes considérées (chêne sessile, pédonculé ou pubescent ; audition de N. Bréda). Toïgo et al. (2020) ont notamment mis en évidence un effet additif entre sécheresse et défoliations par des insectes pour le chêne sessile et le chêne pédonculé. L'importance du cortège de ravageurs secondaires explique également la difficulté d'une démarche d'attribution des dépérissements à une espèce de bio-agresseur spécifique, et ce à l'échelle de la France entière (Audition de N. Bréda ; voir également Nageleisen *et al.*, 2013). Un ensemble de travaux menés à l'échelle de la chênaie du Plateau Lorrain (Région Grand Est) permettent néanmoins d'apporter quelques éléments de réponse (voir Encadré 2).

Dans ce contexte, le GT a conclu à l'existence d'un impact marginal des défoliations à l'échelle de l'arbre ou des peuplements, mis à part dans certaines conditions locales où ces défoliations ont des conséquences sur la production sylvicole associée. Dans l'état actuel des connaissances, le GT a néanmoins conclu à l'impossibilité de mener un exercice de quantification de cet impact. L'analyse réalisée de ces impacts est donc ici de nature qualitative.

Encadré 2 : Impact des chenilles processionnaires du chêne dans le Plateau Lorrain

Le plateau Lorrain est un massif forestier d'environ 7 000 hectares situé sur des sols argilo-limoneux. Ce type de sol présente la particularité d'une double contrainte hydrique, consistant en un excès d'eau en hiver et un déficit hydrique en été. Ce massif forestier comprend à la fois des populations de chênes sessiles et de chênes pédonculés.

Des essais et observations de terrain menés à l'échelle de ce massif ont permis d'estimer l'imputabilité des phénomènes de dépérissement aux chenilles processionnaires du chêne, en les distinguant des impacts induits par la sécheresse et l'oïdium (Bréda *et al.*, non publié) :

- *Chenilles processionnaire du chêne et oïdium* : L'oïdium constitue un facteur aggravant des chênes (Schmuck, 2020). Des essais ont permis d'évaluer le taux de mortalité de chênes pédonculés en présence ou en l'absence d'oïdium et cela, via la mise en œuvre d'un traitement aérien. En l'absence de traitement, le taux de mortalité observé s'établissait à 35 %. Après mise en œuvre du traitement, le taux de mortalité n'était plus que de l'ordre de 7 %. Ce résultat est cependant dépendant des conditions climatiques, dont l'impact n'a pas été évalué dans le cadre de ces travaux ;
- *Chenilles processionnaire du chêne et sécheresse* : la part attribuable de chênes dépérissant aux défoliations par la CPC a été estimée à 90 % en 2011 et 2012. Cette estimation a pu être réalisée avec un niveau de confiance suffisant, du fait de l'absence de sécheresse durant cette période.

Par ailleurs, trois cas de figure susceptibles d'induire des phénomènes de dépérissement dans la chênaie lorraine ont été identifiés (Bréda *et al.*, non publié) :

- Une défoliation par la CPC suffisamment forte pour induire la production de nouvelles feuilles en juin/juillet est de nature à renforcer la vulnérabilité des arbres à l'oïdium (période durant laquelle le potentiel d'inoculum est maximal). Les jeunes feuilles sont alors détruites par le champignon, impactant fortement la production de carbone par l'arbre ;
- La conjonction de défoliations par des ravageurs précoces (*i.e.*, la tordeuse verte ou la cheimatobie dans le cas du chêne) et de défoliations par les chenilles processionnaires du chêne induit une absence de feuilles sur l'arbre jusqu'au mois de juillet ;
- En fin de gradation de la CPC, les peuplements de chênes peuvent être affaiblis. Dans ce contexte, les attaques par le cortège de bio-agresseurs secondaires (des insectes comme les agriles ou des champignons, comme les armillaires) peuvent conduire à la mort des chênes.

Les travaux de Damestoy *et al.* (2020a et 2020b) ont mis en évidence **un effet de la composition spécifique du peuplement** sur le niveau de défoliation des chênes, celui-ci étant significativement plus élevé dans les peuplements de chênes purs comparativement à des peuplements mélangés (*i.e.* chêne présent en mélange avec d'autres essences, telles que le hêtre ou le charme). Dans le cadre de cette étude, les auteurs n'ont cependant pas été en mesure de déterminer les effets d'association en jeu, dès lors que la densité des arbres hôtes et non-hôtes n'a pas d'effet significatif sur le niveau de défoliation. Les auteurs formulent l'hypothèse selon laquelle ce moindre niveau d'attaque serait induit par une modification chimique des feuilles ou par une abondance d'ennemis naturels favorisée par la diversité spécifique des peuplements. Ces travaux n'ont pas mis en évidence un effet de la composition du peuplement sur la probabilité d'infestation par la chenille processionnaire du chêne, mesurée par la présence de nids.

Les travaux de Damestoy *et al.* ont par ailleurs mis en évidence **un effet de l'essence** sur le niveau de défoliation (Damestoy *et al.*, 2020a), ainsi que sur la performance de la chenille processionnaire, évaluée au regard du taux de croissance et du taux de mortalité de l'insecte (Damestoy *et al.*, 2020b). Dans le cadre d'une expérimentation menée en milieu

naturel, les auteurs observent que les individus de chêne sessile sont en moyenne deux fois plus défoliés que les individus de chêne pédonculé. Les peuplements purs de chêne sessile abritent significativement plus d'individus de chenilles (évalués au regard du nombre de mâles piégés) que les peuplements purs de chêne pédonculé (Damestoy *et al.*, 2020a). Dans le cadre d'une expérimentation menée en serre, les auteurs observent un taux de mortalité lié à la CPC deux fois plus élevé ainsi qu'un taux de croissance deux fois plus faible sur chêne pédonculé que sur chêne sessile (Damestoy *et al.*, 2020b). Cependant, ces résultats qui suggèrent une plus grande vulnérabilité du chêne sessile ne convergent pas avec les observations de terrain (audition de N. Bréda). Des travaux menés par Bréda (communication personnelle) consécutivement à une importante phase épidémique de 2002-2004 dans le département de Moselle laissent entrevoir des taux de défoliation contrastés entre le chêne sessile et le chêne pédonculé, en particulier un taux de défoliation plus important sur chêne pédonculé sur des parcelles en mélange (en 2002 un taux de défoliation moyen de 22 % est observé sur chêne sessile, pour un taux de 49 % pour le chêne pédonculé). Des résultats similaires ont été produits dans le cadre de l'étude de la gradation de 2009-2012.

L'audition de N. Bréda a apporté des éléments complémentaires relatifs à d'autres facteurs potentiels de vulnérabilité. Ainsi, **le type de sol** sur lequel repose un peuplement ou encore **l'âge** peuvent influencer sur le risque de dépérissement des individus/des peuplements après défoliation par les chenilles. Des sols hydromorphes, susceptibles de présenter des périodes d'engorgement et de sécheresse, influent également sur ce risque de dépérissement. En outre, les arbres plus âgés semblent présenter un risque de dépérissement plus élevé. **La densité des peuplements** de chêne constitue quant à elle un facteur de vulnérabilité aux défoliations. Les observations des gestionnaires forestiers de terrain ne convergent pas systématiquement avec l'hypothèse de l'émergence de défoliations de chênes uniquement au niveau des lisières (audition de N. Bréda).

Le changement climatique est enfin susceptible d'accentuer la vulnérabilité des peuplements forestiers vis-à-vis des défoliateurs. Une étude de 2015 (Csoka *et al.*, 2018), a ainsi mis en évidence une interaction entre la sécheresse saisonnière et le niveau de défoliation, par le biais d'un indice d'aridité spécifique. Les auteurs montrent que l'aridité est le principal déterminant des fluctuations interannuelles des populations de CPC durant la période printemps/été. Ces derniers prédisent donc une augmentation du risque futur d'apparition et de propagation de la CPC, si la fréquence des sécheresses sévères, au printemps et en été, augmente avec le réchauffement climatique. Cependant, la sécheresse de 2003 a montré qu'une défoliation sévère des chênes atténuait également les besoins hydriques des arbres (audition de N. Bréda). Par ailleurs, le changement climatique est susceptible d'accentuer la vulnérabilité des peuplements en fonction du type de sol. Les sols riches en argile limitant l'enracinement des arbres et les réserves en eau aggravent les contraintes liées aux sécheresses, il pourrait en résulter un affaiblissement physiologique des arbres (perturbation de leur gestion des réserves azotées et carbonées) et une réduction de leur croissance, d'où une dégradation de leur capacité à se défendre (audition de N. Bréda).

L'état actuel des connaissances ne permet donc pas de conclure de façon robuste sur les facteurs de vulnérabilité des peuplements forestiers face aux défoliations.

5.2.1.3 Impacts sur la production sylvicole

A l'échelle de la chênaie du Plateau Lorrain, les défoliations par la CPC, intervenues entre 2002 et 2008, ont induit une récolte de 27 000 m³ de bois secs et dépérissants. Un

décalage de deux ans a également été observé entre le pic de la gradation de CPC et le pic de récolte de chênes dépérissants. Le niveau de récolte de bois, en particulier l'émergence de pics de récolte, permet de définir une période de crise sylvo-sanitaire (Brunier *et al.*, 2020). Pour le Plateau Lorrain, un niveau de récolte de bois supérieur de 10% à 20% à celui d'une récolte « normale » consacre la présence d'une crise sanitaire. Rétrospectivement, entre 2002 et 2017, ce massif a connu deux périodes de crises sylvo-sanitaires en 2005 d'une part, entre 2011 et 2013 d'autre part (audition de N. Bréda). Pour cette zone d'étude particulière, il semble que les défoliations par la CPC aient induit des récoltes anticipées (*i.e.* âge de coupe inférieur à l'âge de coupe optimal).

L'impact des défoliations induites par la CPC sur la qualité du bois est considéré mineur, à l'exception de certains bois de haute qualité, qui requièrent une régularité de la largeur de leurs cernes (audition de F.X. Saintonge).

Enfin, en matière d'organisation du travail, des reports de travaux forestiers (accessibilité aux chantiers forestiers) ont pu être signalés en cas de pullulation de CPC (audition MSA Lorraine et CAAA Moselle), mais leur durée (de l'ordre de quelques mois) est considérée, à dire d'experts, comme anecdotique (audition de F.X. Saintonge).

5.2.1.4 Mesures de gestion du risque pour la production sylvicole

Des auditions réalisées dans le cadre des travaux du GT, il n'a pas été possible d'établir que les risques induits par les chenilles à soies urticantes (*i.e.* chenilles processionnaires du chêne présentement) constituaient un motif d'intervention (*i.e.* adoption de mesures de lutte) à l'échelle nationale (audition de F.X. Saintonge). A l'heure actuelle, l'existence de ces risques n'implique pas de réflexion particulière concernant la mise en place de changement d'essences (*i.e.* privilégiant une essence particulière de chênes, plutôt qu'une autre), ou de peuplements mélangés. Si de telles réflexions ont cours actuellement, elles s'inscrivent plutôt dans une perspective d'adaptation au changement climatique (les risques induits par ces derniers étant généralement considérés comme déconnectés des risques biotiques). En forêt privée, aucune gestion particulière des chenilles à soies urticantes n'est actuellement mise en œuvre.

Dans le contexte du massif du Plateau Lorrain cependant, une réflexion est en cours, concernant la conception d'un plan de gestion simplifié reposant sur l'installation de peuplements mélangés, privilégiant le chêne sessile et envisageant la réalisation de coupes régulières (tous les 4-5 ans) à l'échelle de chaque parcelle (ONF, unité territoriale de Sarrebourg en Moselle). Un des objectifs sous-jacents est la diminution de l'indice foliaire afin de défavoriser les populations de CPC (audition de N. Bréda).

Comme évoqué précédemment, l'état actuel des connaissances ne permet pas de conclure de façon robuste quant aux facteurs de vulnérabilité en lien avec l'essence de chêne. Il convient néanmoins de s'interroger sur les éventuels « conflits » en matière d'arbitrage entre les modalités d'adaptation au changement climatique d'une part, et la gestion du risque « chenilles » d'autre part. Les résultats de Damestoy *et al.* (2020a) invitent en effet à favoriser le chêne pédonculé. Or celui-ci présente des caractéristiques moins favorables que le chêne sessile (plus tolérant aux épisodes de sécheresse, dans un contexte d'adaptation au changement climatique). De manière générale, il convient de s'interroger plus largement sur les éventuels arbitrages en termes d'adaptation de la gestion forestière, dans un contexte de risques biotiques et abiotiques multiples.

5.2.2 Défoliations liées à la chenille processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*)

5.2.2.1 Impact sur la croissance et la mortalité à l'échelle de l'arbre et du peuplement

Sur le plan physiologique, à l'**échelle de l'arbre**, une défoliation entraîne une dégradation de l'appareil photosynthétique et par voie de conséquence une diminution de la fixation de carbone proportionnelle au volume du feuillage en place (Jacquet, 2012 ; Jacquet, 2014). Cet effet de la défoliation demeure néanmoins plus complexe, dans la mesure où la défoliation impacte également les réserves carbonées dans les différents organes de la plante (réduction des sucres solubles dans le bois et des sucres non structuraux des aiguilles et des racines), que la plante compense temporairement (pour assurer sa croissance) en puisant dans les ressources carbonées. Les réserves de sucres non structuraux sont néanmoins restaurées dans le tronc en fin de saison (même en cas de défoliation totale), les réserves carbonées dans le tronc jouant un rôle tampon provisoire en début de saison. Enfin, la défoliation induit également un déficit azoté réduisant l'efficacité photosynthétique des aiguilles et donc la croissance de l'arbre. Ces effets liés à la défoliation proprement dite tendent à être aggravés dans un contexte de stress hydrique ou des conditions environnementales contraignantes (qui peuvent avoir des conséquences défavorables en matière de conductivité hydraulique et/ou de disponibilité en ressources azotées).

Sur la base des contributions de Lemoine (1977), Laurent-Hervouet (1986) et Jacquet *et al.* (2012 ; 2013), il ressort que les pertes de croissance sont présentes dès les plus faibles niveaux de défoliation, pour au moins deux saisons de croissance. Une défoliation de 5 à 25 % se traduit ainsi par des pertes de croissance d'environ 20% (pour le pin et le cèdre), pour culminer à 43 % dans le cas de défoliations de plus forte intensité. Ces pertes de croissance sont néanmoins compensées (même après défoliation totale, le bourgeon du printemps n'est jamais attaqué, les chenilles se nymphosant avant).

A l'échelle des peuplements, les populations de chenilles affectent donc la productivité des peuplements dès le début de leur cycle épidémique. On observe ainsi une relation linéaire entre la perte de croissance des peuplements et l'intensité de défoliation. Une défoliation totale est de nature à fragiliser les arbres hôtes, les rendant sensibles à des attaques de ravageurs secondaires comme les scolytes (il n'existe à l'heure actuelle pas de données précises à cet égard). Un effet « âge de l'arbre » a été mis en évidence, avec une relation curvilinéaire entre l'âge et la perte de croissance. Les plus fortes pertes sont en effet observées pour des arbres entre 15 et 30 ans, ce qui correspond à une période de complète fermeture du couvert. Par ailleurs, les défoliations n'entraînent aucun dépérissement des peuplements.

5.2.2.2 Facteurs de vulnérabilité des peuplements face aux défoliations

De la littérature, il ressort que tous les arbres d'une même parcelle n'ont pas la même probabilité de risque de se faire attaquer. A l'échelle d'une parcelle forestière, la probabilité pour un arbre d'être infesté par la CPP est fonction 1) de sa **position dans la parcelle**, les arbres en lisière étant plus susceptibles d'être attaqués (Samalens et Rossi, 2011 ; Dulaurent *et al.*, 2012) ; 2) de son **orientation**, les lisières exposées au sud et à l'ouest étant plus susceptibles d'être infestées ; 3) de sa **hauteur**, le choix de l'hôte par la femelle se portant préférentiellement sur les arbres dont la silhouette se détache sur un fond clair (Démolin, 1969).

Ensuite, plus globalement, la **structure du paysage** peut également influencer sur les niveaux d'infestation par la CPP. La présence d'une haie de feuillus devant la lisière du peuplement de pin est par exemple de nature à réduire significativement les infestations, tandis que la présence d'une zone enherbée devant cette même lisière produira un effet contraire, favorisant la survie des chrysalides et la probabilité d'attaque par les papillons émergents. **L'âge du peuplement** peut également avoir un effet sur ces niveaux d'infestation.

5.2.2.3 Impacts sur la production sylvicole

Selon Lemoine (1977) puis Jacquet *et al.* (2012), la perte de croissance (en volume, en diamètre ou en hauteur) du pin maritime dans les Landes s'établit, dans les cas les plus fréquents, à environ 31%. La période de récupération, au terme de laquelle les arbres recouvrent leur croissance normale, est de l'ordre de 3 ans. Dans le cas du pin noir en France (Ventoux), les pertes culminent à 35 % pour les placettes les plus attaquées. Une défoliation à l'automne $n - 1$ et au printemps ne se répercute que sur l'accroissement de l'année $n + 1$ (Laurent-Hervouet, 1986). Concernant le pin laricio de Corse, les pertes d'accroissement atteignent 20 % sur l'ensemble des vingt-huit années d'étude, mais ces attaques ne surviennent qu'une année sur deux. Il convient par ailleurs de noter des cas des défoliations inférieures à 50% des aiguilles qui ne semblent pas avoir eu d'effets significatifs sur la croissance des arbres (Laurent-Hervouet, 1986). Ces pertes d'accroissement ont des effets négatifs sur l'exploitation des peuplements dans les zones de sylviculture intensive (dans les Landes, par exemple).

5.2.2.4 Mesures de gestion du risque pour la production sylvicole

Les mesures de gestion du risque de défoliations par la CPP reposent à l'heure actuelle sur différents critères (Roques, 2015) : les risques de production liés à la production sylvicole ; 2) les risques en termes de santé humaine ou animale ; 3) les impacts en matière de paysage ; 4) la protection du sol en lien avec l'érosion et/ou la désertification (situation rencontrée au Maghreb). Par le passé, les critères ayant motivé des mesures de lutte contre la CPC ont assez largement varié, en fonction des conditions locales et des acteurs impliqués (variables selon leur domaine de compétence et/ou le régime de propriété). Avec l'interdiction des traitements aériens (pulvérisation d'insecticides chimiques ou biologiques contre les chenilles), ne demeurent que des mesures de gestion reposant sur la composition des peuplements et/ou sur des coupes, destinées à rendre les peuplements moins sensibles aux attaques par la CPC (Jacquet *et al.*, 2012). Des mesures reposant sur la lutte biologique par des ennemis naturels et des organismes pathogènes existent, mais leur application demeure actuellement marginale dans un contexte forestier (Roques, 2015).

5.2.3 **Éléments de méthode pour l'évaluation économique de ces impacts**

5.2.3.1 Évaluation économique des dommages associés aux défoliations

Du travail de recension bibliographique et des auditions réalisées (sous-sections 5.2.1. et 5.2.2.), il ressort que le principal impact des défoliations par les chenilles processionnaires (du chêne et du pin) consiste en des **pertes de croissance** pour les arbres concernés.

Sur le plan économique, ces défoliations sont susceptibles d'engendrer des pertes et manques à gagner liés :

- à des volumes commercialisés plus faibles, si la coupe intervient à âge constant, mais aussi moins bien valorisés, les diamètres auxquels les bois sont commercialisés étant plus faibles (le prix du bois étant lui-même une fonction croissante du diamètre) ;
- à un recul de l'âge d'exploitabilité, de manière à compenser les pertes de croissance liées aux défoliations, qui engendrent des recettes financières perçues plus tardivement (effet de l'actualisation) ;
- une éventuelle diminution de la qualité des bois commercialisés du fait de la croissance irrégulière des arbres défoliés. Cela est de nature à entraîner un changement de débouché et par conséquent une baisse du prix payé au propriétaire forestier. Cet impact tend néanmoins à demeurer marginal (audition F.X. Saintonge), hormis pour certains bois de haute qualité.

Dans la littérature scientifique, les travaux ayant cherché à quantifier l'impact économique des défoliations par les chenilles processionnaires sont rares. A la connaissance du GT, une étude seulement, celle de Petucco et Andrés-Domenech (2018), s'est livrée à l'exercice, en cherchant à quantifier cet impact sur la production sylvicole dans le cadre des plantations de pins maritimes dans le massif des Landes de Gascogne. S'appuyant sur les résultats de la littérature produite en écologie forestière, ces auteurs ont développé puis simulé un modèle économique (modèle de Faustmann), destiné à mettre en évidence l'impact des défoliations sur la valeur du fonds forestier d'une part, sur l'âge optimal d'exploitabilité d'autre part. Les résultats de simulation laissent entrevoir une augmentation de l'âge d'exploitabilité et une diminution de la valeur du fonds, les effets tendant à être d'autant plus marqués que le niveau de pullulation des chenilles était élevé.

A la connaissance du GT, aucun travail similaire n'a été conduit concernant l'évaluation de l'impact économique des défoliations occasionnées par les chenilles processionnaires du chêne.

Des auditions et du travail bibliographique réalisés, il est également apparu que les défoliations par les chenilles processionnaires du pin et (surtout) du chêne pouvaient, dans certaines circonstances comme des épisodes de sécheresse marqués et/ou répétés, s'accompagner de phénomènes de **dépérissement** et de **mortalité** des arbres, particulièrement dans un contexte de défoliation répétées et/ou d'attaques de ravageurs secondaires. Sur le plan de l'impact économique, cela peut avoir pour conséquence pour le propriétaire forestier :

- dans le contexte de peuplement jeunes ou de plantations, des coûts supplémentaires liés au remplacement des arbres morts, ainsi qu'un allongement de l'âge d'exploitation et des recettes liées à la commercialisation des bois plus tardives (actualisation) ;
- dans le contexte de peuplements âgés ou matures, des manques à gagner liés à des récoltes anticipées. Les volumes commercialisés et les diamètres des bois étant plus faibles, il en résulte un revenu moindre pour le propriétaire forestier, en partie compensé par des recettes plus précoces (actualisation).

A la connaissance du GT, aucune étude économique n'a cherché à intégrer ces phénomènes de dépérissement et de mortalité dans la quantification de l'impact économique des défoliations induites par les chenilles processionnaires du pin ou du chêne.

Par ailleurs, les développements qui précèdent soulèvent un certain nombre de questionnements méthodologiques, particulièrement lorsque l'on cherche à évaluer l'impact économique des défoliations induites par les chenilles processionnaires à des échelles

agrégées (massif forestier, échelon régional ou échelon national, par exemple). Il convient en effet dans cette perspective de conserver une certaine prudence dans l'extrapolation des résultats. D'une part, les travaux relatifs à l'impact des défoliations sur la croissance des arbres, par exemple, ont été obtenus pour des essences particulières et ne sont pas nécessairement extrapolables à d'autres essences, même proches. Des auditions réalisées et des données issues de la littérature, il est également apparu que les impacts observés pouvaient significativement varier à l'échelle des paysages forestiers (effets de lisière, station forestière, peuplements ouverts/fermés, monospécifiques/mélangés, forêts équiennes (*i.e.* forêts où le peuplement est composé d'arbres de même âge) /inéquiennes, etc.). De plus, les impacts demeurent également liés à la gestion forestière mise en œuvre (choix d'essence, régime d'éclaircie, etc.). D'autre part, concernant plus spécifiquement les phénomènes de dépérissements et de mortalité, il demeure difficile dans l'état actuel des connaissances de déterminer de manière précise la contribution imputable aux défoliations par les chenilles, les phénomènes à l'œuvre étant complexes et assez largement multidimensionnels (triptyque sécheresse/chenilles/ravageurs secondaires).

Enfin, la dimension temporelle est également prégnante, les études et expériences conduites dans le champ de l'écologie forestière à l'échelle de l'arbre privilégiant des pas de temps plutôt courts (une ou quelques années), alors que les travaux menés dans le champ de l'économie forestière privilégient pour leur part un horizon temporel long. L'évaluation économique devrait ainsi tenir compte de l'impact des phénomènes de gradations sur la croissance et la survie des arbres et/ou d'autres types de risques corrélés, comme les sécheresses (particulièrement dans un contexte de changement climatique).

Compte tenu des phénomènes spatio-temporels à l'œuvre (diffusion des chenilles dans le temps et l'espace, phénomènes de gradation), il n'a pas été possible pour le GT d'évaluer, à une échelle macroscopique, l'impact des chenilles à soies urticantes sur les prix des bois. Il est vraisemblable que cet impact soit réel, mais particulièrement diffus (absence de perturbations brusques des marchés susceptibles d'être attribués sans ambiguïté à la présence des chenilles à soies urticantes).

5.2.3.2 Evaluation de scénarios de gestion du risque

Une seconde approche mobilisable en matière d'évaluation économique des impacts sylvicoles induits par les défoliations par les chenilles processionnaires concerne l'évaluation économique de stratégies de lutte contre les chenilles processionnaires. Il s'agit plus spécifiquement de mettre en balance les pertes et manques à gagner induits par les défoliations d'une part (autrement dit les bénéfices qui seraient retirés de la lutte), et les dépenses engagées dans la lutte contre les chenilles processionnaires d'autre part (autrement dit le coût de la stratégie de lutte).

La finalité de ces travaux peut être d'évaluer l'efficacité d'une mesure de lutte contre les chenilles (auquel cas le montant optimal des dépenses allouées à la lutte peut constituer une valeur-seuil représentative du montant des dommages subis en l'absence de gestion), ou – alternativement – de hiérarchiser différentes stratégies (ou combinaisons de stratégies) de lutte contre les chenilles, pour sélectionner celles minimisant les impacts économiques ou présentant les meilleurs ratios coût-bénéfice ou coût-efficacité, par exemple.

La revue de la littérature réalisée par le GT n'a pas permis d'identifier de travaux mettant l'accent sur la production sylvicole et s'inscrivant dans la perspective de l'évaluation de scénarios de gestion du risque.

Des auditions réalisées par le GT, il ressort que la lutte contre les chenilles processionnaires, dans le contexte français actuel, n'est pas motivée par la sauvegarde de la production sylvicole, les décisions de lutte étant généralement prises sur la base de considérations de santé publique. Dans le contexte de la production sylvicole, l'absence de stratégie de lutte peut ainsi renvoyer à des bénéfices considérés par les acteurs comme insuffisants, et/ou au coût des mesures de lutte disponibles considéré comme prohibitif. Des considérations réglementaires peuvent également intervenir, le recours à la protéine produite (toxique pour certains insectes) par la bactérie *Bacillus thuringiensis* sous-espèce *kurstaki* (Btk) comme agent de lutte biologique contre les chenilles processionnaires étant encadré strictement par les pouvoirs publics. Enfin, comme déjà indiqué, l'adoption de mesures de lutte non spécifiques – comme les choix d'essences ou de diversification d'essences – qui pourraient contribuer à réduire les impacts des défoliations par les chenilles à poils urticants, semble à l'heure actuelle plutôt s'inscrire dans des logiques d'adaptation au changement climatique.

5.3 Impacts des chenilles à poils urticants sur le stockage du carbone et la régulation du climat global

5.3.1 Le service de régulation du climat global par les écosystèmes forestiers

Les écosystèmes forestiers contribuent à l'atténuation du changement climatique notamment par le biais de la séquestration durable du carbone atmosphérique dans la biomasse vivante, le bois mort et les sols (stockage *in situ*). Les écosystèmes forestiers de métropole constituent le principal puits de carbone à l'échelle de la France en séquestrant 87 millions de tonnes de CO_{2eq} par an, soit l'équivalent de 19 % des émissions annuelles françaises de 2015 environ (CGDD, 2019). De plus, les écosystèmes forestiers participent à la séquestration *ex situ* de carbone par le biais de la production de bois d'œuvre dont l'usage à long terme permet de maintenir le carbone hors de l'atmosphère durablement après la récolte. Par ce biais, les écosystèmes fournissent un service écosystémique dit de régulation⁴² qui revêt une importance sur le plan socio-économique puisque la réduction de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère permise par ce stockage induit une réduction des dommages liés au changement climatique. L'atténuation du changement climatique par le biais du stockage de carbone atmosphérique au sein des écosystèmes forestiers a d'ailleurs été intégrée dans plusieurs documents d'orientation de politique publique en France et dans l'Union Européenne⁴³.

A l'instar de l'évaluation des impacts relatifs à la production sylvicole, les connaissances disponibles en écologie ne permettent pas à ce jour de mener une évaluation quantitative des impacts induits par les défoliations par les chenilles à poils urticants sur le stockage de carbone

⁴² Le cadre conceptuel de l'Efese définit les services de régulation comme « les avantages qui résultent de la capacité des écosystèmes à réguler les cycles climatiques, hydrologiques et biogéochimiques, les processus de surface de la Terre et une variété de processus biologiques » (CGDD, 2020). Le service rendu ici est celui de la régulation du climat mondial.

⁴³ Pour la France, on peut citer la Stratégie Nationale Bas Carbone ayant défini des orientations spécifiques au secteur forêt-bois, notamment l'orientation « F1 » : « en amont, assurer dans le temps la conservation et le renforcement des puits et des stocks de carbone du secteur forêt-bois, ainsi que leur résilience aux stress climatiques ».

atmosphérique au sein des peuplements forestiers impactés. Cependant, la littérature suggère que ces défoliations induisent une dégradation de l'appareil photosynthétique (impact démontré à l'échelle de l'arbre) et affectent par conséquent la capacité de fixation du carbone atmosphérique (voir section 5.2.2). Dans ce contexte, le GT a souhaité fournir des pistes méthodologiques pour l'évaluation économique de ces impacts en mettant en évidence des travaux connexes qui pourraient être transposés à la problématique des chenilles à poils urticants ainsi que des éléments de discussion relatifs à la valorisation monétaire du carbone stocké. Les pistes méthodologiques et les éléments de discussion sont présentés dans la section suivante.

5.3.2 Evaluation économique de l'impact des perturbations forestières sur le stockage de carbone

Évaluer économiquement l'impact induit par les chenilles à poils urticants sur le stockage de carbone nécessiterait de quantifier d'une part, la perte de stockage induite (et donc directement imputable) par les défoliations en termes biophysiques (par exemple : en tonnes de carbone par hectare et par an à l'échelle d'une rotation) et d'autre part, de la valoriser en mobilisant une ou plusieurs valeurs de référence du carbone. Mais, à l'heure actuelle l'état des connaissances disponibles en écologie ne permet pas d'opérer une telle démarche. Cette section restitue par conséquent l'approche économique disponible pour évaluer des impacts induits par les perturbations forestières sur le service de régulation du climat global (via la perte de stockage de carbone) et leurs enseignements pour les décisions publiques.

La recherche en écologie a permis de développer des modèles de végétation et de croissance forestière simulant l'évolution de peuplements forestiers en fonction de leurs conditions environnementales (*i.e.*, climat, paramètres du sol, présence de risques biotiques et abiotiques) et/ou de stratégies de gestion sylvicole et ce, à différentes échelles (arbre, parcelle, peuplement, paysage). La modélisation du stockage de carbone peut également être intégrée à ces modèles qui peuvent ainsi rendre compte de l'impact de scénarios (environnementaux ou de gestion) sur la croissance forestière mais aussi les niveaux de carbone capturé dans les différents compartiments de l'écosystème (biomasse vivante aérienne et souterraine, sol forestier, produits bois exportés). Ce type de modélisation peut être couplé à une démarche d'évaluation économique basée, comme évoqué *supra*, sur une approche par scénario. Celle-ci consiste à mesurer la différence de stockage de carbone entre un scénario de référence, un scénario d'impact et un ou plusieurs scénarios de gestion. Cette différence, d'abord mesurée en termes biophysiques (*i.e.*, en tonnes de carbone), est ensuite valorisée sur un plan monétaire. A titre d'illustration, on peut citer Kautz *et al.* (2018) qui s'appuient sur un modèle de végétation simulant la dynamique forestière à l'échelle de la parcelle afin de quantifier la perte de carbone induite par une diversité de perturbations biotiques⁴⁴ aux Etats-Unis entre 1997 et 2015. Ils visent en particulier à mesurer l'importance relative des différentes perturbations biotiques sur le cycle du carbone. Cependant, aucune évaluation économique du dommage induit par ces ravageurs n'est effectuée dans le cadre de cette publication.

⁴⁴ Kautz *et al.* (2017) considèrent cinq catégories de perturbations biotiques (chacune de ces catégories regroupant plusieurs espèces) : les scolytes, les insectes défoliateurs, « autres insectes » (insectes suceurs, insectes s'attaquant aux racines, aux semences, aux fleurs, etc.), les pathogènes, « autres agents biotiques » (plantes parasites, animaux sauvages, etc.).

Plus récemment, les travaux de Bréteau-Amores *et al.* (2022) peuvent être présentés ici car ils prolongent l'analyse jusqu'à identifier les mesures optimales de gestion sylvicole en intégrant la valeur économique du carbone. Pour ce faire, à l'échelle de la parcelle dans un contexte de changement climatique et de risque sécheresse, ils simulent différents scénarios de gestion, avec et sans rémunération financière du propriétaire forestier, pour le carbone stocké par les peuplements. Les auteurs s'appuient sur un modèle de croissance forestière articulant les échelles de l'arbre à la parcelle. Sur le plan temporel, les auteurs considèrent l'échelle de la rotation⁴⁵. Ce modèle fournit des résultats en termes de volume de bois produit et de récolte ainsi qu'en termes de stockage de carbone dans la biomasse vivante, la matière organique du sol et les produits bois récoltés par le biais d'un module de comptabilité carbone couplé au modèle principal. Les auteurs comparent les performances de différents scénarios couplant modalités de gestion sylvicoles, « futur climatique » et occurrence des épisodes de sécheresse au regard des différents indicateurs biophysiques précités. Ils injectent ces résultats biophysiques produits par le modèle de croissance dans le calcul d'un indicateur économique – la valeur du fonds forestier – cet indicateur pouvant prendre en compte à la fois la valeur du bois récolté mais aussi la valeur du carbone stocké si celui-ci est rémunéré.

Les auteurs considèrent trois modalités pour définir la valeur économique du carbone pouvant servir d'indicateur de rémunération du carbone forestier :

- **le prix du carbone émergeant sur les marchés de compensation volontaire** *via* les échanges de permis d'émission. Les auteurs considèrent le prix moyen émergeant dans le cadre d'un dispositif permettant spécifiquement la compensation carbone par le biais de séquestration au sein des écosystèmes forestiers : celui du label bas carbone en France (28 €/tonne de CO₂ (euros 2018)) ;
- **la valeur tutélaire⁴⁶ du carbone définie par la Commission Quinet** en 2009 selon une approche coût-efficacité⁴⁷. Établie sur la base d'une réflexion collective mobilisant à la fois des résultats de modélisation, une réflexion théorique, l'état de l'art en la matière (valeurs du carbone déjà définies par ailleurs) ainsi que l'observation des signaux-prix affichés sur les marchés carbone, cette valeur tutélaire représente une estimation du coût minimum nécessaire à l'atteinte des objectifs climatiques pris par la France si l'effort de réduction des émissions est réparti de façon optimale entre les différents secteurs de l'économie (54 €/tonne de CO₂ (euros 2018)) ;⁴⁸
- **le coût social du carbone** consistant en une estimation du coût total des dommages générés par chaque tonne de carbone émise et donc évités par chaque tonne de

⁴⁵ Les auteurs déterminent un âge optimal de coupe allant de 36 à 220 ans en fonction des scénarios.

⁴⁶ La valeur « tutélaire » du carbone désigne le prix de la tonne de carbone (et par suite de la tonne de CO₂) fixé par l'État pour une année donnée, au regard notamment de ses engagements dans la lutte contre le réchauffement climatique. Cette valeur et sa trajectoire d'évolution sont le fruit d'une négociation entre de multiples acteurs (partenaires économiques et sociaux, organisations environnementales, universitaires, etc.) sur la base de la valeur proposée par la commission Quinet (2009), cette dernière se rapprochant du coût d'opportunité de se conformer aux engagements pris par la France. Cette valeur tutélaire s'oppose d'une part à la valeur « de marché » du carbone, qui résulte directement de la confrontation de l'offre et de la demande sur le marché des permis d'émissions de gaz carbonique (marché ETS). Elle s'oppose d'autre part à la valeur correspondant au coût social du carbone qui se rapproche d'un dommage évité mais à laquelle est associé un fort niveau d'incertitude en raison de la difficulté d'appréhension des dommages effectifs liés aux émissions de CO₂. La valeur tutélaire du carbone a fait l'objet d'une actualisation en 2013 puis en 2019.

⁴⁷ Cette approche consiste en la recherche de la trajectoire de valeur du carbone permettant d'atteindre les objectifs de réduction des émissions prises par la France (*i.e.*, efficacité) à moindre coût. La valeur tutélaire du carbone dépend alors de deux variables : le niveau de l'objectif de réduction des émissions et l'évolution des technologies disponibles pour réduire les émissions.

⁴⁸ Le GT souligne que de futurs travaux d'évaluation devraient s'appuyer sur la réévaluation de cette valeur tutélaire formulée dans le cadre de la seconde commission Quinet en 2019.

carbone séquestrée⁴⁹. Considérer le coût social du carbone place l'analyse dans une approche coûts-bénéfices (ou coûts-avantages). Les auteurs considèrent la valeur plancher proposée par Van Den Bergh et Botzen (2014), égale à 110 €/tonne de CO₂.⁵⁰

Ainsi, et comme évoqué *supra*, des outils de modélisation couplant écologie et économie sont aujourd'hui disponibles pour évaluer les impacts induits par les perturbations forestières aux plans biophysiques et monétaires. Cependant, c'est l'état des connaissances disponibles à ce jour relatives à l'impact en termes de perte de capacité de stockage de carbone induit spécifiquement par les défoliations des chenilles à soies urticantes qui freine la mise en œuvre d'une évaluation d'impact dans le cadre de la présente expertise.

Par ailleurs, dans une perspective d'appui à la décision publique et puisqu'il s'agit ici d'évaluer l'impact de perturbations « marginales » du fonctionnement de l'écosystème forestier sur le service de stockage, il paraît pertinent de recourir à la valeur tutélaire du carbone⁵¹. Comme cela est souligné dans le cadre du rapport « Efese écosystèmes agricoles » (Thérond *et al.*, 2017 ; p 515-519)⁵², qui ont stabilisé le cadre conceptuel de l'évaluation économique du service de stockage de carbone atmosphérique en termes de services écosystémiques en France, valoriser une tonne de carbone stocké à la hauteur de la valeur tutélaire définie par la Commission Quinet n'est pas considéré comme la meilleure méthode quand il s'agit de prendre comme référence le bien-être des populations⁵³ mais cette modalité de valorisation est considérée comme plus robuste qu'une valorisation par le biais du coût social du carbone car elle permet de s'abstraire de l'incertitude relative aux dommages générés par les émissions et leur évolution future. Par ailleurs, cette méthode basée sur la valeur tutélaire est « considérée comme théoriquement fondée si les objectifs de réduction représentent de manière appropriée les préférences des agents » (Thérond *et al.*, 2017 ; p 517). Enfin, la valeur tutélaire du carbone est mobilisée dans l'évaluation de l'ensemble des investissements publics en France ; il apparaît donc à ce titre, pertinent d'utiliser cette valeur dans une perspective d'appui à la décision publique : ainsi l'évaluation du service de régulation du climat global rendu par les écosystèmes forestiers peut être comparée aux flux de carbone associés à d'autres secteurs. Enfin, une valorisation basée sur le prix de marché du carbone n'apparaît pas pertinente dans une perspective d'appui à la décision publique. Comme discuté par Thérond *et al.* (2017, p 515), le mode de fonctionnement des marchés existants ne permet pas d'attester d'un lien étroit entre le prix émergeant et le coût social du carbone.

⁴⁹ La détermination de la valeur du coût social du carbone peut prendre en compte une diversité d'effets du changement climatique. Les effets sur la production agricole, forestière, l'approvisionnement en eau, les zones côtières, la consommation d'énergie, la qualité de l'air ou encore les impacts sur la santé humaine (morbidité et mortalité) font aujourd'hui l'objet d'une prise en compte totale ou partielle (Tol, 2012). Le lecteur intéressé pourra également consulter Van Den Bergh et Botzen (2014) pour une discussion sur les effets du changement climatique n'étant à l'heure actuelle pas ou seulement partiellement considérés dans le coût social du carbone.

⁵⁰ Bréteau-Amores *et al.* (2022) ne précisent pas l'année de référence considérée pour la mobilisation de cette valeur.

⁵¹ On s'intéresserait ici à l'évaluation économique de l'impact de perturbations « marginales » du fonctionnement de l'écosystème forestier sur le stockage de carbone et éventuellement sur l'effet (correcteur ou amplificateur) d'un changement de pratiques sylvicoles par rapport à l'impact initial. On ne cherche pas à évaluer l'impact de changements « radicaux » des écosystèmes pouvant engendrer – en plus d'affecter la capacité de stockage – la réémission d'un stock de carbone en place. Comme cela est discuté dans le cadre du rapport « Efese écosystèmes agricoles » (Thérond *et al.*, 2017 ; p 519-518), c'est une analyse en termes de flux qui est la plus pertinente dans un tel contexte. Dans ce cadre, la tonne de carbone peut être évaluée à l'aune de la valeur tutélaire du carbone.

⁵² On invite le lecteur intéressé par une discussion approfondie du recours aux différentes méthodes de valorisation du carbone stocké au sein des écosystèmes à consulter le rapport « Efese écosystèmes agricoles » (Thérond *et al.*, 2017, p 515-519).

⁵³ La meilleure méthode, dans ce cas, est celle basée sur le coût social du carbone.

Pour finir, il convient de souligner que mener une évaluation de l'impact induit par les chenilles à poils urticants sur le stockage de carbone nécessite de considérer un horizon temporel de moyen voire de long terme. Dans un tel contexte, bon nombre des paramètres considérés pour l'évaluation sont empreints d'incertitude. C'est notamment le cas du climat futur, ce dernier déterminant les modalités de fonctionnement des écosystèmes forestiers, les dynamiques des perturbations biotiques et abiotiques et les dommages de façon générale. Les objectifs et les technologies de réduction des émissions sont également incertains de même que le taux d'actualisation public intégrant le risque. Cette incertitude est à prendre en compte dans la démarche d'évaluation notamment en recourant à différents scénarios climatiques (comme peuvent le faire Bréteau-Amores *et al.*, 2022) mais également en effectuant une analyse de sensibilité sur les différents paramètres (valeur du carbone, taux d'actualisation, etc.).

5.4 Impact des chenilles à poils urticants sur les services écosystémiques culturels

Les infestations par les chenilles à poils urticants affectent des espèces végétales hôtes pouvant être localisées dans des espaces forestiers supports d'activités récréatives ou jouant un rôle en termes de qualité du cadre de vie des populations locales. Les impacts visibles sur les écosystèmes induits par ces infestations (défoliation, arbres morts sur pied ou au sol, etc.) ou la perception du grand public de la présence des insectes et de leurs potentiels impacts en termes de santé humaine sont susceptibles d'affecter la capacité des écosystèmes à délivrer ces avantages, appelés « services écosystémiques culturels ». Dans ce contexte, le groupe de travail a souhaité mener une réflexion sur les impacts des infestations par les chenilles à poils urticants en termes de fourniture de services écosystémiques culturels ainsi que leur évaluation économique.

5.4.1 État des lieux de la valeur récréative de la forêt

La forêt constitue une destination de loisirs privilégiée des français (Peyron *et al.*, 2002, Dobré *et al.*, 2005). La fourniture de services écosystémiques culturels par les écosystèmes forestiers a fait l'objet de nombreux travaux d'évaluation. Les bénéfices tirés des usages récréatifs des forêts en France métropolitaine ont été documentés par le biais de plusieurs enquêtes nationales (en 1996 par l'IFEN, DERF / CREDOC, en 2010 par Garcia et Jacob en 2002, par Peyron *et al.* ainsi qu'en 2004, 2010 et 2015, enquêtes « Forêt et Société » de ONF et l'Université de Caen). Ces dernières ont permis de documenter le service récréatif rendu par les forêts françaises sous plusieurs angles en estimant la part de la population française se rendant en forêt au cours d'une année (Peyron *et al.*, 2002 ; ONF/Université de Caen, 2004, 2010 et 2015), le nombre de visites en forêt à l'échelle nationale ainsi que la fréquence de visites en forêt à l'échelle d'une année (ONF/Université de Caen, 2004, 2005, 2015) et enfin la valeur récréative de la forêt en France (Garcia et Jacob, 2010). L'enquête la plus récente sur l'usage récréatif des forêts métropolitaines a été réalisée en trois vagues entre 2016 et 2018 par Abildtrup *et al.* (2021), dans le cadre de l'Efese. A l'instar des publications mentionnées précédemment, les auteurs évaluent la part de la population ayant effectué une sortie en forêt au cours des 12 derniers mois, la fréquence de visites en forêt, le nombre de visites en forêt à l'échelle nationale (par an par visiteur) et documentent les motifs d'une visite

en forêt et les activités récréatives qui y sont pratiquées. Abildtrup *et al.* (2021) délivrent également une évaluation spatialisée du nombre de visites en forêt (par an et par visiteur) par région administrative. En s'appuyant sur la méthode des coûts de déplacement, les auteurs estiment par ailleurs le consentement à payer pour se rendre en forêt (entre 17,40 et 37,58 euros/visite en fonction des hypothèses considérées)⁵⁴ et en dérivent ainsi la valeur récréative des forêts françaises métropolitaines à l'échelle d'une année (entre 13 et 45 milliards d'euros par an)⁵⁵.

La capitalisation du niveau d'accès aux services écosystémiques culturels fournis par les forêts à travers le prix de l'immobilier a également fait l'objet de recherche. Cette approche part de l'idée que l'offre récréative de plein air (et notamment l'accès et la disponibilité de la forêt) à proximité des logements impacte les choix résidentiels des ménages et peuvent donc se traduire dans les prix de l'immobilier. A titre d'illustration, en s'appuyant sur la méthode des prix hédoniques (voir Annexe 8 pour une présentation de la méthode), Tuffery (2018) démontre l'impact positif sur le prix de l'immobilier de la disponibilité d'infrastructures pour la pratique de la marche et du vélo en forêt dans un périmètre régional. Par ailleurs, en s'appuyant sur cette même méthode des prix hédoniques, Brossard *et al.* (2007) évaluent les aménités paysagères à travers la capitalisation foncière de ces aménités dans les valeurs immobilières pour six zones périurbaines⁵⁶. Les auteurs montrent que la vue sur des couverts arborés présente un prix hédoniste positif pour la majorité des zones étudiées⁵⁷. Dans ces deux études, l'impact mis en évidence sur le prix des biens immobiliers traduit l'équivalent monétaire du bien-être qu'un individu retire de vivre à proximité de zones arborées/forestières (*i.e.* aménités paysagères), cette dernière consistant en une amélioration du cadre de vie. L'effet spécifique sur le prix induit par la présence de ces aménités paysagères en traduit la valeur économique.

5.4.2 Les services écosystémiques culturels – Éléments de définition

Comme exposé à la section précédente, la valeur récréative de la forêt a déjà fait l'objet de plusieurs travaux en évaluation économique. Néanmoins, ces derniers ne mobilisent pas le cadre de l'évaluation économique des services écosystémiques. Aussi, cette section vise à exposer les éléments de définitions et de concepts sur lesquels appuyer un tel exercice d'évaluation.

L'Efese définit les services écosystémiques culturels comme « les avantages dérivés des usages récréatifs, éducatifs et expérientiels des écosystèmes » (CGDD, 2020) en bon état. Ces services couvrent un spectre large de services matériels ou immatériels. Le cadre conceptuel de l'Efese structure ces services en trois sous-catégories (CGDD, 2017 ; CGDD, 2020) :

- les avantages dérivés d'usages récréatifs (avec prélèvement – chasse, pêche de loisir, etc. – ou sans prélèvement – activités récréatives et de loisir, sports de nature, tourisme vert et écotourisme) ;

⁵⁴ Cette estimation prend en compte l'ensemble des modes de déplacements pour se rendre en forêt (voiture, vélo et marche). L'écart entre la valeur basse (17,40 €/visite) et la valeur haute (37,58 €/visite) est induit par la prise en compte du coût d'opportunité du temps dans le second cas.

⁵⁵ A titre de comparaison, la valeur marchande du bois récolté est estimée à 2,83 milliards d'euros en 2018 (BETA-OLEF, *Comptes de la forêt*).

⁵⁶ Les auteurs réalisent cette évaluation autour des villes de Dijon, Besançon, Lyon, Marseille et Brest et pour l'ensemble de la région Nord-Pas-de-Calais.

⁵⁷ Cet effet positif est démontré dans les six zones périurbaines mais pas pour tous les types milieux et de biens immobiliers (effets négatifs démontrés pour la zone urbaine de Marseille et les maisons en zone lyonnaise).

- les aménités paysagères (attractivité touristique, qualité du cadre de vie) ;
- les avantages relevant de l'éducation et la connaissance (expérimentation, science, éducation).

Cette définition proposée par l'Efese pour les services écosystémiques culturels diverge de celles, plus larges, proposées par le MEA (2005), la CICES (CICES, Haines-Young and Potschin, 2018) ou encore l'IPBES (IPBES, Diaz *et al.*, 2015). En effet, ces cadres internationaux intègrent, en plus des avantages évoqués *supra*, des avantages relevant de dimensions spirituelle, identitaire ou encore de non-usage, telles que le legs aux générations futures (voir tableau A-1 (Cf. Annexe 9) pour une illustration basée sur la classification CICES). Ces dimensions ne sont pas traitées en tant que services, celles-ci relevant selon l'Efese du patrimoine naturel. Comme évoqué *supra*, **le GT a choisi de s'appuyer sur la définition considérée dans le cadre de l'Efese, cadre de référence adopté à l'échelle française.**

Les avantages retirés des écosystèmes via les services écosystémiques culturels dépendent des structures ou fonctions biophysiques des écosystèmes. Ainsi, les services culturels peuvent être conceptualisés comme la capacité des écosystèmes à fournir un cadre pour les usages récréatifs, éducatifs et expérientiels (Therond *et al.*, 2017). Ce cadre peut être affecté par des facteurs exogènes d'origine anthropique tels que la mise en place d'aménagements (e.g., pistes cyclables, des chemins de randonnées, des lieux d'observation des animaux, etc.) ou encore la gestion de l'écosystème (gestion agricole, gestion sylvicole, etc.). A titre d'illustration, on peut évoquer les résultats produits par Abildtrup *et al.* (2021) concernant les déterminants de l'attractivité des forêts françaises pour les activités récréatives (Abildtrup *et al.*, 2021 p 54-56). Les auteurs démontrent que la diversité en essences forestières, la présence de multiples classes d'âge (*i.e.*, irrégularité du peuplement), la hauteur des arbres ou encore la présence de bois mort influencent positivement et significativement le consentement des visiteurs à se déplacer. La présence de chemins de randonnée balisés ainsi que d'aires de pique-nique ont également un effet positif sur l'attractivité. Ainsi, la mise en place d'aménagements vient moduler la relation entre les composantes biophysiques des écosystèmes et leur valeur récréative. La capacité des écosystèmes à fournir des services écosystémiques culturels peut également être affectée par les perturbations biotiques (insectes ravageurs, maladie, etc.) et abiotiques (feu, tempête, etc.) de façon directe (la présence de ces perturbations elle-même réduit l'attractivité de l'écosystème) ou indirecte (en affectant la structure – e.g., densité du peuplement forestier – ou les fonctions de l'écosystème). Abildtrup *et al.* (2021) rapportent notamment que 21 % des Français se rendant en forêt considèrent ce milieu comme dangereux du fait de la présence de parasites et de maladies (e.g., tiques). Cela constitue par ailleurs un motif pour ne pas se rendre en forêt pour 7,1 % de la population.

Par ailleurs, l'exploitation du potentiel culturel des écosystèmes, donc le niveau effectif de services écosystémiques, est fonction de leur proximité et de leur accessibilité au public (Robinson, 1967 ; McConnell, 1985 ; Rambonilaza *et al.*, 2008). Si les avantages liés aux aménités paysagères peuvent être retirés « à domicile » (pour les personnes résidant dans ou en lisière d'une forêt par exemple), bénéficier de services écosystémiques culturels implique le plus souvent un déplacement sur une plus ou moins longue distance : il est possible de pratiquer des activités récréatives à proximité du lieu de résidence ou dans des sites plus éloignés à forte attractivité. Enfin, ces différents usages culturels des écosystèmes, les avantages qui en sont retirés et leur valeur économique sont fonction des préférences individuelles et sociales vis-à-vis des caractéristiques des écosystèmes forestiers, ces dernières pouvant être plus ou moins spécifiques à chaque territoire ou société. Ainsi, la

relation entre les composantes biophysiques des écosystèmes et la valeur des services générés n'est pas directe et est modulée par une diversité de facteurs pouvant entrer en interaction (voir Figure 28 pour une synthèse).

Les avantages retirés des services écosystémiques culturels ainsi que leur valeur économique peuvent être quantifiés par le biais d'une diversité d'indicateurs biophysiques - nombre de visiteurs dans les espaces naturels considérés - et économiques : , prix de marché (quand pertinent), dépenses liés aux activités récréatives (dont coût de déplacement) mais aussi consentement à payer⁵⁸ (CAP) pour un avantage spécifique et surplus du consommateur⁵⁹. Ces indicateurs économiques⁶⁰ peuvent être obtenus par le biais de différentes méthodes : évaluation contingente, expérimentation par les choix, méthode des coûts de déplacement, méthode des prix hédoniques et méthode de transfert de bénéfices (voir Annexe 8 pour une description de ces méthodes).

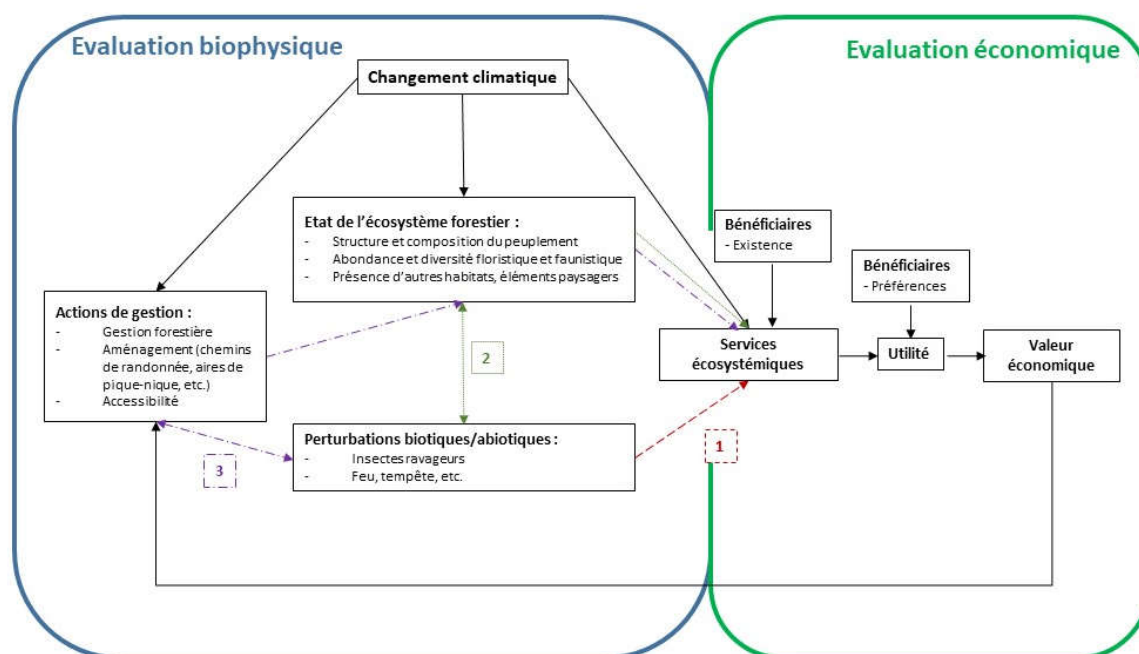


Figure 28 : Cadre conceptuel pour l'analyse de l'impact des insectes ravageurs forestiers sur la fourniture de services écosystémiques culturels (d'après Rosenberger *et al.*, 2012)

⁵⁸ Le consentement à payer peut-être défini comme le prix maximum qu'un acheteur consent à payer pour une quantité donnée d'un bien ou d'un service.

⁵⁹ Le surplus du consommateur représente la différence entre le consentement à payer et le prix effectivement payé. Il représente donc le gain net tiré de la consommation par un consommateur.

⁶⁰ Le lecteur pourra s'interroger sur la nécessité voire la pertinence d'aller au-delà de l'évaluation des bénéfices récréatifs fournis par les forêts pouvant être « simplement » traduits par des données de fréquentation (i.e., nombre de visites), en mettant en œuvre une démarche de monétarisation débouchant sur l'estimation d'indicateurs économiques. Or, dans une perspective d'aide à la décision publique, il est nécessaire de pouvoir traduire les impacts – d'une perturbation, d'un scénario de gestion, etc. – en termes de variation de bien-être à l'échelle de la société. Les indicateurs économiques évoqués ici et obtenus par différentes méthodes de monétarisation permettent une évaluation du bien-être et de sa variation plus fine que ne le font les indicateurs biophysiques. A titre d'illustration, la dégradation de la qualité esthétique d'un paysage forestier suite à une pullulation de chenilles à poils urticants peut induire une modification de la fréquentation de ce même paysage. Cependant, une telle pullulation est également susceptible de se traduire par une moindre qualité de la visite en forêt, pouvant être traduite par une variation du CAP. Ainsi, un indicateur économique est capable de capturer l'impact de la variation de la fréquentation et de la valeur d'une visite en forêt sur le bien-être.

Note de lecture : ce cadre conceptuel vise à mettre en évidence différents déterminants des services écosystémiques culturels fournis par les forêts ainsi que la valeur associée. Comme évoqué *supra*, le niveau de service écosystémique fourni dépend des composantes biophysiques de l'écosystème (désigné ici comme « l'état de l'écosystème forestier »), ces dernières pouvant être modifiées par les « actions de gestion » ainsi que par d'autres facteurs tels que le « changement climatique » et les « perturbations biotiques/abiotiques », chacun de ces facteurs pouvant entrer en interaction. Comme évoqué *supra* également, les perturbations biotiques et abiotiques peuvent influencer directement [1 : dégradation de la qualité esthétique d'un paysage du fait de la présence de cocons/nids de chenilles] ou indirectement ([2 : dégradation de la qualité esthétique d'un paysage du fait de la présence d'arbres morts et/ou défoliés] et [3 : dégradation de la qualité esthétique du paysage du fait de la présence de coupes effectuées en réaction à une pullulation de chenilles]) sur le niveau de service écosystémique fourni. Pour rappel, la notion de service et la valeur associée dépendent de l'existence de bénéficiaires ainsi que de leurs préférences.

5.4.3 Axes d'analyse pour l'évaluation économique des impacts induits par les chenilles à poils urticants sur les services écosystémiques culturels

Sans but d'exhaustivité, le groupe de travail a effectué une revue de la littérature sur l'évaluation économique des dommages induits par les chenilles à poils urticants sur la fourniture de services écosystémiques culturels. Le GT n'a identifié aucune publication relevant de l'évaluation économique de ces impacts pour le continent européen. Cependant, en marge des pertes de revenus induites par les infestations par la CPP en termes de production sylvicole (Cf. section 5.3), Gatto *et al.* (2009) s'intéressent également aux impacts non-marchands des infestations. Les auteurs s'appuient notamment sur la méthode du transfert de bénéfices afin de quantifier la perte de services récréatifs induits par les infestations de CPP dans la péninsule du Setubal au Portugal (voir Annexe 8 pour une description de cette méthode). Les auteurs considèrent que les infestations induisent une diminution de 20 % de la valeur d'un jour-visiteur (estimée à 2,75 € par Carvalho Mendes (2005)) sans affecter le taux de fréquentation des forêts infestées.

Le caractère réduit du corpus disponible a conduit le GT à élargir le périmètre de ses recherches à l'évaluation des dommages induits par les insectes ravageurs forestiers sur les services écosystémiques culturels. Un tel élargissement vise à mener une réflexion sur les effets mis en évidence dans ce corpus plus large et leur application possible à la problématique des chenilles à poils urticants. Seize publications pertinentes ont été identifiées et analysées⁶¹. La grande majorité de ces publications portent sur des cas d'études états-uniens. Seules deux études portent sur des cas d'étude européens (*i.e.*, Arnberger *et al.* (2018) comparent les préférences récréatives vis-à-vis de zones infestées par les scolytes entre une zone d'études située en Allemagne et deux zones d'études situées aux Etats-Unis ; Arnberger *et al.* (2020) comparent les préférences récréatives vis-à-vis de zones infestées par un coléoptère, l'agrile du frêne – *Agrilus planipennis* Fairmaire 1888 (Buprestidae) – entre deux zones d'étude, l'une située à Vienne (Autriche), l'autre à Minneapolis (Etats-Unis)). Ces publications portent

⁶¹ Ont été intégrés au corpus analysé les documents de type rapport et les publications académiques portant sur l'évaluation économique des impacts induits par les ravageurs forestiers sur les services écosystémiques culturels ainsi que sur l'étude des préférences récréatives vis-à-vis des ravageurs forestiers (présence et impacts paysagers). Au regard de la similitude des impacts induits par le bombyx disparate et ceux associés aux espèces urticantes présentes en France, des critères d'inclusion plus lâches ont été appliqués pour les publications portant sur cette espèce (intégration de publications plus anciennes et d'actes de colloques).

principalement sur quatre espèces ou groupe d'espèces (voir Tableau 16) et cherchent à quantifier les dommages sur une variété de services (voir Tableau 17).

Tableau 16 : Espèces d'insectes étudiées dans les publications sélectionnées

Espèce	Nombre de publications
Scolytes (Curculionidae)	4
Agrile du frêne (<i>Agrilus planipennis</i>)	3
Bombyx disparate (<i>Lymantria dispar</i>)	4
Pucerons lanigère de la pruche (<i>Adelges tsugae</i> Annand 1924)	2
Plusieurs espèces de ravageurs (review)	4

Tableau 17 : Types de services étudiés dans les publications sélectionnées

Type de service	Nombre de publications
Aménités paysagères	6
Récréation	6
Cadre de vie	7
Services écosystémiques culturels (revues)	2

Une part du corpus identifié s'attache à objectiver la dégradation du cadre de vie induite par les insectes ravageurs forestiers **en quantifiant la perte de valeur immobilière associée**. L'ensemble de ces publications s'appuient sur la méthode des prix hédoniques (hormis Moeller *et al.*, 1977), déjà mentionnée *supra*, et ont pour objet d'étude les biens immobiliers localisés à l'interface ville-forêt. Chacune de ces publications démontre un impact négatif et significatif d'une infestation par un insecte ravageur sur les prix de l'immobilier. Les indicateurs mobilisés afin de renseigner la santé des arbres ou peuplements varient entre les publications de même que les périmètres considérés. Certains auteurs croisent des données de présence d'arbres hôtes avec une information sur la dynamique d'infestation à l'œuvre dans la zone d'étude (Huggett *et al.*, 2008 ; Cohen *et al.*, 2016 et Li *et al.*, 2019), d'autres renseignent le taux de défoliation (Holmes *et al.*, 2010) ou la mortalité induite par le ravageur *via* le nombre d'arbres morts (Payne *et al.*, 1973 ; Price *et al.*, 2010). La majorité des publications identifiées renseignent l'indicateur de santé des arbres ou peuplements à l'échelle de la propriété et de sa périphérie par le biais de périmètres concentriques (généralement 0,1 km, 0,5 km et 1 km de la propriété ; Holmes *et al.*, 2010 ; Price *et al.*, 2010 ; Cohen *et al.*, 2016 et Li *et al.*, 2019). Payne *et al.* (1973) et Huggett *et al.* (2008) renseignent et mesurent l'impact de la santé des arbres ou peuplements uniquement à l'échelle de la propriété. Ainsi, le caractère dépréciatif des infestations est démontré à différentes échelles spatiales. Price *et al.* (2010) démontrent une dépréciation significative induite par la présence d'arbres morts à la suite d'une infestation par des scolytes dans un rayon de 0,1 km, 0,5 km et 1 km d'une propriété, la perte de valeur immobilière croissant avec la proximité à l'infestation (à nombre d'arbres morts égal). Holmes *et al.* (2010) et Cohen *et al.* (2016) mettent en évidence ce même effet négatif lié à la présence d'arbres infestés (par le puceron lanigère de la pruche et les scolytes respectivement) dans

un rayon de 0,1 km uniquement (parcelle comprise). Quant à Li *et al.* (2019), ils mettent dans un premier temps en évidence la plus-value apportée aux biens immobiliers par la présence de frênes (périmètres de 0,1 km à 1 km). Celle-ci est réduite dès lors qu'une infestation par l'agrile du frêne est constatée dans un rayon d'un kilomètre autour de la propriété et ce, même si cette dernière ou son environnement immédiat est doté de frênes non-infestés. Les auteurs mettent alors en évidence une dépréciation relevant d'un comportement d'anticipation tout en soulignant que la plus-value apportée par la présence de frênes est réduite par l'infestation mais demeure positive. Enfin, Payne *et al.* (1973) et Huggett *et al.* (2008) démontrent un effet dépréciatif significatif induit par la mortalité d'arbres infestés à l'échelle de la parcelle (par le bombyx disparate d'une part et le puceron lanigère de la pruche respectivement).

Au regard de la méthodologie employée et de la diversité des périmètres considérés, il est difficile d'attribuer la perte de valeur immobilière à un service écosystémique précis et de là, d'inférer une valeur économique à la perte de celui-ci. En effet, une infestation par un ravageur peut être associée à la dégradation des aménités paysagères et des opportunités récréatives, un moindre ombrage, à l'augmentation du risque incendie ou de chute d'arbres morts (effets *indirects*), etc. Ainsi une perte de valeur immobilière peut recouvrir davantage que la seule perte de services écosystémiques culturels induite par l'infestation. Holmes *et al.* (2010) s'appuient sur une étude des préférences et attribuent la perte de valeur mesurée à une dégradation de la qualité esthétique du paysage. Par ailleurs, sur la base d'entretiens menés auprès de propriétaires immobiliers en zone infestée, Moeller *et al.* (1977) montrent qu'une infestation par le bombyx disparate dégrade principalement les aménités paysagères ainsi que les bénéfices récréatifs dérivés par les propriétaires à *domicile*. Les auteurs montrent également que c'est principalement la présence de l'insecte en lui-même (associé à la présence de nids, de chutes d'insectes) – correspondant à un effet *direct* – qui induit cette dégradation ainsi que la défoliation dans une moindre mesure.

Enfin, on peut noter que l'ampleur de la dépréciation mesurée varie d'une étude à l'autre. L'hétérogénéité des travaux analysés en termes d'espèces de ravageurs étudiés, de zones d'étude ou encore de durée d'observation ne permet pas d'effectuer une comparaison des valeurs monétaires obtenues.

Une part du corpus s'attache à identifier l'impact des insectes ravageurs forestiers sur les services récréatifs, notamment **via l'étude des préférences des visiteurs** (Arnberger *et al.*, 2017 ; Arnberger *et al.*, 2018 ; Schneider *et al.*, 2018 et Arnberger *et al.*, 2020). Arnberger *et al.* (2017 et 2020) s'appuient sur l'expérimentation par les choix et étudient les préférences des visiteurs vis-à-vis des zones visuellement impactées par l'agrile du frêne en forêt périurbaine (enquête *in situ* réalisée sur des paysages hypothétiques). Les auteurs démontrent un impact négatif de l'infestation – *via* la défoliation et la modification de la couleur du feuillage – sur la qualité récréative renseignée par les répondants par rapport à une zone forestière indemne de toute infestation. Les répondants soulignent également la plus grande qualité récréative d'une zone infestée faisant l'objet d'une gestion (coupe rase des arbres morts) par rapport à une zone infestée non gérée. Cependant, les auteurs montrent que l'impact visuel induit par une infestation n'est pas prépondérant dans la détermination de la qualité récréative d'une zone forestière. Cette dernière est d'abord déterminée par la nature du paysage visible en arrière-plan (vue uniquement sur un paysage forestier, vue sur un paysage urbain, etc.) et le niveau de fréquentation. Arnberger *et al.* (2018) et Schneider *et al.* (2019) étudient quant à eux les préférences des visiteurs vis-à-vis des zones visuellement impactées par les scolytes.

Ces deux études s'appuient également sur l'expérimentation par les choix (enquête *in situ* réalisée sur des paysages hypothétiques). A l'instar d'Arnberger *et al.* (2017 et 2020), Arnberger *et al.* (2018) démontrent un impact négatif de l'infestation sur la qualité récréative, en particulier lorsque les impacts induits par les scolytes (changement de couleur du feuillage, arbres morts) sont visibles au premier plan. L'ampleur de l'impact est d'autant plus importante que l'atteinte sur le peuplement est avancée (les premiers signes d'infestations présentent un moindre impact qu'un peuplement complètement décimé). Les auteurs mettent également en évidence une préférence des visiteurs pour les modalités de gestion de l'infestation (ex : gestion en coupe rase, absence de gestion). Par ailleurs, c'est la qualité visuelle du paysage forestier au premier plan – en lien avec l'impact induit par les scolytes – qui prédomine dans la détermination de la qualité récréative de ce dernier, devant le niveau de fréquentation.

Schneider *et al.* (2019) s'attachent à déterminer la façon dont les impacts visuels induits par les scolytes sur les paysages forestiers interfèrent avec l'expérience récréative des visiteurs. Les auteurs montrent que les impacts visuels induits par les scolytes interfèrent dans l'expérience récréative des visiteurs et ce, pour l'ensemble des plans des paysages présentés (la qualité visuelle du premier plan prédominant cependant). Les modalités de gestion d'une infestation peuvent également induire une dégradation de la qualité récréative d'un paysage : les auteurs démontrent qu'une gestion en coupe rase et sans évacuation du bois interfère avec l'expérience récréative. Enfin, Schneider *et al.* (2019) montrent également que les impacts visuels induits par les scolytes sont susceptibles d'induire un report des visites, en particulier si ceux-ci affectent le premier plan (principal facteur) ou le second plan des paysages présentés. La vue d'un peuplement décimé et de bois mort au sol au premier plan est le scénario le plus susceptible d'induire un report (68 % de report), suivi par une gestion de l'infestation en coupe rase (48 % de report), puis par le scénario d'une gestion en régénération naturelle (dans une moindre mesure). Le niveau de fréquentation est également susceptible d'induire un report des visites mais dans une moindre mesure par rapport aux impacts visuels induits par les ravageurs.

Leuschner *et al.* (1996) s'attachent à évaluer les dommages induits par le bombyx disparate quant à la fourniture de différents services écosystémiques et par ce biais visent à quantifier les bénéfices d'un programme de lutte. Les auteurs évaluent notamment la perte de valeur récréative pour les zones à haute fréquentation (campings, aires de pique-nique) en s'appuyant sur la méthode du transfert de bénéfice. Cette perte de valeur est constituée, selon les auteurs, à la fois par un renoncement à la récréation (visites « annulées ») et par un report des visites vers un site alternatif (substitution). Les auteurs quantifient la perte de valeur récréative en s'appuyant sur des données de fréquentation spécifiques aux sites d'études auxquelles ils combinent des données de CAP ainsi que des données relatives au taux d'annulation et de substitution produites dans le cadre d'une infestation par des scolytes. Enfin, Goebel *et al.* (1987) s'appuient sur une enquête *in situ* menée auprès de visiteurs du Allegheny National Forest (USA) afin d'identifier l'impact du bombyx disparate sur la récréation dans cette zone. Les auteurs rapportent la dégradation de la qualité esthétique du paysage (notamment *via* la défoliation) comme étant le premier facteur impactant négativement l'expérience récréative, suivi de près par la présence de l'insecte (*i.e.*, chute de larves sur les visiteurs).

Là encore, la diversité des espèces de ravageurs et de zones d'étude considérées ne permet pas de tirer de conclusions générales sur les dommages induits par ces insectes sur les services récréatifs. Cependant, on peut noter que les infestations par les insectes ravageurs forestiers peuvent réduire les bénéfices récréatifs retirés des écosystèmes forestiers par le biais d'effets *directs* (*i.e.*, liés à la présence des insectes en propre) et d'effets *indirects* (*i.e.*, liés aux impacts des infestations sur les arbres/peuplements). La perte de valeur

récréative peut se manifester par différents biais : maintien des visites avec altération de l'expérience récréative ou baisse de fréquentation des lieux impactés (substitution ou « annulation »).

Rosenberger et Smith (1997) et Rosenberger *et al.* (2012) conduisent une revue exhaustive de la littérature portant sur les dommages induits par les insectes ravageurs forestiers sur **les services écosystémiques culturels aux Etats-Unis et leur évaluation économique**. Sur la base de la littérature, les auteurs concluent que les insectes ravageurs forestiers impactent de manière significative le niveau et le flux de services écosystémiques culturels fournis par les écosystèmes forestiers en particulier à court terme et ce, par le biais d'effets directs et indirects. Ils soulignent que l'ampleur de la perte de service dépend d'une variété de facteurs, notamment l'état, le type et l'emplacement de la forêt, l'ampleur de l'infestation et l'espèce d'insecte impliquée. Le dommage induit par une infestation est d'autant plus important que le nombre d'usagers est grand (e.g., infestations survenant au niveau de parcs urbains, campings, etc.). Ainsi, l'ampleur des dommages devrait être plus importante dans les zones urbaines et dans les zones à l'interface ville-forêt car affectant un plus grand nombre et une plus grande diversité d'acteurs (les valeurs récréatives et immobilières pouvant être affectées). Rosenberger et Smith (1997) montrent notamment que l'impact relatif des infestations par les insectes ravageurs forestiers est plus important sur la valeur des services écosystémiques culturels dont les bénéfices sont retirés « à domicile » – cet impact se traduisant par une dégradation de la valeur des propriétés immobilières – que sur la valeur des services récréatifs ou les aménités paysagères retirés « hors domicile ».

Comme évoqué *supra* aucune des publications identifiées par le GT dans le cadre de cette revue de la littérature ne porte exclusivement sur un cas d'étude européen. Par ailleurs, aucune de ces publications ne porte sur une des espèces de chenilles urticantes sélectionnées par le GT. Par conséquent, les résultats issus de cette revue de la littérature ne peuvent être directement remobilisés dans une démarche d'évaluation propre au GT relative aux impacts induits par les infestations par les chenilles à soies urticants sur le territoire français. Néanmoins, il est possible d'en déduire des axes d'analyse pertinents :

- Tout d'abord, la littérature existante démontre la pertinence de s'interroger sur les impacts potentiels de ces infestations sur une variété de services écosystémiques culturels : aménités paysagères, récréation, cadre de vie et la capitalisation de ces impacts à travers les prix de l'immobilier. Évaluer les dommages associés en termes économiques, nécessiterait dans un premier temps de déterminer les effets directs (ceux liés à la présence de l'insecte) et indirects (ceux liés aux modifications induites sur les arbres et peuplements) liés aux infestations. A titre d'illustration et étant donné le caractère urticant des chenilles et de leurs nids ainsi que le transport des soies urticantes par le vent, on pourrait s'attendre à ce que des effets directs (potentiellement plus importants que ceux constatés dans la littérature) soient associés à ces espèces.
- Dans un second temps, il s'agirait d'étudier les préférences des usagers/bénéficiaires de ces services vis-à-vis de ces différents effets et d'en déduire la perte de valeur économique induite par les infestations en considérant la diversité des milieux potentiellement impactés (par exemple, zones urbaines, périurbaines ou rurales).

5.4.4 État des connaissances de terrain sur l'impact des chenilles à poils urticants sur les services écosystémiques culturels

Le GT a recueilli des données auprès d'acteurs de terrain⁶² dans des zones concernées par la présence de la processionnaire du pin et/ou du chêne (régions Île-de-France et Grand Est) afin d'apprécier qualitativement et quantitativement l'impact de la présence de chenilles à poils urticants sur la capacité des populations à bénéficier des espaces verts et forestiers dans le cadre d'activités de loisirs.

F.X. Saintonge, l'expert du DSF, auditionné par le GT a fourni une évaluation qualitative de l'impact des chenilles sur la fréquentation des forêts ; il a jugé ce dernier significatif pour la processionnaire du chêne mais moindre pour la processionnaire du pin.

Pour la région Grand Est, des courriers de parlementaires⁶³ ont été identifiés par le GT. Ces derniers évoquent des impacts sanitaires, écologiques, économiques et touristiques induits par la CPC ainsi que la mise en œuvre d'une diversité de mesures de gestion du risque :

- Signalements de la présence de la CPC ;
- Mesures d'interdiction d'accès : « interdire l'accès aux piétons et cyclistes à des rues, parcs et jardins, à des aires de jeux ou terrains de sport ou encore l'accès aux cours d'école pour les enfants ».

L'impact sur les secteurs du tourisme, de la restauration et les activités de nature est également souligné. Ces derniers se trouvant impactés par les infestations « qui nécessitent parfois la fermeture de certains sites, de terrasses voire l'annulation des activités de plein air » en particulier pendant ou à l'approche des congés scolaires estivaux.

Le GT a pu documenter la mise en œuvre de mesures de restriction d'accès aux milieux forestiers pour la région Grand Est (pour la partie anciennement Lorraine) pour les années 2019 à 2021 (voir Table A - 2 en Annexe 10). En 2019, des arrêtés d'interdiction de fréquentation des forêts communales ont été mis en œuvre dans trois communes de Moselle à partir de fin juin/début juillet. Les dates de fin d'interdiction n'ont pas pu être collectées, néanmoins la collecte de quelques arrêtés d'abrogation indique que de telles mesures sont mises en place pour la totalité de la saison estivale (ex : abrogation de l'arrêté d'interdiction de fréquentation de massif en date du 7 octobre 2020 pour la Commune de Remoncourt ; le 2 février 2021 pour la commune de Châtel-sur-Moselle ; un courrier issu des services juridiques de la préfecture des Vosges, recueilli par ailleurs, conseille de fixer une date de fin des arrêtés au 31 août, fin de la saison des chenilles). Les arrêtés d'interdiction de fréquentation peuvent être pris pour des zones plus restreintes (ex : Commune de Montbronn ayant pris un arrêté pour le parcours de santé en 2019). Les acteurs de terrain ont signalé que de tels arrêtés n'ont plus été mis en œuvre en Moselle depuis 2019. Par ailleurs, la mise en œuvre de vingt-huit arrêtés similaires a été communiquée par la préfecture des Vosges pour 2020 (voir également Figure 29). Quatre arrêtés ont été dénombrés en 2021 pour ce même département. Ces arrêtés portent le plus souvent sur la fréquentation des forêts communales dans leur ensemble.

⁶² Le GT a contacté les unités territoriales de l'ONF dans les départements de la Meurthe et Moselle, la Meuse, la Moselle, la Seine et Marne et les Vosges. Il a également pris attache auprès de la DRAAF Grand Est, la DDT Seine et Marne, les ARS Île de France et Grand Est ainsi que la préfecture des Vosges.

⁶³ Courrier de la sénatrice de Moselle, Catherine Belrhiti en date du 24 juin 2021 ainsi que le courrier du député de la Moselle, Fabien Di Filippo, en date du 23 juin 2021, adressés au préfet de la Moselle.

Les considérants des arrêtés évoquent les motifs de santé et sécurité publiques au regard de la présence de CPC et des effets de santé qu'elles peuvent induire chez l'Homme et les animaux domestiques. Certains arrêtés évoquent également le principe de précaution.

Il semble que ce type de mesures ne soit pas mis en œuvre hors de la région Grand Est. Une consultation des acteurs de terrain a notamment été conduite pour le département de la Seine et Marne. Ces derniers ont signalé qu'aucun arrêté visant à fermer les massifs forestiers à la fréquentation n'a été mis en œuvre au cours des dernières années. Seuls les services de l'ONF ont rapporté avoir fermé temporairement les parkings de la forêt domaniale de Villefermoy (incluse dans le massif historiquement le plus touché par les infestations par les chenilles urticantes dans ce département) et ce à plusieurs reprises depuis 2017.

Le GT n'a pas recueilli de données sur les arrêtés portant sur des zones non-forestières.

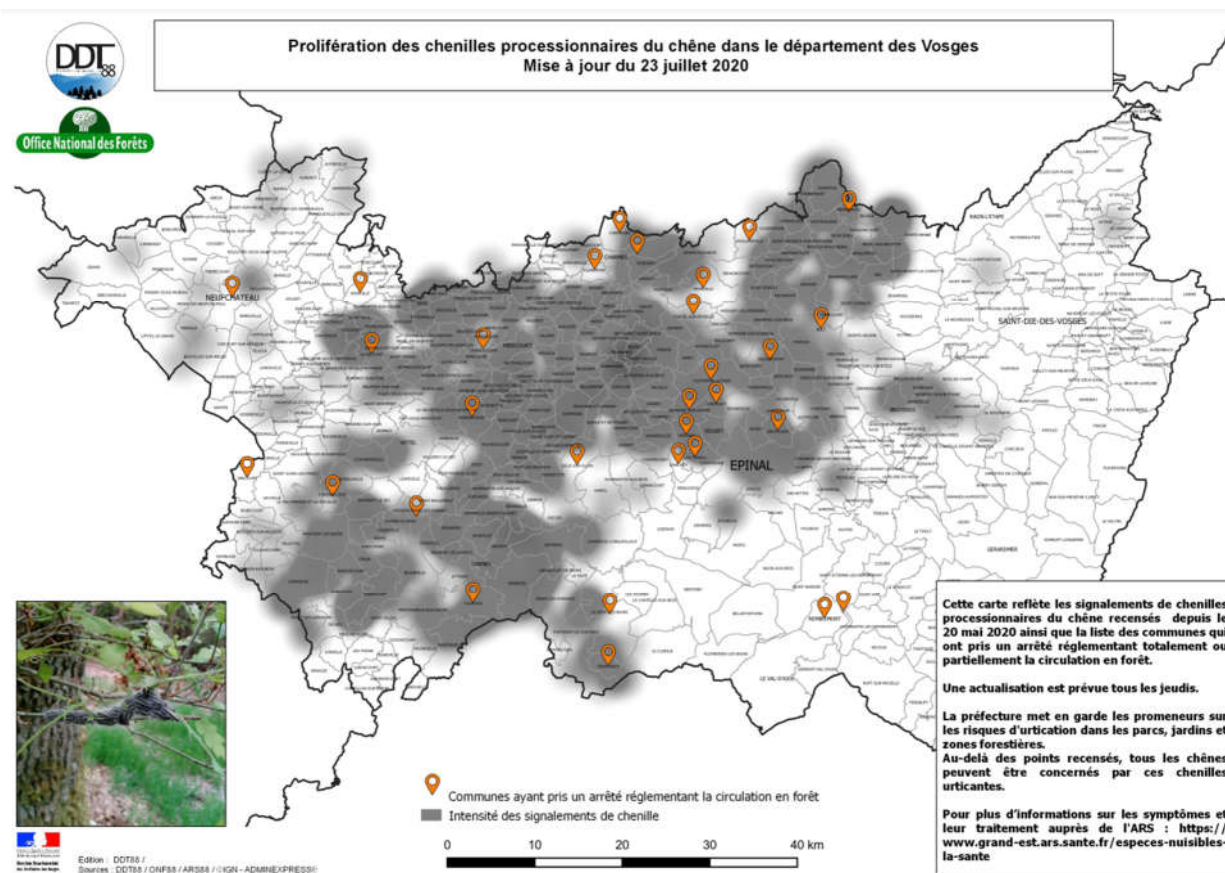


Figure 29 : Cartographie des signalements et arrêtés d'interdiction de fréquentation de massifs dans les Vosges en 2020

5.4.5 Évaluation économique de l'impact de la mise en œuvre d'arrêtés d'interdiction de fréquentation de massifs forestiers

Comme indiqué *supra*, les publications en évaluation économique examinées par le GT portent exclusivement sur l'évaluation des dommages induits par les infestations par des insectes ravageurs forestiers sur les services écosystémiques culturels (éventuellement la gestion sylvicole de ces impacts) et non pas sur la mise en place de mesures de gestion visant directement la maîtrise de la fréquentation récréative, telles que rapportées par les acteurs de

terrain. En effet, comme évoqué dans la section 5.4.4, des arrêtés d'interdiction de fréquentation des massifs forestiers ont été mis en place dans la région e Grand Est entre 2019 et 2021 à des fins de santé publique et plus particulièrement en 2020 **au cours de la saison estivale** dans le département des Vosges. La mise en place de telles mesures de gestion induit également une perte de valeur récréative puisque – de façon similaire aux effets évoqués dans la littérature – elle peut conduire soit à un report de la visite dans d'autres sites à l'accès non-restreint, soit à un renoncement complet à la visite ou encore à un report dans le temps de la visite du même site. **Le GT a entrepris d'évaluer la perte de valeur récréative induite par la mise en œuvre des arrêtés d'interdiction de fréquentation de massif recensés dans le Tableau A - 2 (Cf. Annexe 10) mis en œuvre dans les Vosges en 2020.**⁶⁴

5.4.5.1 Méthode

L'évaluation de la perte de valeur récréative induite par ces arrêtés nécessite dans un premier temps de déterminer la fréquentation annuelle des zones forestières concernées dans un scénario de référence (*i.e.*, sans mise en œuvre de ces arrêtés). L'estimation de cette fréquentation repose sur trois éléments principaux : la définition et la cartographie d'unités forestières⁶⁵ cohérentes, la population adulte dans les communes avoisinantes des unités forestières étudiées⁶⁶ et un modèle statistique qui estime la probabilité qu'une unité forestière donnée soit visitée par un individu adulte depuis une commune donnée. La probabilité de visiter une unité forestière spécifique est estimée en fonction des caractéristiques de cette dernière, de la distance routière entre cette unité forestière et l'emplacement de la mairie de chaque commune avoisinante ainsi que des unités forestières à proximité pouvant être visitées de façon alternative. Ce modèle a été estimé dans le cadre d'un projet d'évaluation des usages récréatifs des forêts en France métropolitaine, financé par le Ministère de la transition écologique. Les résultats de ce projet sont rapportés de façon exhaustive dans le rapport intitulé « Les usages récréatifs des forêts métropolitaines – Un état des lieux des pratiques et des enjeux » (Abildtrup *et al.* (2021)).

Le modèle statistique évoqué *supra* est basé sur un modèle dit d'utilité aléatoire (McFadden, 1974) estimé à partir des choix observés d'un échantillon de 1 939 usagers des forêts en France métropolitaine (trois vagues d'enquêtes réalisées entre 2016 et 2018). Le Tableau 18 liste les caractéristiques des unités forestières (variables de la colonne 1) influençant l'utilité (*i.e.*, la satisfaction) retirée d'une visite dans une forêt spécifique ainsi que l'effet associé (coefficient en colonne 2). Un coefficient positif implique que la caractéristique correspondante influence positivement l'utilité retirée d'une visite tandis qu'un coefficient négatif implique un effet négatif sur l'utilité. A titre d'illustration, l'éloignement d'une forêt vis-à-vis de la commune de résidence du visiteur – cette distance étant associée à un coût de déplacement élevé lié à la visite – réduit l'utilité issue de la visite de cette même forêt car le temps et l'argent mobilisés pour s'y rendre auraient pu être utilisés à d'autres fins procurant

⁶⁴ Le GT souligne qu'il s'agit ici de l'évaluation économique de l'impact associé à la mise en œuvre d'une mesure de gestion du risque sanitaire que représentent les arrêtés d'interdiction d'accès aux forêts. Les travaux ne relèvent pas d'une évaluation *ex ante* des impacts associés à plusieurs options concurrentes pour la gestion du risque.

⁶⁵ Les unités forestières sont définies et cartographiées à partir de la base de données Forêt de l'IGN. Le critère sous-tendant la définition d'une unité forestière est celui d'un couvert forestier continu. Toutefois, une unité forestière peut inclure des surfaces correspondant à d'autres types d'usages du sol (*i.e.*, eau, prairies, etc.). Aussi, la somme des surfaces des unités forestières peut être supérieure à la surface forestière en France.

⁶⁶ Ici, on considère qu'un individu peut se rendre dans les unités forestières se situant dans un rayon de 50km autour de sa commune de résidence (voir Tableau A – 4, Annexe 12 pour une discussion de cette hypothèse). Ainsi, la mise en œuvre des arrêtés dans le département des Vosges peut impacter la pratique récréative d'individus résidants *en dehors du département* dans un rayon de 50km des forêts concernées.

également une utilité positive. Par ailleurs, les résultats d'estimation figurant au Tableau 21 montrent que les usagers des forêts préfèrent se rendre dans des forêts présentant une surface importante : en effet, le coefficient associé à la superficie forestière est positif⁶⁷.

Tableau 18 : Estimation de la fonction d'utilité liée à la fréquentation récréative des forêts

Variable	Coefficient	Ecart-type	P-value	Significativité
Coût de la visite (Euros)	-2.17E-01	4.70E-03	<0.0000	***
Surface de l'unité forestière (hectares, en logarithme)	1.06E+00	2.64E-02	<0.0000	***
Longueur des sentiers (km)	1.05E+01	1.17E+00	<0.0000	***
Plan d'eau dans ou à 50m de l'unité forestière	1.53E-04	4.37E-05	0.0005	***
Altitude moyenne (en mètres)	5.60E-04	2.06E-04	0.0065	**
Forêt domaniale (%)	1.72E-02	1.09E-03	<0.0000	***
Forêt communale (%)	9.47E-03	1.59E-03	<0.0000	***

Niveau de significativité : *** : 0,001, ** : 0,01, * : 0,05, . : 0,1

Source: Abildtrup et al. (2021) Tableau A19, p132

Abildtrup *et al.* (2021) fournissent une présentation détaillée de la méthode d'estimation et des hypothèses sous-jacentes (voir en particulier Abildtrup *et al.*, 2021 : Partie 4 et Annexe 12). Néanmoins, les principales hypothèses dont l'explicitation est nécessaire au lecteur de ce rapport afin d'assurer une bonne compréhension des résultats et des interprétations associées sont présentées dans le Table A - 4 en Annexe 12. Il faut noter que le modèle mobilisé dans le cadre de ce travail a été initialement développé dans le but de produire des valeurs tutélaires pour l'usage récréatif des forêts pour l'ensemble du territoire français métropolitain. Cet objectif d'estimations à large échelle a bien entendu conditionné les hypothèses de travail considérées dans le cadre du projet Efese (Abildtrup *et al.*, 2021), en particulier pour alléger le temps de calcul à une échelle « France entière ». Ces mêmes hypothèses sont donc reprises pour la présente expertise et ce malgré la différence d'échelle, ces dernières ne pouvant être adaptées et le modèle ré-estimé dans le temps imparti au traitement de la présente saisine. A l'examen du Tableau 18 A - 4 le lecteur constatera que ces dernières induisent globalement une surestimation de perte de valeur récréative associée à la mise en œuvre des arrêtés d'interdiction de fréquentation de massifs. Ces hypothèses reflètent cependant la réalité des comportements et induisent une incertitude liée à l'estimation pouvant être considérée comme modérée.

Ainsi, le modèle d'utilité présenté *supra* permet d'estimer la fréquentation à visée récréative à l'échelle *d'unités forestières*. Ces unités forestières constituent, sur le plan spatial, les briques de base du modèle estimé par Abildtrup *et al.* (2021). Une unité forestière correspond à un espace forestier continu d'une surface minimum de 25 hectares pouvant être

⁶⁷ La variable correspondant à la superficie des forêts a été intégrée au modèle après transformation logarithmique, cette dernière permettant un meilleur ajustement aux données. Ceci qui implique que l'effet marginal positif sur l'utilité lié à la superficie diminue lorsque celle-ci s'accroît.

caractérisé notamment sous l'angle des variables listées au Tableau 18 (voir Abildtrup *et al.*, 2021 ; Cf. Partie 4, sections 1.1 et 1.2 pour une description précise de la définition spatiale et de la caractérisation des unités forestières).

Comme évoqué précédemment, estimer la perte de valeur récréative induite par la mise en place des mesures de gestion étudiées nécessite dans un premier temps de rattacher le périmètre d'application de ces dernières à un ensemble d'unités forestières. Concernant leur périmètre d'application, ces arrêtés sont le plus souvent mis en œuvre au niveau de la forêt communale (ou forêt sur le territoire communal dont le nom a été spécifié). Cependant, certains arrêtés sont mis en œuvre sur des périmètres dont les contours n'ont pas été spécifiés (13 arrêtés parmi les 37 considérés) et 5 des arrêtés communiqués concernent d'autres périmètres que celui de la forêt communale (parcours de santé pour 4 arrêtés, territoire communal pour l'un d'entre eux). En l'absence d'information sur le périmètre d'application (voir Table A - 2 : Arrêtés d'interdiction de fréquentation de massif mis en œuvre entre 2016 et 2021 en région Grand Est, lieu d'application « non-spécifié » ; Cf. Annexe 10) on fait l'hypothèse d'un arrêté s'appliquant à l'ensemble des forêts localisées sur le territoire de la commune prenant l'arrêté (par abus de langage, on utilise le terme de « forêt communale » dans la suite de ce rapport). Par ailleurs, l'impact des arrêtés mis en œuvre à l'échelle du territoire communal ou d'un parcours de santé sont analysés à l'échelle de la ou des unités forestières correspondantes déterminées par un repérage visuel. Ainsi, il est important de souligner que **le modèle développé par Abildtrup *et al.* (2021) ne permet pas d'évaluer la perte récréative induite par la mise en œuvre de ces interdictions de fréquentation des massifs forestiers selon leur périmètre spatial exact.** En effet, le périmètre d'une forêt communale peut être situé dans une ou plusieurs unités forestières au sens d'Abildtrup *et al.* (2021). L'évaluation de la perte récréative a donc été réalisée selon deux scénarios :

- **Un scénario « maximum »** considérant que l'interdiction de fréquentation touche toutes les unités forestières (au sens d'Abildtrup *et al.*, 2021) dont le périmètre géographique coïncide au moins en partie avec le périmètre géographique de la forêt communale concernée (même si cela représente une faible part de la superficie de cette unité forestière). Ce scénario conduit à identifier 76 unités forestières concernées par les arrêtés mis en œuvre en 2020 dans les Vosges (unités forestières repérées en violet clair et en violet foncé sur la Figure 31) ;
- **Un scénario « minimum »** considérant que l'interdiction de fréquentation touche les seules unités forestières dont le périmètre géographique coïncide *totalemment* avec celui de la forêt communale concernée. Si cette approche ne permet d'identifier aucune unité forestière, on considère que l'interdiction de fréquentation touche l'unité forestière dont le périmètre géographique présente l'intersection la plus importante avec le périmètre géographique de la forêt communale concernée. Ce scénario conduit à identifier 36 unités forestières concernées par les arrêtés mis en œuvre en 2020 dans les Vosges (unités forestières repérées en violet foncé sur la Figure 30).

Ainsi, la perte de service sera estimée à l'échelle de l'unité forestière et fournira une *approximation* de la perte de service induite par ces mesures de gestion.

Le Tableau A - 3 en Annexe 11 établit la correspondance entre les forêts communales et les unités forestières concernées par la mise en œuvre des arrêtés d'interdiction de fréquentation étudiés. Cette correspondance est établie « à la main » par repérage visuel. Les unités forestières récréatives concernées par la mise en œuvre d'arrêtés d'interdiction de fréquentation sont représentées en Figure 30 et Figure 31. Une fois les forêts communales rattachées à une ou plusieurs unités forestières, il est possible de déterminer la fréquentation

annuelle correspondante selon un scénario de référence (*i.e.*, sans mise en œuvre de mesures de restriction de fréquentation). On peut ensuite simuler la mise en œuvre des mesures de gestion et en déduire la perte de valeur récréative induite. Celle-ci est évaluée à l'aune de la perte d'utilité associée à l'impossibilité d'accéder aux forêts concernées, mesurée en termes de surplus individuel (calculé comme le produit du consentement à payer individuel et du nombre de visites). **Il est à noter qu'il s'agit ici de la perte d'utilité liée à l'impossibilité d'accéder à une forêt dans sa condition « normale » et non de la perte liée à la fermeture d'une forêt infestée, dont la fréquentation présenterait un risque pour la santé humaine ou une qualité récréative réduite en lien avec la présence de chenilles à poils urticants.** En effet, en s'appuyant sur la revue de la littérature exposée à la section précédente, on peut faire l'hypothèse d'un niveau d'utilité plus faible associé à la fréquentation d'une forêt infestée. En sus des hypothèses présentées dans le Tableau 18 Table A - 4 (Cf. Annexe 12), relatives au modèle développé par Abildtrup *et al.*, le Tableau 19 expose les hypothèses associées à la démarche d'évaluation spécifique au GT.

L'estimation de la perte de valeur récréative est basée sur un scénario considérant la mise en œuvre des arrêtés *de manière simultanée* sur l'ensemble des unités forestières rattachées aux forêts communales. La formule suivante est utilisée pour l'estimation de la perte d'utilité – mesurée *via* la différence de CAP – pour une visite en forêt, ΔWTP_n pour l'individu n (voir le Abildtrup *et al.* (2021) pour la notation et l'obtention de cette formule ; voir également Bockstael et McConnell (2007, p113)) :

$$E[\Delta WTP_n] = \frac{\ln[\sum_{j \in CS} \exp(x_j \beta + \gamma p_{nj})]}{-\gamma} - \frac{\ln[\sum_{j \in CS-k} \exp(x_j \beta + \gamma p_{nj})]}{-\gamma}$$

où k représente ici l'ensemble des forêts fermées exclues de l'ensemble de choix de l'individu n , noté CS . On calcule donc ici, en espérance, la différence de CAP entre la possibilité d'accéder à l'ensemble de choix complet CS et le CAP associé à la possibilité d'accéder à un ensemble de choix réduit (CS_k) dont sont exclues les unités forestières où s'appliquent les arrêtés. Pour rappel, l'ensemble de choix est spécifique à chaque municipalité, les individus étant rattachés à une commune de résidence.

Tableau 19 : Hypothèses clés pour l'évaluation de la perte récréative induite par les arrêtés d'interdiction de fréquentation de massifs

Hypothèse	Implications
La fréquentation récréative est considérée constante au cours de l'année et l'évaluation ne considère pas de substitution temporelle (un visiteur potentiel ne se rendra pas plus souvent en forêt hors période d'arrêtés afin de compenser la période d'interdiction de fréquentation)	La perte de valeur récréative liée à la mise en œuvre des mesures de gestion est calculée comme le produit de la perte annuelle et la part de l'année au cours de laquelle les mesures sont appliquées.
Le nombre de visites étant estimé à l'échelle de l'unité forestière, on considère que l'ensemble de l'unité forestière, qui comprend la forêt municipale faisant l'objet d'une restriction d'accès fait l'objet d'une restriction d'accès dans son ensemble	Cela induit une surestimation de la perte récréative totale liée à la mise en œuvre des arrêtés considérés, car la surface de forêts fermées est plus importante en considérant l'échelle de l'unité forestière. Cette hypothèse peut également induire une surestimation de la perte récréative par hectare en raison de la réduction des possibilités de substitution. L'impact de cette hypothèse a été évalué par le biais de la mobilisation de deux scénarios « minimum » et « maximum ».

Hypothèse de report des visites (substitution entre sites récréatifs) : Le nombre de visites en forêt est considéré constant et indépendant de la mise en œuvre d'arrêtés pour un individu adulte

On fait l'hypothèse que la mise en œuvre d'arrêtés n'affecte pas le nombre de visites annuelles effectuées par un individu adulte. Ainsi en période d'arrêtés, les usagers se rendent dans des forêts non concernées par les restrictions et la perte estimée évaluée est celle liée au fait d'avoir accès à un ensemble de choix plus restreint. Cependant, en période d'arrêtés l'utilité liée au fait de rester chez soi (renoncer à la visite) peut être plus élevée que celle liée à la visite d'une forêt alternative.

5.4.5.2 Résultats – Perte de bien-être induite par la mise en œuvre d'arrêtés d'interdiction de fréquentation de massifs forestiers dans les Vosges en 2020

Les résultats d'estimation de la perte de valeur économique (*i.e.*, coût) induite par la mise en œuvre des arrêtés décrits *supra* sont présentés dans le Tableau 20. Ce coût est estimé par visite et par commune pour une année. Comme explicité précédemment, il correspond à la différence en termes de CAP pour les visites effectuées entre un scénario non contraint (les visiteurs peuvent se rendre dans la forêt de leur choix) et le scénario de mise en œuvre des arrêtés pour lequel les visiteurs ont un choix contraint en termes de forêt visitée. En effet, comme évoqué à la section précédente, on fait l'hypothèse que la mise en œuvre des arrêtés induit un report des visites des forêts fermées vers d'autres forêts et non un renoncement à se rendre en forêt (*i.e.*, hypothèse de substitution). Les résultats sont également présentés dans les Figure 30Figure 31 et Figure 31Figure 32 qui restituent respectivement la perte moyenne de CAP par visite à l'échelle de la commune pour le scénario minimum et le scénario maximum. Dans le scénario maximum, la perte se situe entre 0 et 2,77 euros par visite. Le coût le plus élevé est supporté logiquement par les communes présentant de nombreuses unités forestières touchées par un arrêté à leur proximité. La perte moyenne est de 0,21 euro par visite alors que la médiane est de 0,01 euro par visite. Cette perte faible s'explique par le fait que la plupart des communes et résidents considérés dans le cadre de cette analyse vivent à distance des forêts touchées par un arrêté. La perte moyenne par visite dans le scénario minimum est d'environ un quart de la perte dans le scénario maximum.

La perte moyenne par commune est de 1 905 euros par an dans le scénario maximum. Les coûts totaux annuels par commune correspondent au produit du nombre total de visites annuel effectué par la population *adulte* de la commune⁶⁸ et de la diminution du CAP par visite calculé pour cette commune. La valeur maximale dans le scénario maximum est de 541 606 euros par an, estimée pour la ville d'Epinal. Cette dernière est la plus importante ville des Vosges en termes de population et compte un nombre important de forêts touchées par un arrêté à proximité.

⁶⁸ Un Français (en tenant compte aussi des non-visiteurs) visitera une forêt 21,7 fois dans l'année. Le nombre moyen de visites d'un Français est calculé comme le produit du nombre de visites par visiteur et du pourcentage de la population qui a visité une forêt dans les 12 derniers mois : $31,2 \times 69,5 \% = 21,7$ (voir Abildtrup et al. 2021 pour le détail de l'estimation).

Tableau 20 : Perte annuelle de bien-être induite par la mise en œuvre d'arrêtés d'interdiction de fréquentation de massifs forestiers dans les Vosges en 2020 par visite et par commune

Scénario	Résultats	Moyenne (€)	Médiane (€)	Minimum (€)	Maximum (€)
Maximum	Perte par visite	0,206	0,011	0	2,768
Maximum	Perte par commune	1 905	52	0	541 606
Minimum	Perte par visite	0,052	0,004	0	0,705
Minimum	Perte par commune	635	16	0	273 843

Le Tableau 21 présente la perte totale de bien-être induite par la fermeture de 15 351 ha (36 unités forestières) dans le scénario minimum et de 46 950 ha (76 unités forestières) dans le scénario maximum. La perte annuelle totale de valeur économique induite par la mise en œuvre de ces arrêtés se situe donc entre 1,9 et 5,8 millions d'euros pour le scénario minimum et le scénario maximum, respectivement. **Cependant, comme évoqué dans la section 5.4.4., ce type de mesure n'est en général mis en œuvre qu'au cours de la saison estivale. On peut donc estimer que la perte de valeur économique en résultant se situe entre 490 000 € et 1,5 million € (en la ramenant sur une période de 3 mois) pour le scénario minimum et maximum respectivement (voir Tableau 21, dernière colonne).**

Tableau 21 : Perte annuelle totale de bien-être induite par la mise en œuvre d'arrêtés d'interdiction de fréquentation de massifs forestiers dans les Vosges en 2020

Scénario	Nombre d'unités forestières dans les Vosges	Nombre de visites en forêt dans les Vosges	Nombre d'unités forestières concernées par un arrêté	Surface forestière fermée à l'accès (ha)	Perte moyenne (€/ha)	Perte annuelle totale (€)	Perte totale – fermeture estivale
Maximum	750	10 194 474	76	46 950	124	5 840 833	1 460 208
Minimum	750	10 194 474	36	15 351	127	1 947 671	486 918

Dans un but d'analyse de sensibilité, le Tableau 22 compare la perte de bien-être induite par la mise en œuvre des arrêtés d'interdiction de fréquentation de massif avec et sans report des visites vers d'autres sites récréatifs. Dans le second cas, la mise en œuvre des arrêtés induits un renoncement à se rendre en forêt chez les individus qui se seraient rendus dans l'une des forêts concernées (ces individus restent chez eux au lieu de se rendre dans une autre forêt, non concernée par un arrêté). Pour calculer la perte de bien-être sans substitution, on se base sur le CAP moyen pour une visite en forêt en France à des fins de loisirs estimé par Abildtrup *et al.* (2021). Ce CAP est de 17,40 euros/visite si l'on tient compte uniquement des coûts de déplacement directs et de 37,58 euros/visite si l'on tient également compte du coût d'opportunité du temps⁶⁹ (COT). La perte totale est alors calculée par le produit du nombre de visites effectuées dans les forêts concernées par la mise en œuvre des arrêtés dans un scénario de référence (*i.e.*, sans mise en œuvre de mesures de restriction de fréquentation) et du CAP moyen pour une visite (*i.e.*, 17,40 € ou 37,58 €). On constate que la perte de valeur

⁶⁹ Le coût d'opportunité du temps désigne la valeur du temps passé à effectuer le trajet pour un individu. D'une manière générale, ce coût est approché par le salaire horaire.

économique induite par la mise en œuvre des arrêtés d'interdiction de fréquentation de massif est plus élevée lorsque l'on ne tient pas compte des possibilités de substitution.

Tableau 22 : Perte annuelle de bien-être totale induite par la mise en œuvre d'arrêtés d'interdiction de fréquentation de massifs forestiers dans les Vosges en 2020 avec et sans report des visites vers d'autres sites récréatifs

Scénario	Avec substitution		Sans substitution	
	Perte annuelle totale (€)	Nombre de visites impactées	Valeur d'une visite sans COT 17,40 €/visite (Euros)	Valeur d'une visite avec COT 37,58 €/visite (Euros)
Maximum	5 840 833	1 154 802	20 093 550	43 397 449
Minimum	1 947 671	409 007	7 116 728	15 370 497

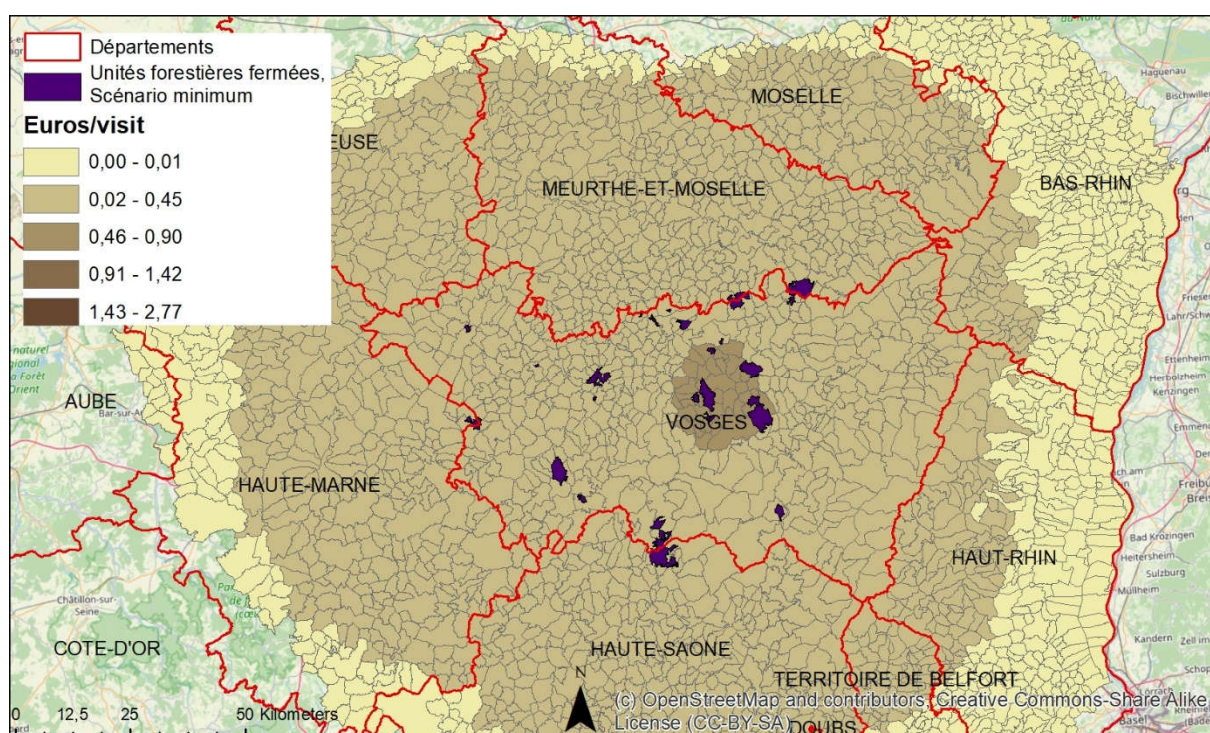


Figure 30 : Perte moyenne de CAP par visite à l'échelle de la commune - Scénario minimum

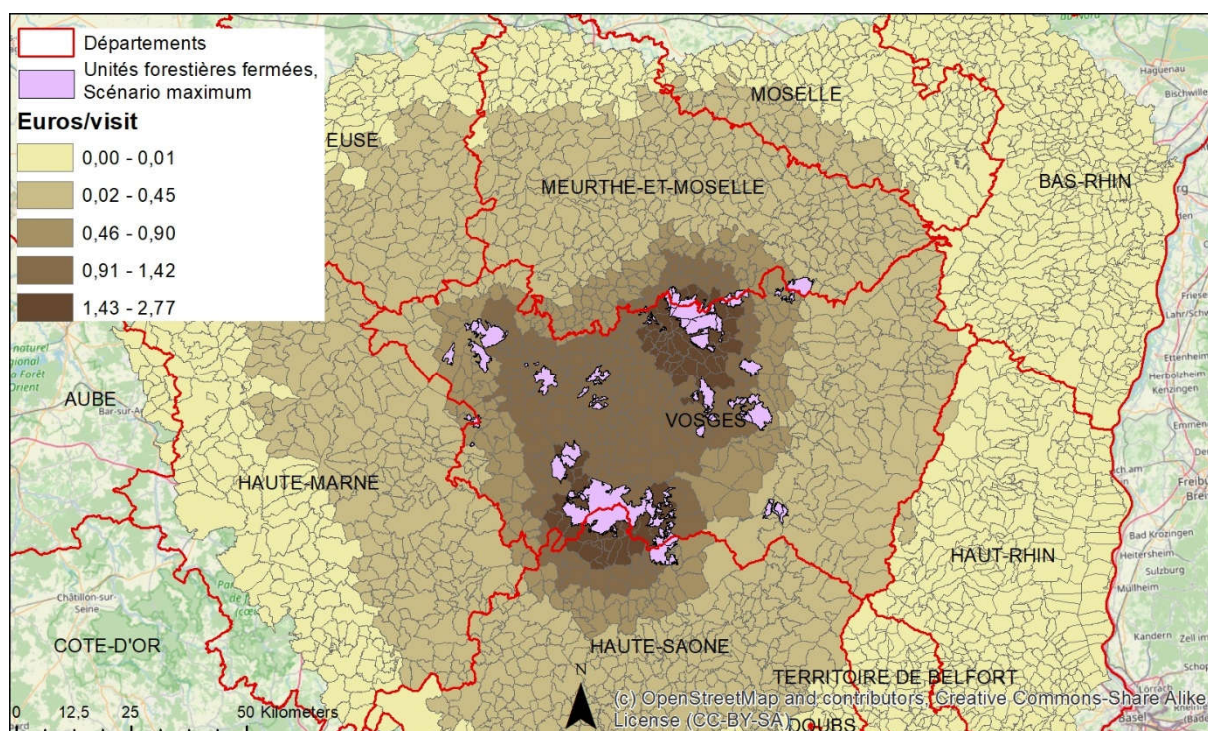


Figure 31 : Perte moyenne de CAP par visite à l'échelle de la commune - Scénario maximum

5.4.5.3 Discussion et conclusion

Replacée dans une perspective d'aide à la décision publique, l'analyse conduite dans le cadre de la présente expertise fournit une quantification de la perte récréative associée à la mise en œuvre « en pratique » de mesures de gestion du risque associé aux chenilles à poils urticants et ce, en termes biophysiques (*i.e.*, nombre de visites en forêt affectées) et en termes monétaires. **Néanmoins, il convient de souligner que cette analyse ne permet pas de juger du caractère justifié ou non de la mise en œuvre de telles mesures d'un point de vue sociétal. En effet, une telle démarche nécessiterait de mener plusieurs analyses complémentaires.** Une première étape consisterait en la quantification du coût social (*i.e.*, le coût imposé à la société) de la présence des chenilles à poils urticants pour le même périmètre d'analyse, c'est-à-dire les forêts concernées par ces arrêtés en dehors de toute mesure de gestion du risque (*i.e.*, scénario de référence). Ce coût social correspond d'une part à la perte de valeur récréative induite par la présence des chenilles en elle-même : comme évoqué dans la section 5.4.3, cette présence peut directement (crainte liée à la présence des chenilles et des soies urticantes, dégradation esthétique liée à la présence des nids, etc.) et indirectement (impact esthétique des défoliations et/ou de la gestion sylvicole associée) affecter négativement la qualité de l'expérience récréative. Ce coût est un *coût privé* supporté par les individus fréquentant les forêts concernées pour leurs loisirs. Le coût social comprend également les impacts en santé (humaine et animale) induits par la fréquentation de ces forêts infestées. Ce coût est en partie supportée par l'Assurance Maladie *via* notamment la prise en charge des dépenses de santé éventuellement associées aux impacts (voire des arrêts de travail) mais également en partie par les individus eux-mêmes (notamment *via* le reste à charge). C'est sur la base du coût social mesuré dans le cadre de ce scénario de référence que la pertinence de la mise en œuvre des arrêtés pourrait être discutée : il s'agirait de comparer leur coût de mise en œuvre (*i.e.*, associé à leur mise en œuvre opérationnelle mais

également à la perte récréative induite) aux bénéfices engendrés, ces derniers correspondant aux impacts en santé évités et au coût associé dans le scénario de référence. Il serait par ailleurs d'intérêt de considérer et d'analyser d'autres mesures de gestion alternatives induisant notamment un niveau de contrainte moindre sur les usagers, telles que la fourniture d'information aux usagers des forêts sur les zones ou périodes de fréquentation à éviter.

Il convient en outre de rappeler les limites de l'exercice d'évaluation conduit dans le cadre de la présente expertise. Le modèle mobilisé induit une surestimation de la perte récréative induite par la mise en œuvre des arrêtés d'interdiction de fréquentation de massifs en raison des hypothèses sous-tendant celui-ci et plus particulièrement du fait que ce modèle caractérise le niveau de satisfaction associé à une visite en forêt *indépendamment de toute perturbation spécifique*. Aussi, la perte récréative quantifiée *supra* correspond à la perte induite par l'impossibilité de se rendre dans sa forêt de prédilection en « condition normale » *i.e.* sans considérer le fait que la qualité récréative de cette dernière ait été dégradée par la présence de chenilles à poils urticants. Conduire une étude des préférences des usagers des forêts vis-à-vis de ces insectes et de leur impact sur la qualité récréative des espaces forestiers permettrait de pallier cette limite. Enfin, il convient également de souligner que seule la fréquentation des forêts par les résidents « à l'année » des communes avoisinantes est prise en compte dans le cadre de la présente analyse. Le modèle mobilisé, tel qu'il est construit, ne permet pas de capturer la fréquentation touristique des forêts ni celle associée aux résidences secondaires (par exemple, maisons de campagne, etc.). En sus de la perte récréative associée à la visite de forêts alternatives par une population touristique, on pourrait en effet s'interroger sur l'effet de la présence des chenilles sur d'autres dépenses touristiques et les éventuelles pertes associées (par exemple, renoncement au séjour en raison d'un effet de réputation).

5.5 Conclusion

La saisine portait sur une « description des conséquences de la présence des espèces de [chenilles à poils urticants] sur la biodiversité ». Les espèces de Lépidoptères qui font l'objet de la présente saisine sont des espèces indigènes, le GT a par conséquent considéré qu'il serait difficile de documenter l'impact de ces espèces en matière de biodiversité. En effet, à la différence d'espèces exotiques envahissantes, il n'est pas possible d'évaluer ces impacts sur la base d'une comparaison entre une situation de référence (sans présence de l'espèce) et une situation dans laquelle l'espèce est présente. Par ailleurs, l'impact des Lépidoptères sur la biodiversité (biodiversité forestière ou comme source d'alimentation pour d'autres espèces animales) demeure mal documenté. Toutefois, l'activité défoliatrice des chenilles qui sont phytophages, affectant le fonctionnement des écosystèmes, les chenilles sont aussi susceptibles d'impacter *in fine* les bénéfices retirés de ces derniers par les populations humaines. Le GT a ainsi décidé de se focaliser sur les impacts de la présence des chenilles en matière de fourniture de services écosystémiques. Le GT a ainsi mobilisé le concept de « perturbation forestière »⁷⁰ et des développements méthodologiques issus de l'évaluation économique des services écosystémiques pour décrire de la manière la plus exhaustive possible et quantifier – lorsque cela était possible – les impacts de la présence des chenilles

⁷⁰ Cette notion est définie par la Food and Agriculture Organization (FAO) comme « une perturbation provoquée par un facteur (biotique ou abiotique) qui lèse la vigueur et la productivité de la forêt et qui n'est pas le résultat direct d'activités humaines ». Par ailleurs, dans son document cadre pour l'évaluation des ressources forestières mondiales pour l'année 2020, la FAO rappelle également que ces perturbations peuvent réduire la capacité des forêts à « fournir une gamme complète de biens et de services écosystémiques » (FAO, 2018).

urticantes sur l'environnement. L'accent a principalement été mis sur l'analyse de trois services écosystémiques :

- la production sylvicole ;
- la régulation du climat global par le stockage de carbone atmosphérique ;
- les services récréatifs et le cadre de vie offerts par les paysages forestiers.

Concernant l'évaluation de l'impact des défoliations induites par la CPC sur la production de bois, le GT s'est heurté à une disponibilité limitée de publications. Afin de documenter cet impact, le GT a procédé à l'audition de deux personnalités qualifiées. De ces auditions, il est ressorti que l'impact des défoliations demeurerait marginal à l'échelle de la vie de l'arbre ou des peuplements, mis à part dans certaines conditions locales (pertes de croissance induisant un retard de la coupe, marginal au regard de la durée de l'exploitation du peuplement). Des dépérissements sont parfois observés (mortalité précoce), impliquant une coupe anticipée. Les données quantitatives communiquées au GT – relatives à deux épisodes de dépérissement – ne se sont pas avérées suffisamment robustes pour établir la part de ces dépérissements directement attribuable à la CPC (ceux-ci étant par essence de nature multifactorielle). Dans le cas de la CPP, aucun dépérissement des peuplements (au sens de mortalité d'une partie des arbres) n'est directement à déplorer suite aux attaques de cet insecte, mais les défoliations induites sont de nature à impacter plus fortement la croissance des arbres, d'où des effets négatifs sur l'exploitation des peuplements dans les zones de sylviculture intensive (dans les Landes, par exemple). Néanmoins, des défoliations importantes liées aux deux espèces de processionnaires (CPC et CPP) tendent à aggraver l'impact sur les peuplements exposés à des ravageurs secondaires, tels que les insectes xylophages, dont les attaques peuvent induire la mortalité des arbres.

Le GT a également souhaité identifier les facteurs de vulnérabilité des peuplements exposés aux chenilles processionnaires (CPC et CPP). Là encore, le GT a été confronté à une rareté de publications pertinentes – et pour la CPC, à une non convergence des résultats publiés avec les observations des gestionnaires de terrain. Dans ce contexte, il n'a pas été possible au GT d'établir des conclusions robustes. Il convient cependant de souligner que le dérèglement climatique est de nature à accentuer la vulnérabilité des peuplements vis-à-vis des ravageurs forestiers, ce qui implique de s'interroger sur les conséquences de l'adaptation de la gestion sylvicole au dérèglement climatique – enjeu actuellement prépondérant – sur la vulnérabilité au « risque chenille ». En matière d'évaluation des dommages économiques induits par les défoliations, des outils méthodologiques existent. Ils mobilisent des modèles interdisciplinaires, associant dynamique des ravageurs, dynamique de croissance forestière et indicateurs économiques. Ces outils pourront être mobilisés, dès lors que des données seront disponibles.

L'investigation par le GT de l'impact des défoliations par les chenilles sur le service de régulation du climat global par le biais du stockage du carbone atmosphérique a été motivée par des publications, suggérant que ces défoliations, même marginales à l'échelle du peuplement et de la durée de son exploitation sylvicole, étaient de nature à induire une dégradation de l'appareil photosynthétique (impact démontré à l'échelle de l'arbre), affectant de ce fait la capacité de fixation du carbone atmosphérique. Comme pour les impacts sur la production sylvicole, les connaissances actuellement disponibles en écologie ne permettent pas de conduire une évaluation – biophysique et économique – de ces impacts. Comme évoqué ci-dessus, une évaluation de l'impact – biophysique et monétaire – des défoliations sur le service de stockage de carbone atmosphérique est envisageable, les modèles de

croissance forestière pouvant intégrer des modules de calcul de stockage de carbone dont les résultats peuvent être injectés dans une évaluation économique s'appuyant sur la valeur du carbone.

Les infestations par les chenilles à poils urticants surviennent dans des espaces forestiers qui sont également le support d'activités récréatives ou jouent un rôle significatif en matière de qualité du cadre de vie des populations résidentes. Dans ce contexte, le GT a souhaité conduire une évaluation économique des impacts de ces infestations sur la fourniture de services écosystémiques culturels⁷¹.

En l'absence de données spécifiques aux espèces de chenilles à soies urticantes concernés par la saisine, le GT a ainsi réalisé une revue exhaustive de la littérature concernant les impacts des ravageurs forestiers sur la fourniture de services écosystémiques culturels. Il est ressorti de cette revue bibliographique que ces infestations étaient de nature à réduire les bénéfices récréatifs retirés des écosystèmes forestiers, soit directement (en lien avec la présence des insectes), soit indirectement (en lien avec les impacts des infestations sur les arbres/peuplements et les mesures de gestion associées). La perte de valeur récréative peut prendre plusieurs formes ; maintien des visites avec altération de l'expérience récréative, mais aussi baisse de fréquentation des lieux impactés (avec report des visites vers d'autres sites voire renoncement aux visites). Il convient de noter que l'ampleur de la perte de service dépend d'une variété de facteurs, comme l'état, le type et l'emplacement de la forêt, l'ampleur des infestations ou encore l'espèce d'insectes impliquée. Il ressort également de la littérature qu'en contribuant à dégrader le cadre de vie des populations résidentes, les infestations étaient de nature à induire une dégradation de la valeur des biens immobiliers.

Le GT a procédé à une évaluation de la perte de valeur récréative induite par la mise en œuvre d'arrêtés d'interdiction de fréquentation des massifs forestiers infestés en 2020, à l'échelle du département des Vosges. La perte économique y a été estimée entre 490 000 € et 1,5 million €, pour l'ensemble de la saison estivale. Ce résultat consiste vraisemblablement en une surestimation de la perte récréative induite du fait que les données disponibles permettent de caractériser le niveau de satisfaction retiré d'une visite en forêt *indépendamment de toute perturbation* (i.e., sans considérer le fait que la qualité récréative de cette dernière ait été dégradée par la présence de chenilles à soies urticantes). Si la valeur d'une promenade en forêt infestée par les chenilles avait été évaluée, il aurait été possible de formuler l'hypothèse selon laquelle la qualité récréative aurait été dépréciée et, par conséquent, que cette valeur aurait été moindre par rapport à celle estimée dans le cadre de la présente expertise. La réalisation d'une étude des préférences des usagers des forêts vis-à-vis de ces insectes et de leur impact sur la qualité récréative des espaces forestiers permettrait de pallier cette limite. Enfin, il convient également de souligner que l'analyse mise en œuvre n'a pas pu prendre en compte la fréquentation touristique des forêts, ni celle associée aux résidences secondaires (maisons de campagne par exemple) mais seulement celle des résidents à l'année.

⁷¹ Les services écosystémiques culturels renvoient ici à des services récréatifs (ex : promenade en forêt).

6 Expertise multi-acteurs et multicritères pour hiérarchiser les risques sanitaires liés à la présence des chenilles à poils urticants

L'objectif du GT en matière d'évaluation des risques peut être considéré sous différents angles : la santé humaine, la santé animale, la santé des végétaux, l'impact socio-économique, etc.

Après avoir conduit l'expertise par champ disciplinaire (entomologie, médecine humaine et vétérinaire, analyse socio-économique), et pour répondre aux questions de la saisine quant aux risques sanitaires liés à la présence de chenilles à poils urticants, le GT s'est appuyé sur ses travaux pour générer une analyse de risque basée sur une analyse multi-acteurs et multicritères. Le périmètre de cette approche méthodologique a été restreint à l'analyse de risque pour la santé humaine en France métropolitaine. La méthodologie multi-expertises et multicritères développée sur la santé humaine peut être étendue aux autres angles d'analyses moyennant la révision des champs des critères considérés. Le GT s'est fixé pour objectif d'évaluer et de hiérarchiser les risques sanitaires liés à la présence potentielle de chenilles à poils urticants, en vue d'apporter un éclairage sur les possibilités de mettre en place une stratégie de prévention des risques (méthodes de lutte préventive et/ou curative).

Le « risque » est une notion mobilisée dans ce GT. Cette notion revêt des significations diverses en fonction des domaines scientifiques et des domaines d'application (Merad, 2010, 2013 ; Merad et Trump, 2020 ; Merad *et al.*, 2016). Cette notion est souvent encadrée réglementairement ou normativement en fonction du domaine d'application (ex : La loi du 30 juillet 2003 sur la prévention des risques naturels et technologiques et la norme ISO 31000 sur la gestion des risques).

Dans le cadre de la présente saisine, **le risque est lié à trois dimensions** à considérer :

- Le « **risque de présence de chenilles** ». Cette catégorie du risque consiste à définir, en fonction des différentes espèces de chenilles considérées, l'étendue, la cinétique et la potentialité (ou probabilité) de propagation de ces dernières sur le territoire métropolitain. Cette catégorie est désignée par le terme « Aléa ».
Trois catégories d'aléa sont considérées : (1) l'aléa associé à la chenille processionnaire du pin (CPP), (2) l'aléa associé à la chenille processionnaire du chêne (CPC) et (3) l'aléa associé au bombyx cul-brun (BYX).
- Le « **risque d'apparition d'un effet sur la santé** ». Cette catégorie du risque consiste à définir, en fonction de la nature des objets et des objectifs de la prévention des risques (ex. santé humaine, santé animale, santé des écosystèmes, etc.), la propension d'un individu, d'un animal, d'un écosystème, ou d'un bien à exprimer ses vulnérabilités à une sollicitation ou un phénomène potentiel. Cette catégorie est désignée par le terme « Vulnérabilité ». Trois catégories de vulnérabilité sont considérées : la vulnérabilité à la chenille processionnaire du pin (CPP), la vulnérabilité à la chenille processionnaire du chêne (CPC) et la vulnérabilité au bombyx cul brun (BYX). Dans le cadre du GT, l'analyse s'est concentrée sur les risques (et donc sur les vulnérabilités) pour la santé humaine.

- Le « **risque pour la santé humaine induit par la présence des chenilles sur un territoire donné** ». Cette catégorie du risque consiste à croiser deux informations sur le risque : l'aléa et la vulnérabilité. Cette catégorie est désignée par « Risque ». Trois catégories de risques sont considérées : le risque lié à la chenille processionnaire du pin (CPP), le risque lié à la chenille processionnaire du chêne (CPC) et le risque lié au bombyx cul brun (BYX).

La finalité de la cartographie des risques est, au-delà de l'information préventive fournie, d'accompagner les décideurs publics à mettre en place des stratégies de prévention des risques proportionnées à la nature et au niveau du risque (de l'aléa et de la vulnérabilité). Dans cette perspective, cartographier les risques en santé humaine liés à la présence des chenilles à soies urticantes revient à faire correspondre, à chaque niveau de risque, un dispositif et des dispositions (mesures et stratégies) de prévention des risques à savoir : la « lutte », en agissant sur l'aléa, et la « prévention » en agissant sur la vulnérabilité (par information du public et interdiction d'accès des zones infestées).

L'évaluation des risques liés aux chenilles à soies urticantes a été réalisée à l'échelle du territoire métropolitain parce que des données fiables relatives à la présence des chenilles emblématiques (données du Département de la santé des forêts (DSF)) et sur leurs plantes hôtes (données de l'Inventaire forestier national (IFN)) sont disponibles. Dans ce contexte, une analyse des risques pour les DROM n'a pas pu être réalisée via l'analyse multicritères.

Afin d'atteindre l'objectif assigné, une démarche participative (Merad *et al.*, 2011 ; Merad et Carriot, 2013 et 2015 ; Merad, 2019) a été mise en place au sein du GT. Cette démarche s'est appuyée sur les étapes suivantes :

1. l'élaboration d'un vocabulaire commun au sein du GT ;
2. la délimitation du périmètre d'analyse et de gestion des risques ;
3. la délimitation de la maille géographique d'analyse et de gestion des risques et l'identification de l'ensemble des « objets d'étude (communes de la France métropolitaine) » ;
4. l'identification de familles cohérentes de critères caractérisant respectivement les aléas et les vulnérabilités associés à la CPP, la CPC et au BYX ;
5. l'élaboration des tableaux des performances associés à ces critères (valeurs attribuées aux critères d'évaluation de l'aléa et de la vulnérabilité, par commune) ;
6. le choix d'une procédure d'agrégation multicritères des valeurs de l'ensemble des critères caractérisant l'aléa ou la vulnérabilité ;
7. la détermination de jeux de poids pour les familles cohérentes de critères ;
8. l'analyse de sensibilité et la discussion des conclusions à partir des cartes de risque.

Ces différentes étapes ont permis de produire les résultats suivants :

1. des cartes d'aléas sur la base de la hiérarchisation des communes et leur répartition en 5 classes d'aléa ;
2. des cartes de vulnérabilités en santé humaine sur la base de la hiérarchisation des communes et leur répartition en 5 classes de vulnérabilité ;
3. des cartes de risques sur la base de la répartition des communes en 5 classes de risque définies à partir de la grille de criticité (combinaison aléa x vulnérabilité) ;
4. des recommandations de mesures de gestion adaptées aux niveaux de risques identifiés.

La méthodologie multi-acteurs et multicritères d'aide à l'expertise et à la décision a été élaborée par le membre expert du GT en charge de l'aide à la décision et de l'analyse des risques. Cette méthodologie permet de construire une maïeutique entre les membres du GT pour l'élaboration d'une expertise multidisciplinaire et multicritères. A cet effet, des séances de sensibilisation/formation des membres du GT ont été organisées aboutissant à une montée en compétence collective sur la méthodologie.

6.1 L'élaboration d'un vocabulaire commun au sein du groupe de travail

Les membres du GT viennent d'horizons scientifiques différents, aussi les travaux du GT ont nécessité la mise en place d'un vocabulaire commun. Celui-ci a notamment porté sur les notions de :

- critères, indicateurs, tableaux des performances, procédure d'agrégation ;
- incertitude, vulnérabilité, enjeux, aléa et analyse de risques.

Dans le cadre de ce rapport, les usages des termes de ces deux champs scientifiques ont été adaptés de façon à utiliser une convention de vocabulaire faisant sens à l'ensemble des membres du GT. Les lecteurs trouveront des définitions plus précises dans le « Glossaire » (Cf. Annexe 5). Cette annexe est de même enrichie de notions mobilisées par d'autres disciplines dans le cadre de ce GT.

6.2 La délimitation du périmètre d'analyse des risques

Comme indiqué précédemment, le GT a réalisé une analyse multi-acteurs et multicritères sur les risques liés à la présence des chenilles à soies urticantes majoritaires en France métropolitaine. Cette analyse du risque s'est focalisée sur la santé humaine en réponse à la question centrale de la saisine. Le GT s'est concentré sur cette zone géographique au vu de la disponibilité et la fiabilité des données quant à la présence des chenilles à soies urticantes (données du DSF) et de leurs plantes hôtes (données de l'IFN). Dans ce contexte, une analyse des risques pour les DROM n'a pas pu être réalisée via l'analyse multicritères (AMC).

6.3 La délimitation de la maille géographique d'analyse et la définition de l'ensemble des objets d'étude

Le périmètre d'analyse étant fixé (Cf. section 6.2), l'étape suivante a consisté à définir la maille géographique d'affichage (cartographie) des risques la plus pertinente. La maille correspond à l'unité de surface à laquelle doit s'effectuer l'analyse (sur les aléas et les vulnérabilités). Quatre mailles peuvent être pertinentes :

- la parcelle : la parcelle cadastrale est une portion de terrain dédiée à un usage ou appartenant à un même propriétaire ;
- la commune ;
- le département ;
- la région.

Le choix de la maille pertinente d'affichage et de gestion des risques, des aléas et des vulnérabilités au cours des travaux du GT, donne lieu à plusieurs test d'affichage/cartographie des aléas, des vulnérabilités et des risques.

Le choix du GT s'est finalement porté sur la maille communale qui est une maille pertinente pour la gestion des risques. Ceci est le cas pour différentes catégories de risques majeurs⁷².

Il a ainsi été décidé que :

- les cartographies des aléas, des vulnérabilités et des risques s'effectueraient à la maille communale soit sur 34 816 communes de France métropolitaine ;
- les mesures de prévention des risques seraient affichées à la maille communale. Ces mesures correspondraient à chaque niveau de risque identifié ;
- les départements et les régions pourraient regrouper et afficher les résultats de la hiérarchisation (aléas et vulnérabilités) et des risques pour représenter les niveaux de risques liés aux chenilles urticantes à leurs échelles de compétence.

L'ensemble des « objets d'analyse » correspond donc aux 34 816 communes de France métropolitaine. Cet ensemble peut être étendu, selon les saisines, aux territoires d'outre-mer, selon la disponibilité de données concernant les espèces de chenilles à soies urticantes qui seraient ciblées dans ces territoires.

6.4 L'identification de familles cohérentes de critères caractérisant respectivement les aléas et les vulnérabilités liés à la processionnaire du pin, à la processionnaire du chêne et au bombyx cul-brun

Un critère permet de donner un point de vue sur le niveau d'aléa et de vulnérabilité sur l'ensemble des 34 816 communes considérées de l'étude. La somme des critères permet ainsi de fonder une comparaison deux à deux des communes de l'étude.

Il est ainsi nécessaire de définir et de caractériser chaque critère, définir leur échelle d'évaluation, définir la nature de cette dernière, le sens des performances (est-ce que le niveau du risque augmente avec l'augmentation des valeurs sur l'échelle - sens croissant - ou inversement - sens décroissant ?), les niveaux d'incertitude sur les données disponibles et sur l'évaluation de la commune sur le critère.

Les critères doivent être compréhensibles pour l'ensemble des membres du groupe de travail. Ils doivent être renseignables sur l'ensemble des communes à l'étude. Regroupés en « famille de critères » d'analyse de l'aléa et de la vulnérabilité, ils doivent répondre à des conditions d'exhaustivité (le GT doit s'assurer d'avoir considéré l'ensemble des aspects permettant de qualifier le niveau de risque sur chaque commune), de non-redondance (les critères doivent permettre de fournir des angles d'information sur le niveau d'aléa et de la vulnérabilité complémentaires et ne se répétant pas) et de cohérence (le niveau d'aléa et de vulnérabilité ne doivent pas, pour une même performance, avoir deux significations différentes en matière de risque - accroissement ou diminution).

Les critères identifiés par le groupe de travail ne pouvant pas être renseignés pour l'ensemble des communes ou ne permettant pas la comparaison deux à deux des communes

⁷² Cf. Document d'information communal sur les risques majeurs-DICRIM

en matière d'aléa et de vulnérabilité sont désignés par le terme « attribut ». Il s'agit de fournir des informations complémentaires pertinentes sur l'aléa et la vulnérabilité sur les communes et d'en garder la trace dans l'exercice d'expertise collective.

Au vu de la convention de vocabulaire établie dans le GT, il a été décidé que :

- trois familles cohérentes de critères seraient définies pour caractériser respectivement l'aléa associé à la chenille processionnaire du pin (CPP), l'aléa associé à la chenille processionnaire du chêne (CPC) et l'aléa associé au bombyx cul-brun (BYX). Les critères peuvent être regroupés sous trois « macro-critères » : « la probabilité », la « cinétique » et « l'intensité ». Dans le cas de la présente expertise, la caractérisation de l'aléa a porté exclusivement sur la probabilité de présence des trois espèces de Lépidoptères possédant des chenilles à soies urticantes sélectionnées pour réaliser l'analyse multicritères.
- trois familles cohérentes de critères soient définies pour caractériser respectivement la vulnérabilité liée à la CPP, la vulnérabilité liée à la CPC et la vulnérabilité liée au BYX. Les critères sont regroupés en macro-critères relatifs à l'environnement/milieu de vie et ses caractéristiques spatiales, au mode de vie/aux habitudes, à l'activité professionnelle, au niveau de connaissance du risque, et à la mise en œuvre de mesures de réduction du risque (protection/prévention/information). Dans le cas de la présente expertise, la caractérisation de la vulnérabilité en santé humaine a porté essentiellement sur la caractérisation des populations exposées – population générale ou populations professionnelles.

La définition d'un niveau de risque résultera du croisement de classes d'aléas et de vulnérabilités selon une matrice dite de « criticité ». Une matrice de criticité est une matrice définissant des niveaux de risque. La construction de cette matrice dans un groupe de travail doit répondre à certaines règles de structuration (Merad, 2004). La grille de criticité permet un accompagnement à la gestion des risques. La convention de grille de criticité établie par le GT sera présentée ci-dessous.

6.4.1 Définition des critères aléas (chenilles à soies urticantes)

Trois espèces de Lépidoptères à chenilles à soies urticantes ont été sélectionnées : *Thaumetopoea pityocampa* (processionnaire du pin), *T. processionea* (processionnaire du chêne) et *Euproctis chrysorrhoea* (bombyx cul-brun), sachant que le stade larvaire (chenille) de ces espèces représente un enjeu sanitaire important. Le choix des critères a été orienté par la disponibilité et la fiabilité des données spatialisées relatives à la présence des chenilles de ces trois espèces, provenant du DSF et permettant un suivi sur la durée (de 2007 à 2021) avec un contrôle systématique de la qualité de la donnée saisie sur l'ensemble du territoire métropolitain.

Critères sélectionnés pour la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*) :

Les 16 critères pour lesquels des données ont été renseignées pour la processionnaire du pin, sont détaillés dans l'Annexe 13 (Cf. Tableau 1).

La famille de critères contient des critères de nature qualitative et quantitative :

- Critère n°1 : surface de pin maritime en milieu forestier (*sens croissant du critère*) ;

- Critère n°1bis : occurrences de pins maritimes observées par commune (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°2 : surface de cèdre en milieu forestier (absence de cèdres en milieux forestiers ; critère non retenu) ;
- Critère n°2bis : occurrences de cèdres observées par commune (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°3 : surface de pin noir (= pin laricio) en milieu forestier (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°3bis : occurrences de pins noirs observées par commune (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°4 : surface de pin sylvestre en milieu forestier (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°4bis : occurrences de pins sylvestres observées par commune (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°5 : surface de pin d'Alep en milieu forestier (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n° 5bis : occurrences de pins d'Alep observées par commune (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°6 : influence de la précipitation sur la population de chenilles de l'année n+1 (écart entre le niveau moyen de précipitation locale (au niveau d'une station météorologique référencée sur le site météoManz) et le niveau moyen de précipitation (à l'échelle de l'ensemble des stations météorologiques référencées sur le site météoManz - période janvier/mars) (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°7 : influence de la précipitation sur la population de chenilles de l'année n (écart entre le niveau de précipitation locale et le niveau moyen de précipitation - période octobre/décembre) (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°8 : température minimale (janvier) (*sens décroissant du critère*) ;
- Critère n°9 : information sur la mise en oeuvre de méthodes de lutte par commune (information difficile à collecter ; critère non retenu) ;
- Critère n°10 : probabilité d'épidémie de chenilles (donnée à l'échelle régionale) (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°11a : signalements de la présence de la CPP de 2007 à 2021 ; le critère a été modifié : si la valeur du critère est égale à 0 alors la valeur de 11a est égale à 0 et si valeur de 11a est différente de 0 alors la valeur de 11a est égale à 1 (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°11b : évolution du nombre de signalements de CPP (augmentation/stabilité/diminution) (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°11c : somme des signalements de CPP sur les communes en 2021 (*sens croissant du critère*).
- le critère 11, relatif aux signalements de la CPP, a été décliné en 3 critères distincts du fait de l'information contenue dans les données du DSF.

Le détail des différents critères (intitulé, désignation, nature de l'échelle, sens des performances, incertitudes, références bibliographiques) est indiqué en Annexe 13.

Critères sélectionnés pour la processionnaire du chêne (*Thaumetopoea processionea*) :

Les 5 critères et l'attribut pour lesquels des données ont été renseignées pour la chenille processionnaire du chêne, sont présentés dans l'Annexe 13 (Cf. Tableau 2).

La famille de critères contient des critères de nature qualitative et quantitative :

- Critère n°1 : Les précipitations de printemps (mars à juin) jouent un rôle négatif sur le développement des chenilles. L'éclosion des œufs commence en mars et s'étend jusqu'en juin. Des précipitations importantes ont un effet négatif sur le développement des chenilles (*sens décroissant du critère*) ;
- Critère n°2 : La température de printemps (mars à juin) joue un rôle positif sur l'activité des chenilles (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°3 : La température estivale (juillet à août) favorise le vol nocturne des papillons (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°4 : Les plantes hôtes en forêt sont renseignées par la surface en hectares occupée par commune (*sens croissant du critère*). Seul l'item IFN relatif au chêne décidus pur, a été sélectionné pour éviter de surestimer les aires de répartition de cette espèce de Lépidoptère. La CPC attaque davantage les chênes à feuilles caduques et plus rarement les chênes à feuilles persistantes (chêne vert ou chêne liège), sur lesquels les chenilles ont plus de difficulté à réaliser un cycle complet ;
- Les plantes hôtes dont les occurrences ont été observées par commune, n'ont été prises en compte qu'en tant qu'attribut (information qualitative en complément des données relatives à la superficie des plantes hôtes en forêt) ;
- Critère n°5 : les signalements de la CPC : ce critère correspond à la somme des signalements de présence des chenilles de 2007 à 2021 (*sens croissant du critère*).

Le détail des différents critères (intitulé, désignation, nature de l'échelle, sens des performances, incertitudes, références bibliographiques) est indiqué en Annexe 13.

Critères sélectionnés pour le bombyx cul-brun (*Euproctis chrysorrhoea*) :

Les caractéristiques écologiques de cette espèce sont très différentes de celles des chenilles processionnaires : le bombyx cul-brun se trouve davantage dans des zones ouvertes telles que les haies, les lisières de forêts, les bosquets et il est associé à des espèces de plantes très répandues (chênes, aubépine, prunelier, églantier...). Son cycle est similaire à celui de la CPP : la chenille arrête son cycle en hiver (diapause). Le stade larvaire commence après l'hiver. Les précipitations et la température (au printemps et en automne) favorisent ou pas le développement des chenilles. La température de juillet est également favorable au vol nocturne des papillons.

Le rôle des plantes sur la probabilité de présence de l'espèce est moins important car l'espèce est polyphage. Les 8 critères et l'attribut sélectionnés par le GT pour le bombyx cul-brun, sont présentés dans l'Annexe 13 (Cf. Tableau 3)

La famille de critères contient des critères de nature qualitative et quantitative.

- Critère n°1 : les précipitations d'automne impactent les jeunes chenilles (août à octobre) et jouent un rôle négatif sur leur développement (*sens décroissant du critère*) ;
- Critère n°2 : la température d'automne concerne les jeunes chenilles (premiers stades) (août à octobre) et joue un rôle positif sur leur activité (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°3 : les précipitations de printemps concernent les derniers stades larvaires (reprise d'activité après diapause hivernale) (avril à juin) (*sens décroissant du critère*) ;

- Critère n°4 : la température de printemps concerne les chenilles des derniers stades (reprise d'activité après diapause hivernale) (avril à juin) (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°5 : la température estivale (juillet) favorise le vol nocturne des papillons (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°6 : les plantes hôtes en forêt sont renseignées par la surface (en hectares) occupée par commune (*sens croissant du critère*). Une approximation de la valeur des surfaces des plantes hôtes a été faite en estimant la surface occupée par les feuillus. Les items mentionnant des pins ont été exclus pour éviter de surestimer les aires de répartition de cette espèce de chenille ;
- Les plantes hôtes dont les occurrences ont été observées par commune, n'ont été prises en compte qu'en tant qu'attribut (qualificatif de l'information relative aux plantes hôtes en forêt).
- Critère 7 : les signalements de bombyx cul-brun (somme des signalements de présence de chenilles de 2007 à 2021) (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n° 8 : les occurrences des signalements du bombyx cul-brun en milieu urbain ont également été renseignées grâce à la base de données GBIF (*sens croissant du critère*).

Le détail des différents critères (intitulé, désignation, nature de l'échelle, sens des performances, incertitudes, références bibliographiques) est indiqué en Annexe 13.

6.4.2 Définition des critères de vulnérabilité en santé humaine

L'enjeu du choix des critères de vulnérabilité en lien avec la santé humaine est de caractériser l'impact potentiel de la présence des chenilles sur la santé humaine.

Les critères de vulnérabilité sont basés prioritairement sur des données relatives aux populations d'une commune les plus exposées (population générale ou populations professionnelles) aux chenilles à soies urticantes. Concrètement, le GT a utilisé des données relatives à la population générale qui concernent exclusivement les populations résidentes faute de données exploitables sur les populations saisonnières.

Les 18 critères de vulnérabilité identifiés par le GT sont identiques pour les 3 types de chenilles considérées dans l'analyse multicritères (CPP, CPC et BYX). Ils sont présentés dans l'Annexe 14.

La famille de critères contient des critères de nature qualitative et quantitative :

- Critères relatifs à l'environnement/milieu de vie et ses caractéristiques spatiales : ces critères expriment l'influence du milieu de vie des individus sur leur exposition aux chenilles ou la gravité des atteintes en santé **indépendamment** de leur comportement (ex : habiter à proximité d'une forêt ou d'un parc potentiellement infesté) ;
- Critères relatifs au mode de vie/aux habitudes : ces critères expriment l'influence du comportement des individus sur leur exposition aux chenilles ou la gravité des atteintes en santé (ex : appartenance à une classe d'âge ou à une certaine classe sociale induisant un comportement spécifique modulant le risque, par exemple, mener une activité récréative en milieu potentiellement infesté, etc.) ;
- Critères relatifs à l'activité professionnelle ;
- Critères relatifs au niveau de connaissance du risque ;

- Critères relatifs à la mise en œuvre de mesures de réduction du risque (protection/prévention/information).

Les critères relatifs à la production sylvicole et aux enjeux récréatifs ont été écartés, du fait de la nature multidimensionnelle des causes des phénomènes de dépérissement/mortalité pour les premiers (incertitude de la part attribuable aux chenilles à poils urticants) et du fait de contraintes de calcul pour les seconds (difficulté de disposer de données spatialisées suffisamment fines). Ces critères seront pris en compte en tant qu'attributs.

La liste des critères qui ont été sélectionnés se décompose ainsi :

- Critère n°1 : Population résidente totale : nombre d'habitants résidant sur la commune en 2018 (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°2 : Nombre d'enfants de moins de 5 ans résidant sur la commune (*sens croissant du critère*) (il existe plus de risque d'exposition aux chenilles dans cette population du fait des conduites exploratoires⁷³) ;
- Critère n°3 : Existence d'une stratégie de communication sur le risque chenilles à poils urticants à l'échelle régionale attestée par l'existence d'une page de communication dédiée sur le site de l'Agence régionale de santé (ARS) (réponse par oui/non) ;
- Critère n°4 : Effectifs des populations professionnelles exposées de façon structurelle au risque lié aux chenilles à poils urticants ;
 - Critère n°4.1 : Population professionnelle liée à l'activité hippique sur la commune (information à l'échelle de la commune – approximation : données à l'échelle départementale fournies par la CCMSA désagrégée à l'échelle de la commune au prorata de la population active dans les secteurs forêts et agriculture) (*sens croissant du critère*) ;
 - Critère n°4.2 : Population professionnelle liée à l'activité sylvicole sur la commune (information à l'échelle de la commune – approximation : données à l'échelle départementale fournies par la CCMSA désagrégée à l'échelle de la commune au prorata de la population active dans les secteurs forêts et agriculture) (*sens croissant du critère*) ;
 - Critère n°4.3 : Population professionnelle liée à l'exploitation du bois sur la commune (information à l'échelle de la commune – approximation : données à l'échelle départementale fournies par la CCMSA désagrégée à l'échelle de la commune au prorata de la population active dans les secteurs forêts et agriculture) (*sens croissant du critère*) ;
 - Critère n°4.4 : Population professionnelle des scieries sur la commune (information à l'échelle de la commune – approximation : données à l'échelle départementale fournies par la CCMSA désagrégée à l'échelle de la commune au prorata de la population active dans les secteurs forêts et agriculture) (*sens croissant du critère*) ;
 - Critère n°4.5 : Population professionnelle liée à l'entretien des parcs et jardins sur la commune (information à l'échelle de la commune – approximation : données à l'échelle départementale fournies par la CCMSA désagrégée à

⁷³ voir section 3.3.1.3

l'échelle de la commune au prorata de la population active dans les secteurs forêts et agriculture) (*sens croissant du critère*) ;

- Critère n°4.6 : Population professionnelle de gardes chasse/pêche sur la commune (information à l'échelle de la commune – approximation : données à l'échelle départementale fournies par la CCMSA désagrégée à l'échelle de la commune au prorata de la population active dans les secteurs forêts et agriculture) (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°4.7 : Population professionnelle de gardes forestiers sur la commune (information à l'échelle de la commune – approximation : données à l'échelle départementale fournies par la CCMSA désagrégée à l'échelle de la commune au prorata de la population active dans les secteurs forêts et agriculture) (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°5 : Niveau d'exposition des populations professionnelles exposées de façon structurelle au risque lié aux chenilles à poils urticants ;
 - Critère n°5.1 : Indicateur qualitatif du niveau de l'exposition aux chenilles de la profession hippique (*sens croissant du critère*) ;
 - Critère n°5.2 : Indicateur qualitatif du niveau de l'exposition aux chenilles de la profession sylvicole (*sens croissant du critère*) ;
 - Critère n°5.3 : Indicateur qualitatif du niveau de l'exposition aux chenilles de la profession liée à l'exploitation du bois (*sens croissant du critère*) ;
 - Critère n°5.4 : Indicateur qualitatif du niveau de l'exposition aux chenilles de la profession liée à l'activité des scieries (*sens croissant du critère*) ;
 - Critère n°5.5 : Indicateur qualitatif du niveau de l'exposition aux chenilles de la profession liée à l'entretien des parcs et jardins (*sens croissant du critère*) ;
 - Critère n°5.6 : Indicateur qualitatif du niveau de l'exposition aux chenilles des gardes chasse/pêche (*sens croissant du critère*) ;
 - Critère n°5.7 : Indicateur qualitatif du niveau de l'exposition aux chenilles des gardes forestiers (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°6 : Nombre annuel de visites en forêt par les habitants de la commune (*sens croissant du critère*) ;
- Critère n°7 : Surface en forêt et milieux semi-naturels sur la commune (données Corine Land Cover 2018) (*sens croissant du critère*). Ce critère permet de caractériser le contexte d'exposition. Cependant, ce critère n'a pas été pris en compte pour générer la série des 3 cartes de vulnérabilité présentées dans le rapport.

Le détail des différents critères (intitulé, désignation, nature de l'échelle, sens des performances, incertitudes, références bibliographiques) est indiqué en Annexe 14.

6.4.3 L'élaboration des tableaux des performances

Les tableaux de performances sont des matrices comportant en colonne les critères d'évaluation de l'aléa et de la vulnérabilité en santé humaine pour, respectivement, la CPP, la CPC et le BYX et en ligne l'ensemble des 34 816 communes de France métropolitaine considérées dans cette étude. Ils permettent d'obtenir et de synthétiser les évaluations des critères caractérisant l'aléa et la vulnérabilité en santé humaine pour la CPP, la CPC et le BYX. Quatre tableaux des performances sont élaborés (3 pour les aléas - 1 tableau par espèce de

Lépidoptère - et 1 pour la vulnérabilité en santé humaine - 1 seul tableau quel que soit l'espèce de Lépidoptère). Ces tableaux contiennent respectivement :

- En ligne, les 34 816 communes identifiées par : le numéro INSEE de la commune, le nom de la commune, le numéro INSEE de la région de rattachement, le nom de la région, le numéro INSEE du département, le nom du département.
- En colonne, les critères d'aléas et de vulnérabilités pour la CPP, la CPC, le BYX : 4 tableaux distincts au total. Pour chaque colonne les informations suivantes préalables sont fournies :
 - l'identifiant du critère ;
 - le nom du critère ;
 - la nature de l'échelle ;
 - le sens des performances : croissant ou décroissant.

6.4.4 Le choix d'une procédure d'agrégation multicritères

L'agrégation multicritères consiste à passer d'une évaluation partielle des communes en matière d'aléa et de vulnérabilité (c'est-à-dire critère par critère) à une évaluation globale donnant respectivement les niveaux d'aléa pour les trois espèces de Lépidoptères sélectionnées et les niveaux de vulnérabilité en santé humaine, à chaque fois, pour chaque espèce de Lépidoptères considérée. Il existe une multitude de procédures d'agrégation multicritères (Merad, 2010). Le choix d'une procédure d'agrégation multicritères répond à certaines conditions lorsqu'il s'agit d'analyser et de gérer des situations de risque. La procédure d'agrégation multicritères sélectionnée dans le cadre du GT est la procédure de sur-classement de synthèse ELECTRE III (Cf. Annexe 15 pour le détail de la procédure choisie).

La procédure d'agrégation multicritères permet d'ordonner les communes (du rang 1 au rang 34 816). Les rangs des communes sont établis de la façon suivante : les communes qui n'admettent aucune commune à plus fort niveau d'aléa ou de vulnérabilité qu'elles, seront affectées au rang 1, les communes de rang 2 seront celles qui n'admettent que des communes de rang 1 à plus fort niveau d'aléa ou de vulnérabilité qu'elles, les communes de rang 3 seront celles qui n'admettent que des communes de rang 1 et des communes de rang 2 à plus fort niveau d'aléa ou de vulnérabilité qu'elles et ainsi de suite ...

Enfin, notons que le pré-ordre partiel est dépendant des différents seuils considérés pour chaque critère ainsi que du poids respectif de ces derniers.

Etant donné la difficile lisibilité du pré-ordre final sur un nombre aussi élevé de communes, nous avons, sur la base de ce dernier, découpé le pré-ordre final en 5 classes correspondant à 20 % du nombre total de communes (pour rappel : 34816) : la Classe 1 représente les premiers 20 % de communes du pré-ordre final, la Classe 2 les 20 % suivants dans le pré-ordre final, et de même pour les classes 3 à 5. Cette règle a pu être appliquée pour la CPP et le BYX.

Dans le cas de la CPC, cette méthode de classement n'a pas pu être utilisée au vu de la prédominance des critères « plantes hôtes » dans le pré-ordre partiel, qui induisait une carte d'aléa largement biaisée vis-à-vis de ces critères aux dépens de la distribution actuelle de la CPC (par exemple, aléa de niveau maximal dans les régions de l'arc méditerranéen alors que la chenille n'y est pas largement présente). Ainsi, pour la CPC le premier niveau de classement a été modifié pour améliorer la correspondance entre les zones où la chenille est présente, et les niveaux d'aléa les

plus élevés. Pour ce faire, le critère n°5 (signalements de la CPC) a été utilisé pour classer les communes dans les niveaux d'aléa 1 et 2 (voir carte aléa CPC, Figure 33).

6.4.5 La détermination de jeux de poids pour les familles cohérentes de critères

La détermination de l'importance relative des critères des familles de critères aléas et vulnérabilités dépend de l'expertise et des spécialités disciplinaires et thématiques des membres du groupe de travail. L'importance relative des critères est désignée par la notion de « poids ». Les approches utilisées pour déterminer les poids des critères dépendent des procédures d'agrégation choisie. En section 6.4.4, nous avons précisé que la méthode d'agrégation sélectionnée était la méthode de sur-classement de synthèse ELECTRE III. Pour les familles de méthodes de type ELECTRE, la méthode de Simos révisée par Roy et Figuera en 2002 est sélectionnée. Elle permet de réduire les biais induits par une interrogation directe des experts sur des jeux de poids, en passant par la demande de trois informations aux experts (l'ordre sur les critères, une grandeur sur le nombre de fois où le critère le plus important de la famille de critères est plus important que le critère le moins important de la famille de critères (z), et le nombre de cartes blanches entre les critères d'un rang d'écart) permettant par la suite d'effectuer un calcul normé des jeux de poids des critères (Cf. Annexe 16 pour plus de détail).

Dans le cadre de groupes d'experts, la pondération est le résultat à la fois d'un processus de raisonnement par discipline des experts rendant compte d'une hypothèse (ou d'un champ d'hypothèses) explicative, selon eux, de ce qu'est l'aléa, la vulnérabilité ou le risque mais aussi d'un processus d'interaction et d'échange entre les membres du groupe de travail (Merad, 2010 ; Merad et Trump, 2020). A cet effet, selon l'approche de Merad (2010), il a été proposé aux membres du GT de faire évoluer la méthode de Simos révisée en rajoutant une information et quatre étapes complémentaires :

- Information complémentaire : une argumentation et une explicitation des hypothèses constitutives, par expert, des propositions sur l'ordre, sur le nombre de fois où le critère le plus important de la famille de critères est plus important que le critère le moins important de la famille de critères (z) et sur le nombre de cartes blanches entre les critères d'un rang d'écart.
- Quatre étapes supplémentaires :
 - Un exercice de pondération expert par expert de manière individuelle. Cette étape permet aux experts de tester leurs hypothèses explicatives de leurs jeux de poids.
 - Une séance de discussion entre les experts sur le calcul des poids normé sur la base des trois informations sur l'ordre entre les critères, le nombre de cartes blanches entre les critères séparé d'un rang et la valeur z. Cette étape vise à faire tester les hypothèses des experts par un processus de concertation entre les membres du groupe.
 - Une visualisation de l'effet des jeux de poids sur la hiérarchisation finale des communes pour l'aléa ou la vulnérabilité, et la possibilité de réitérer l'exercice de pondération.
 - Un calcul de jeux de poids médian sur l'ensemble du groupe d'experts (dans le meilleur des cas ; à noter qu'un seul jeu de poids - celui présentant une

pondération de l'ensemble des critères - a été pris en compte dans le cas de l'analyse de l'aléa bombyx cul-brun).

Les jeux de poids finaux ont été calculés au moyen de la méthode de Simos révisée par Roy et Figuera (2002) puis par Merad (2010). Les experts ont appliqué les 3 règles présentées ci-dessus pour accorder un poids à chaque critère de l'aléa et de la vulnérabilité (i) ordonnancement des critères, ii) attribution d'une grandeur définissant le nombre de fois où le critère le plus important de la famille de critères est plus important que le critère le moins important de la même famille de critères, et iii) définition de l'importance de l'écart séparant un critère de celui qui le précède et de celui qui le suit, les critères étant rangés selon l'ordre défini au i)).

Les poids qui sont présentés ci-dessous résultent directement des réponses apportées par les experts.

Tableau 23 : Poids de la famille de critères de l'aléa CPP (médiane des jeux de poids proposés par les experts)

Critères	Poids
Critère 1	7
Critère 1bis	6
Critère 2bis	6
Critère 3	9
Critère 3bis	7
Critère 4	8
Critère 4bis	7
Critère 5	7
Critère 5bis	6
Critère 6	1
Critère 7	2
Critère 8	1
Critère 10	6
Critère 11a	11
Critère 11b	9
Critère 11c	2

Tableau 24 : Poids de la famille de critères de l'aléa CPC (médiane des jeux de poids proposés par les experts)

Critères	Poids
Critère 1	18
Critère 2	14
Critère 3	4
Critère 4	30
Critère 5	29

Tableau 25 : Poids de la famille de critères de l'aléa BYX (jeu de poids d'un seul expert)

Critères	Poids
Critère 1	14
Critère 2	11
Critère 3	8
Critère 4	4
Critère 5	1
Critère 6	17
Critère 7	21
Critère 8	24

Tableau 26 : Poids de la famille de critères de vulnérabilité en santé humaine pour la CPP, le BYX et la CPC (médiane des jeux de poids proposés par les experts)

Critères	Poids CPP	Poids BYX	Poids CPC
Critère 1	10	9	11
Critère 2	9	9	10
Critère 3	8	5	8
Critère 4.1	5	5	6
Critère 4.2	6	6	6
Critère 4.3	6	6	6
Critère 4.4	6	6	6
Critère 4.5	6	6	6
Critère 4.6	5	5	6
Critère 4.7	5	6	6
Critère 5.1	4	6	4
Critère 5.2	5	6	4
Critère 5.3	5	6	4
Critère 5.4	5	6	4
Critère 5.5	5	5	4
Critère 5.6	4	5	4
Critère 5.7	5	6	4
Critère 6	9	9	9

6.4.6 Analyse de sensibilité et présentation des conclusions sur les cartographies d'aléas et les cartographies de vulnérabilité

Après avoir testé plusieurs hypothèses de pondération (Cf. section ci-avant) et un choix de seuils d'indifférence et de préférence à 0, nous avons obtenu les cartographies d'aléas et de vulnérabilité présentées ci-dessous (Cf. Figure 32 à Figure 37).).

Les cartes d'aléas (relatifs à la CPP et à la CPC) ont été réalisées avec un jeu de poids correspondant à la médiane des jeux de poids proposés par les experts. La carte d'aléa relatif

au BYX a été réalisée avec le jeu de poids d'un seul expert après consultation du GT et validation des valeurs proposées. Les 3 cartes de vulnérabilité en santé humaine ont été réalisées avec un jeu de poids correspondant à la médiane des jeux de poids proposés par les experts à partir du même tableau de performances (Cf. section 6.4.3). A chaque type de chenille (CPP, CPC et BYX) correspond un jeu de poids spécifique.

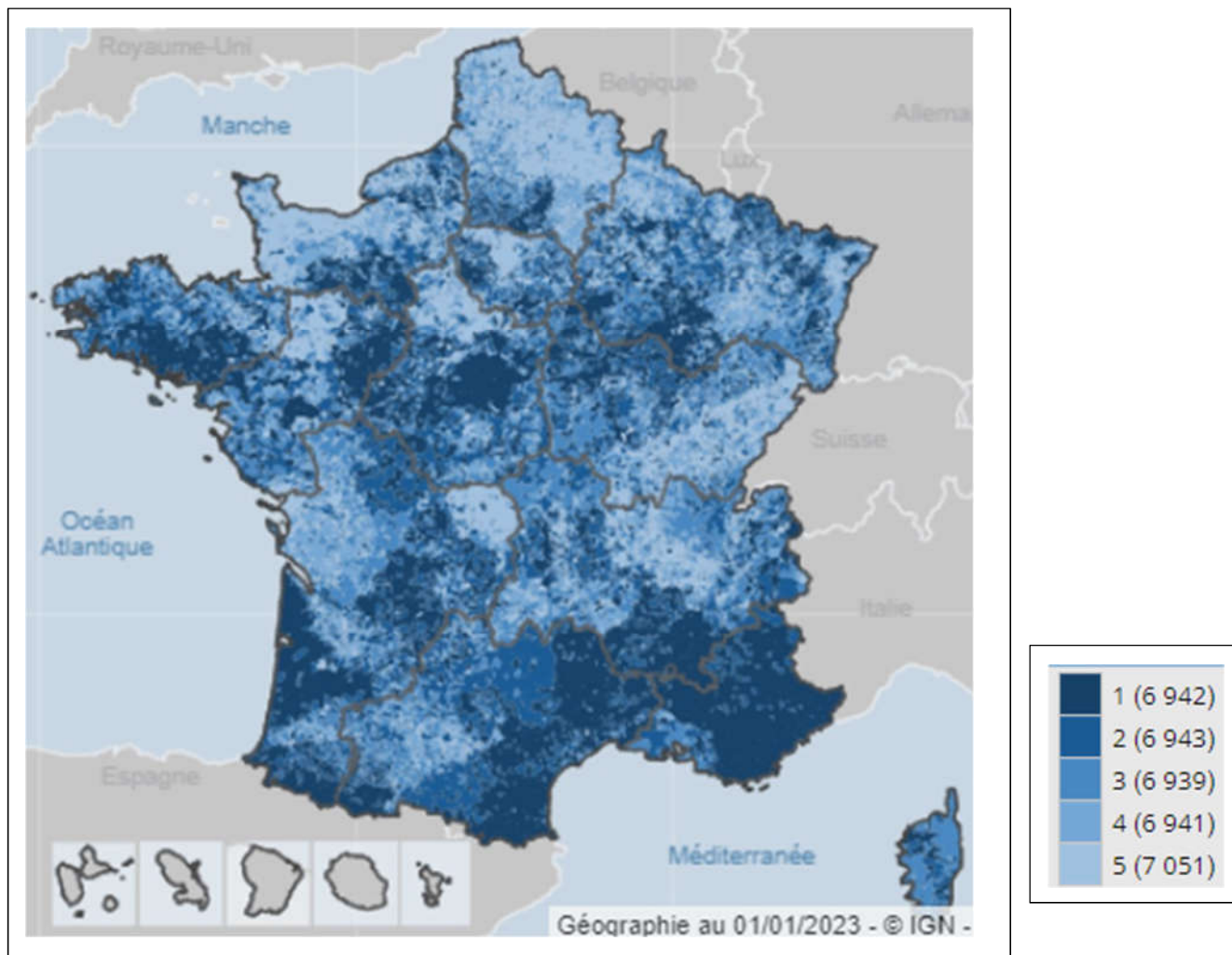


Figure 32 : Cartographie à l'échelle nationale de l'aléa CPP par commune

Pour l'aléa « CPP », les 3 premiers critères jugés les plus importants par le GT sont par ordre décroissant : les signalements de la présence de la CPP de 2007 à 2021, l'évolution du nombre de signalements de la CPP et la fréquence de pin noir en milieu forestier. Les experts du GT considèrent que la carte reflète correctement, au vu de leurs connaissances, les zones où la probabilité de présence de la CPP est la plus élevée à savoir : l'arc méditerranéen (AURA, PACA, Occitanie et la Corse), la forêt des Landes, une partie de la région Centre-Val-de-Loire, et le sud de la Bretagne.

Par ailleurs, l'AMC a permis d'identifier des régions présentant des probabilités importantes de développement des populations de CPP à savoir, par exemple, l'est de la France et le nord du bassin parisien.

Inversement, les zones où la probabilité de présence de la CPP est la plus faible sont notamment une partie du Massif Central, le nord de la vallée du Rhône et le nord de la France.

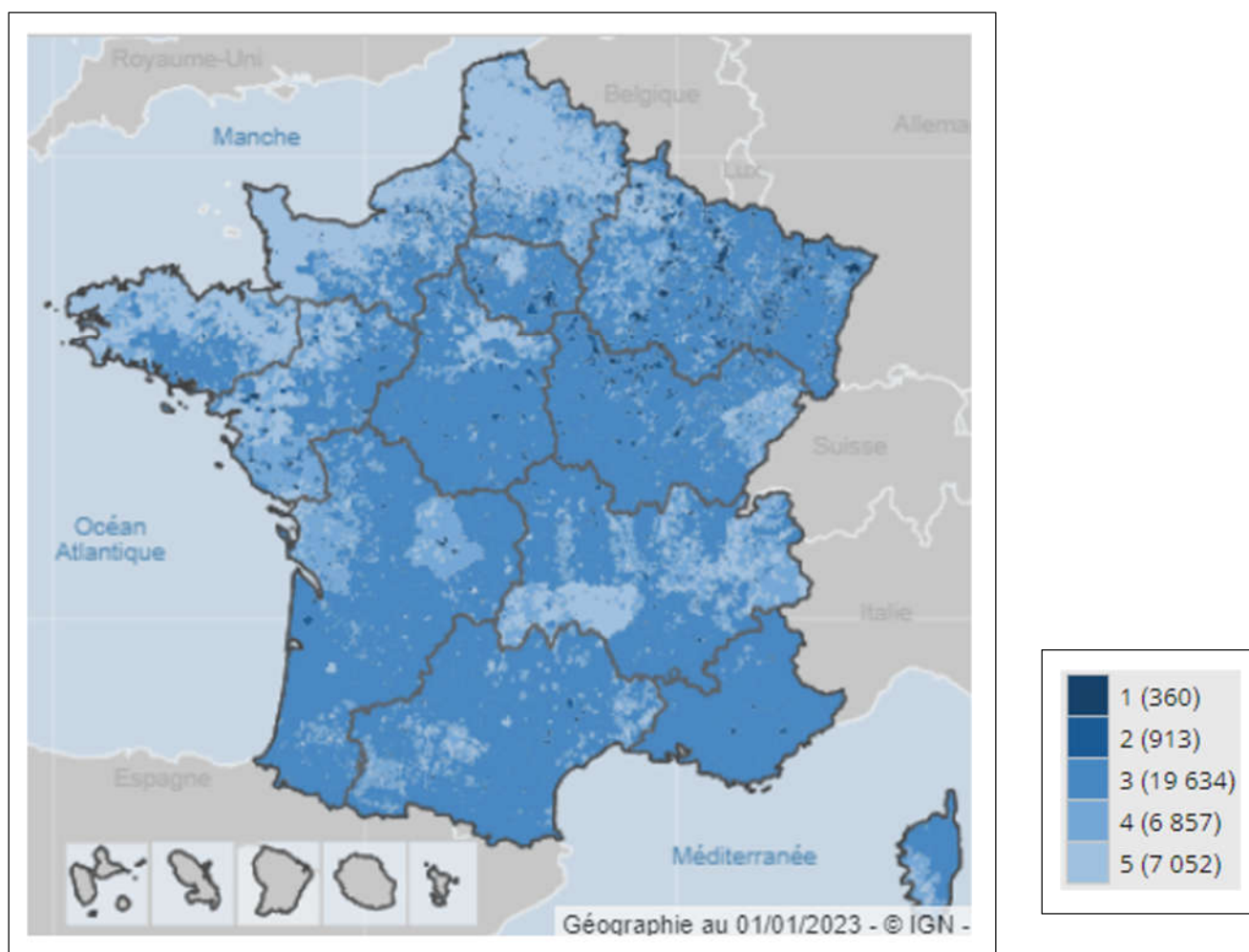


Figure 33 : Cartographie à l'échelle nationale de l'aléa CPC par commune

Pour l'aléa « CPC », les critères jugés les plus importants pour la hiérarchisation des communes puis leur classement dans les classes d'aléa 3, 4 ou 5, sont par ordre décroissant : le critère 4 (surface de chênes décidus purs en milieu forestier) puis le critère 1 (précipitations de printemps de mars à juin) (qui représentent un poids de 48 sur 66 au total).

Les experts du GT considèrent que la carte reflète bien les zones où la probabilité de l'aléa lié à la CPC est la plus élevée. Les régions où l'aléa est le plus fort sont bien identifiées même si ces zones sont plus fragmentées qu'attendu, ce qui est probablement dû à une relative fragmentation des signalements. Le nombre de communes catégorisées en classe de danger 1 ou 2 est respectivement de 360 et 913. Compte tenu de la modification de la règle de classement des communes, adoptée par le GT, les classes d'aléa ne sont pas de même taille puisque la hiérarchisation des communes a d'abord reposé sur le critère n° 5 (signalements de la présence de CPC entre 2007 et 2021) : lorsque le critère est égal à 1, le niveau d'aléa de la commune est considéré de niveau 2 ; lorsque le critère est strictement supérieur à 1, le niveau d'aléa de la commune est considéré de niveau 1. Dans le sud de la France, le niveau d'aléa est élevé malgré une présence assez rare de cette espèce car les chênes caduques sont bien présents et la chenille a été signalée au moins une fois dans plusieurs communes. A l'heure actuelle, aucune pullulation de l'espèce n'y a cependant été observée.

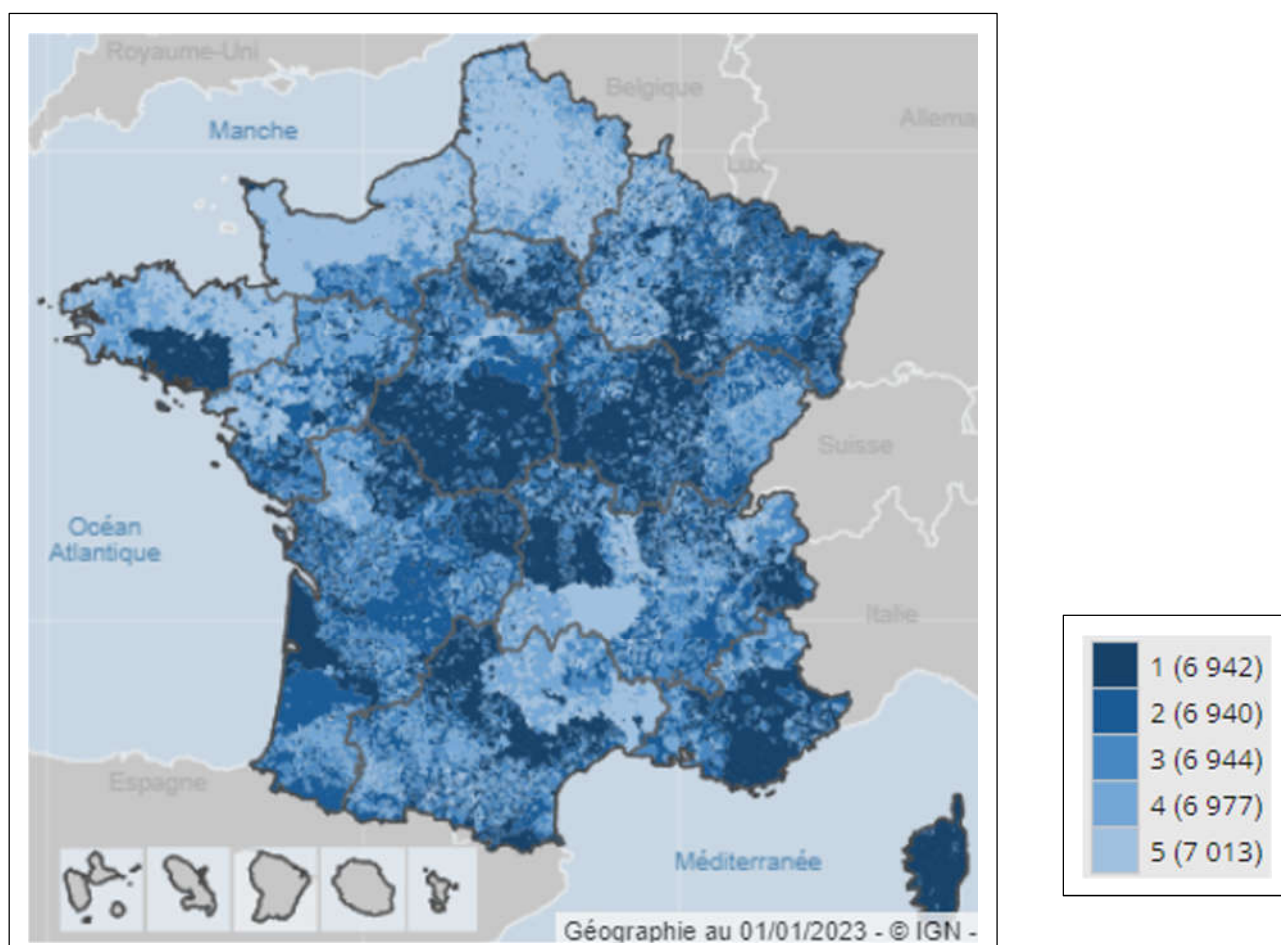


Figure 34 : Cartographie à l'échelle nationale de l'aléa BYX par commune

Pour l'aléa « BYX », les critères jugés les plus importants sont par ordre décroissant : le critère 8 (occurrences du BYX par commune), 7 (signalements du BYX entre 2007 et 2021) et le critère 6 modifié (surface de feuillus en milieu forestier excluant les types de formations végétales contenant des pins) (qui représentent un poids de 62 sur 100).

Les experts du GT jugent la carte d'aléa lié au bombyx cul-brun cohérente avec la présence de la chenille sur le terrain. L'aléa lié à cette espèce est assez difficile à appréhender, car elle est présente à basses densités sur l'ensemble du territoire et elle est capable de se développer sur de nombreuses plantes hôtes.

Les 3 cartes de vulnérabilité en santé humaine relatives à la CPP, à la CPC et au BYX (Cf. Figure 35 à Figure 37) sont jugées similaires et cohérentes au regard de la probabilité d'exposition des populations vulnérables que sont les enfants de moins de 5 ans du fait de leurs conduites exploratoires et les populations professionnelles exposées ainsi que les populations se promenant en forêt (fréquentations récréatives des forêts).

Les critères jugés les plus importants sont par ordre décroissant :

- pour la CPP : le critère 1 (population totale par commune) puis le critère 2 (nombre d'enfants de moins de 5 ans par commune), le critère 6 (nombre de visites en forêt), et en 4ème position les critères 4.2 à 4.5 (population professionnelle respectivement en sylviculture, pour l'exploitation du bois, travaillant en scieries et pour les jardins et paysages) (qui représentent un poids de 60 sur 108) ;
- pour la CPC : le critère 1 (population totale par commune) puis le critère 2 (nombre d'enfants de moins de 5 ans par commune), le critère 6 (nombre de visites en forêt), le critère 3 (stratégie de communication) et en 5ème position les critères 4.2 à 4.7 (population professionnelle respectivement en sylviculture, pour l'exploitation du bois, travaillant en scieries, pour les jardins et paysages, de gardes chasse-pêche et de gardes forestiers) (qui représentent un poids de 80 sur 108) ;
- pour le BYX : le critère 1 (population totale par commune), 2 (nombre d'enfants de moins de 5 ans par commune) et 6 (nombre de visites en forêt) en 1ère position et en 4ème position les critères 4.2, à 4.5, 4.7 (population professionnelle respectivement en sylviculture, pour l'exploitation du bois, travaillant en scieries, pour les jardins et paysages et de gardes forestiers), 5.1 à 5.4, 5.7 (indicateur qualitatif du niveau d'exposition des populations professionnelles respectivement en sylviculture, pour l'exploitation du bois, travaillant en scieries et de gardes forestiers) (qui représentent un poids de 87 sur 112).

Le GT souligne que ces cartes de vulnérabilité reflètent surtout les données démographiques en l'absence d'autres données identifiées et disponibles pour mieux caractériser la vulnérabilité des populations à ces chenilles.

En conclusion, selon les résultats de l'AMC qui sont similaires pour les trois types de chenilles, les experts du GT considèrent que les populations vulnérables à ces trois types de chenilles sont plus importantes dans les zones où la densité de population est la plus élevée (les données exploitées étant relatives essentiellement à la caractérisation des populations exposées – population générale ou populations professionnelles). Le GT relève toutefois que la vulnérabilité des populations exposées de certains pôles urbains est modérée compte tenu d'une moindre importance des populations professionnelles dans ces zones.

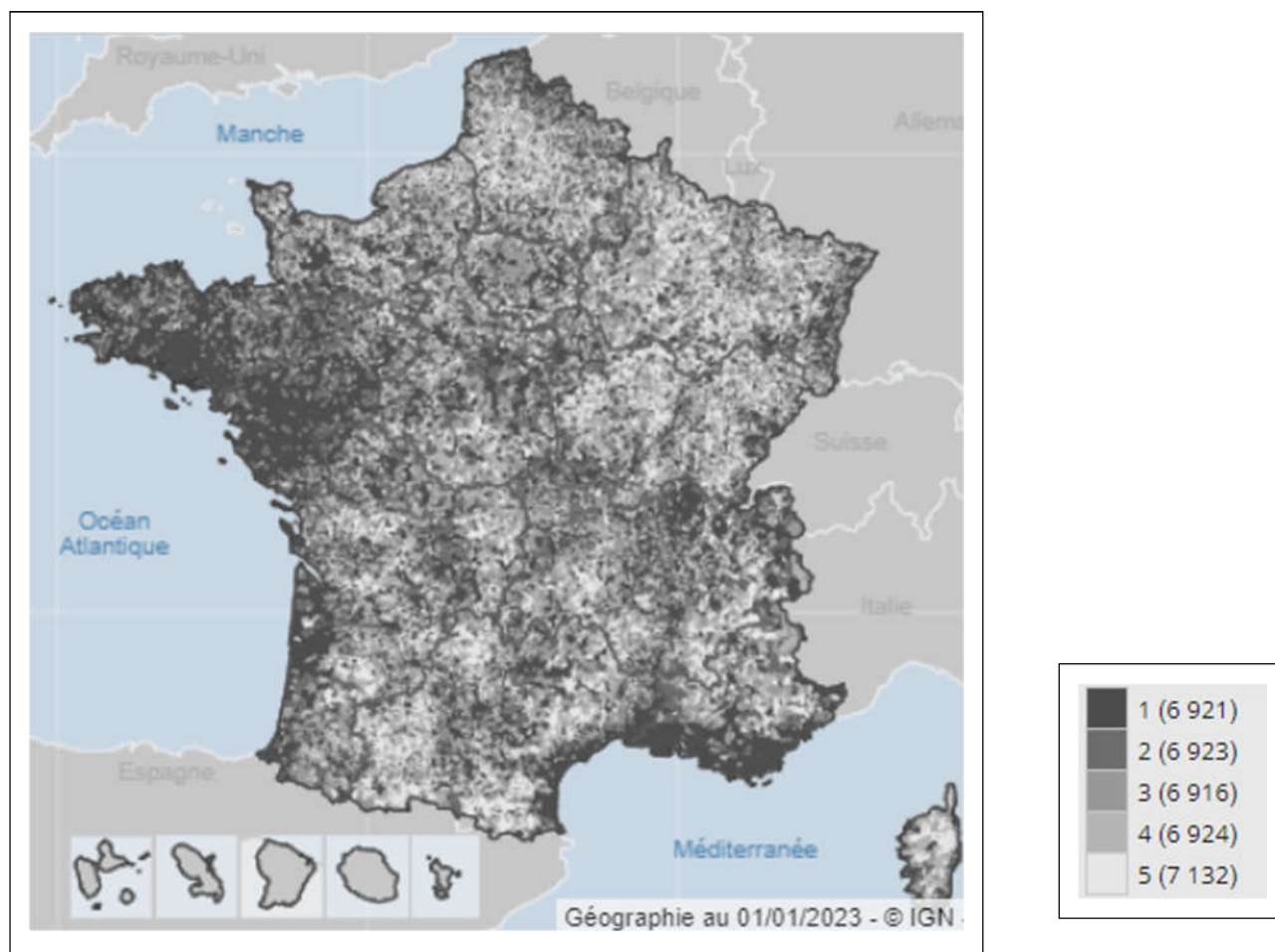


Figure 35 : Cartographie à l'échelle nationale de la vulnérabilité en santé humaine liée à la CPP par commune

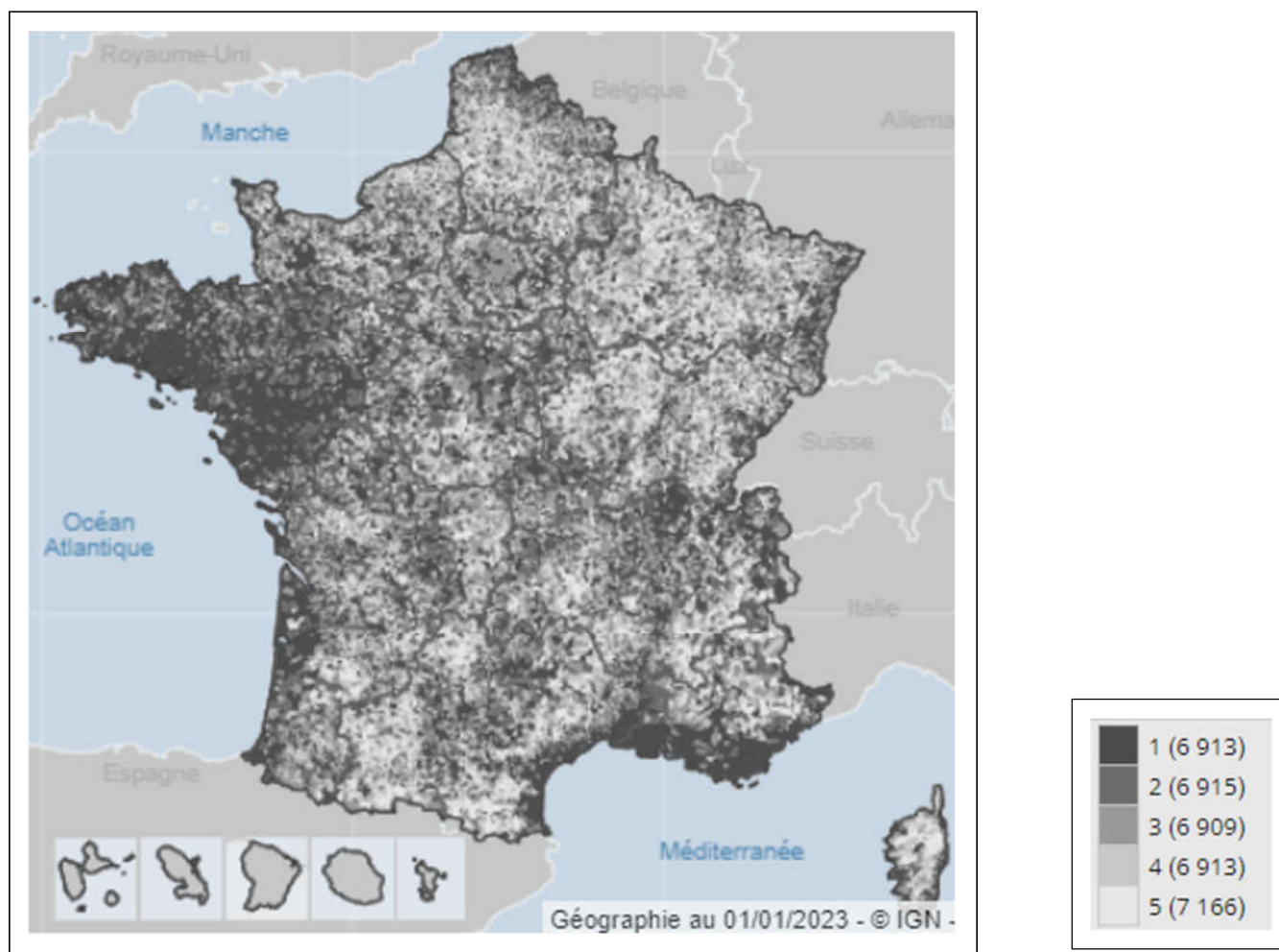


Figure 36 : Cartographie à l'échelle nationale de la vulnérabilité en santé humaine liée à la CPC par commune

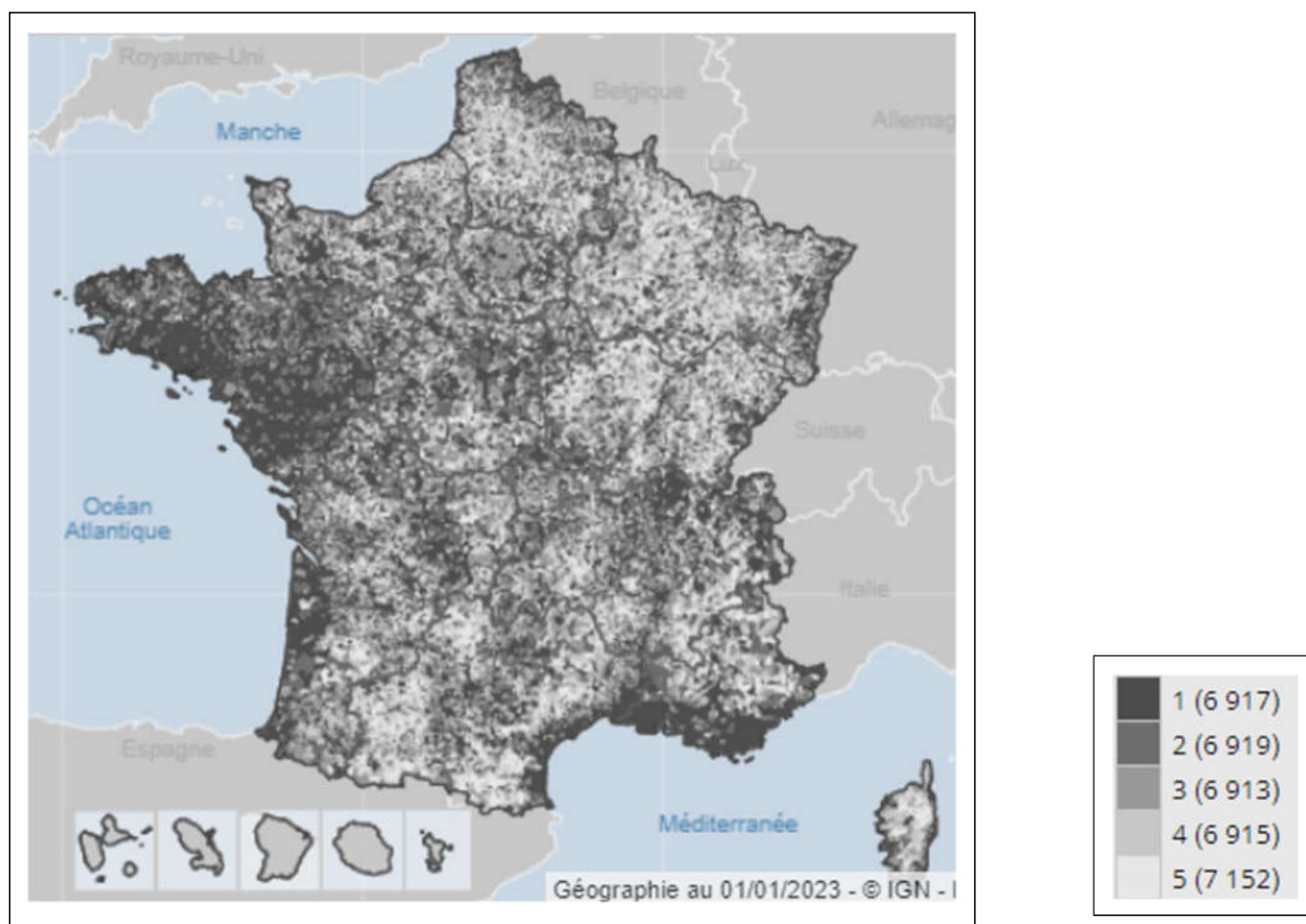


Figure 37 : Cartographie à l'échelle nationale de la vulnérabilité en santé humaine lié au bombyx cul-brun par commune

6.4.7 La hiérarchisation des risques par typologie d'aléas (CPC, CPP et BYX)

Le choix de la grille de criticité des risques (Merad, 2004) suite à un processus de concertation entre les membres du GT, a abouti à la structuration de la grille présentée ci-dessous.

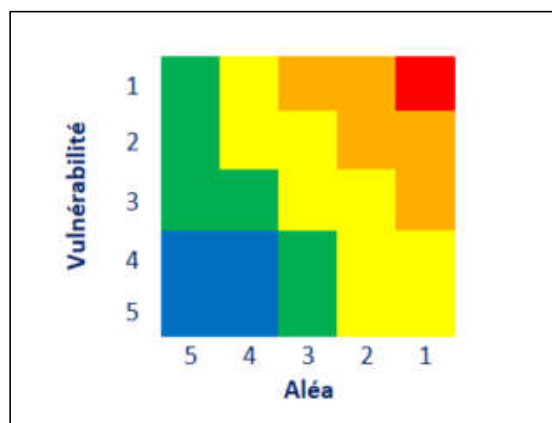


Figure 38 : Grille de criticité du risque sélectionnée par le groupe de travail. Classes de risque : 1 (rouge), 2 (orange), 3 (jaune), 4 (vert) et 5 (bleu)

Cette grille a été construite de manière à limiter la classe de risque la plus élevée (classe 1) aux communes présentant les niveaux d'aléa et de vulnérabilité les plus élevés (de classe 1), pour lesquelles des mesures de gestion seraient obligatoires.

Elle comporte cinq classes de risque, du risque le plus élevé (classe 1) au risque le moins élevé (classe 5) :

- les classes 1 et 2 sont les classes de risque le plus élevé pour lesquelles des mesures de surveillance et de gestion pourraient être imposées.
- la classe 3 pour laquelle le risque est modéré correspondrait à une zone d'arbitrage offrant au gestionnaire du risque à l'échelle communale, départementale ou régionale, la possibilité de proportionner ses mesures en fonction de sa connaissance du terrain et des moyens mis à sa disposition.
- les classes 4 et 5 correspondent à des zones à risque plus faible pour lesquelles seules des mesures de prévention pourraient être mises en œuvre.

Les résultats des cartographies des risques CPP, CPC et BYX sont présentés dans les Figures 39 à 41.

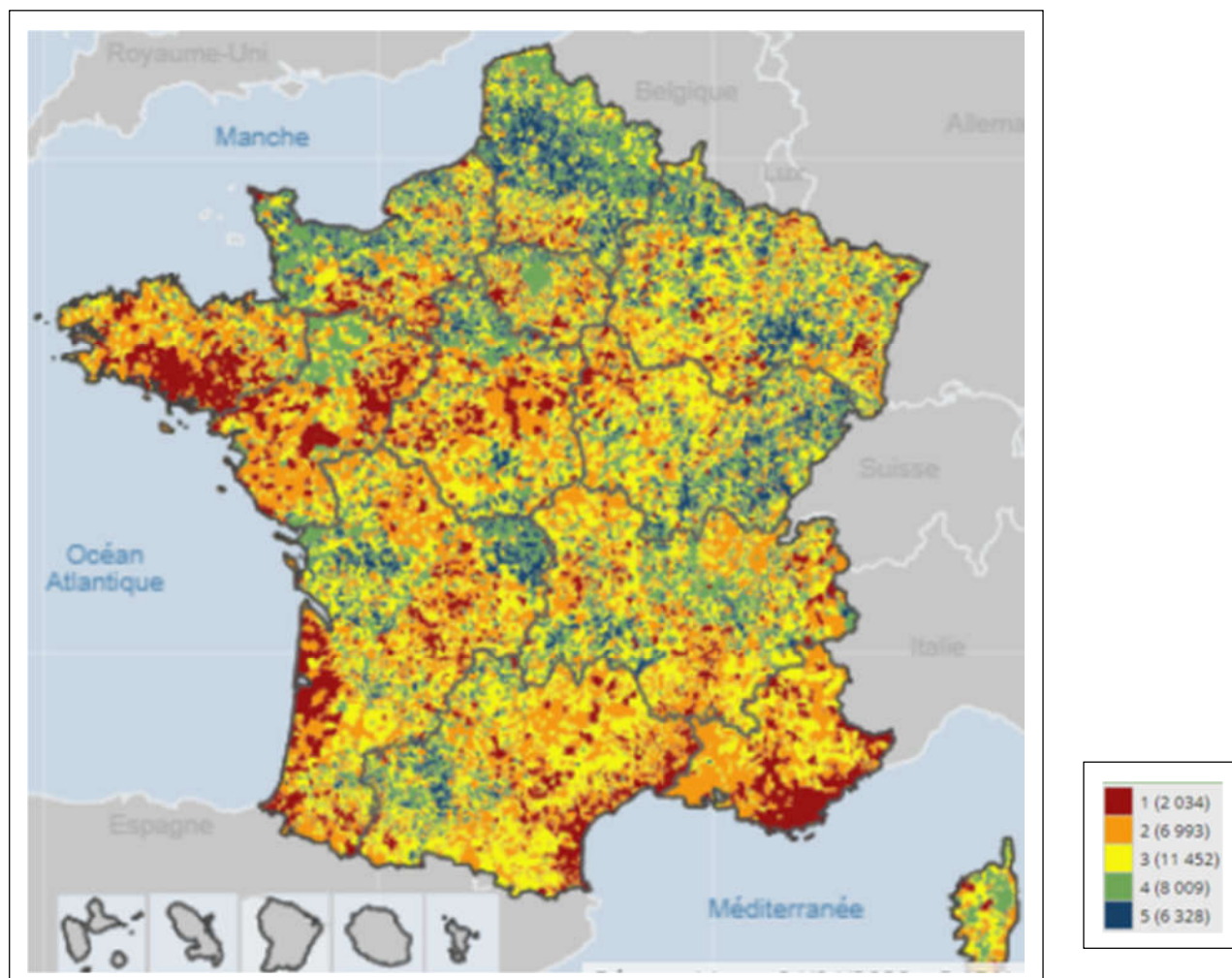


Figure 39 : Cartographie à l'échelle nationale des risques liés à la CPP par commune

Les experts du GT considèrent la carte de risque lié à la CPP cohérente à la fois avec la présence de la chenille sur le terrain et la distribution des populations humaines exposées prises en compte dans l'AMC.

Les zones présentant le niveau de risque le plus élevé sont l'arc méditerranéen (AURA, PACA, Occitanie), la forêt des Landes (langue côtière), une partie de la région Centre Val-de-Loire, et le sud de la Bretagne. Au total, 6 % des communes entrent dans la classe de risque de niveau 1, 21 % en classe 2, 33 % en classe 3, 23 % en classe 4 et 18 % en classe 5.

Certaines régions, notamment la Corse, la partie intérieure de la forêt des Landes et une partie de la zone Méditerranéenne, présentent de faibles niveaux de risque malgré des niveaux d'aléa élevés, ceci s'expliquant par une moindre densité des populations humaines résidentes vulnérables.

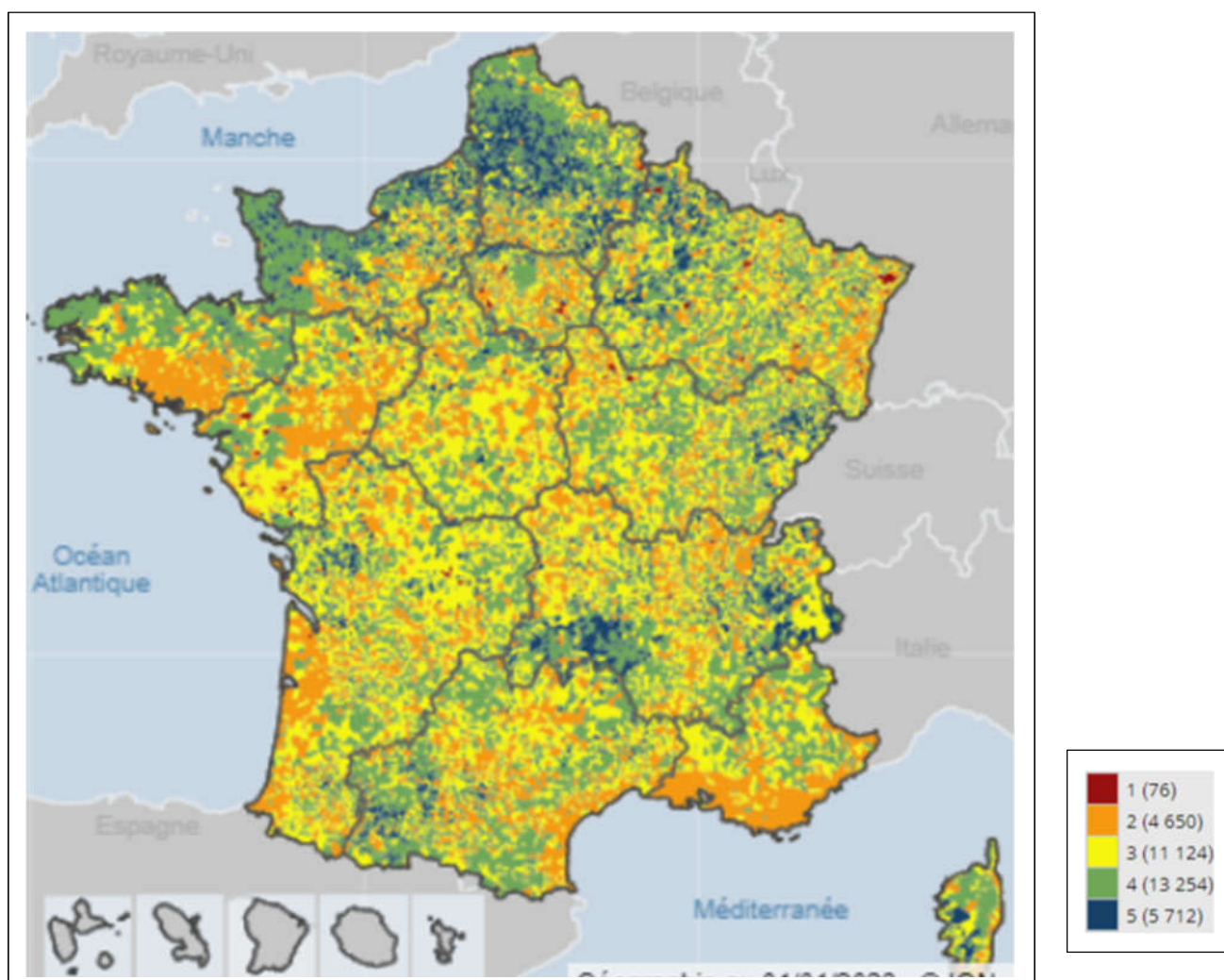


Figure 40 : Cartographie à l'échelle nationale du risque lié à la CPC par commune

La carte de risque lié à la CPC montre un très faible nombre de communes dont le risque est de niveau 1 (76). La carte de risque semble fortement influencée par la carte de vulnérabilités ce qui explique que des régions comme la Bretagne, les Landes ou PACA soient classées en risque de niveau 2. L'échelle d'analyse étant la commune, et le nombre de communes en classe de risque de niveau 1 étant faible, on observe finalement dans la région Grand Est de nombreuses zones classées en risque de niveau 3 ou 4 (dès lors qu'aucun signalement de la processionnaire du chêne n'a été rapporté) qui jouxtent des zones classées en risque de niveau 1 ou 2 (13,6 % des communes contre 32 % des communes en classe 3, 38 % des communes en classe 4 et 16 % des communes en classe 5). Là encore, ces résultats sont influencés par une certaine fragmentation des signalements qui amènent probablement à une sous-estimation du risque dans les régions les plus infestées par cette espèce.

Le GT s'accorde pour considérer que dans le cas de la processionnaire du chêne le manque de données est limitant tant pour la présence de la chenille sur certaines communes (du fait d'un manque de séries temporelles longues et de difficultés d'observation à faible densité) que pour l'exposition des populations humaines. La carte de risque doit donc être lue

en gardant à l'esprit ces limitations. En effet l'observation de la CPC s'avère plus difficile (nids peu visibles car positionnés à l'intérieur du houppier⁷⁴, pendant une période très courte de mai à juin). Cette espèce passe inaperçue à faible densité et donc son signalement est vraisemblablement sous-estimé.

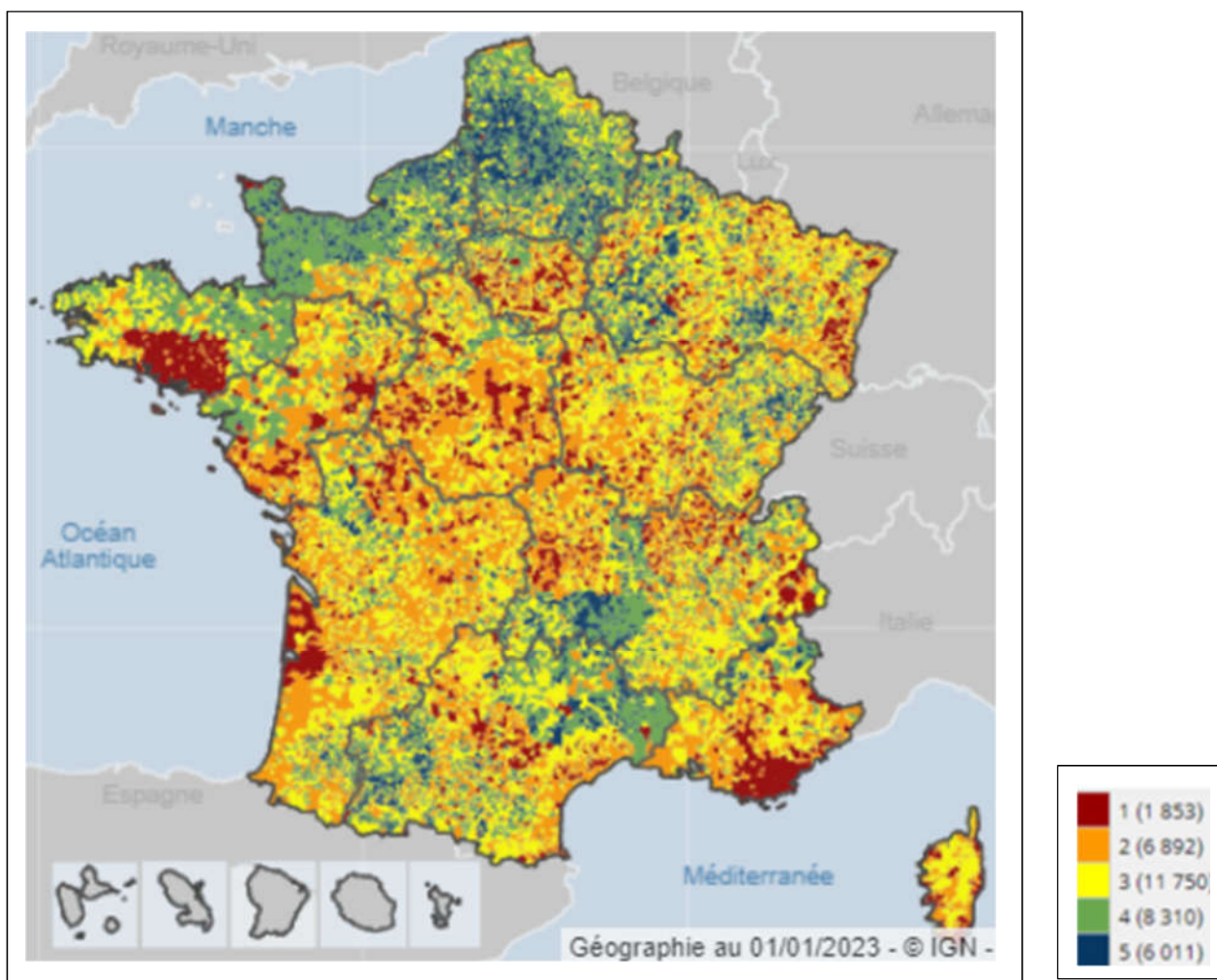


Figure 41 : Cartographie à l'échelle nationale du risque lié au BYX par commune

La carte de risque lié au bombyx cul-brun semble cohérente par rapport à l'aléa et à la vulnérabilité. Les zones les plus à risque correspondent logiquement à des territoires plus densément peuplés où l'espèce a été signalée (Gironde, Sud Bretagne, Est Méditerranéen...). Il faut cependant garder à l'esprit que cette espèce est assez largement répandue, mais est présente en général à des densités de populations assez faibles (25 % des communes sont classées avec un risque de niveau 1 ou 2, 34 % des communes sont en classe 3, 24 % en classe 4 et 17 % en classe 5). La carte de risque doit donc être lue en gardant à l'esprit ces limitations.

⁷⁴ voir fiche CPC

6.4.8 Éléments de discussion sur la cartographie des risques

La méthodologie de hiérarchisation des risques mise en place dans le cadre de ce groupe de travail s'est appuyée sur la nécessité d'effectuer une cartographie à l'échelle nationale de la France métropolitaine. A cet effet, les comparaisons multicritères ont été effectuées deux à deux sur l'ensemble des communes sélectionnées.

Le gestionnaire du risque à l'échelle départementale ou régionale peut faire le choix d'effectuer une comparaison des communes deux à deux dans son périmètre de responsabilité. Le résultat obtenu sera une hiérarchisation des aléas, des vulnérabilités et des risques relatifs au périmètre étudié et en fonction des budgets de prévention et de remédiation à disposition des gestionnaires. Pour effectuer cette hiérarchisation, les gestionnaires du risque disposent : (i) des tableaux de performances pour les différents types d'aléa, (ii) des tableaux de performances pour les différents types de vulnérabilité, (iii) d'une description de la procédure d'agrégation multicritères. Les gestionnaires des risques pourront extraire de ces tableaux les communes sous leurs sphères de responsabilité et reconduire les calculs qui permettent la hiérarchisation des communes, à l'échelle départementale ou régionale, selon le niveau d'aléa et de vulnérabilité calculé à l'échelle communale, en suivant la même méthodologie et suivant leurs besoins. L'AMC est un outil d'aide à la décision qui, en permettant de classer a priori les zones les plus à risque, contribue à apporter un premier niveau d'information pour éclairer le choix des mesures de gestion à mettre en place au niveau local.

Le GT attire l'attention sur la manière d'interpréter les 3 cartes de risque : une zone à risque élevé pour la processionnaire du pin (niveau 1) n'aura pas la même signification qu'une zone de niveau 1 pour le bombyx cul-brun, par exemple. En effet, le bombyx cul-brun est largement présent sur le territoire métropolitain mais à basse densité (compte tenu de sa polyphagie), ceci conduisant à un risque d'exposition modéré (par rapport aux deux espèces de chenilles processionnaires) même lorsque le risque associé au bombyx cul-brun est classé au niveau le plus élevé (cas du Morbihan par exemple). De plus, les niveaux de risque sont des niveaux relatifs, ils traduisent une hiérarchie des risques entre les communes et non pas des niveaux absolus.

Ainsi, dans ces zones à risque élevé, il apparaît surtout important dans un premier temps de mettre en place des mesures de surveillance et selon les résultats, dans un second temps, de mettre en place des mesures de gestion jugées pertinentes par les autorités compétentes.

7 Recommandations de mesures de gestion

7.1 Analyse des cartes de risques

Trois espèces de Lépidoptères, *Thaumetopoea pityocampa* (processionnaire du pin), *T. processionea* (processionnaire du chêne) et *Euproctis chrysorrhoea* (bombyx cul-brun) dont les chenilles portent des soies urticantes, font l'objet d'un suivi régulier de longue date de la part du DSF en France métropolitaine. Les processionnaires du pin et du chêne représentent un risque sanitaire avéré en France métropolitaine. C'est la raison pour laquelle le GT a sélectionné ces trois espèces pour réaliser une analyse de risque multicritères et multiacteurs. Le résultat de cette approche méthodologique a été concrétisé par la production de cartes de risque (sur une échelle à 5 niveaux). Ces cartes de risque, reposant sur une logique interprétative, sont une lecture du niveau de risque présentée par le GT. Les zones les plus à risque identifiées par le GT résultent d'une analyse des données disponibles qui ont permis de caractériser l'aléa et la vulnérabilité en santé humaine associés à ces 3 types de chenilles, mais elles restent une interprétation du GT.

En première analyse, il ressort que les zones où le risque est le plus élevé (par comparaison aux zones à risque moins élevé) se trouvent dans les départements suivants :

- pour la processionnaire du pin : le Morbihan (région Bretagne), la Gironde (région Nouvelle-Aquitaine), les Landes (région Nouvelle-Aquitaine), le Maine-et-Loire (région Pays de la Loire), les Bouches-du-Rhône (région PACA) et le Var (région PACA) ;
- pour la processionnaire du chêne : la région Grand Est, la région Bretagne et la région des Pays de la Loire ;
- pour le bombyx cul-brun : le Morbihan (région Bretagne), les Landes (région Nouvelle-Aquitaine) et le Var (région PACA).

Comme cela a déjà été mentionné en conclusion de la première partie de ce rapport, les changements globaux dont le dérèglement climatique, affectent les aires de distribution et les dynamiques des espèces de Lépidoptères concernés, parfois de manière rapide. Les cartes d'aléa devront donc être revues et mises à jour. De même, les cartes de risque proposées ici, qui sont issues de la grille de criticité définie par le GT, ne doivent pas être vues non plus comme stables dans le temps. La mise à disposition des cartes de vulnérabilité permet au lecteur d'identifier également les régions où des espèces de Lépidoptères à chenilles à soies urticantes auraient des impacts importants si elles y étaient introduites (expansion de leur aire de distribution).

Le GT a tenu compte des associations entre l'espèce cible et ses plantes hôtes dans la définition des aléas. Cependant, il faut rappeler ici que la liste des plantes hôtes est parfois incertaine et n'est donc pas exhaustive, et que leurs données de distribution ne sont pas toujours assez précises.

7.2 Recommandations relatives à la maîtrise des expositions des différentes populations (population générale et populations de professionnels)

Au vu des risques associés aux chenilles à soies urticantes pour la population générale et les populations professionnelles, le GT a défini différents niveaux de risque lors de l'analyse multicritères. Au vu des méthodes de lutte disponibles et/ou identifiées (curatives ou préventives) et des actions préventives ciblant les populations, les membres du GT ont proposé des recommandations de mesures de gestion proportionnées au niveau de risque identifié.

Les mesures de gestion proposées par le GT combinent des méthodes de lutte et des actions ciblant les populations et sont définies d'un point de vue générique, de la manière suivante :

- Classe de risque n°1 (niveau maximal) : mettre en place des mesures de surveillance (par exemple des pièges à phéromones, et observations directe et/ou indirectes) et selon les résultats, informer le public, mettre en place des méthodes de lutte curatives (selon les zones infestées et les niveaux d'infestation), et potentiellement associer ces mesures à une limitation d'accès aux zones forestières ou aux espaces verts infestés.
- Classe de risque n°2 : mettre en place des mesures de surveillance (par exemple des pièges à phéromones, et observations directes et/ou indirectes) pour adapter les mesures de gestion à la densité de chenilles et, selon les résultats de la surveillance, informer le public. Cette surveillance pourrait donner lieu à la mise en place de méthodes de lutte curatives et préventives ;
- Classe de risque n°3 : mettre en place un dispositif de surveillance allégé reposant sur une observation directe et laissé à la discrétion du gestionnaire de risque et, selon les résultats de la surveillance, informer le public. Cette surveillance pourrait donner lieu à la mise en place de méthodes de lutte préventives et/ou curatives.
- Classe de risque n°4 : information du public dans le cas de pullulations occasionnelles ;
- Classe de risque n°5 (niveau minimal) : pas d'action requise.

8 Conclusions du groupe de travail

8.1 Conclusions

Le travail d'identification des Lépidoptères dont les chenilles portent des poils urticants a permis de sélectionner 55 espèces appartenant à 29 genres qui se répartissent en 9 familles (Erebidae, Lasiocampidae, Limacodidae, Megalopygidae, Noctuidae, Notodontidae, Nymphalidae, Saturniidae, Zygaenidae) dont les aires de distribution géographique recouvrent la France métropolitaine et les DROM, ainsi que les pays limitrophes.

Ce travail de synthèse a permis de mieux caractériser les espèces ciblées par la saisine et d'identifier les espèces et genres de Lépidoptères à chenilles à poils urticants peu connues.

Le niveau de connaissance pour certaines de ces espèces de Lépidoptères (processionnaire du pin ou processionnaire du chêne) est relativement élevé. Néanmoins, les méthodes de lutte préventives ou curatives recensées présentent soit une efficacité limitée (compte tenu de la densité élevée des populations de chenilles à cibler), soit des contraintes d'application liées à la réglementation (peu de produits disponibles, épandage aérien interdit). Par ailleurs, les méthodes de lutte identifiées ont été principalement testées sur la chenille et la forme adulte de *T. pityocampa* (processionnaire du pin) et, dans une moindre mesure, sur la chenille de *T. processionea* (processionnaire du chêne).

En résumé, on peut recenser :

- pour les méthodes préventives : la plantation de plantes non hôtes par diversification des essences forestières (exclusivement destinée à la lutte contre la processionnaire du pin) ;
- pour les méthodes curatives : les méthodes mécaniques par la destruction manuelle des nids ou par la pose de pièges aux troncs des arbres (cette dernière ciblant exclusivement la processionnaire du pin).

D'autres méthodes curatives efficaces basées sur l'application de produits phytopharmaceutiques à base par exemple d'extraits de *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* (Btk) ou de spinosad existent. Cependant, si des produits à base, notamment, de Btk ou de spinosad sont autorisés dans le cadre de la réglementation phytopharmaceutique, aucun produit ne bénéficie d'une autorisation de mise sur le marché pour lutter contre les processionnaires du pin ou du chêne dans le cadre de la réglementation biocide. De plus, pour ce qui est des usages phytopharmaceutiques « Arbres et arbustes » et « Forêt », seuls les produits à base de Btk sont autorisés pour ces deux usages. De plus, les produits autorisés sont à usages génériques puisqu'ils ciblent globalement les chenilles phytophages. En conséquence, il conviendra de définir précisément les conditions d'utilisation des produits Btk pour réduire l'impact sur les lépidoptères non-cibles. L'efficacité d'un traitement avec le Btk est maximale lors des premiers stades larvaires. La distinction entre un usage biocide et un usage phytopharmaceutique semble ténue dans le cas présent.

Le GT suggère que les autorités compétentes incitent les pétitionnaires à soumettre des demandes d'autorisation de produits à base de Btk dans le cadre de la réglementation biocide, voire dans le cadre des deux réglementations pour pallier l'absence d'autorisation de produits dans le cadre de la réglementation biocide : les doses de traitement doivent vraisemblablement être similaires pour les deux usages et la cible de produit à base de Btk

est toujours la chenille et le produit permettrait *in fine* de protéger l'espèce humaine et les arbres.

Sur le volet santé humaine, l'analyse bibliographique et celle des données des centres antipoison (CAP), comme les résultats de l'enquête auprès de trois associations de dermatologues et/ou allergologues, montrent que l'exposition de la population humaine aux chenilles à poils urticants n'est pas suffisamment documentée pour permettre de caractériser systématiquement, d'une part, les cas d'urtication et les chenilles à poils urticants mises en cause, et d'autre part, les contextes et les facteurs de vulnérabilité (par exemple, dans des cas d'exposition n'impliquant pas un contact direct avec l'insecte).

A cela, s'ajoute le fait que les cas répertoriés par les CAP ne représentent qu'une partie des cas d'exposition, faute d'une collecte en routine des cas concernant la population générale comme la population professionnelle à risque, sur l'ensemble du territoire métropolitain ou ultramarin. Ce déficit de connaissance des cas cliniques en France empêche d'évaluer le fardeau sanitaire (pour la population générale et professionnelle) et le coût associé.

Sur le volet santé animale, l'analyse bibliographique montre que les données disponibles sur l'exposition des animaux aux chenilles à poils urticants sont limitées. Cependant, l'analyse statistique des données des centres antipoison vétérinaires (CAPV) mises à disposition du GT, a permis d'identifier certaines régions où l'augmentation des cas d'exposition déclarés peut être associée à une augmentation des populations de processionnaires du pin dans le temps. En effet, l'analyse statistique confirme un accroissement significatif des cas d'exposition au cours du temps en régions Bretagne, Grand Est, Hauts de France, Île-de-France, Pays de la Loire, et Nouvelle-Aquitaine. Il convient cependant de souligner que les cas d'exposition déclarés aux CAPV sont en faible nombre, ce qui induit une incertitude élevée quant au résultat de l'analyse statistique.

La proximité physique entre certains animaux sensibles aux poils urticants (comme le chien ou le cheval) et les êtres humains montre que la question de l'exposition aux chenilles à poils urticants peut être appréhendée comme une question de santé globale à la confluence entre le biotope, le monde végétal et animal et il existe un enjeu global à analyser les signaux d'alerte de ces atteintes à la santé et à l'environnement.

Les travaux du GT ont mis en évidence un impact marginal des défoliations par les chenilles à poils urticants sur la production sylvicole tant à l'échelle de l'arbre qu'à l'échelle du peuplement, excepté pour certaines conditions locales. Des phénomènes de dépérissements de peuplements induit par la CPC viennent perturber le régime d'exploitation sylvicole tandis que pour les défoliations par la CPP c'est le retard de croissance qui présente l'impact le plus significatif. Les outils méthodologiques pour mener un travail d'évaluation économique de ces impacts existent mais nécessitent la production de données relatives à la comparaison de la production sylvicole entre un scénario de référence et un scénario d'infestation. Une problématique similaire a été identifiée concernant le stockage de carbone atmosphérique.

Concernant l'évaluation économique de la perte récréative, la revue de littérature conduite par le GT a montré que les infestations par des ravageurs forestiers peuvent réduire les bénéfices récréatifs retirés des écosystèmes forestiers par le biais d'effets directs (*i.e.*, liés à la présence des insectes) et d'effets indirects (*i.e.*, liés aux impacts des infestations sur les arbres/peuplements et aux actions de gestion associées). Plus spécifiquement, la perte de

valeur récréative occasionnée en 2020 par les infestations de processionnaires du chêne dans le département des Vosges a été estimée entre 490 000 € et 1,5 million € pour l'ensemble de la saison estivale.

Enfin, il ressort de l'analyse multicritère telle qu'elle a été conduite par le GT (avec la grille de criticité choisie) que les zones à risque le plus élevé identifiées, se trouvent dans les régions suivantes :

- région Bretagne : bombyx cul-brun, processionnaire du pin et processionnaire du chêne ;
- région Grand Est : processionnaire du chêne ;
- région Nouvelle-Aquitaine : bombyx cul-brun et processionnaire du pin ;
- région Pays de la Loire : processionnaires du pin et du chêne ;
- région PACA : bombyx cul-brun et processionnaire du pin.

Le GT tient à rappeler que les 3 cartes de risque qui ont été analysées et dont les conclusions saillantes sont résumées ci-dessus, visent à représenter différents niveaux de risque sur un territoire donné pour les 3 espèces de Lépidoptères. Elles ne peuvent être comparées entre elles pour comprendre le risque qu'elles sont censées représenter. Ainsi, un risque élevé (niveau 1) d'exposition au bombyx cul-brun n'est pas de même intensité qu'un risque élevé (niveau 1) d'exposition à la processionnaire du pin par exemple. Il est important de garder à l'esprit que le bombyx cul-brun est largement présent sur le territoire mais à des densités de populations plus faibles que celles des populations de la processionnaire du pin. Par ailleurs, le GT souligne qu'un risque d'exposition représente une probabilité basée sur des données dont la fiabilité est variable.

Comme mentionné en conclusion de la première partie de ce rapport, les changements globaux dont le dérèglement climatique, affectent les aires de distribution et les dynamiques des espèces de Lépidoptères concernées, parfois de manière rapide. Les cartes d'aléa devront donc être revues et mises à jour, et les cartes de risque proposées ici, qui sont issues de la grille de criticité définie par le GT, ne doivent pas être vues non plus comme stables dans le temps. Le GT a tenu compte des associations entre l'espèce cible et ses plantes hôtes dans la définition des aléas. Cependant, il faut rappeler ici que la liste exhaustive des plantes hôtes est parfois incertaine, et que leurs données de distribution ne sont pas toujours assez précises. La mise à disposition des cartes de vulnérabilité dans le rapport permet au lecteur d'identifier également les régions où la présence de Lépidoptères à chenilles à poils urticants pourrait avoir des impacts importants sur les populations si ces régions étaient colonisées dans le futur (par exemple via l'expansion des aires de distribution).

8.2 Perspectives

Plusieurs sujets transversaux ont été identifiés au cours de l'expertise comme autant de perspectives pour des analyses et des évaluations d'intérêt futures. A titre d'exemple, la question de l'impact des méthodes de lutte contre les chenilles processionnaires sur la préservation de la biodiversité peut illustrer cette nécessaire analyse globale du risque lié à la présence de populations de chenilles à poils urticants. Au-delà de l'identification des méthodes de lutte disponibles, il est important de souligner que leur utilisation contre les chenilles à poils urticants peut avoir un impact sur la faune et la flore, lors de leurs mises en œuvre.

D'autres questions en lien avec les écosystèmes ont été abordées par le GT :

- la prise en compte des services écosystémiques rendus par les chenilles à poils urticants (par exemple : elles sont une source de nourriture importante pour les mésanges bleues) ;
- l'influence de l'environnement (sur la performance des méthodes de lutte ou sur la présence des chenilles à poils urticants).

Les enjeux liés à l'exposition des populations humaines et animales aux chenilles à poils urticants en milieu urbain représentent également une autre question soulevée par cette expertise.

8.3 Recommandations

Compte tenu de l'efficacité documentée des produits à base de *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* (Btk) pour un usage phytopharmaceutique, de la spécificité de la cible (chenilles de Lépidoptères), de son faible risque pour la santé humaine et son impact limité sur l'environnement (même si des risques pour les Lépidoptères non-cibles seront à prendre en compte), le GT suggère que les autorités compétentes incitent les pétitionnaires à soumettre des demandes d'autorisation de mise sur le marché (AMM) de produits à base de Btk pour la lutte contre la chenille processionnaire du pin, dans le cadre de la réglementation biocide voire dans le cadre des deux réglementations phytopharmaceutique et biocide⁷⁵ pour pallier l'absence d'autres produits biocides autorisés.

Les données actuellement disponibles sur l'impact des chenilles à poils urticants, tant en santé humaine qu'en santé animale, sont relativement limitées. Il serait pertinent d'envisager des études épidémiologiques afin de préciser la prévalence de ces cas d'intoxication, les contextes d'exposition et les modalités de contact, les différents tableaux cliniques, en particulier les formes graves et les atteintes oculaires, ainsi que les périodes à risque en fonction des régions.

Actuellement, il n'existe pas en France, en santé humaine, d'outils disponibles de diagnostic en routine des réactions allergiques basées sur les IgE. Or, la mise au point, et la mise à disposition, d'extraits validés de venins de chenilles permettant des tests cutanés et sanguins, est indispensable pour la mise en place de ces outils. Ils pourraient notamment faciliter le diagnostic et le dépistage des réactions allergiques (qui peuvent être graves) chez les populations exposées.

L'utilisation de données qui pourraient être récoltées par les praticiens de santé ou les organismes professionnels vétérinaires devrait permettre d'établir des bulletins d'alerte (selon les résultats de surveillances entomologiques) et de mieux signaler l'arrivée et l'intensité du risque dans les territoires.

La question d'un manque de données est également soulevée pour l'évaluation de l'impact des chenilles à poils urticants sur la production sylvicole, le stockage de carbone et la fourniture de services culturels et des coûts associés. Plus spécifiquement, le GT encourage la collecte de données relatives au différentiel de production sylvicole et de stockage de carbone atmosphérique entre un scénario de référence et un scénario d'infestation ainsi que

⁷⁵ Règlement (CE) n°1107/2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques.
Règlement (UE) n°44528/2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation des produits biocides.

l'étude de la dégradation de la valeur récréative des espaces forestiers induites par une infestation par des chenilles à poils urticants.

En conclusion, à l'issue des travaux liés à l'analyse de risque associé aux chenilles à poils urticants pour la population générale et les populations professionnelles, le GT a défini différents niveaux de risques lors de l'analyse multicritères mise en œuvre dans le cadre de l'expertise. Il convient de rappeler que les 5 niveaux de risque ainsi définis ne sont pas comparables d'une espèce de Lépidoptère à une autre, et ne définissent pas un risque absolu mais relatif (par comparaison d'un niveau de risque à un autre) pour une espèce donnée. Au vu des méthodes de lutte disponibles et/ou identifiées (curatives ou préventives) et des actions préventives ciblant les populations, les membres du GT recommandent des mesures de gestions proportionnées au niveau de risque identifié.

Ces mesures de gestion combinent des méthodes de lutte et des actions (plus ou moins nombreuses et plus ou moins contraignantes) ciblant les populations selon le niveau de risque, et sont définies d'un point de vue générique, de la manière suivante :

- Classe de risque n°1 (niveau maximal) : mettre en place des mesures de surveillance (par exemple des pièges à phéromones, et observations directe et/ou indirectes), et selon les résultats de surveillance, informer le public, mettre en place des méthodes de lutte curatives (selon les zones infestées et les niveaux d'infestation), et potentiellement associer ces mesures à une limitation d'accès aux zones forestières ou aux espaces verts infestés.
- Classe de risque n°2 : mettre en place des mesures de surveillance (par exemple des pièges à phéromones, et observations directes et/ou indirectes) pour adapter les mesures de gestion à la densité de chenilles et, selon les résultats de la surveillance, informer le public. Cette surveillance pourrait donner lieu à la mise en place de méthodes de lutte curatives et préventives ;
- Classe de risque n°3 : mettre en place un dispositif de surveillance allégé reposant sur une observation directe et laissé à la discrétion du gestionnaire de risque, informer le public (selon les résultats de la surveillance). Cette surveillance pourrait donner lieu à la mise en place de méthodes de lutte préventives et/ou curatives.
- Classe de risque n°4 : information du public dans le cas de pullulations occasionnelles ;
- Classe de risque n°5 (niveau minimal) : pas d'action requise.

Date de validation du rapport d'expertise collective par le groupe de travail : 14/09/2023

Date de validation du rapport d'expertise collective par le comité d'experts spécialisé : 26/09/2023

9 Bibliographie

9.1 Publications

Abildtrup J., S. Garcia, Y. Kervinio, E. Sullice, L. Tardieu, et C. Montagné-Huck. (2021). « Les usages récréatifs des forêts métropolitaines ». Paris : Ministère de la Transition Ecologique.

Aimi A., A. Zocca, S. Minerbi, K. Hellrigi, P. Gatto, A. Battisti. (2006). The outbreak of the pine processionary moth in Venosta/Vinschgau: ecological and economics aspects. *Forest Observer*, 2(2): 69-80.

Anses. (2013). Rapport relatif aux « Méthodes de lutte alternatives à l'épandage aérien de produits phytosanitaires contre les processionnaires du pin et du chêne en conditions urbaines ». (saisine n°2012-SA-0149). Anses. 66 p. <https://www.anses.fr/fr/system/files/SVEG2012sa0149Ra.pdf>

Agarwal M., M.C. Acharya, S. Majumdar & L. Paul. (2017). Managing multiple caterpillar hair in the eye. *Indian Journal of Ophthalmology*, 65(3): 248-250. 10.4103/ijo.IJO_985_15.

Al Somali A.I., W. Otaif, T.M. Afifi, U.A. Moustafa & K.E. Emara. (2021). Ophthalmia nodosa secondary to multiple intraocular caterpillar hairs in a 2-year-old girl. *Saudi Journal of Ophthalmology*, 34: 230-2.

Alvarez-Flores M.P., R.N. Gomes, D. Trevisan-Silva, D.S. Oliveira, I.d.F.C. Batista, M.V. Buri, A.M. Alvarez, C. DeOcesano- Pereira, M. Medina de Souza & A.M. Chudzinski-Tavassi. (2021). *Lonomia obliqua* Envenoming and Innovative Research. *Toxins*, 13, 832. 10.3390/toxins13120832.

Alves A.O. & F.B. Filho. (2018). Erucism due to cup moth. *Pan African Medical Journal*, 30. 10.11604/pamj.2018.30.16.15185. eCollection 2018.

Arnberger A., M. Ebenberger, I.E. Schneider, S. Cottrell, A.C. Schlueter, E. von Ruschkowski, R.C. Venette, S.A. Snyder & P.H. Gobster. (2018). Visitor Preferences for Visual Changes in Bark Beetle-Impacted Forest Recreation Settings in the United States and Germany. *Environmental Management*, 61(2): 209-23. doi: 10.1007/s00267-017-0975-4.

Arnberger A., I.E. Schneider, M. Ebenberger, R. Eder, R.C. Venette, S.A. Snyder, P.H. Gobster, A. Choi & S. Cottrell. (2017). Emerald ash borer impacts on visual preferences for urban forest recreation settings. *Urban Forestry & Urban Greening*, 27: 235-45. doi: 10.1016/j.ufug.2017.08.004.

Arnberger A., I.E. Schneider, R. Eder & A. Choi. (2020). Differences in urban forest visitor preferences for emerald ash borer-impacted areas. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 93(2): 225-38. doi: 10.1093/forestry/cpz072.

Avilán L., B. Guerrero, E. Alvarez & A. Rodríguez-Acosta. (2010). Description of envenomation by the "gusano-pollo" caterpillar (*Megalopyge opercularis*) in Venezuela. *Investigacion Clinica*. 51(1): 127-32.

Auger-Rozenberg M.-A., Barbaro L., Battisti A., Blache S., Charbonnier Y., Denux O., Garcia J., Goussard F., Imbert C.-E., Kerdelhué C., Roques A., Torres-Leguizamon M. & Vétillard F. (2015). Ecological responses of parasitoids, predators and associated insect communities to the climate-driven expansion of the pine processionary moth. In: Roques A (ed) *Processionary moths and climate change: an update*. Springer Netherlands, 311-357.

Balit C.R., M.J. Geary, R.C. Russell & G.K. Isbister. (2004). Clinical effects of exposure to the Whitestemmed gum moth (*Chelepteryx collesi*). *Emergency Medicine Australasia*, 16(1): 74-81.

Balit C.R., M.J. Geary, R.C. Russell & G.K. Isbister. (2003). Prospective study of definite caterpillar exposures. *Toxicon*, 42: 657-662

Balit C.R., H.C. Ptolemy, M.J. Geary, R.C. Russell & G.K. Isbister. (2001). Outbreak of caterpillar dermatitis caused by airborne hairs of the mistletoe browntail moth (*Euproctis edwardsi*). *Medical Journal of Australia*, 175(11-12): 641-643. 10.5694/j.1326-5377.2001.tb143760.x.

- Barbaro L. & A. Battisti. (2011). Birds as predators of the pine processionary moth (Lepidoptera: Notodontidae). *Biological Control*, 56(2): 107-114.
- Bastit F., M. Brunette & C. Montagné-Huck.(2023). « Pests, wind and fire: A multi-hazard risk review for natural disturbances in forests ». *Ecological Economics*, 205.doi: 10.1016/j.ecolecon.2022.107702.
- Basso A., D. Avtzis, C. Burban, C. Kerdelhué, K. İpekdağ, E. Magnoux, J. Rousselet, E. Negrisolo & A. Battisti. (2023). The pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Notodontidae) species complex: a phylogeny-based revision. *Arthropod Phylogeny and Evolution*, in press.
- Battisti A., Basso A., Avtzis D., Burban C., Kerdelhué C., İpekdağ K., Magnoux E., Rousselet J. & Negrisolo E. sous presse. The pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* species complex: a phylogeny-based revision. *Arthropod Systematics & Phylogeny*: sous presse
- Battisti A., G. Holm, B. Fagrell & S. Larsson. (2011). Urticating hairs in arthropods – their nature and medical significance. *Annual Review of Entomology*, 56: 203-220.
- Battisti A., M. Stastny, S. Netherer, C. Robinet, A. Schopf, A. Roques & S. Larsson. (2005). Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological Applications*, 15(6): 2084-2096.
- Battisti A., M. Bernardi & C. Ghirardo. (2000). Predation by the hoopoe (*Upupa epops*) on pupae of *Thaumetopoea pityocampa* and the likely influence on other natural enemies. *BioControl*, 45: 311-323.
- Baur S. & B. Hettlich. (2019). Hochgradige Zungenverletzung nach vermutetem Kontakt mit Prozessionsspinnerräupen. Auswirkungen und empfohlene Therapie beim Hund Kleintierpraxis, 64: 688-697.
- Bayraktutar B.N., A.Y. Taş & A. Şahin. (2020). Fungal Keratitis, or Misled by a Small Insect? *Turkish Journal of Ophthalmology*, 50(2): 107-109. doi: 10.4274/tjo.galenos.2019.30670.
- Berardi L., M. Pivato, G. Arrigoni, E. Mitali, A.R. Trentin, M. Olivieri, C. Kerdelhué, F. Dorkeld, S. Nidelet, E. Dubois, A. Battisti & A. Masi. (2017). Proteome Analysis of Urticating Setae From *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera: Notodontidae). *Journal of Medical Entomology*. 54(6): 1560-1566. doi: 10.1093/jme/tjx144.
- Berardi L., A. Battisti & E. Negrisolo. (2015). The allergenic protein Tha p 2 of processionary moths of the genus *Thaumetopoea* (Thaumetopoeinae, Notodontidae, Lepidoptera): Characterization and evolution. *Gene*, 574: 317-324.
- Bergia F. et G. Keck. (1991). Quelques cas d'ingestion de chenilles processionnaires. *L'action vétérinaire*, 1182, 20.
- Bhardwaj A.K.J., N. Fnais & C.J. Chin. (2020). A prickly situation: an attempted Caterpillar ingestion - case report. *Journal of Otolaryngology - Head and Neck Surgery*, 49: 70.
- Blanchard G. (1994). Erucisme chez le chien. A propos de 6 observations cliniques dans le Sud-Est de la France. *Recueil de Médecine Vétérinaire*, 170 (1) : 9-16.
- Bleriot A., C. Couret, P. Lebranchu, G. Le Meur & M. Weber. (2015). Keratitis due to foreign bodies from a processionary caterpillar nest. *Journal Français d'Ophtalmologie*, 38(1): 85-6. doi: 10.1016/j.jfo.2014.06.010.
- Bockstael N. & K.E. McConnell. (2007). Environmental and resource valuation with revealed preferences: a theoretical guide to empirical models. *The Economics of Non-Market Goods and Resources* (Vol. 7). Dordrecht : Springer.
- Bonamonte D., C. Foti, M. Vestita & G. Angelini. (2013). Skin Reactions to pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. *Scientific World Journal*. doi: 10.1155/2013/867431.
- Boyd K.S., F. Drummond, C. Donahue & E. Groden. (2021). Factors influencing the population fluctuations of *Euproctis chrysorrhoea*(Lepidoptera: Erebidae) in Maine. *Environmental Entomology*, 50: 1203–1216. doi:10.1093/ee/nvab060.

- Branco M., M. Santos, T. Calvao, G. Telfer & M.R. Paiva. (2008). Arthropod diversity sheltered in *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera: Notodontidae) larval nests. *Insect Conservation and Diversity*, 1: 215–221.
- Braque R. (1999). Un cas d'envenimation par les processionnaires du chêne. *La Semaine Vétérinaire*, n°920, 27.
- Brinquin A.-S., Bailly C., Schmuck H., Saintonge F.-X. (2022). La processionnaire du chêne : mieux la connaître pour mieux s'en protéger. A destination du grand public. INRAE/ONF. Edition avril 2022.
- Brinquin A.-S., Muller L., Guérin M., Gutleben C. (2020). Lutte contre la processionnaire du pin : évolution des pratiques. *Phytoma, la défense des végétaux*. 735: 39-44.
- Brinquin A.-S. et J.-C. Martin. (2015). Guide technique sur la gestion de la processionnaire du pin. *Phytoma, la défense des végétaux*. 680: 48-49.
- Brinquin A.-S. et J.-C. Martin. (2014). Les clés pour lutter contre la processionnaire du pin. https://www.departement06.fr/documents/A-votre-service/Cadre-de-vie/proteger/dpt06_avotreservice_cadredevie_protegerlaforet-lutte-chenille-processionnaire.pdf.
- Brinquin A.-S., J.-C. Martin, C. Gutleben et P. Laille. (2013). Processionnaire du pin, les pratiques des communes. *Phytoma, la défense des végétaux*. 665: 18-22.
- Brossard T., D. Joly, F.-P. Tourneux, J. Cavailhès, M. Hilal, P. Wavresky, J. Le Gallo, *et al.* (2008). La valeur économique des paysages des villes périurbanisées. *Économie publique/Public economics*, n° 20(février). doi: 10.4000/economiepublique.7202.
- Brunier L., F. Delport et X. Gauquelin. 2020. Guide de gestion des crises sanitaires en forêt, RMT AFORCE, 185 p.
- Bruchim Y., E. Ranen, J. Saragusty & I. Aroch. (2005). Severe tongue necrosis associated with pine processionary moth (*Thaumetopoea wilkinsoni*) ingestion in three dogs. *Toxicon*, 45(4): 443-447.
- Cabrera G., U. Lundberg, A. Rodríguez-Ulloa, M. Herrera, W. Machado, M. Portela, S. Palomares, L.A. Espinosa, Y. Ramos, R. Durán, V. Besada, E. Vonasek & L.J. González. (2017). Protein content of the *Hylesia metabus* egg nest setae (Cramer [1775]) (Lepidoptera: Saturniidae) and its association with the parental investment for the reproductive success and lepidopterism. *Journal of Proteomics*, 150: 183-200. doi: 10.1016/j.jprot.2016.08.010.
- Cabrera G., V. Salazar, R. Montesino *et al.* (2016). Structural characterization and biological implications of sulfated N-glycans in a serine protease from the neotropical moth *Hylesia metabus* (Cramer [1775]) (Lepidoptera: Saturniidae). *Glycobiology*. 26(3): 230–250. doi : 10.1093/glycob/cwv096.
- Campolmi N., A.S. Gauthier, E. Cinotti, F. Forest, G. Thuret & P. Gain. (2014). Specular microscopic analysis of endothelial wound healing after trauma from pine processionary caterpillar hairs: pediatric case report. *Journal Français d'Ophtalmologie*. 37(6):e83-5. doi: 10.1016/j.jfo.2013.09.014.
- Carrijo-Carvalho L.D. & A.M. Chudzinski-Tavassi. (2007). The venom of the *Lonomia* caterpillar: An overview. *Toxicon*, 49: 741-757.
- Carvalho Mendes A.M.S. (2005). « Portugal. » In “Valuing mediterranean forests: towards total economic value”. Sous la direction de M. Merlo et L. Croitoru, 1^{re} éd., 331-52. UK : CABI Publishing. doi: 10.1079/9780851999975.0331.
- Casafús M.G., M.A. Gritti, K.Y. González, M.N. Sánchez, J.M. Sciani, M.M. Martínez, G.P. Teibler & M.E. Peichoto. (2022). Unraveling the distinctive venomous features of the saturniid *Hylesia* sp.: An integrative approach of a public health concern in Argentina. *Acta Tropica*. 231, 106428. doi: 10.1016/j.actatropica.2022.106428.
- Castagneyrol B., M.V. Kozlov, C. Poeydebat, M. Toïgo & H. Jactel. (2020). Associational resistance to a pest insect fades with time. *Journal of Pest Science*, 93: 427-437. doi: 10.1007/s10340-019-01148-y.

- Castagneyrol B., M. Régolini & H. Jactel. (2014). Tree species composition rather than diversity triggers associational resistance to the pine processionary moth. *Basic and Applied Ecology*, 15(6): 516-523. doi: 10.1016/j.baae.2014.06.008.
- Cawdell-Smith A.J., K.H. Todhunter, N.R. Perkins & W.L. Bryden. (2009). Stage of pregnancy and foetal loss following exposure of mares to processionary caterpillars. *Journal of Equine Veterinary Science*, 29(5): 339-340.
- Chan K. (2008). Caterpillar-induced bleeding syndrome in a returning traveller. *CMAJ*, 179: 158-161
- Chandrasekaran M. & R. Mensah. (2008). Caterpillar dermatitis. *Indian Pediatrics*. 45(4): 307.
- Charbonnier Y., L. Barbaro, A. Theillout & H. Jactel. (2014) Numerical and Functional Responses of Forest Bats to a Major Insect Pest in Pine Plantations. *PLoS One*, 9(10): e109488. doi: 10.1371/journal.pone.0109488.
- Charmot P. (1987). « La chenille processionnaire du pin *Thaumetopoea pityocampa* Schiff, et son importance médicale ». Thèse de Médecine Vétérinaire, Lyon, n°020, 132 p.
- Chermette R. et G. Chareyre. (1994). A propos des chenilles processionnaires. *Le Point Vétérinaire*, 26(159), 9.
- Clément O., T. Barnay, et C. Le Pen. (2011). « Actualisation partielle du Guide méthodologique pour l'évaluation économique des stratégies de santé ».
- Citeli N., P.P. de Queiros, M. de Carvalho *et al.* (2021). Report of erucism caused by *Automeris egeus* Cramer (Lepidoptera: Saturniidae) and a brief update on caterpillar envenomation in Brazil. *EntomoBrasilis*, 14: e963.
- Claudet I. & C. Maréchal. (2009). A transatlantic caterpillar. *Pediatr Emerg Care*. 25(3): 186-187. doi: 10.1097/PEC.0b013e31819a8a2e.
- Conrath J., E. Hadjadj, B. Balansard & B. Ridings. (2000). Caterpillar Setae–Induced Acute Anterior Uveitis: A Case Report. *American Journal of Ophthalmology*, 130: 841–843.
- Cohen J., C.E. Blinn, K.J. Boyle, T.P. Holmes & K. Moeltner. (2016). Hedonic Valuation with Translating Amenities: Mountain Pine Beetles and Host Trees in the Colorado Front Range. *Environmental and Resource Economics*, 6 (3): 613-642. doi: 10.1007/s10640-014-9856-y.
- Commissariat Général au Développement Durable. (2017). « Efese - Cadre conceptuel ». Paris : Ministère de la Transition Ecologique.
- (2020). « Du constat à l'action - Rapport de première phase de l'évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques ». Paris : Ministère de la Transition Ecologique.
- Cordellier M. et M. Dobré. (2015). « Usages et images de la forêt en France Enquête "Forêt et société 2015" synthèse. » Université de Caen et ONF. (Consulté le 8 juillet 2021). https://draaf.nouvelle-aquitaine.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/synthese-enquete-foret-et-societe-2015_cle89f2c8.pdf.
- Costa D., J. Esteban, F. Sanz, J. Vergara & E. Huguet. (2016). Ocular lesions produced by pine processionary caterpillar setae (*Thaumetopoea pityocampa*) in dogs: a descriptive study. *Veterinary Ophthalmology*, 19(6): 493-497. doi: 10.1111/vop.12333.
- Couppié P., C. Marty, D. Sainte-Marie & R. Pradinaud. (1998). Poisonous caterpillars in French Guyana. 5 cases. *Annales de Dermatologie et de Venereologie*, 125(8): 489-91.
- Csóka, G., A. Hirka, L. Szöcs, N. Móricz, E. Rasztoivits & Z. Pödör. (2018). Weather-dependent fluctuations in the abundance of the oak processionary moth, *Thaumetopoea processionea* (Lepidoptera: Notodontidae). *European Journal of Entomology*, 115: 249–255.
- Damestoy T., H. Jactel, T. Belouard, H. Schmuck, C. Plomion & B. Castagneyrol. (2020). Tree species identity and forest composition affect the number of oak processionary moth captured in pheromone traps and the intensity of larval defoliation. *Agricultural and Forest Entomology*, 22(2): 16977. <https://doi.org/10.1111/afe.12371>.

- Damestoy T., X. Moreira, H. Jactel, E. Valdes-Correcher, C. Plomion, & B. Castagneyrol. (2019). Growth and mortality of the oak processionary moth, *Thaumetopoea processionea* L., on two oak species: direct and trait-mediated effects of host and neighbour species identity. *Entomologia Generalis*, 41(1): 13-25. 10.1127/entomologia/2020/1005.
- Damien M., H. Jactel, C. Meredieu, M. Régolini, I. van Halder & B. Castagneyrol. (2016). Pest damage in mixed forests: Disentangling the effects of neighbor identity, host density and host apparency at different spatial scales. *Forest Ecology and Management*, 378: 103-110. doi: 10.1016/j.foreco.2016.07.025.
- Darrasse G. (1991). « La chenille processionnaire du pin. Contribution épidémiologique et clinique ». Thèse de Médecine Vétérinaire, Toulouse, n°101, 49 p.
- Debreux A.-C. (2004). Les chenilles urticantes. Nuisances causées par la chenille processionnaire du chêne dans une partie du bassin Meurthe et Mosellan. Thèse de doctorat en Pharmacie 2004. Université Henri Poincaré.
- Démolin, G. (1969). Bioécologie de la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Incidences des facteurs climatiques. *Boletín del Servicio de Plagas Forestales*, 23 : 1–14.
- Démolin, G. (1969). Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff.: dispersion spatiale, importance écologique. *Annales des Sciences Forestières*, 26 : 81-102.
- Diaz J.H. (2005). The evolving global epidemiology, syndromic classification, management, and prevention of caterpillar envenoming. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 72(3): 347-57.
- Díaz S., U. Pascual, M. Stenseke, B. Martín-López, R.T. Watson, Z. Molnár, R. Hill, *et al.* (2018). Assessing Nature's Contributions to People. *Science*, 359(6373): 270–272. doi: 10.1126/science.aap8826.
- Díaz S., S. Demissew, J. Carabias, C. Joly, M. Lonsdale, N. Ash, A. Larigauderie, *et al.* (2015). The IPBES Conceptual Framework — connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14 (juin): 1-16. doi: 10.1016/j.cosust.2014.11.002.
- Dorkeld F., R. Streiff, G. Castel, L. Sauné, M. Ogliastro & C. Kerdelhué. (2023). Sequence, assembly and count datasets of viruses associated to the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller) (Lepidoptera, Notodontidae) identified from transcriptomic high-throughput sequencing. *Data in Brief* 48: 109180. doi: 10.1016/j.dib.2023.109180.
- Ducarme F., F. Flipo & D. Couvet. (2021). How the Diversity of Human Concepts of Nature Affects Conservation of Biodiversity. *Conservation Biology*, 35(3): 1019–1028. doi: 10.1111/cobi.13639.
- Ducombs G. (2007). Erucisme et papillonite. In *Progrès en Dermato-allergologie Paris 2007*. Éditions John Libbey Eurotext. pp 79-91.
- Dubatolov V.V., V.V. Zolotuhin & T.J. Witt. (2016). Revision of *Lithosia* Fabricius, 1798 and *Conilepia* Hampson, 1900 (Lepidoptera, Arctiidae). *Zootaxa*, 4107: 175-196.
- DuGar B., J. Sterbank, H. Tcheurekdjian & R. Hostoffer. (2014). Beware of the caterpillar: Anaphylaxis to the spotted tussock moth caterpillar, *Lophocampa maculate*. *Allergy & Rhinology*. 5: e113–e115. doi: 10.2500/ar.2014.5.0086.
- Dulaurent, A.-M., A.J. Porté, I. van Halder, F. Vetillard, P. Menassieu & H. Jactel. (2012). Hide and seek in forests: colonization by the pine processionary moth is impeded by the presence of nonhost trees. *Agricultural and Forest Entomology*, 14: 19-27. doi:10.1111/j.1461-9563.2011.00549.x.
- Dulaurent A.-M., A.J. Porté, I. van Halder, F. Vetillard, P. Menassieu, & H. Jactel. (2011). A case of habitat complementation in forest pests: Pine processionary moth pupae survive better in open areas. *Forest Ecology and Management*, 261: 1069-1076. doi:10.1016/j.foreco.2010.12.029.
- Dunlop K. & S. Freeman. (1997). Caterpillar dermatitis. *Australasian Journal of Dermatology*, 38(4):193-195. doi: 10.1111/j.1440-0960.1997.tb01695.x.

- EFSA. (2009). Scientific opinion - Evaluation of a pest risk analysis on *Thaumetopoea processionea* L., the oak processionary moth, prepared by the UK and extension of its scope to the EU territory. The EFSA Journal, 1195: 1-64. 10.2903/j.efsa.2009.1195.
- Ellis C.R., D.M. Elston, E.W. Hossler, S.E. Cowper & R.P. Rapini. (2021). What's Eating You? Caterpillars. *Cutis*, 108(6): 346-351. doi: 10.12788/cutis.0406.
- Estrella M. & D.M. Elston. (2020). What's eating you ? *Megalopyge opercularis*. *Cutis*, 106(1): 23-24;27.
- Everson G.W., J.B. Chapin, S.A. Normann. (1990). Caterpillar envenomations: a prospective study of 112 cases. *Veterinary and Human Toxicology*, 32(2): 114-119.
- Fagrell B., G. Jorneskog, A.C. Salomonsson, S. Larsson, G. Holm. (2008). Skin reactions induced by experimental exposure to setae from larvae of the northern pine processionary moth (*Thaumetopoea pinivora*). *Contact Dermatitis*, 59: 290–295.
- Faucheux M.J. (2007). Les poils urticants de la chenille de *Lithosia quadra* Linnaeus 1758 : structure et fonctionnement particuliers (Lepidoptera : Arctiidae : Lithosinae). *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France*, 29(4) : 202-205.
- Fenk L., B. Vogel & H. Horvath. (2007). Dispersion of the bio-aerosol produced by the oak processionary moth. *Aerobiologia*, 23: 79–87.
- Fitzgerald, T. D. (2003). Role of trail pheromone in foraging and processionary behavior of pine processionary caterpillars *Thaumetopoea pityocampa*. *Journal of Chemical Ecology*, 29(3): 513-532.
- Forkel S., J. Mörlein, M. Sulk, C. Beutner, W. Rohe, M.P. Schön, J. Geier & T. Buhl. (2021). Work-related hazards due to oak processionary moths: a pilot survey on medical symptoms. *Journal of the European Academy of Dermatology & Venereology*, 35(11): e779-e782. doi: 10.1111/jdv.17456.
- Fournier I., M. Saleh, J. Beynat, C. Creuzot-Garcher, T. Bourcier & C. Speeg-Schatz. (2011). Cornea imagery and keratitis caused by processionary caterpillar hairs. *Journal Français d'Ophtalmologie*, 34(3):164-7. doi: 10.1016/j.jfo.2010.11.004.
- Fraser S.G., T.C. Dowd, R.C. Bosanquet & D.G. Cottrell. (1995). Argon and YAG lasers in the treatment of ophthalmia nodosa. *Eye*, 9: 638-640. doi: 10.1038/eye.1995.155.
- Fraser S.G., T.C. Dowd, R.C. Bosanquet. (1994). Intraocular caterpillar hairs (setae): clinical course and management. *Eye*, 8: 596-598. doi: 10.1038/eye.1994.144.
- Fuentes Aparicio V., L. Zapatero Remón, M.I. Martínez Molero, E. Alonso Lebreros, J.M. Beitia Mazuecos & B. Bartolomé Zavala. (2006). Allergy to pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*) in children. *Allergologia et Immunopathologia*, 34(2): 59-63. doi: 10.1157/13086748.
- Fuentes Aparicio V., M. de Barrio Fernández, M. Rubio Sotés, A. Rodríguez Paredes, M.I. Martínez Molero, L. Zapatero Remón & B. Bartolomé Zavala. (2004). Non-occupational allergy caused by the pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*). *Allergologia et Immunopathologia*, 32(2): 69-75. doi: 10.1016/s0301-0546(04)79230-7.
- Gaden S.R., P.R. Ackery, I. Kitching, G.W. Beccaloni & L. M. Hernández. (2023). HOSTS - a Database of the World's Lepidopteran Hostplants [Data set]. Natural History Museum. doi: 10.5519/havt50xw.
- Garcia S. et J. Jacob. (2010). La valeur récréative de la forêt en France : une approche par les coûts de déplacement. *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement - Review of agricultural and environmental studies*, 91(1): 43–71. doi: 10.3406/reae.2010.1938.
- Gardner T.L., D.M. Elston. (1997). Painful papulovesicles produced by the puss caterpillar. *Cutis*, 60(3): 125-126.
- Gatto P., A. Zocca, A. Battisti, M.J. Barrento, M. Branco, et M.R. Paiva. (2009). Economic assessment of managing processionary moth in pine forests: A case-study in Portugal. *Journal of Environmental Management*, 90(2): 683-691. doi: 10.1016/j.jenvman.2008.01.007.

- Gault G., E. Adamczyk, D. Grancher & V. Lattard. (2018). « Chenilles processionnaires du pin et du chêne : évolution épidémiologique influencée par la biologie des espèces ». Congrès National de Toxicologie Clinique « Toxines Naturelles ». 4-5 avril 2018, Angers (France).
- Géri, C., C. Millier & D. Xeuxet. (1985). Mesure des populations de processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) (Lepidoptère Thaumetopoeidae) au Mont Ventoux. *Annals of Forest Science*, 42 : 143–184.
- Gleyze D. 1995. « Envenimation des carnivores domestiques par les vipères, les chenilles processionnaires et les batraciens ». Thèse de Médecine Vétérinaire, Lyon, n°029, 105 p.
- Godefroid M., N. Meurisse, F. Groenen, C. Kerdelhué & J.-P. Rossi. (2020). Current and future distribution of the invasive oak processionary moth. *Biological Invasions*, 22(2): 523-534. doi: 10.1007/s10530-019-02108-4.
- Goebel M. (1987). Gypsy moth infestations on the Allegheny National Forest has direct impacts on recreationists: coping with the gypsy moth in the new frontier. In “*Proceedings of a Workshop for Forest Managers*”. 59-64. Fosbroke, S., Hicks, R. (Eds.), West Virginia University, Morgantown, WV.
- Goldman B.S. & B.N. Bragg. (2021). Caterpillar and Moth Bites. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. PMID: 30969673.
- González C., L. Sandoval, A. Motta & M. Rolón. (2021). What's Eating You? Black Butterfly (*Hylesia nigricans*). *Cutis*. 107(2): 68-70. doi: 10.12788/cutis.0170.
- González-Martín-Moro J., I. Contreras-Martín, M. Castro-Rebollo, I. Fuentes-Vega & J. Zarallo-Gallardo. (2019). Focal cortical cataract due to caterpillar hair migration. *Clinical and Experimental Optometry*. 102(1): 89-90. doi: 10.1111/cxo.12809.
- Gottschling S., S. Meyer, D. Dill-Mueller, D. Wurm & L. Gortner. (2007). Outbreak report of airborne caterpillar dermatitis in a kindergarten. *Dermatology*, 215(1): 5-9. doi: 10.1159/000102027.
- Gottschling S., S. Meyer. (2006). An epidemic airborne disease caused by the oak processionary caterpillar. *Pediatric Dermatology*, 23(1): 64-6. doi: 10.1111/j.1525-1470.2006.00173.x.
- Gourreau J.M. (2002). La fièvre aphteuse chez les ovins et chez les caprins. *Le Point Vétérinaire*, **33** (numéro spécial), 66-69.
- Gourreau J.M., M. Cornelis, A. Bourgeois, P. Picard & J. Laigle. (2002). Allergie aux poils de chenille processionnaire du pin chez des moutons. *Le Bulletin des Groupements Techniques Vétérinaires*, n°14, 93-95.
- Greene S.C. & J.M. Carey. (2020). Puss Caterpillar Envenomation: Erucism Mimicking Appendicitis in a Young Child. *Pediatric Emergency Care*. 36(12):e732-e734. doi: 10.1097/PEC.0000000000001514.
- Grisson P., C. Vago & R. Maury. (1959). La lutte contre la processionnaire du pin « *Thaumetopoea pityocampa* » Schiff dans le massif du Ventoux: Essai d'utilisation pratique d'un virus spécifique. *Revue Forestière Française*, 5, 363-370.
- Groenen F. & N. Meurisse. (2012). Historical distribution of the oak processionary moth *Thaumetopoea processionea* in Europe suggests recolonization instead of expansion. *Agricultural and Forest Entomology*, 14(2): 147-155. doi: 10.1111/j.1461-9563.2011.00552.x.
- Guérin M., L. Muller et A.-S. Brinquin. (2020). Processionnaires du pin, processionnaire du chêne, pyrale du buis : situation, enjeux et bilan des pratiques de gestion dans les JEVI. *Plante&Cité et INRAE*, 88p.
- Haddad V. Jr, J.L. Cardoso, O. Lupi & S.K. Tying. (2012). Tropical dermatology: Venomous arthropods and human skin: Part I. *Insecta. Journal of the American Academy of Dermatology*, 67(3):331.e1-14; quiz 345. doi: 10.1016/j.jaad.2012.04.048.
- Haines-Young R. et M. Potschin-Young. (2018). Revision of the Common International Classification for Ecosystem Services (CICES V5.1): A Policy Brief. *One Ecosystem*, 3: e27108. doi: 10.3897/oneeco.3.e27108.

- Holmes T.P., J.E. Aukema, B. Von Holle, A. Liebhold & E. Sills. (2009). Economic Impacts of Invasive Species in Forests: Past, Present, and Future. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1162(1): 18-38. doi: 10.1111/j.1749-6632.2009.04446.x.
- Holmes T.P., E.A. Murphy, K.P. Bell, & D.D. Royle. (2010). Property Value Impacts of Hemlock Woolly Adelgid in Residential Forests. *Forest Science*, 56(6): 529-540.
- Haq M., A. O'Toole, J. Beecker & M.J. Gooderham. (2021). Return of *Lymantria dispar dispar* (gypsy moth): A case report. *SAGE Open Medical Case Reports*, 9:2050313X211057926. doi: 10.1177/2050313X211057926.
- Hassing R.J. & A.G. Bauer. (2008). Pruritic dermatitis on an oil tanker after a visit to French Guyana. *Journal of Travel Medicine*, 15(6): 464-465. doi: 10.1111/j.1708-8305.2008.00260.x.
- Hesler L.S., T.M. Logan, M.W. Benenson & C. Moser. (1999). Acute dermatitis from oak processionary caterpillars in a U.S. military community in Germany. *Military Medicine*, 164(11):767-70.
- Hoch G., S. Verucchi & A. Schopf. (2008). Microsporidian pathogens of the oak processionary moth, *Thaumetopoea processionea* (L.)(Lep., Thaumetopoeidae), in eastern Austria's oak forests. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie*, 16: 225-228.
- Holm G., M. Andersson, M. Ekberg, B. Fagrell, J. Sjöberg *et al.* (2014). Setae from Larvae of the Northern Processionary Moth (*Thaumetopoea pinivora*, TP) Stimulate Proliferation of Human Blood Lymphocytes In Vitro. *PLoS ONE*, 9(12): e113977. doi:10.1371/journal.pone.0113977.
- Hornig C.T., P.I. Chou & J.B. Liang. (2000). Caterpillar Setae in the Deep Cornea and Anterior Chamber. *American Journal of Ophthalmology*, 129: 384–385.
- Hossler E.W. (2010a). Caterpillars and moths: Part I. Dermatologic manifestations of encounters with Lepidoptera. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 62(1), 1-10. doi: 10.1016/j.jaad.2009.08.060.
- Hossler E.W. (2010b). Caterpillars and moths: Part II. Dermatologic manifestations of encounters with Lepidoptera. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 62(1), 13-28. doi: 10.1016/j.jaad.2009.08.061.
- Hossler E.W. (2009). Caterpillars and moths. *Dermatologic Therapy*. 22(4), 353-366. doi: 10.1111/j.1529-8019.2009.01247.x.
- Huang D.Z. (1991). Dendrolimiasis: an analysis of 58 cases. *J Trop Med Hyg.* 94(2):79-87. PMID: 2023292
- Huchon, H. et G. Demolin. (1971). La bioécologie de la processionnaire du pin [*Thaumetopoea pityocampa*]. *Phytoma*. 23 : 11-20.
- Huggett R.J., E.A. Murphy & T.P. Holmes. (2008). Forest Disturbance Impacts on Residential Property Values. In "*The Economics of Forest Disturbances*". Sous la direction de Thomas P. Holmes, Jeffrey P. Prestemon & K.L. Abt. *Forestry Sciences*, 79: 209-228. doi : 10.1007/978-1-4020-4370-3_11.
- Hugo J., M. Beylerian, M. Callet, A. Speybrouck, L. Hoffart & D. Denis. (2019). Multimodal anterior segment imaging of a processionary caterpillar hair-induced keratitis: A case report. *Journal Français d'Ophtalmologie*, 42(2):e51-e54. doi: 10.1016/j.jfo.2018.06.011.
- Inal A., D.U. Altintaş, H.K. Güvenmez, M. Yilmaz & S.G. Kendirli. (2006). Life-threatening facial edema due to pine caterpillar mimicking an allergic event. *Allergologia et Immunopathologia*. 34(4): 171-3. doi: 10.1157/13091043.
- Izquierdo-Rodriguez C., E. Dorronzoro-Ramirez, J. Gonzalez-Martin-Moro, P. Moreno-Martín, F. Gómez-Sanz & R. Cobo-Soriano. (2022). Ophthalmia nodosa due to the pine processionary caterpillar: Report of three cases and review of the literature. *Journal Français d'Ophtalmologie*. 45(2):e81-e83. doi: 10.1016/j.jfo.2021.03.026.

- Jacquet J.S., A. Bosc, A. O'Grady & H. Jactel. (2014). Combined effects of defoliation and water stress on pine growth and non-structural carbohydrates. *Tree Physiology*, 34(4): 367–376. doi: 10.1093/treephys/tpu018.¶
- Jacquet J.S., A. Bosc, A. O'Grady & H. Jactel. (2013). Pine growth response to processionary moth defoliation accross a 40 year chronosequence. *Forest Ecology Management*, 293: 29–38. doi: 10.1016/j.foreco.2012.12.003.
- Jacquet J.S., C. Orazio & H. Jactel. (2012). Defoliation by processionary moth significantly reduces tree growth: a quantitative review. *Annals of Forest Science*, 69: 857–866.
- Jactel H., L. Barbaro, A. Battisti, A. Bosc, *et al.* (2014). Insect – Tree Interactions in *Thaumetopoea pityocampa*. In: Roques, A. (eds) *Processionary Moths and Climate Change: An Update*. Springer, Dordrecht. doi: 10.1007/978-94-017-9340-7_6.
- Jactel H., J. Petit, M.-L. Desprez-Loustau, S. Delzon, D. Piou, A. Battisti & J. Koricheva. (2012). Drought effects on damage by forest insects and pathogens: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 18(1): 267–276. doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02512.x.
- Jactel H., G. Birgersson, S. Andersson & F. Schlyter. (2011). Non-host volatiles mediate associational resistance to the pine processionary moth. *Oecologia*, 166: 703–711.
- Jactel H., M. Branco, J.R. Gonzalez-Olabarria, W. Grodzki, B. Långström, F. Moreira, S. Netherer, B.C. Nicoll, C. Orazio, D. Piou, H. Santos, M.J. Schelhaas, K. Tojic & F. Vodde. (2008). Forest stands management and vulnerability to biotic and abiotic hazards. EFORWOOD report PD 243, 88p.
- Jadoo A.S. & J.R. Treat. (2020). Caterpillar dermatitis: A brief report. *Pediatric Dermatology*, 37(3): 570–571. doi: 10.1111/pde.14126.
- Jullienne R., Z. He, P. Manoli, D. Grivet, E. Cinotti, J.L. Perrot, B. Labeille, F. Cambazard, P. Gain & G. Thuret. (2015). In vivo confocal microscopy of pine processionary caterpillar hair-induced keratitis. *Cornea*, 34(3): 350–2. doi: 10.1097/ICO.0000000000000360.
- Kammerer M. et H. Pouliquen. (2018). Envenimation par ingestion de chenilles processionnaires chez un chien de traîneau. *Toxicologie Analytique et Clinique*, 30(3): 178.
- Kaszak I., M. Planellas et B. Dworecka-Kaszak. (2015). Pine processionary caterpillar, *Thaumetopoea pityocampa* Denis and Schiffermuller, 1775 contact as a health risk for dogs. *Annals of Parasitology*, 61(3): 159–63. doi: 10.17420/ap6103.02.
- Kawamoto F. and Kumada N. (1984). "Biology and venoms of Lepidoptera". In *Handbook of Natural Toxins*. Vol. 2. Insect Poisons, Allergens, and other Invertebrate Venoms. In A.T. Tu (ed.). 291–330. Dekker, New York.
- Kemper H. (1955). Experimentelle Untersuchungen über die durch Afterwolle *Euproctis chrysorrhoea* (Lepidoptera) erzeugte Dermatitis, verglichen mit der Wirkung von Arthropodenstichen. *Zeitschrift für Angewandte Zoologie*, 42: 37–45.
- Kerdelhué C., L. Zane, M. Simonato, P. Salvato, J. Rousselet, A. Roques & A. Battisti. (2009). Quaternary history and contemporary patterns in a currently expanding species. *Evolutionary Biology*, 9. doi: 10.1186/1471-2148-9-220.
- Kikuchi T., K. Kobayashi, K. Sakata & T. Akasaka. (2012). Gypsy moth-induced dermatitis: a hospital review and community survey. *European Journal of Dermatology*, 22(3): 384–390. doi: 10.1684/ejd.2012.1722.
- Klapwijk M. J., G. Csóka, A. Hirka & C. Björkman. (2013). Forest insects and climate change: long-term trends in herbivore damage. *Ecology and Evolution*, 3(12): 4183–4196. Doi: 10.1002/ece3.717.
- Konstat-Korzenny E., A. Yudovich & D. Morgenstern-Kaplan. (2020). Lepidopterism: Case Report and Review of the Literature. *Cureus*, 12(1):e6567. doi: 10.7759/cureus.6567.
- Kozer E., E. Lahat & M. Berkovitch. (1999). Hypertension and abdominal pain: uncommon presentation after exposure to a pine caterpillar. *Toxicon*, 37(12): 1797–1801. doi: 10.1016/s0041-0101(99)00121-x.

- Lamy M. (1990). Contact dermatitis (erucism) produced by processionary caterpillars (genus *Thaumetopoea*). *Journal of Applied Entomology*, 110: 425–437.
- Lamy M., M.H. Pastureaud, F. Novak et G. Ducombs. (1984). Papillons urticants d'Afrique et d'Amérique du sud (g. *Anaphae* et g. *Hylesia*): contribution du microscope électronique à balayage à l'étude de leur appareil urticant et à leur mode d'action. *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 109(2) : 163–177.
- Lamy M. et C. Lemaire. (1983). Contribution à la systématique de *Hylesia*: étude au microscope électronique à balayage des "fléchettes urticantes". *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 88 : 176–192.
- Lamy M., G. Ducombs, M.H. Pastureaud et P. Vincendeau. (1982a). Productions tégumentaires de la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) (Lépidoptères). Appareil urticant et appareil de ponte. *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 107(4) : 515–527.
- Lamy M., M. Michel, R. Pradinaud, G. Ducombs & J. Maleville. (1982b). The urticant apparatus of the moths *Hylesia urticans* Floch & Abonnenc and *H. umbrata* Schaus (Lepidoptera: Saturniidae) caused by lepidopterans in French Guiana. *International Journal of Insect Morphology and Embryology*, 11: 129–135.
- Lannou C., J.-Y. Rasplus, S. Soubeyrand, M. Gautier & Rossi J.-P. (eds). (2023). Crises sanitaires en agriculture. Les espèces invasives sous surveillance. Editions Quæ, Versailles, 326 pp.
- Laurent-Hervouët N. (1986). Mesure des pertes de croissance radiale sur quelques espèces de *Pinus* dues à deux défoliateurs forestiers. I-Cas de la processionnaire du pin en région méditerranéenne. *Annales des Sciences Forestières*. 43 : 239–262.
- Lee D., R.D. Pitetti & M.L. Casselbrant. (1999). Oropharyngeal Manifestations of Lepidopterism. *Archives of Otolaryngology - Head & Neck Surgery*, 125(1): 50-52. doi: 10.1001/archotol.125.1.50.
- Lefebvre M. (2023). « Envenimations des carnivores domestiques par les chenilles processionnaires Bilan des appels reçus par le CAPAE OUEST et le CNITV LYON. Actualités thérapeutiques et épidémiologiques ». Thèse de Médecine Vétérinaire. Nantes, n° XX, 99 p.
- Lemoine B. (1977). Contribution à la mesure des pertes de production causées par la chenille processionnaire *Thaumetopoea pityocampa* Schiff au pin maritime dans les Landes de Gascogne. *Annales des Sciences Forestières*, 34 : 205–214.
- Le Pen C. et P. Lévy. (2018). L'évaluation médico-économique : concepts et méthodes. Le Grand Métier. LGM Sciences. Rouen : Le Grand Métier, 2014.
- Leroy B.M.L., M.M. Gossner, F.P.M. Lauer, R. Petercord, S. Seibold, J. Jaworek & W.W. Weisser. (2019). Assessing insecticide effects in forests: a tree-level approach using unmanned aerial vehicles. *Journal of economic entomology*, 112(6): 2686-2694.
- Leuschner W.A., J.A. Young, S.A. Waldon & F.W. Ravlin. (1996). Potential Benefits of Slowing the Gypsy Moth's Spread. *Southern Journal of Applied Forestry*, 20(2): 65-73. doi: 10.1093/sjaf/20.2.65.
- Li X., T.P. Holmes, K.J. Boyle, E.V. Crockert & C.D. Nelson. (2019). Hedonic Analysis of Forest Pest Invasion: the Case of Emerald Ash Borer. *Forests*, 10(9): 820-834. doi: 10.3390/f10090820.
- Li S., J.J. Daudin, D. Piou, C. Robinet & H. Jactel. (2015). Periodicity and synchrony of pine processionary moth outbreaks in France. *Forest Ecology and Management*, 354: 309-317.
- Lundberg U., V. Salazar, M. Tovar & J. Rodrihuez. (2007). Isolation and Partial Characterization of Proteins with Vasodegenerative and Proinflammatory Properties from the Egg-Nests of *Hylesia metabus* (Lepidoptera: Saturniidae). *Journal of Medical Entomology*, 44(3): 440-449. doi: 10.1093/jmedent/44.3.440.
- Luquet G.C. (2015). Récentes pullulations de *Lithosia quadra* (Linné, 1758) à Poligny (Jura). *Alexanor*, 27(1) : 37-64.

- Maier H., W. Spiegel, T. Kinaciyan & H. Hönigsmann. (2004). Caterpillar dermatitis in two siblings due to the larvae of *Thaumetopoea processionea* L, the oak processionary caterpillar. *Dermatology*, 208(1): 70-3. doi: 10.1159/000075051.
- Maier H., W. Spiegel, T. Kinaciyan, H. Krehan, A. Cabaj, A. Schopf & H. Hönigsmann. (2003). The oak processionary caterpillar as the cause of an epidemic airborne disease: survey and analysis. *British Journal of Dermatology*, 149(5): 990-997. doi: 10.1111/j.1365-2133.2003.05673.x.
- Maronna A., H. Stache & M. Sticherling. (2008). Lepidopterism - oak processionary caterpillar dermatitis: appearance after indirect out-of-season contact. *Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft*, 6(9): 747-750. doi: 10.1111/j.1610-0387.2008.06652.x.
- Martin J.-C., A. Leblond, A.-S. Brinquin et M. Decoin. (2012a). Processionnaire du pin, revue des méthodes alternatives : Bonnes pratiques en ZNA. *Phytoma, la défense des végétaux*, 657 : 13-21.
- Martin J.-C., R. Mazet, M. Correard, E. Morel et A.-S. Brinquin. (2012b). Nouvelles techniques de piégeage pour réguler la processionnaire du pin: piégeage phéromonal des adultes, piégeage comportemental des larves: des expériences prometteuses de piégeage de masse. *Phytoma, la défense des végétaux*, 655 : 17-22.
- Martin J.-C. (2015). Development of environment-friendly strategies in the management of processionary moths. In: Roques A (ed) *Processionary Moths and Climate Change: An Update*. Springer / Quae Editions, pp 411-427.
- McConnel K.E. (1985). Chapter 15. The economics of outdoor recreation. In *Handbook of Natural Resource and Energy Economics*, 2: 677-722. Elsevier. doi: 10.1016/S1573-4439(85)80022-1.
- Merad M. & B.D.Trump. (2020). *Expertise Under Scrutiny. 21st Century Decision Making for Environmental Health and Safety*. Springer. ISBN 978-3-030-20532-4.
- Merad M. (2019). Le géographe et l'aide à la décision : comment se saisir de la complexité, des incertitudes et des risques ? In « L'imperfection des données géographiques 1 » coordonné par M. Batton-Hubert, E. Desjardin, F. Pinet. ISBN : 9781786302977. ISTE.
- Merad M., N. Dechy, L. Dehouck et M. Lassagne. (2016). *Risques majeurs, incertitudes et décisions – Approche pluridisciplinaire et multisectorielle*. MA Edition. ISBN: 9782822404303.
- Merad M. et P. Carriot. (2015). *Evaluer la concertation dans le domaine des risques et de l'environnement- Eléments méthodologiques*. Livre Blanc. Octobre 2015. ISBN : 978-2- 9545398-2-9.
- Merad M. (2013). *Organisations hautement durables : Gouvernance, risques et critères d'apprentissage*. Editions Lavoisier. ISBN : 978-2-7430-1535-0.
- Merad M. et P. Carriot. (2013). *Médiation et concertation environnementales - Un accompagnement à la pratique*. Collection « Références ». Editions AFITE. ISBN: 978-2- 9545398-0-5.
- Merad M., N. Dechy & F. Marcel. (2011). Adapting participative governance framework for the implementation of a sustainable development plan within an Organization. Ouvrage collectif coordonné par Herman A.K., L. Scarlett, J.C. Vargas-Moreno & M. Flaxman. *Restoring and Sustaining Lands: Coordinating Science, Politics, and Action*. 217-237. Springer. doi : 10.1007/978-94-007-2549-2_11.
- Merad M. (2010). *Aide à la décision et expertise en gestion des risques*. Editions Lavoisier. 256 p. ISBN: 978-2-7430-1265-6.
- Merad M. (2004). Appui technique aux comités nationaux d'harmonisation des pratiques des études de dangers et des expertises - DRA 38. Analyse de l'état de l'Art sur les grilles de criticité. <https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/75.pdf>.
- Méral P. (2012). Le concept de service écosystémique en économie : origine et tendances récentes. *Natures Sciences Sociétés*, 20(1) : 3-15. doi : 10.1051/nss/2012002.
- Meurisse N., G. Hoch, A. Schopf, A. Battisti & J.C. Grégoire. (2012). Low temperature tolerance and starvation ability of the oak processionary moth: implications in a context of increasing epidemics. *Agriculture and Forest Entomology*, 14(3): 239-250. doi: 10.1111/j.1461-9563.2011.00562.x.

- Michienzi A.E., E.P. Holstege, R.J. Cole & N.P. Charlton. (2022). The Sting of a White Flannel Moth Caterpillar (*Norape ovina*). Wilderness & Environmental Medicine, 33(3): 329-331. doi: 10.1016/j.wem.2022.03.011.
- Milkova L., S. Metz, R. Treudler, J.C. Simon, P. Elsner & M. Ziemer. (2013). What have caterpillar dermatitis and jellyfish dermatitis in common? Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft, 11(11):1083-6. doi: 10.1111/ddg.12148.
- Mirchev P., G. Tsankov & Y. Petrov. (2003). Study of some aspects of the bioecology of the oak processionary moth (*Thaumetopoea processionea* Linnaeus, 1758)(Lepidoptera: Notodontidae) in North-East Bulgaria. Silva Balcanica, 3(1), 5-10.
- Mitpuangchon N., K. Nualcharoen, S. Boonrotpong & P. Engsontia. (2021). Identification of Novel Toxin Genes from the Stinging Nettle Caterpillar *Parasa lepida* (Cramer, 1799): Insights into the Evolution of Lepidoptera Toxins. Insects, 12(5): 396. doi: 10.3390/insects12050396.
- Moeller G.H., R.L. Marler, R.E. McCay & W.B. White. (1977). Economic analysis of the gypsy moth problem in the northeast. III: Impacts on homeowners and managers of recreation areas. Res. Paper NE-360. Upper Darby, PA: Northeastern Forest Experiment Station: Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Moneo I., A. Battisti, B. Dufour, J.C. Garcia-Ortiz, M. Gonzalez-Munoz, F. Moutou, P. Paolucci, E.P. Toffolo, J. Rivière, A.I. Rodriguez-Mahillo, A. Roques, L. Roques, J.M. Vega & J. Vega. (2015). Medical and Veterinary Impact of the Urticating Processionary Larvae. In: Roques A. (eds), Processionary Moths and Climate Change: An Update. Editions Quæ, 359 p. doi: 10.1007/978-94-017-9340-7_8.
- Moneo I., J.M. Vega, M.L. Caballero, J. Vega & E. Alday. (2003). Isolation and characterization of Tha p 1, a major allergen from the pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa*. Allergy, 58(1): 34-37. doi: 10.1034/j.1398-9995.2003.23724.x.
- Morales-Cabeza C., A. Prieto-García, S. Acero, B. Bartolomé-Zavala, J.M. Morgado, A. Matito, L. Sánchez-Muñoz & I. Alvarez-Twose. (2016). Systemic mastocytosis presenting as occupational IgE-mediated anaphylaxis to pine processionary caterpillar. Annals of Allergy, Asthma & Immunology, 117(3): 333-334.e1. doi: 10.1016/j.anai.2016.07.002.
- Mitpuangchon, N., K. Nualcharoen, S. Boonrotpong, P. Engsontia. (2021). Identification of novel toxin genes from the stinging nettle caterpillar *Parasa lepida* (Cramer, 1799): insights into the evolution of Lepidoptera toxins. Insects, 12, 396. doi: 10.3390/insects12050396.
- Muller L., M. Guérin et A.-S. Brinquin. (2020). Processionnaires : pratiques et enjeux dans les Jevi. Phytoma, 738, 11-16.
- Müller C.S., W. Tilgen & C. Pföhler. (2011). Caterpillar dermatitis revisited: lepidopterism after contact with oak processionary caterpillar. BMJ Case Reports. doi: 10.1136/bcr.03.2011.3967.
- Nageleisen L.-M., H. Schmuck, M. Legay et N. Bréda. (2013). « Dépérissement du chêne pédoncule en lorraine : des crises qui se succèdent... », Bilan de la santé des forêts en 2012.
- Natsuaki M. (2002). Immediate and delayed-type reactions in caterpillar dermatitis. Journal of Dermatology, 29(8): 471-476. doi: 10.1111/j.1346-8138.2002.tb00311.x.
- Nikolov G., Y. Kandova, B. Petrunov, P. Mirchen & G. Georgiev. (2020). Skin reactions to allergens from processionary caterpillar (genus *Thaumetopoea*). Problems of Infectious and Parasitic Diseases, 48: 15-20
- Niza M.E., R.L. Ferreira, I.V. Coimbra, H. M. Guerreiro, N.M. Felix, J.M. Matos, T.V. de Brito & C. L. Vilela. (2012). Effects of pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* contact in dogs: 41 cases (2002-2006). Zoonoses and Public Health, 59(1): 35-38. doi: 10.1111/j.1863-2378.2011.01415.x.
- Niza M.E., A.S. Moreira, N.M. Felix, J. Duarte Correia & C.L. Vilela. (2006). Effects of Pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*) exposure in a cat. Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics, (29) suppl 1: 331.

- Novak F. et M. Lamy. (1987). Etude ultrastructurale de la glande urticante de la chenille processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Schiff (Lepidoptera: Thaumetopoeidae). International Journal of Insect Morphology and Embryology, 16(3-4): 263–270. doi: 10.1016/0020-7322(87)90025-0.
- Novak F., V. Pelissou & M. Lamy. (1987). Comparative morphological, anatomical and biochemical studies of the urticating apparatus and urticating hairs of some Lepidoptera: *Thaumetopoea pityocampa* Schiff., *Th. processionea* L. (Lepidoptera, Thaumetopoeidae) and *Hylesia metabus* Cramer (Lepidoptera, Saturniidae). Comparative Biochemistry and Physiology, 88(1): 141–146. doi: 10.1016/0300-9629(87)90112-5.
- Paniz-Mondolfi A.E., A.M. Perez-Alvarez, U. Lundberg, L. Fornès, O. Reyes-Jaimes, M. Hernandez-Perez & E. Hossler. (2011). Cutaneous lepidopterism: dermatitis from contact with moths of *Hylesia metabus* (Cramer 1775) (Lepidoptera: Saturniidae), the causative agent of caripito itch. International Journal of Dermatology. 50(5):535-41. doi: 10.1111/j.1365-4632.2010.04683.x.
- Panzer R. & S. Krebs. (2020). Mites, caterpillars and moths. Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft, 18(8): 867-880. doi: 10.1111/ddg.14207.
- Payne B.R., W.B. White, R.E. McCay & R.R. McNichols. (1973). Economic analysis of the gypsy moth problem in the northeast. II: Applied to residential property. Res. Paper NE- 285. Upper Darby, PA: Northeastern Forest Experiment Station: Forest Service, U.S. Department of Agriculture.
- Pérez Bartolomé F., J. Peraza-Nieves, J.I. Fernández-Vigo, R. Méndez-Fernández, J. Gonzalez Martín-Moro & P. Arriola-Villalobos. (2020). Comparing *in-vivo* confocal microscopy and ex-vivo light and scanning electron microscopy images of the hairs of the pine processionary caterpillar embedded in the cornea: Report of three cases. Indian Journal of Ophthalmology, 68(8): 1672-1675. doi: 10.4103/ijo.IJO_1735_19.
- Peron J.-L., P. Harou, A. Niedzwiedz & A. Stenger. (2002). National Survey on Demand for Recreation in French Forests. Nancy : Laboratoire d'Economie Forestière. ENGREF/INRA.
- Perrot J.L., R. Jullienne, M. Kaspi, B. Labeille, D. Grivet, A. Vercherin, F. Cambazard & E. Cinotti E; au nom du groupe imagerie cutanée non invasive de la Société française de dermatologie. (2016). The role of reflectance confocal microscopy in the diagnosis of ocular-cutaneous erucism or dermatitis and keratitis induced by pine processionary caterpillar hairs. Annales de Dermatologie et de Vénéréologie. 143(12): 860-862. doi: 10.1016/j.annder.2016.07.013.
- Pesce H. & Q.A. Delgado.(1971). Poisoning from adult moths and caterpillars. In Venomous Animals and Their Venoms, Vol. III: Venomous Invertebrates, ed.WB" urchel, EE Buckley, pp. 119–56. New York: Academic.
- Petucco C. & P. Andrés-Domenech. (2018). Land expectation value and optimal rotation age of maritime pine plantations under multiple risks. Journal of Forest Economics, 30: 58-70.
- Pimentel C. & J.-Å. Nilsson. (2007). Response of great tits *Parus major* to an irruption of a pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* population with a shifted phenology. Ardea, 95(2): 191–199.
- Pineau X. (1999). « Approche épidémiologique des intoxications des chiens et chats. Etude de 40 000 dossiers enregistrés au Centre national d'informations toxicologiques vétérinaires de Lyon de 1991 à 1997 ». Thèse de Médecine Vétérinaire, Lyon n°076 ,122 p.
- Pineau X. et C. Romanoff. (1995). Envenimations des carnivores domestiques. Rec. Méd. Vét. 171(2/3), 183-192.
- Pitetti R.D., D. Kuspis & E. Krenzlok. (1999). Caterpillars: an unusual source of ingestion. Pediatric Emergency Care, 15(1):33-6.
- Poeydebat C., B. Castagneyrol, I. van Halder & H. Jactel. (2021). Changes in host basal area explain associational resistance of mixed forests to primary pests. Forest Ecology and Management, 495. doi: 10.1016/j.foreco.2021.119374.

- Poisson L., J.P. Boutet, P. Paillassou et L. Fuhrer. (1994). Quatre cas d'envenimation par les chenilles processionnaires du pin chez le chien. *Le Point Vétérinaire*, 25(158), 85-95.
- Portero A., E. Carreño, D. Galarreta & J.M. Herreras. (2013). Corneal inflammation from pine processionary caterpillar hairs. *Cornea*, 32(2): 161-4. doi: 10.1097/ICO.0b013e318254234b.
- Pouzot-Nevoret C., M. Cambournac, A. Violé, I. Goy-Thollot, G. Bourdoiseau & A. Barthélemy. (2018). Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* envenomation in 11 cats: a retrospective study. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, 20(8): 685-689. doi: 10.1177/1098612X17723776.
- Pouzot-Nevoret C., M. Cambournac, A. Violé, I. Goy-Thollot, G. Bourdoiseau & A. Barthélemy. (2017). Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* envenomation in 109 dogs: A retrospective study. *Toxicon*, 132: 1-5. doi: 10.1016/j.toxicon.2017.03.014.
- Price J.I., D.W. McCollum & R.P. Berrens. (2010). Insect infestation and residential property values: A hedonic analysis of the mountain pine beetle epidemic. *Forest Policy and Economics*, 12(6): 415-422. doi: 10.1016/j.forpol.2010.05.004.
- Prudhomme A. et S. Alsibai. (2005). Etude de l'impact sanitaire des chenilles processionnaires du chêne en région Lorraine, en 2005. Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales de Lorraine. Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie Est - Février 2006. 37 p.
- Rambonilaza M., J. Gadaud, et J. Dehez. (2008). L'approche contractuelle de l'accueil du public en forêt privée : comment définir la compensation pour services rendus. *Revue Forestière Française*, n° 1. doi : 10.4267/2042/17245.
- Ramesh Bhat Y., G. Vinayaka & S. Sushma. (2010). Systemic allergic reaction to a caterpillar in a 3-month-old infant. *Annals of Tropical Paediatrics*, 30(1): 83-86. doi: 10.1179/146532810X12637745452310.
- Randell D., M. Fett, H. Jenner, S. Frances & D. Shanks. (2017). Epidemic of Processionary Caterpillar Dermatitis in Military Cadets. *Journal of Military and Veterans'Health*, 25:7-9.
- Rebollo S., I. Moneo, J.M. Vega, I. Herrera & M.L. Caballero. (2002). Pine processionary caterpillar allergenicity increases during larval development. *International Archives of Allergy and Immunology*, 128(4): 310-314. doi: 10.1159/000063857.
- Redd J.T., R.E. Voorhees & T.J. Török. (2007). Outbreak of lepidopterism at a Boy Scout camp. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 56(6): 952-955. doi: 10.1016/j.jaad.2006.06.002.
- Régolini M., B. Castagnérol, A.-M. Dulaurent-Mercadal, D. Piou, J.-C. Samalens & H. Jactel. (2014). Effect of host tree density and apparency on the probability of attack by the pine processionary moth. *Forest Ecology and Management*, 334: 185-192. doi: 10.1016/j.foreco.2014.08.038.
- Ricciardi L., C. Gioirgianni, G. Briguglio, S. Gangemi & G. Spatari. (2021). Processionary caterpillar reactions in Southern Italy forestry workers: description of three cases. *Clinical and Molecular Allergy*, 19:15. doi: 10.1186/s12948-021-00155-8.
- Rivière J. (2011). « Les chenilles processionnaires du pin, évaluation des enjeux de santé animale ». Thèse de Médecine Vétérinaire, Maisons-Alfort, 206 p.
- Robinet C., J. Rousselet & A. Roques. (2014). Potential spread of the pine processionary moth in France: preliminary results from a simulation model and future challenges. *Annals of Forest Science*, 71(2): 149-160.
- Robinet C., C.E. Imbert, J. Rousselet, D. Sauvard, J. Garcia, F. Goussard & A. Roques. (2012). Human-mediated long-distance jumps of the pine processionary moth in Europe. *Biological Invasions*, 14(8): 1557-1569.
- Robinet C. (2006). Modélisation mathématique des phénomènes d'invasion en écologie, exemple de la chenille processionnaire du pin. Thèse de doctorat, spécialité Mathématiques et Applications aux Sciences de l'Homme, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (E.H.E.S.S.), Paris, France, 208 p.

- Robinson G.S., P.R. Ackery, I. Kitching, G.W. Beccaloni & L.M. Hernández. (2023). *HOSTS - a Database of the World's Lepidopteran Hostplants* [Data set]. Natural History Museum. doi: 10.5519/havt50xw.
- Robinson W.C. (1967). The Simple Economics of Public Outdoor Recreation. *Land Economics*, 43(1): 71. doi: 10.2307/3145566.
- Rodriguez J., J.V. Hernandez, L. Fornes, U. Lundberg, C.L.A. Pinango & F. Osborn. (2004). External morphology of abdominal setae from male and female *Hylesia metabus* adults (Lepidoptera: Saturniidae) and their function. *Florida Entomologist*, 87(1):30–36. doi: 10.1653/0015-4040(2004)087[0030:EMOASF]2.0.CO;2.
- Rodriguez-Mahillo A.I., N. Carbadella-Sangio, J.M. Vega *et al.* (2015). Diagnostic use of recombinant *Tha p 2* in the allergy to *Thaumetopoea pityocampa*. *Allergy*, 70: 1332–1335.
- Rodriguez-Mahillo A.I., M. Gonzalez-Muñoz, J.M. Vega, J.A. López, A. Yart, C. Kerdelhué, E. Camafeita, J.C. Garcia Ortiz, H. Vogel, E. Petrucco Toffolo, D. Zovi, A. Battisti, A. Roques & I. Moneo. (2012). Setae from the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) contain several relevant allergens. *Contact Dermatitis*, 67(6): 367-374. doi: 10.1111/j.1600-0536.2012.02107.x.
- Rodriguez-Morales A.J., M. Arria, J. Rojas-Mirabal, E. Borges, J.A. Benitez, M. Herrera, C. Villalobos, A. Maldonado, N. Rubio & C. Franco-Parades. (2005). Lepidopterism due to exposure to the moth *Hylesia metabus* in northeastern Venezuela. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 73(5): 991–993.
- Roques A. (2015). *Processionary Moths and Climate Change: An Update*. Springer-Eds. Quæ Editions, France. 427 p.
- Rosenberger R.S., L.A. Bell, P.A. Champ & E.L. Smith. (2012). Nonmarket economic values of forest insect pests: An updated literature review. RMRS-GTR-275. Ft. Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. doi: 10.2737/RMRS-GTR-275.
- Rosenberger R.S. & E.L. Smith. (1997). Nonmarket Economic Impacts of Forest Insect Pests: A Literature Review ». PSW-GTR-164. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. doi: 10.2737/PSW-GTR-164.
- Rossi J.-P., J. Garcia, A. Roques & J. Rousselet. (2016a). Trees outside forest in agricultural landscapes: spatial distribution and impact on habitat connectivity for forest organisms. *Landscape Ecology*, 31: 243–254. doi: 10.1007/s10980-015-0239-8.
- Rossi J.P., V. Imbault, T. Lamant & J. Rousselet. (2016b). A citywide survey of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* spatial distribution in Orléans (France). *Urban Forestry & Urban Greening*, 20: 71-80. doi: 10.1016/j.ufug.2016.07.015.
- Roy B. & J. Figuera. (2002). Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos' procedure. *European Journal of Operational Research*, 139(2): 317-326.
- Roy B. et D. Bouyssou. (1993). *Aide multicritère à la décision: méthodes et cas*. Paris : Économica, coll. « Gestion », ISBN 978-2-7178-2473-5.
- Roy B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*, Économica, coll. « Gestion », ISBN 978-2-7178-0901-5.
- Saleh S., S. Browstein, M. Kapasi, M. O'Connor & P. Blanco. (2020). Ophthalmia nodosa secondary to caterpillar-hair-induced conjunctivitis in a child. *Canadian Journal of Ophthalmology*, 55: e56-e59.
- Samalens J.-C. & J.-P. Rossi. (2011). Does landscape composition alter the spatiotemporal distribution of the pine processionary moth in a pine plantation forest? *Population Ecology*, 53(2): 287-296. doi: 10.1007/s10144-010-0227-4.
- Sands R. J., J. J. N. Kitson, C. M. Raper, G. Jonusas & N. Straw. (2015). *Carcelia iliaca* (Diptera: Tachinidae), a specific parasitoid of the oak processionary moth (Lepidoptera: Thaumetopoeidae), new to Great Britain. *British Journal of Entomology and Natural History*, 28(4), 225-228.

- Santos J.H.A., S.S. Oliveira, E.C. Alves, I. Mendonça-da-Silva, J.A.G. Sachett, A. Tavares, L.C. Ferreira, H.W. Fan, M.V.G. Lacerda & W.M. Monteiro. (2017). Severe Hemorrhagic Syndrome After *Lonomia* Caterpillar Envenomation in the Western Brazilian Amazon: How Many More Cases Are There? *Wilderness & Environmental Medicine*, 28(1):46-50. doi: 10.1016/j.wem.2016.11.001.
- Santos-Magadán S., D. González de Olano, B. Bartolomé-Zavala, M. Trujillo-Trujillo, A. Meléndez-Baltanás & E. González-Mancebo. (2009). Adverse reactions to the processionary caterpillar: irritant or allergic mechanism? *Contact Dermatitis*, 60(2): 109-110. doi: 10.1111/j.1600-0536.2008.01464.x.
- Savage N.D.S.J., J.C.P. Green & F. Carley. (2018). Images in ophthalmia nodosa: an unusual presentation of red eye. *BMJ Case Reports*, 2018. doi: 10.1136/bcr-2018-224194.
- Scheiner P. (2003). « Les chenilles processionnaires chez le chien ». Thèse de Médecine Vétérinaire, Lyon, n°136, 122 p.
- Schmuck H. (2020). La processionnaire du chêne, insecte ravageur forestier. *Rendez-Vous Techniques* n°65-66 : 46-52.
- Schneider I.E., A. Arnberger, S.P. Cottrell & E. von Ruschkowski. (2019). Modeling Impacts of Bark Beetle Infestations on Forest Visitor Experiences and Intended Displacement. *Forest Science*, 65(5): 614-625. doi: 10.1093/forsci/fox021.
- Seldelachts A., S. Peigneur & J. Tytgat. (2020). Caterpillar Venom: A Health Hazard of the 21st Century. *Biomedicines*, 8(6): 143. doi: 10.3390/biomedicines8060143.
- Sengupta S., P.R. Reddy, J. Gyatsho, R.D. Ravindran, K. Thiruvengadakrishnan & V. Vaidee. (2010). Risk factors for intraocular penetration of caterpillar hair in Ophthalmia Nodosa: a retrospective analysis. *Indian Journal of Ophthalmology*, 58(6): 540-543. doi: 10.4103/0301-4738.71711.
- Sevim A., I. Demir & Z. Demirbağ. (2010). Molecular Characterization and Virulence of *Beauveria* spp. from the Pine Processionary Moth, *Thaumetopoea pityocampa* (Lepidoptera: Thaumetopoeidae). *Mycopathologia*, 170, 269–277.
- Sheppard, S. & P. Picard. (2006). Visual-quality impacts of forest pest activity at the landscape level: A synthesis of published knowledge and research needs. *Landscape and Urban Planning*, 77(4): 321-342. doi: 10.1016/j.landurbplan.2005.02.007.
- Shkalim V., Z. Herscovici, J. Amir & Y. Levy. (2008). Systemic allergic reaction to tree processionary caterpillar in children. *Pediatric Emergency Care*, 24(4):233-5. doi: 10.1097/PEC.0b013e31816b7b86.
- Singh R., K. Tripathy, R. Chawla & S. Khokhar. (2017). Caterpillar in hair. *BMJ Case Reports*. doi: 10.1136/bcr-2017-219392.
- Simonato M., M. Pilati, E. Magnoux, C. Courtin, L. Sauné, J. Rousselet, A. Battisti, M.-A. Auger-Rozenberg & C. Kerdelhué. (2019). A population genetic study of the egg parasitoid *Baryscapus servadeii* reveals large scale automictic parthenogenesis and almost fixed homozygosity. *Biological Control*, 139. doi: 10.1016/j.biocontrol.2019.104097.
- Soto J.R., F.J. Escobedo, H. Khachatryan & D.C. Adams. (2018). Consumer demand for urban forest ecosystem services and disservices: Examining trade-offs using choice experiments and best-worst scaling. *Ecosystem Services*, 29(Part A): 31-39. doi: 10.1016/j.ecoser.2017.11.009.
- Specht A., E. Corseuil & H. Barreto Abella. (2008). *Lepidopteros de Importancia Medica. Principais Especies no Rio Grande do Sul*. Pelotas, Bras.: USEB.
- Spiegel W., H. Maier & M. Maier. (2004). A non-infectious airborne disease. *Lancet*, 363: 1438.
- Sridhar M.S. & M. Ramakrishnan. (2004). Ocular lesions caused by caterpillar hairs. *Eye*, 18: 540–543. doi: 10.1038/sj.eye.6700692.
- Stigter H. & F. Das. (1996). *Thaumetopoea processionea* in The Netherlands: Expectations for 1996 (Lepidoptera: Thaumetopoeidae). *Entomologische Berichten*, 56(8), 133-134.

- Straw, N. A. & J. Forster. (2022). The effectiveness of ground-based applications of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* for controlling oak processionary moth *Thaumetopoea processionea* (Lepidoptera: Thaumetopoeidae). *Annals of Applied Biology*, 181(1), 48-57.
- Suprunenko Y.F., M.D. Castle, C.R. Webb, J. Branson, A. Hoppit & C.A. Gilligan. (2021). Estimating expansion of the range of oak processionary moth (*Thaumetopoea processionea*) in the UK from 2006 to 2019. *Agricultural and Forest Entomology*. doi: 10.1111/afe.12468.
- Tamburini G., L. Marini, K. Hellrigl, C. Salvadori & A. Battisti. (2013). Effects of climate and density-dependent factors on population dynamics of the pine processionary moth in the Southern Alps. *Climatic Change*, 121, 701–712.
- Tammara A., G. Cortesi, E. Di Vito, F.R. Parisella, F. Pigliacelli & S. Persechino. (2016). An unusual case of processionary moth reaction. *International Wound Journal*, 13(5):1070. doi: 10.1111/iwj.12483.
- Tan M.K.H., M.B. Jalink, N.F.M. Sint Jago, L. Ho, J.H. Arnold van Vliet, T. Das, J.T.H.N. de Faber & R.P.L. Wisse. (2021). Ocular complications of oak processionary caterpillar setae in the Netherlands; case series, literature overview, national survey and treatment advice. *Acta Ophthalmologica*, 99(4): 452-455. doi: 10.1111/aos.14607.
- Taskiran Comez A., H. Ali Tufan & B. Gencer. (2013). Ophthalmia nodosa as an occupational disease: is it usual or is it casual? *Ocular Immunology and Inflammation*, 21(2): 144-147. doi: 10.3109/09273948.2012.739255.
- Tavernier L. (2019). Les chenilles processionnaires. *Le Point Vétérinaire*, 50(393): 11-13.
- Teske S.A., L.W. Hirst, B.H. Gibson, P.A. O'Connor, W.H. Watts & T.M. Carey. (1991). Caterpillar-induced keratitis. *Cornea*, 10(4): 317-321. doi: 10.1097/00003226-199107000-00007.
- Therond O., M. Tichit, A. Tibi, *et al.* (2017). Rapport d'étude de l'Inra. Volet "écosystèmes agricoles" de l'Evaluation Française des Ecosystèmes et des Services Ecosystémiques. Inra (France), 966 p.
- Tobin T., J.D. Harkins, J.F. Roberts, P.W. VanMeter & T.A. Fullerd. (2004). The Mare Reproductive Loss Syndrome and the Eastern Tent Caterpillar II: A Toxicokinetic/Clinical Evaluation and a Proposed Pathogenesis: Septic Penetrating Setae. *The International Journal of Applied Research in Veterinary Medicine*, 2(2): 142-158.
- Toïgo M., M. Nicolas, M. Jonard, L. Croisé, L.-M. Nageleisen & H. Jactel. (2020). Temporal trends in tree defoliation and response to multiple biotic and abiotic stresses. *Forest Ecology and Management*, 477. doi: 10.1016/j.foreco.2020.118476.
- Toïgo M., F. Barraquand, J.Y. Barnagaud, D. Piou & H. Jactel. (2017). Geographical variation in climatic drivers of the pine processionary moth population dynamics. *Forest Ecology and Management*, 404, 141-155.
- Torrents R., N. Simon, C. Schmitt, L. De Haro & M. Agha. (2015). Envenomation by caterpillars of the genus *Megalopyge* in French Guiana with an atypical clinical presentation, based on three observations. *Clinical Toxicology*, 53:8, 844-845. doi: 10.3109/15563650.2015.1070168.
- Tripi P.A., R. Lee, J.B. Keiper, A.W. Jones & J.E. Arnold. (2010). An unusual case of ingestion of a moth cocoon in a 14-month-old girl. *American Journal of Otolaryngology*, 31(2):123-126.
- Tsai M.K. & D.H. Yang. (2018). Caterpillar anaphylaxis. *Austin Journal of Allergy*, 5(1): 1033.
- Tuffery L. (2017.) The recreational services value of the nearby periurban forest versus the regional forest environment. *Journal of Forest Economics*, 28: 33-41. doi: 10.1016/j.jfe.2017.04.004.
- Turpin M. (2006). « Les chenilles urticantes : effets pathogènes chez l'homme et chez l'animal et données actuelles sur les venins et les moyens de lutte ». Thèse de Médecine Vétérinaire, Nantes, n°097, 182 p.
- Samalens J.C. & J.-P. Rossi. (2011). Does landscape composition alter the spatiotemporal distribution of the pine processionary moth in a pine plantation forest? *Population Ecology*, 53: 287–296.

- Uemura M., L.E. Perkins, M.P. Zalucki & A. Battisti. (2020). Movement behaviour of two social urticating caterpillars in opposite hemispheres. *Movement Ecology*, 8(1): 4.
- Vago C. & Vasiljevic, L. (1955). A virus disease located in the intestine of *T. processionea*, with cytoplasmic affinities. *Antonie van Leeuwenhoek: Journal of Microbiology & Serology*. 21(2), 210-214.
- van Bockxmeer J.J. & J. Green. (2013). Paediatric osteomyelitis after exposure to toxic *Ochrogaster lunifer* moth. *The Journal Medical of Australia*, 199: 331-32.
- van Nieukerken *et al.* (2011). « Order Lepidoptera Linnaeus, 1758. » In: Zhang, Z.-Q. (Ed.) *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*. *Zootaxa* 3148.
- Vasseur P., S. Sinno-Tellier, J. Rousselet, J. Langrand, A. Roques, J. Bloch & M. Labadie.(2022). Human exposure to larvae of processionary moths in France: study of symptomatic cases registered by the French poison control centres between 2012 and 2019. *Clinical Toxicology*, 60(2): 231-238. doi: 10.1080/15563650.2021.1919694.
- Vega J., J.M. Vega, I. Moneo, A. Armentia, M.L. Caballero & A. Miranda. (2004). Occupational immunologic contact urticaria from pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*): experience in 30 cases. *Contact Dermatitis*, 50(2):60-4. doi: 10.1111/j.0105-1873.2004.00254.x.
- Vega J.M., I. Moneo, J.C. García-Ortiz, M. González-Muñoz, A. Ruiz, A.I. Rodríguez-Mahillo, A. Roques & J. Vega. (2014). IgE Sensitization to *Thaumetopoea pityocampa*: Diagnostic Utility of a Setae Extract, Clinical Picture and Associated Risk Factors. *International Archives of Allergy and Immunology*, 165: 283–290. doi: 10.1159/000369807.
- Vega J.M., I. Moneo, J.C. García-Ortiz, P. Sanchez Palla, M.E. Sanchis, J. Vega, M. González-Muñoz, A. Battisti & A. Roques. (2011). Prevalence of cutaneous reactions to the pine processionary moth (*Thaumetopoea pityocampa*) in an adult population. *Contact Dermatitis*, 64, 220–228. doi: 10.1111/j.1600-0536.2011.01884.x.
- Vega J.M., J. Vega, M.L. Vega, I. Moneo, A. Armentia & B. Sánchez. (2003). Skin reactions to pine processionary caterpillar. *Allergy*, 58(1): 87-88. doi: 10.1034/j.1398-9995.2003.23710_4.x.
- Vega J.M., I. Moneo, A. Armentia, J. Vega, R. De la Fuente & A. Fernández. (2000). Pine processionary caterpillar as a new cause of immunologic contact urticaria. *Contact Dermatitis*, 43(3): 129-132. doi: 10.1034/j.1600-0536.2000.043003129.x.
- Vega J.M., I. Moneo, A. Armentia, A. Fernández, J. Vega, R. De La Fuente, P. Sánchez & M.E. Sanchis. (1999). Allergy to the pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*). *Clinical & Experimental Allergy*, 29(10): 1418-1423. doi: 10.1046/j.1365-2222.1999.00626.x.
- Vega J.M., I. Moneo, A. Armentia, R. Lopez-Rico, G. Curiel, B. Bartolome & A. Fernandez. (1997). Anaphylaxis to a pine caterpillar. *Allergy*, 52: 1244-1245.
- Vega M.L., J. Vega, J.M. Vega, I. Moneo, E. Sánchez & A. Miranda. (2003). Cutaneous reactions to pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa*) in pediatric population. *Pediatric Allergy and Immunology*, 14(6): 482-486. doi: 10.1046/j.0905-6157.2003.00066.x.
- Veiga A.B.G., J.M.C. Ribeiro, J.A. Guimaraes & I.M.B. Francischetti. (2005). A catalog for the transcripts from the venomous structures of the caterpillar *Lonomia obliqua*: Identification of the proteins potentially involved in the coagulation disorder and hemorrhagic syndrome. *Gene*, 355: 11–27.
- Villas-Boas I.M., G. Bonfá & D.V. Tambourgi. (2018). Venomous caterpillars: From inoculation apparatus to venom composition and envenomation. *Toxicon*, 153: 39-52.
- Villas-Boas I.M., M.P. Alvarez-Flores, A.M. Chundzinski-Tavassi *et al.* (2016). Envenomation by caterpillars. *Clinical Toxicology in Asia Pacific and Africa*, 1-17. doi: 10.1007/978-94-007-6288-6_57-1.
- Viseux V., G. Chaby, P. Esquenet, I. Ben Taarit, A. Remond & C. Lok. (2003). Phalangeal microgeodic syndrome and pine processionary caterpillar. *European Journal of Dermatology*, 13(5): 497-499.
- Walker A.A., S.D. Robinson, J.V. Paluzzi, D.J. Merritt, S.A. Nixon, C.I. Schroeder, J. Jin, M.H. Goudarzi, A.C. Kotze, Z. Dekan, A. Sombke, P.F. Alewood, B.G. Fry, M.E. Epstein, I. Vetter & G.F. King. (2021).

Production, composition, and mode of action of the painful defensive venom produced by a limacodid caterpillar, *Doratifera vulnerans*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 118(18): e2023815118. doi: 10.1073/pnas.2023815118.

Walker A.A. (2020). The evolutionary dynamics of venom toxins made by insects and other animals. Biochemical Society Transactions, 48(4), 1353–1365. doi: 10.1042/BST20190820.

Walker R.B., T. Thomas, D. Cupit & J. Giaquinto-Shreves. (1993). An epidemic of caterpillar sting dermatitis in a rural West Virginia community. The West Virginia Medical Journal, 89(2): 58-60.

Werno J. & M. Lamy. (1994). Daily cycles for emission of urticating hairs from the pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa* S.) and the brown tail moth (*Euproctis chrysorrhoea* L.) (Lepidoptera) in laboratory conditions. Aerobiologia, 10: 147-151.

Werno J. & M. Lamy. (1993). Caterpillar hairs as allergens. Lancet, 342: 936-937.

Wijnberg D., P.J. van der Ven, J. Fink-Gremmels Gehrman. (2009). Outbreak of salivary syndrome on several horse farms in the Netherlands. The Veterinary Record, 164(19): 595. doi: 10.1136/vr.164.19.595.

World Resources Institute (WRI). (2005). « Ecosystem and Human Well-Being - Opportunities and Challenges for Business and Industry ». <http://hdl.handle.net/20.500.11822/8780>.

Williams D.T., N. Straw, M. Townsend, A.S. Wilkinson & A. Mullins. (2013). Monitoring oak processionary moth *Thaumetopoea processionea* L. using pheromone traps: the influence of pheromone lure source, trap design and height above the ground on capture rates. Agricultural and Forest Entomology, 15: 126-134. doi: 10.1111/afe.12005.

Zamoum M., H. Guendouz et D. Deia. (2007). Structure des communautés d'ennemis naturels de *Thaumetopoea pityocampa* (Lep., Thaumetopoeidae) sur pin d'Alep en Algérie subsaharienne. Entomologica Bari, 40, 139–151.

Zawar V., M. Kelkar & M. Pawar. (2019). Acute Onset of Painful Hairy Eruption on Dorsum of Foot: An Interesting Story! International Journal of Trichology, 11(3): 132-133. doi: 10.4103/ijt.ijt_34_19.

Zwakhals, C.J. (2005). *Pimpla processioneae* and *P. rufipes*: specialist versus generalist (Hymenoptera: Ichneumonidae, Pimplinae). Entomologische Berichten, 65(1), 14-16.

Anses. 2013. Rapport relatif aux « Méthodes de lutte alternatives à l'épandage aérien de produits phytosanitaires contre les processionnaires du pin et du chêne en conditions urbaines ». (saisine n°2012-SA-0149). Anses. 66 p. <https://www.anses.fr/fr/system/files/SVEG2012sa0149Ra.pdf>

9.2 Normes

AFNOR. 2003. NF X 50-110 *Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise*. AFNOR (indice de classement X 50-110).

9.3 Législation et réglementation

Règlement (CE) n°1107/2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques.

Règlement (UE) n°44528/2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation des produits biocides.

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de saisine

2020-SA-0005	 Liberté • Égalité • Fraternité RÉPUBLIQUE FRANÇAISE	COURRIER ARRIVE 08 JAN. 2020 DIRECTION GENERALE
MINISTÈRE DES SOLIDARITÉS ET DE LA SANTÉ Direction générale de la santé	MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE Direction générale de la prévention des risques	
Paris, le - 6 JAN. 2020		
Le Directeur général de la santé Le Directeur général de la prévention des risques à Monsieur le Directeur général de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) 14 Rue Pierre et Marie Curie 94700 Maisons-Alfort		
Objet : Saisine relative à la réalisation d'une analyse des données des Centres Anti-Poison concernant l'exposition aux chenilles émettrices de poils urticants et à la réalisation d'une analyse des risques sanitaires liés à l'exposition à ces chenilles et pour l'élaboration de recommandations de gestion		
Certaines chenilles, telles que les chenilles processionnaires du pin (<i>Thaumetopoea pityocampa</i> L.) et du chêne (<i>Thaumetopoea processionea</i> L.), la chenille bombyx cul-brun (<i>Euproctis chrysorrhoea</i> L.) et la chenille de la Lithosie quadrille (<i>Lithosia quadra</i> L.), produisent des poils urticants qui, par contact direct cutané ou par voie inhalée, peuvent entraîner des réactions urticariennes ou allergiques chez l'homme avec un impact sanitaire significatif en cas de pullulation. Ces espèces peuvent, de plus, avoir des impacts sur certains végétaux (chêne, pin, etc.) et animaux (chien, chat, animaux d'élevage, etc.).		
Plusieurs espèces de chenilles semblent accroître d'année en année leur zone de présence sur le territoire national, telle que la chenille processionnaire du pin dont la présence était limitée historiquement au sud de la Loire et qui remonte graduellement vers le nord et en altitude à la faveur du réchauffement climatique. Le changement climatique pourrait avoir de surcroît un impact sur l'évolution de l'aire de répartition et la phénologie des autres espèces urticantes. Les chenilles émettrices de poils urticants constituent ainsi un enjeu de santé publique (en France hexagonale et ultramarine) dans les zones où elles sont déjà présentes ou dans des zones indemnes où elles pourraient le devenir dans un avenir proche.		
Dans ce contexte, nous vous demandons (1) de réaliser une étude des données annuelles depuis 2000 des Centres antipoison permettant de décrire les conséquences des expositions aux chenilles émettrices de poils urticants sur la santé humaine, en précisant les contextes et les conditions d'exposition, ainsi que le cas échéant, les facteurs de vulnérabilité.		

Cette analyse, dont le rendu final est attendu pour le 15 janvier 2020, concernera les données des Centres antipoison disponibles en France métropolitaine, dont notamment celles d'Île-de-France et du Grand-Est et portera sur l'ensemble des voies d'exposition à ces chenilles.

Par ailleurs, et à des fins d'aide à la gestion des risques, nous vous demandons (2) de réaliser une analyse des risques sanitaires liés à ces chenilles urticantes.

Cette expertise devra porter dans une première partie, sur :

- l'établissement d'une liste des différentes espèces de chenilles recensées en France produisant des poils urticants qui, notamment par contact direct cutané ou par voie inhalée, peuvent entraîner des réactions urticariennes ou allergiques chez l'Homme ou l'animal, et/ou peuvent avoir un impact sur les végétaux ;
- une description de ces espèces (morphologie, biologie, écologie, répartition actuelle en France métropolitaine et dans les DROM, etc.) accompagnée d'informations sur les paramètres et les conditions favorables à leur développement en fonction des conditions pédoclimatiques, de la période de l'année, des pratiques d'agroforesterie, etc. ;
- une identification des contextes et des conditions d'exposition ;
- une description des effets et des conséquences des expositions aux chenilles urticantes sur la santé humaine en précisant, le cas échéant, les facteurs de vulnérabilité ;
- une description des conséquences de la présence de ces espèces sur la biodiversité.

Dans une seconde partie de votre travail, en vous appuyant sur l'analyse de l'efficacité des dispositifs de lutte contre les chenilles urticantes et de leur effet sur l'environnement recensés en France et dans d'autres pays, vous établirez :

- une liste des critères à prendre en compte pour déterminer les options de gestion les plus adaptées selon les situations et les contextes, dans un souci de durabilité et de préservation de la biodiversité ;
- des recommandations quant à l'opportunité des traitements par des produits biocides ;
- des recommandations visant à maîtriser les expositions des différentes populations (dont les professionnels pouvant être en contact avec des chenilles).

A l'issue de cette expertise, vous formulerez les recommandations que l'évaluation scientifique des risques appelle de votre part, en précisant – le cas échéant – les modalités de mise en œuvre (locale ou nationale ...) qui apparaissent les plus adaptées.

La réalisation de cette expertise s'inscrit en particulier dans le cadre de la mise en œuvre de l'action n°12 du 3^{ème} plan national santé-environnement (PNSE 3) qui a notamment pour objectif de renforcer et de coordonner la gestion des espèces végétales et animales dont la prolifération peut être nuisible à la santé publique.

Nous vous remercions de bien vouloir nous transmettre, dans les meilleurs délais, votre proposition de contrat d'expertise comprenant notamment les modalités de traitement et de restitution des travaux, dont le rendu final est attendu pour début janvier 2021.

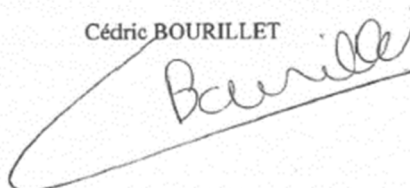
Le directeur général de la santé

Jérôme SALOMON



Le directeur général de la
prévention des risques

Cédric BOURILLET



Annexe 2 : Liste des genres et des espèces de Lépidoptères sélectionnés

Famille des Erebidæ

Genre	Espèce	Soies détachables	Types de soies (détachables - D - / modifiées - M - / épines - E)	DNA barcode	Pays
<i>Arctia</i>	<i>Arctia caja</i> (Linnaeus, 1758)	N	M	O	France
<i>Euproctis</i>	<i>Euproctis similis</i> (Fuessly, 1775)	O	D	O	France
<i>Euproctis</i>	<i>Euproctis chrysorrhoea</i> (Linnaeus, 1758)	O	D	O	France
<i>Lymantria</i>	<i>Lymantria dispar</i> (Linnaeus, 1758)	N	M	O	France
<i>Orgyia</i>	<i>Orgyia antiqua</i> (Linnaeus, 1758)	N	M	O	France
<i>Lithosia</i>	<i>Lithosia quadra</i> (Linnaeus, 1758)	N	M	O	France
<i>Eilema</i>	<i>Eilema caniola</i> (Hübner, 1808)	N	M	O	France
<i>Parasemia</i>	<i>Parasemia plantaginis</i> (Linnaeus, 1758)	N	M	O	Brésil
8	8				

Famille des Lasiocampidæ

Genre	Espèce	Soies détachables	Types de soies (détachables - D - / modifiées - M - / épines - E)	DNA barcode	Pays
<i>Dendrolimus</i>	<i>Dendrolimus pini</i> (Linnaeus, 1758)	N	M	O	France
<i>Eriogaster</i>	<i>Eriogaster lanestris</i> (Linnaeus, 1758)	N	M	O	France
<i>Lasiocampa</i>	<i>Lasiocampa quercus</i> (Linnaeus, 1758)	N	M	O	France
<i>Euthrix</i>	<i>Euthrix potatoria</i> (Linnaeus, 1758)	N	M	O	France
<i>Gastropacha</i>	<i>Gastropacha quercifolia</i> (Linnaeus, 1758)	N	M	O	France
<i>Lasiocampa</i>	<i>Lasiocampa trifolii</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)	N	M	O	France
<i>Malacosoma</i>	<i>Malacosoma neustria</i> (Linnaeus, 1758)	N	M	O	France
<i>Streblote</i>	<i>Streblote panda</i> (Hübner, 1820)	N	M	N	Espagne
<i>Artace</i>	<i>Artace cribraria</i> (Ljungh, 1825)	N	M	O	Guyane française
8	9				

Famille des Limacodidæ

Genre	Espèce	Soies détachables	Types de soies (détachables - D - / modifiées - M - / épines - E)	DNA barcode	Pays
<i>Heterogenea</i>	<i>Heterogenea asella</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)	N	E	O	France
<i>Sisyrosea</i>	<i>Sisyrosea textula</i> (Herrich-Schäffer, 1854)	N	E	N	Brésil
<i>Parasa</i>	<i>Parasa lepida</i> (Cramer, 1799)	N	E	O	Guyane française
3	3				

Famille des Megalopygidæ

Genre	Espèce	Soies détachables	Types de soies (détachables - D - / modifiées - M - / épines - E)	DNA barcode	Pays
<i>Megalopyge</i>	<i>Megalopyge lanata</i> (Stoll, 1780)	N	E	O	Guyane Française
<i>Megalopyge</i>	<i>Megalopyge opercularis</i> (Smith & Abbot, 1797)	N	E	O	Guyane Française
<i>Podalia</i>	<i>Podalia orsilochus</i> (Cramer, 1775)	N	E	O	Guyane Française
<i>Podalia</i>	<i>Podalia fuscescens</i> (Walker, 1856)	N	E	N	Guyane Française
2	4				

Famille des Noctuidæ

Genre	Espèce	Soies détachables	Types de soies (détachables - D - / modifiées - M - / épines - E)	DNA barcode	Pays
<i>Acronicta</i>	<i>Acronicta aceris</i> L.	N	M	O	France

Famille des Notodontidae

Genre	Espèce	Soies détachables	Types de soies (détachables - D - / modifiées - M - / épines - E)	DNA barcode	Pays
<i>Thaumetopoea</i>	<i>Thaumetopoea processionea</i> (Linnaeus, 1758)	O	D	O	France
<i>Thaumetopoea</i>	<i>Thaumetopoea pinivora</i> (Treitschke, 1834)	O	D	O	France
<i>Thaumetopoea</i>	<i>Thaumetopoea pityocampa</i> (Denis & Schiffmuller, 1775)	O	D	O	France
<i>Thaumetopoea</i>	<i>Thaumetopoea herculeana</i> (Rambur, 1837)	O	D	O	Espagne
<i>Thaumetopoea</i>	<i>Thaumetopoea apologetica</i> (Strand, 1909)	O	D	O	Mozambique
<i>Thaumetopoea</i>	<i>Thaumetopoea latinivea</i> (László & Schintlmeister, 2021)	O	D	N	Mozambique
1	6				

Famille des Nymphalidae

Genre	Espèce	Soies détachables	Types de soies (détachables - D - / modifiées - M - / épines - E)	DNA barcode	Pays
<i>Morpho</i>	<i>Morpho anaxibia</i> (Esper, 1798)	N	E	O	Guyane française
<i>Morpho</i>	<i>Morpho cypris</i> (Westwood, 1851)	N	E	O	Guyane française
<i>Morpho</i>	<i>Morpho menelaus</i> (Linnaeus, 1758)	N	E	O	Guyane française
<i>Morpho</i>	<i>Morpho rhetenor</i> (Cramer, 1775)	N	E	O	Guyane française
1	4				

Famille des Saturniidae

Genre	Espèce	Soies détachables	Types de soies (détachables - D - / modifiées - M - / épines - E)	DNA barcode	Pays
<i>Automeris</i>	<i>Automeris liberia</i> (Cramer, 1780)	N	E	O	Guyane française
<i>Dirphia</i>	<i>Dirphia tarquinia</i> (Cramer, 1775)	N	E	O	Guyane française
<i>Hylesia</i>	<i>Hylesia indurata</i> (Dyar, 1912)	N	E	O	Guyane française
<i>Automeris</i> Hübner, 1832	spp.	N	E	NA	Guyane française
<i>Dirphia</i> Hübner, 1819	spp.	N	E	NA	Guyane française
<i>Hylesia</i> Hübner, 1820	spp.	N	E	NA	Guyane française
<i>Lonomia</i> Walker, 1855	spp.	N	E	NA	Guyane française
3	7				

Genre	Espèce	Soies détachables	Types de soies (détachables - D - / modifiées - M - / épines - E)	DNA barcode	Pays
<i>Automeris</i>	<i>Automeris illustris</i> (Walker, 1855)	N	E	O	Brésil
<i>Automeris</i>	<i>Automeris io</i> (Fabricius, 1775)	N	E	O	Brésil
<i>Automeris</i>	<i>Automeris melanops</i> (Walker, 1865)	N	E	O	Brésil
<i>Automeris</i>	<i>Automeris egeus</i> (Cramer, 1776)	N	E	O	Brésil
<i>Dirphia</i>	<i>Dirphia curitiba</i> (Draudt, 1930)	N	E	O	Brésil
<i>Dirphia</i>	<i>Dirphia multicolor</i> (Walker, 1855)	N	E	N	Brésil
<i>Hylesia</i>	<i>Hylesia lilex</i> (Dognin, 1923)	N	E	N	Brésil
<i>Hylesia</i>	<i>Hylesia nigricans</i> (Berg, 1875)	N	E	N	Brésil
<i>Hylesia</i>	<i>Hylesia umbrata</i> (Schaus, 1911)	N	E	N	Brésil
<i>Lonomia</i>	<i>Lonomia achelous</i> (Cramer, 1777)	N	E	N	Brésil
<i>Lonomia</i>	<i>Lonomia obliqua</i> Walker, 1855	N	E	O	Brésil
<i>Lonomia</i> Walker, 1855	spp.	N	E	NA	Brésil
4	11				

Famille des Zygaenidae

Genre	Espèce	Soies détachables	Types de soies (détachables - D - / modifiées - M - / épines - E)	DNA barcode	Pays
<i>Artona</i>	<i>Artona martini</i> Efetov, 1997	N	M	N	Italie

Annexe 3 : Fiches des genres de Lépidoptères d'intérêt

Fiche espèce *Arctia caja* (Linnaeus, 1758) (Erebidae)

Position taxonomique

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Super-famille : Noctuoidea

Famille : Erebidae

Sous-famille : Arctiinae

Genre : *Arctia*

Espèce : *caja* (Linnaeus, 1758)

Présentation générale :

Arctia caja, surnommée « l'Ecaille martre » ou encore la « Hérissonne », est un papillon de nuit de la famille des Erebidae, qui se trouve principalement dans l'ensemble de l'hémisphère nord. Les papillons ne présentent pas de dimorphisme sexuel marqué, hormis la taille de l'abdomen plus importante chez les femelles. Ils ont une envergure de 5 à 6 centimètres. Leurs ailes antérieures sont de couleur ivoire et maculées de taches brunes, dont les formes et proportions varient d'un individu à l'autre (variabilité phénotypique importante). Leurs ailes postérieures sont de couleur orangée et ornées de taches bleues (Cf. Figure 1). Les chenilles peuvent atteindre une taille de 6 centimètres au terme de leur développement. Elles sont de couleur noire et rousse, avec de longs poils blancs sur le dos et des soies plus courtes et rousses partant des côtés (Cf. Figure 2). Les chenilles sont capables de se déplacer rapidement et de se mettre en boule lorsqu'elles se sentent menacées. Enfin, les pontes comptent des centaines d'œufs en forme de petites perles vertes situées sur la face intérieure des feuilles (Cf. Figure 3) (Aubert, 1949; Carter et al.1988; Robineau, 2007).



Figure 1 : Photographie d'un papillon *Arctia caja* (©P. Mothiron).



Figure 2 : Photographie d'une larve *Arctia caja* (©P. Mothiron).

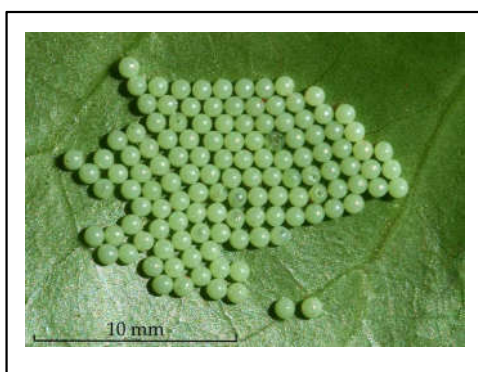


Figure 3 : Photographie d'une ponte d'*Arctia caja* (©E. Sylvestre).

Cycle biologique :

Arctia caja est une espèce monovoltine. Vers le mois de juillet, les femelles pondent sur la face interne des feuilles des centaines d'œufs en ooplaques. Les chenilles naissent quelques semaines plus tard, courant août, et se développent sur différentes plantes hôtes. Elles hibernent à l'état de jeune chenille, puis reprennent leur développement au début du printemps jusqu'à fin juin, où elles tissent un cocon au sol, dans la litière, dans le but de se nymphoser. Les papillons émergent une semaine plus tard.

Distribution :

Distribution mondiale :

Arctia caja se trouve principalement dans l'ensemble de l'hémisphère nord, en Eurasie et Amérique du Nord (Cf. Figure 4).

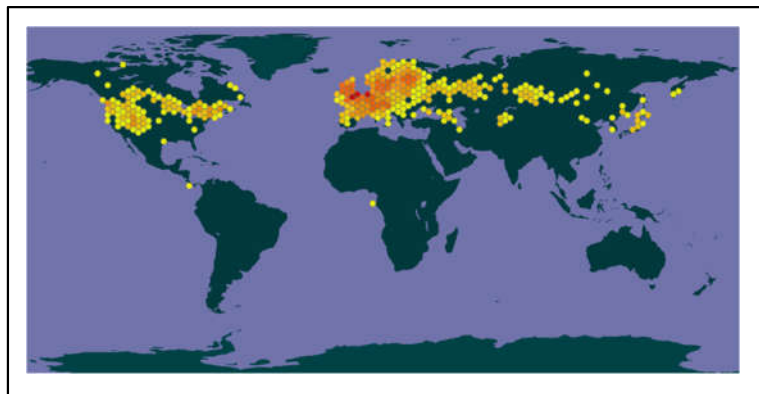


Figure 4 : Carte des occurrences de la présence de *Arctia caja* (données extraites du site GBIF).

Distribution en France métropolitaine :

En France, cette espèce peut se rencontrer dans toutes les régions (Cf. Figure 5).

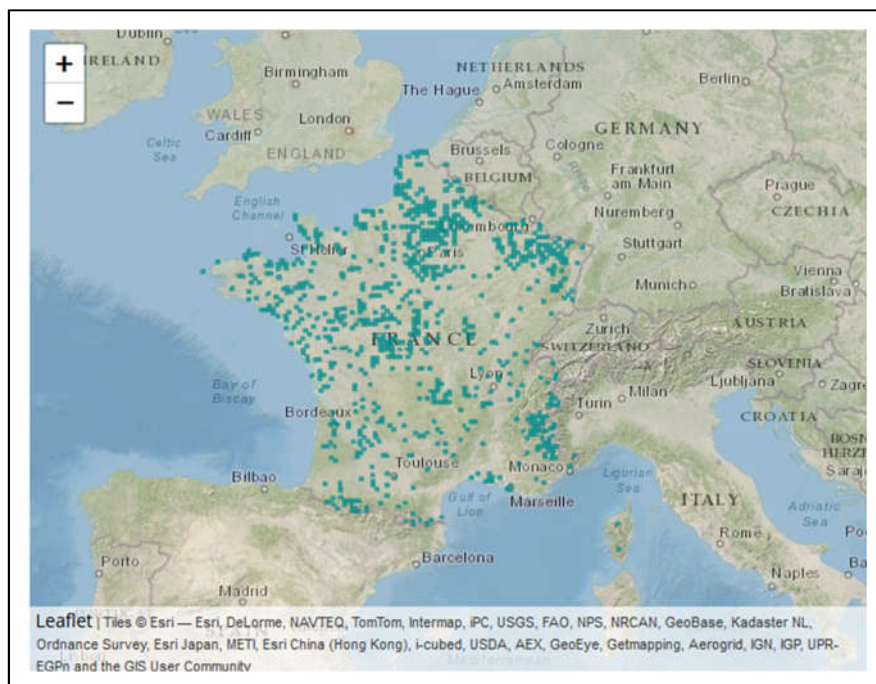


Figure 5 : Carte des occurrences de la présence de *Arctia caja* en France métropolitaine (source SINP).

Distribution dans les DROM:

Arctia caja est absente des DROM.

Capacités de dispersion :

Pas de données disponibles.

Plantes hôtes :

Les chenilles sont très polyphages et se nourrissent de plantes nombreuses et variées, notamment des plantes basses sauvages et cultivées, des herbacées, mais également des plantes ligneuses (arbres et arbustes à feuilles caduques).

Habitats et paysage :

Arctia caja se trouve dans divers types de milieux, et apprécie particulièrement les milieux ouverts. Ainsi, cette espèce peut être observée dans des zones bâties (jardins, parcs...), ou des habitats agricoles, ou encore dans des landes, prairies, forêts, ripisylves... (Robineau, 2007). Elle a pu être observée jusqu'à 2300 mètres d'altitude.

Dynamique de population :

Arctia caja est une espèce en nette régression en terme d'abondance depuis ces 20 à 30 dernières années. Ainsi, au Royaume-Uni, leur population a diminué de près de 85% depuis 30 ans (Anderson *et al.*, 2008). Cette espèce semble affectée par les hivers et printemps plus chauds et humides. Le réchauffement climatique serait ainsi responsable du déplacement plus au nord de son aire de répartition (Conrad *et al.* 2002).

Urtication :

Arctia caja est connue pour être une espèce de Lépidoptère dont les chenilles possèdent des propriétés urticantes causées par des soies modifiées non-détachables (Kawamoto *et al.*, 1984 ; Vassal, 1989 ; Battisti *et al.* 2011). Ainsi, du fait de leur polyphagie, les chenilles sont capables de se nourrir et de stocker les composés toxiques de leur plantes hôtes. Elles sont également capables de produire des composés de défense (acétylcholine) sécrétés par leurs soies modifiées (Bisset *et al.*, 1960 ; Morley *et al.*, 1963 ; Frazer, 1965 ; Rothschild *et al.*, 1970 ; Delgado Quiroz, 1978 ; Hsiao *et al.*, 1980). Les chenilles peuvent ainsi provoquer des éruptions cutanées et démangeaisons sur les zones ayant été en contact avec elles (Hellier *et al.*, 1967 ; Hossler, 2009).

Période d'occurrence des stades urticants :

La période d'urtication par les chenilles est susceptible de s'étendre du début du printemps jusqu'à fin juin.

Méthodes de lutte :

Aucune donnée n'est disponible.

Bibliographie

- Anderson, S. J., Conrad, K. F., Gillman, M. P., Woiwod, I. P., & Freeland, J. R. (2008). Phenotypic changes and reduced genetic diversity have accompanied the rapid decline of the garden tiger moth (*Arctia caja*) in the UK. *Ecological Entomology*, 33(5), 638-645.
- Aubert, J. F. (1949). *Papillons d'Europe*. Delachaux & Niestlé.
- Battisti A, Holm G, Fagrell B, Larsson S, 2011. Urticating hairs in arthropods – their nature and medical significance. *Annual Review of Entomology*, 56, 203-220.
- Bisset, G. W., Frazer, J. F. D., Rothschild, M. L., & Schachter, M. (1960). A pharmacologically active choline ester and other substances in the garden tiger moth, *Arctia caja* (L.). *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences*, 152(947), 255-262.
- Carter, D. J., & Hargreaves, B. (1988). *Guide des chenilles d'Europe*. Delachaux & Niestlé.

- Conrad, K. F., Woiwod, I. P., & Perry, J. N. (2002). Long-term decline in abundance and distribution of the garden tiger moth (*Arctia caja*) in Great Britain. *Biological Conservation*, 106(3), 329-337.
- Delgado Quiroz, A. (1978). Venoms of Lepidoptera. In *Arthropod venoms* (pp. 555-611). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Frazer, J. F. D. (1965, September). The cause of urtication produced by larval hairs of *Arctia caja* (L.)(Lepidoptera: Arctiidae). In *Proceedings of the Royal Entomological Society of London. Series A, General Entomology* (Vol. 40, No. 7-9, pp. 96-100). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Hellier, F. F., & Warin, R. P. (1967). Caterpillar dermatitis. *British Medical Journal*, 2(5548), 346.
- Hossler, E. W. (2009). Caterpillars and moths. *Dermatologic therapy*, 22(4), 353-366.
- Hsiao, T. H., Hsiao, C., & Rothschild, M. (1980). Characterization of a protein toxin from dried specimens of the garden tiger moth (*Arctia caja* L.). *Toxicon*, 18(3), 291-299.
- Kawamoto, F., & Kumada, N. (1984). Biology and venoms of Lepidoptera. *Handbook of natural toxins*.
- Morley, J., & Schachter, M. (1963). Acetylcholine in non-nervous tissues of some Lepidoptera. *The Journal of Physiology*, 168(3), 706.
- Robineau R. (2007). *Guide des papillons nocturnes de France*. Delachaux et Niestlé, Paris, 287p.
- Rothschild, M., Reichstein, T., Von Euw, J., Aplin, R., & Harman, R. R. M. (1970). Toxic lepidoptera. *Toxicon*, 8(4), 293-296.
- Vassal, J. M. (1989). Biologie, écologie et pathologie d'*Hylesia metabus* (Cramer 1775) (Lépidoptères : Saturniidae), agent de la papillonite en Guyane Française: mise en place d'une structure de lutte intégrée.

Images

https://www.gbif.org/occurrence/gallery?taxon_key=5115807

<https://oreina.org/artemisiae/observatoire/index.php?module=fiche&action=fiche&d=hetero&id=249053>

Fiche espèce *Lymantria dispar* (L. 1758) (Erebidae)

Position taxonomique :

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Super-famille : Noctuoidea

Famille : Erebidae

Sous-famille : Lymantriinae

Genre : *Lymantria*

Espèce : *dispar* (L. 1758)

Présentation générale :

Lymantria dispar est un papillon de nuit de la famille des Erebidae, appelé également le Bombyx disparate ou encore la Spongieuse. Ce papillon présente des phases cycliques de pullulations importantes et est considéré comme un ravageur des forêts de feuillus. Cette espèce a été introduite accidentellement en Amérique du Nord et est considérée comme envahissante sur ce Continent (Liebhold *et al.*, 1992 ; McManus, 2007). Les papillons présentent un dimorphisme marqué (Cf. Figures 1 et 2). Les papillons femelles sont de couleur blanche avec des motifs noirs en forme de zigzag. Les papillons mâles sont plutôt bruns et portent de longues antennes pectinées. Les chenilles ont un corps noir orné sur leur dos de 5 paires de tubercules bleues suivies de 6 paires rouges, qui apparaissent au cours de leur développement (Cf. Figure 3). Les pontes sont également caractéristiques de cette espèce du fait de leur apparence en forme de petite éponge de couleur jaune, visibles sur les troncs de leur arbres hôtes (Cf. Figure 4).



Figure 1 : Photographie d'un papillon mâle *Lymantria dispar* (©F. Michalke).



Figure 2 : Photographie d'un papillon femelle *Lymantria dispar* (©L.M. Nageleisen).



Figure 3 : Photographie d'une larve *Lymantria dispar* (©A. Lévêque).



Figure 4 : Photographie d'une ponte de *Lymantria dispar* (©L.M. Nageleisen).

Cycle biologique :

Lymantria dispar est une espèce monovoltine. Au cours de l'été, les papillons émergent. Ils ne vivent que quelques jours et n'ont pas les capacités physiques de se nourrir. Les femelles sont peu mobiles et restent généralement à proximité de l'endroit où elles ont émergé. Les papillons mâles, quant à eux, sont plus mobiles et volent à la recherche des femelles pour s'accoupler. Généralement, l'accouplement s'effectue au cours de la nuit ayant suivi l'émergence. Quelques heures plus tard, la femelle pond un amas de 100 à 800 œufs, en général à la base du tronc de leur arbre hôte, qu'elle recouvre par son duvet abdominal, lui donnant ainsi l'apparence d'une petite éponge. Les œufs passent l'hiver protégés sous ce duvet, puis éclosent au début du printemps, dès que les conditions deviennent favorables au débourrement de leur arbre hôte. Les chenilles se développent durant 2 à 3 mois, en passant par 5 à 6 stades larvaires, avant de se nymphoser au début de l'été. Le développement nymphal ne dure qu'une quinzaine de jours (Aubert, 1949 ; Carter *et al.*, 1988 ; Fraval *et al.*, 1984 ; Robineau R., 2007).

Distribution :

Distribution mondiale du genre Lymantria :

Ce genre se trouve principalement dans l'ensemble de l'hémisphère nord mais également en Australie et dans le sud de l'Afrique (Fraval, 1984).

Distribution en France métropolitaine :

En France, cette espèce peut se rencontrer dans toutes les régions.

Distribution dans les DROM :

Lymantria dispar est absente des DROM.

Capacités de dispersion :

D'une manière générale, les deux vecteurs principaux permettant la dispersion de *Lymantria dispar* sont les activités humaines, via le transport de pontes, et le vent (Fraval *et al.*, 1989 ; Liebhold *et al.*, 1992). Cette espèce a été introduite de manière accidentelle en Amérique du Nord vers 1868 et continue de se propager sur ce Continent à une vitesse de 21 km par an sur des cycles d'expansion de 7 à 10 ans (Liebhold *et al.*, 1992 ; McManus, 2007). Ainsi, les chenilles de premier stade larvaire peuvent se déplacer de manière passive sur plusieurs kilomètres en se laissant porter par le vent. Enfin, seuls les papillons mâles sont capables de voler sur près d'1 à 2 kilomètres de distance pour trouver des papillons femelles.

Plantes hôtes :

Les chenilles sont polyphages et sont capables de se nourrir d'une grande variété de plantes différentes (feuillus mais également résineux). Elles ont néanmoins une nette préférence pour les chênes (Barbosa *et al.*, 1977).

Habitats et paysage :

Lymantria dispar se trouve principalement dans des habitats boisés, clairs et ensoleillés, ou encore dans les lisières. Cette espèce peut également s'installer dans des parcs et des vergers (Robineau R., 2007).

Dynamique de population :

Les populations de bombyx disparate peuvent atteindre des niveaux de pullulation très intenses, dont les pics de culmination durent rarement plus de 2 ans. Entre deux culminations, les populations se trouvent en état de latence qui peuvent durer entre 6 et 12 ans. Ces fluctuations s'expliquent par plusieurs facteurs tels que la qualité et la quantité de nourriture disponible ainsi que l'influence des ennemis naturels et autres maladies (Villemant, 2010). Il est donc difficile de prévoir exactement quand la prochaine pullulation aura lieu.

Urtication :

Les chenilles *Lymantria dispar* possèdent des soies modifiées non-détachables que, venant en contact avec la peau, peuvent générer des cas de dermatites et d'érythèmes, voire des stress respiratoires, chez des sujets sensibles qui ont déjà des problèmes d'asthme et d'allergies (Diaz, 2005 ; Kikuchi *et al.*, 2012 ; Gooderham *et al.*, 2021 ; Croitoru *et al.*, 2022).

Méthodes de lutte :

Les populations de *Lymantria dispar* sont régulées par des pathogènes (champignons, virus, bactéries) et de multiples ennemis naturels qui s'attaquent aux différents stades de développement de cette espèce (Gupta, 1982 ; Fuester *et al.*, 1983 ; Kenis *et al.*, 1998). Pour ces derniers, il s'agit généralement d'Hyménoptères et de Diptères parasites et parasitoïdes (Braconidae et Tachinidae...), mais également des Coléoptères prédateurs tels que les Calosomes. Les chenilles et papillons sont également prédatés par des oiseaux insectivores et des chauves-souris.

Le traitement microbiologique peut permettre également la régulation des populations de ce ravageur en cas de pic intense de pullulation (*Bacillus thuringiensis*). Cette technique ne s'attaque qu'aux chenilles de Lépidoptères et prévaut sur l'utilisation de traitements chimiques.

Enfin, le piégeage phéromonal fonctionne très bien avec des diffuseurs de phéromone commercialisés très attractifs et efficaces. Toutefois, en cas de forte pullulation, cette technique reste très limitante.

Bibliographie

- Aubert, J. F. (1949). Papillons d'Europe. Delachaux & Niestlé.
- Barbosa, P., & Capinera, J. L. (1977). The influence of food on developmental characteristics of the gypsy moth, *Lymantria dispar* (L.). Canadian Journal of Zoology, 55(9), 1424-1429.
- Carter, D. J., & Hargreaves, B. (1988). Guide des chenilles d'Europe. Delachaux & Niestlé.
- Croitoru, D. O., Brooks, S. G., & Pon, K. (2022). Dermatite causée par une exposition à *Lymantria dispar* *dispar*. CMAJ, 194(20), E726-E727.
- Département de la santé des forêts (2005). Information Santé des forêts sur le *Bombyx dispar* *dispar*. 6p.
- Diaz, J. H. (2005). The evolving global epidemiology, syndromic classification, management, and prevention of caterpillar envenoming. The American journal of tropical medicine and hygiene, 72(3), 347-357.
- Fraval A. (1984) Influence de la qualité et de la quantité de l'alimentation sur les fluctuations des populations de *Lymantria dispar* L. (Lep. Lymantriidae) en forêt de la Mamora (Maroc). Agronomie, EDP Sciences, 1984, 4 (9), pp.819-828.
- Fraval, A., & Yousfi, M. E. (1989). Dispersion active et passive de *Lymantria dispar* (L.) (Lép., Lymantriidae), cas de la subéraie marocaine atlantique. Journal of Applied Entomology, 108(1-5), 335-346.
- Fuester, R. W., Drea, J. J., Gruber, F., Hoyer, H., & Mercadier, G. (1983). Larval parasites and other natural enemies of *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae) in Burgenland, Austria, and Würzburg, Germany. Environmental Entomology, 12(3), 724-737.
- Gooderham, M., Haq, M., Beecker, J., & O'Toole, A. (2021). *Lymantria dispar* *dispar* (Gypsy) moth dermatitis. Journal of Cutaneous Medicine and Surgery, 25(5), 555-556.
- Gupta, V. (1982). The ichneumonid parasites associated with the gypsy moth (*Lymantria dispar*). Contributions of the American Entomological Institute, 19(7).
- Kenis, M., & Vaamonde C. L. (1998). Classical biological control of the gypsy moth, *Lymantria dispar* (L.) in North America: prospects and new strategies. Proceedings: Population Dynamics, Impact and Integrated Management of Forest Defoliating Insects (US Dep Agric For Serv Gen Tech Rep NE-247). Washington, DC: US Department of Agriculture, 213-221.
- Kikuchi, T., Kobayashi, K., Sakata, K., & Akasaka, T. (2012). Gypsy moth-induced dermatitis: a hospital review and community survey. European Journal of Dermatology, 22(3), 384-390.
- Liebholt, A. M., Halverson, J. A., & Elmes, G. A. (1992). Gypsy moth invasion in North America: a quantitative analysis. Journal of Biogeography, 19, 513-520.
- McManus, M., & Csóka, G. (2007). History and impact of gypsy moth in North America and comparison to the recent outbreaks in Europe. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica, 3, 47-64.
- Robineau R. (2007) Guide des papillons nocturnes de France. Delachaux et Niestlé, Paris, 287p.
- Villemant, C. (2010). Le bombyx *dispar* *dispar* en Europe méditerranéenne et en Afrique du nord. Historique des gradations, dynamique des populations et lutte. Actes de la CIFE VI, Travaux de l'Institut Scientifique, Série Zoologie, Rabat, 47, 97-106.

Fiche espèce *Dendrolimus pini* (Linnaeus, 1758) (Lasiocampidae)

Position taxonomique

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Famille : Lasiocampidae

Genre : *Dendrolimus*

Espèce : *pini* (Linnaeus, 1758)

Présentation générale

Dendrolimus pini est un défoliateur bien connu des forêts de conifères en Europe et en Asie, où on trouve plusieurs espèces voisines comme *D. sibiricus*, un véritable ravageur des forêts boréales. En France, il est présent un peu partout où il y a des conifères, avec une fréquence plus élevée dans le sud-est et en Corse. On n'est pas à connaissance des impacts sur la santé humaine et animale.

Cycle biologique

Il réalise une génération annuelle et passe l'hiver comme chenille dans la litière. Le cycle peut varier selon la température et on peut avoir de deux générations par an jusqu'à une génération sur deux ans dans les régions froides. Les chenilles mures tissent un cocon dans les branches et les adultes sont présentes en été. Les œufs sont pondus sur les feuilles d'une façon irrégulière.

Distribution

Distribution mondiale du genre Lymantria :

Distribué dans l'Europe et dans l'Asie, avec plusieurs espèces voisines en Sibérie et en Chine.

Distribution en France métropolitaine :

En France, *D. pini* est présente sur l'ensemble du territoire, mais est plus fréquente dans le sud-est et en Corse.

Distribution dans les DROM :

L'espèce est absente dans les DROM.

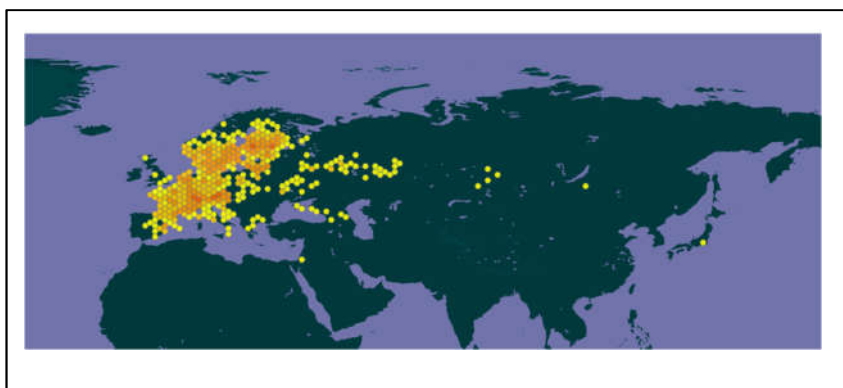


Figure 1 : Carte des occurrences mondiales de *Dendrolimus pini* (données extraites du site GBIF).

Plantes hôtes

Dendrolimus pini est largement polyphage sur les conifères forestiers, avec une préférence pour les pins. Les peuplements âgés sont normalement plus colonisés.

Habitats et paysage

En Europe l'espèce est souvent favorisée par des conditions climatiques chaudes et sèches, surtout sur sols pauvres en forêt monospécifique.

Dynamique de population

Les attaques durent généralement plusieurs ans, alternant avec de longues périodes de latence. Les dégâts sont parfois importants en Europe centrale, avec une défoliation qui peut entraîner la mortalité des arbres affectant des milliers d'hectares.

Urtication

Les problèmes sont liés à la présence des soies modifiées non-détachable sur les chenilles qui peuvent agir par contact. On ne sait pas si les soies sont présentes à l'éclosion des chenilles ou si elles vont paraître plus tard. De plus, les soies urticantes sont englobées dans le cocon pendant le tissage et sortent ainsi du cocon, pouvant pénétrer dans la peau lors du prélèvement des cocons à la main (comme méthode de lutte en Asie).

Période d'occurrence des stades urticants

Les stades urticants sont présents sur les arbres en automne et printemps-été, pendant l'hiver dans la litière. Les cocons sont présents sur les arbres en été.

Méthodes de lutte

Plusieurs méthodes de lutte directe ont été utilisées en Europe centrale, incluant la pulvérisation d'insecticides et l'aménagement forestier. Parmi les antagonistes naturels du phytophage figurent plusieurs oiseaux, notamment les mésanges. Les œufs, les larves et les pupes sont parasités par de nombreuses espèces d'hyménoptères et de diptères parasitoïdes. L'intervention d'antagonistes naturels ou l'apparition d'épidémies virales, fongiques ou bactériennes se traduisent souvent par un retour rapide des populations de défoliateurs à un état de latence. Dans les zones à risque d'épisodes antérieurs de forte infestation, il peut être utile de surveiller la présence des papillons avec des pièges à phéromones sexuelles.

Bibliographie

Dezhou H. (1991). Dendrolimiasis: an analysis of 58 cases. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 94, 79-87.

Skrzecz I. *et al.* (2020). Integration of science and practice for *Dendrolimus pini* (L.) management – A review with special reference to Central Europe. *Forest Ecology and Management*, 455, 117697.

Sukovata L. *et al.* (2020). Effect of dispenser type, trap design and placement on catches of pine-tree lappet moth, *Dendrolimus pini*. *Phytoparasitica*, 48, 63-74.

Fiche espèce *Parasa lepida* (Cramer, 1799) (Limacodidae)

Position taxonomique :

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Famille : Limacodidae

Genre : *Parasa*

Espèce : *lepida* (Cramer, 1799)

Présentation générale :

Parasa lepida, la chenille de l'ortie ou le ver bleu de l'ortie, est un papillon de nuit de la famille des Limacodidae. C'est un ravageur mineur indigène que l'on trouve dans la région indo-malaise, notamment en Inde, au Sri Lanka, au Vietnam, en Malaisie et en Indonésie. Il constitue un ravageur introduit sur les arbres urbains dans l'ouest du Japon¹.

Chez le mâle, la tête est verdâtre, avec du brun rouge sur les côtés. Le thorax est vert avec une bande brune sur le vertex et l'abdomen est brun. Les ailes antérieures sont vert pâle avec une zone externe brun rougeâtre, plus large au bord interne (Cf. Figure 1). L'aile postérieure est jaunâtre à la base, brun rougeâtre vers le bord. Chez la femelle, la bande marron-rougeâtre sur le thorax est beaucoup plus large et presque toute l'aile postérieure est marron-rougeâtre².

La larve (Cf. Figure 2) est vert pâle, blanchâtre ou vert jaunâtre vif sur la surface dorsale avec trois bandes vertes sur tout le corps. Des séries sous-dorsales et sous-latérales de courts tubercules épineux sont présents dont les épines sont taillées en pointe rouge².



Figure 1 : Photographie d'un papillon *Parasa lepida* (source : Andrew Pierce - Inaturalist)



Figure 2 : Photographie d'une chenille de *Parasa lepida* (source : Prajwal J Ullal- Inaturalist)

Cycle biologique :

Le stade œuf à une durée d'environ six jours. Dès leur éclosion sur les feuilles de l'hôte, les jeunes chenilles de *Parasa lepida* se nourrissent de la face inférieure de l'épiderme en commençant souvent par l'extrémité où les œufs ont été pondus. Elles mangent ensuite les bords de la feuille et dévorent de grandes parties du limbe. Lorsqu'elles ont terminé leur développement d'environ quarante jours et qu'elles mesurent environ 3-4 cm de long, la feuille entière aura été consommée systématiquement ne laissant que la nervure médiane, le long de laquelle les entailles laissées par les chenilles sont visibles. Le stade de chrysalide est protégé par un cocon ressemblant à de grosses graines sphériques, d'un diamètre de 5 à 15 mm, et constitués d'une enveloppe dure en papier recouverte d'une fine couche de soie. On trouve les cocons enfouis dans le sol (dans les 2 premiers centimètres) ou parmi les feuilles mortes. Après une vingtaine de jours, l'émergence des adultes a lieu au début des pluies deux fois par an³⁻⁵. Au Japon, les cocons se forment deux fois par an : la première génération entre mi-juillet et mi-août et la deuxième génération entre mi-septembre et fin octobre. Après une hibernation sous forme d'une pré-chrysalide dans le cocon, les adultes de la seconde génération émergeront entre début juin et début juillet de l'année suivante⁶.

Distribution :

Distribution mondiale du genre Parasa :

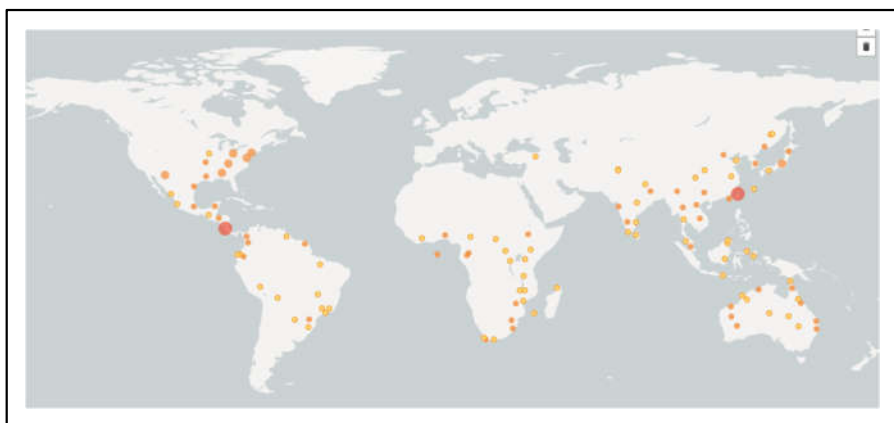


Figure 3 : Carte des occurrences de la présence du genre *Parasa* (données extraites du site GBIF).

Distribution en France métropolitaine :

Parasa lepida est absente de France métropolitaine.

Distribution dans les DROM :

Parasa lepida est absente des DROM.

Capacités de dispersion :

Pas de données disponibles.

Plantes hôtes :

Les plantes-hôtes enregistrées sont le café, le caoutchouc, le palmier à huile, le cacao, le manioc, le thé, l'ébène, la noix de coco, le gliricidia, le bananier, le haricot ailé et la mangue³.

Habitats et paysage :

Pas de données disponibles.

Dynamique de population :

Pas de données disponibles.

Urtication :

La chenille possède des poils urticants sous forme d'épines qui dépassent de la face dorsale le long de l'axe longitudinal de son corps. Elle est reconnue comme l'une des chenilles les plus nuisibles en Thaïlande, provoquant des douleurs intenses, des sensations de brûlure et de démangeaison et une dermatite sévère^{7,8}.

Période d'occurrence des stades urticants :

De juin à septembre au Japon⁶.

Méthodes de lutte :

Dans les jeunes plantations, où les frondes sont accessibles, les attaques limitées à quelques arbres et les chenilles de *Parasa lepida* étroitement groupées, elles peuvent être collectées à la main et détruites. Comme les cocons sont pondus côte à côte, ils peuvent aussi être facilement traités de la même manière³.

Bibliographie

1. Kazuo Yamazaki, Toshio Kitamoto, Yoriko Yariyama, & Shinji Sugiura. (2007). An analysis of spatial distribution in the exotic slug caterpillar *Parasa lepida* (Cramer) (Lepidoptera: Limacodidae) at an urban coastal site in central Japan. *The Pan-Pacific Entomologist*, 83, 193–199.
2. Hampson, G. (1892). *The Fauna of British India, Including Ceylon and Burma: Moths Volume I*. vol. 1.
3. 'Nettle caterpillar (*Parasa lepida*)'. Retrieved 18 July 2016. *Plantwise Technical Factsheet* <https://www.plantwise.org/knowledgebank/datasheet/38935>.
4. Chenon, R. & Desmier, De. (1982). *Latoia (Parasa) lepida* (Cramer) Lepidoptera Limacodidae, a coconut pest in Indonesia. *Oléagineux*, 37, 177–183.
5. Plant Health Australia. Fact sheet Blue-striped nettle grub.
6. Sawada, H., Hori, Y., Nisida, S., Matsumoto, T. & Nishida, T. (2008). Population dynamics of an invasive grub moth *Parasa lepida* (Cramer) that damages ornamental trees : the seasonal and annual fluctuations of the cocoon density. *Japan Journal of Environmental Zoology*, 19, 115–124.
7. Mitpuangchon, N., Nualcharoen, K., Boonrotpong, S. & Engsontia, P. (2021). Identification of Novel Toxin Genes from the Stinging Nettle Caterpillar *Parasa lepida* (Cramer, 1799): Insights into the Evolution of Lepidoptera Toxins. *Insects*, 12.
8. Villas-Boas, I. M., Bonfá, G. & Tambourgi, D. (2018). V. Venomous caterpillars: From inoculation apparatus to venom composition and envenomation. *Toxicon*, 153, 39–52.

Fiche espèce *Megalopyge opercularis* (Smith, 1797) (Megalopygidae)

Position taxonomique

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Super-famille : Zygaenoidea

Famille : Megalopygidae

Genre : *Megalopyge*

Espèce : *opercularis* (Smith, 1797)

Présentation générale :

Megalopyge opercularis est un papillon de nuit de la famille des Megalopygidae qui se trouve exclusivement sur le Continent américain. L'adulte, surnommé le « papillon de la flanelle », a une envergure de 2,5 à 3 centimètres, et est recouvert de poils ondulés sur l'ensemble de son corps jusqu'au bout de ses pattes (Cf. Figure 1). La chenille, surnommée « chenille-chat », mesure de 3 à 4 centimètres de long, et est également recouverte d'une fourrure généreuse et duveteuse (Cf. Figure 2). Sa couleur comporte différentes nuances composées de jaune, gris, brun. Les longues soies composant cette fourrure contiennent des épines venimeuses causant des réactions extrêmement douloureuses et des irritations lors de contacts directs (Avilán *et al.*, 2010 ; Hall, 2016).

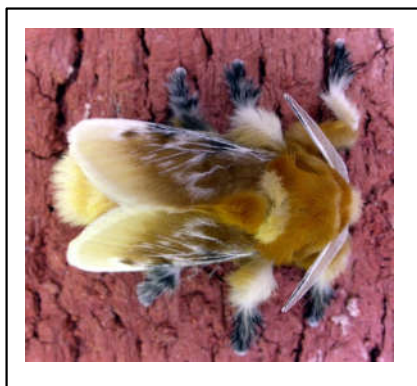


Figure 1 : Photographie d'un papillon mâle *Megalopyge opercularis* (©Patrick Coin).



Figure 2 : Photographie d'une larve *Megalopyge opercularis* (©Donald W. Hall).

Cycle biologique :

La larve passe l'hiver dans un cocon, sur le tronc ou les branches de la plante hôte. La chrysalide est de forme conique et est recouverte par un duvet gris correspondant aux résidus du pelage de la larve. Les papillons émergent à la fin du printemps ou au début de l'été. Les femelles s'accouplent généralement la nuit de l'émergence et pondent des centaines d'œufs sur leur plante hôte, généralement dans des zones ombragées, les deux premières nuits suivant l'accouplement (Hall, 2016). Les papillons ont généralement une durée de vie de 5 à 7 jours. Les œufs éclosent 6 à 8 jours plus tard et se développent en 6 semaines environ. Cette espèce peut avoir une à deux générations par an, la première se développant durant les mois de juin à juillet et la deuxième de septembre à octobre (Eagleman, 2008 ; Forrester, 2018).

Distribution :*Distribution mondiale :*

Cette espèce se trouve essentiellement aux Etats-Unis, le Texas, la Louisiane et la Floride étant les Etats les plus touchés (Eagleman, 2008). Elle se trouve également au Mexique, en Amérique Centrale et au nord de l'Amérique Latine (Cf. Figure 3).

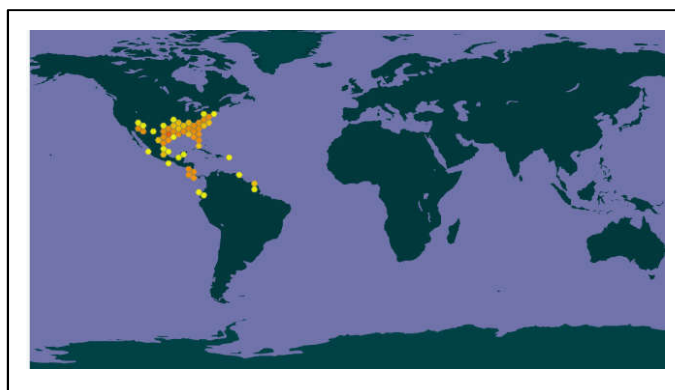


Figure 3 : Carte des occurrences de la présence de *Megalopyge opercularis* (données extraites du site GBIF).

Distribution en France métropolitaine :

L'espèce est absente en France métropolitaine.

Distribution dans les DROM :

L'espèce est présente en Guyane française (Torrents *et al.*, 2015).

Capacités de dispersion :

Aucune donnée n'est disponible.

Plantes hôtes :

Megalopyge opercularis se développe sur différents arbres hôtes, à feuilles caduques, telles que les chênes, ormes, citrus, micocoulier, noyers, et autres arbres. Cette espèce se développe également sur des plantes ornementales des jardins telles que les rosiers et lierres (Hyche, 1997).

Habitats et paysage :

Cette espèce est présente préférentiellement dans des pays au climat chaud.

Dynamique de population :

Aucune donnée n'est disponible.

Urtication :

Dans un but de protection contre les prédateurs, la fourrure de la chenille *Megalopyge opercularis* contient des épines venimeuses causant des réactions extrêmement douloureuses et dangereuses lors de contacts directs et de la libération d'une toxine. Ainsi, les risques sanitaires causés par cette chenille sont : brûlures, gonflements, nausées et vomissements, maux de tête, douleurs abdominales, éruptions cutanées, cloques, engourdissements, stress respiratoires... (Foot, 1922 ; Stipetic *et al.*, 1999 ; Eagleman, 2008 ; Estrella *et al.*, 2020).

Période d'occurrence des stades urticants :

La période d'occurrence des stades urticants s'étend généralement de juillet à novembre (Eagleman, 2008). La toxine perd de sa virulence lorsque les chenilles se nymphose et n'est plus active après la mort de la chenille (Foot, 1922).

Méthodes de lutte :

Les populations de *Megalopyge opercularis* sont généralement régulées par divers ennemis naturels, qui s'attaquent notamment aux pontes, aux jeunes stades larvaires et aux chrysalides, moins bien protégées par leur venin. Ainsi, au moins quatre mouches Tachinidae et deux guêpes Ichneumonidae ont été signalées chez cette espèce (Hall, 2016). Si des mesures de contrôles sont nécessaires, l'application d'insecticides (perméthrine, cyfluthrine...) ou encore de *Bacillus thuringiensis* devraient être efficaces.

Bibliographie

- Avilán, L., Guerrero, B., Álvarez, E., Rodríguez-Acosta, A. (2010). Description of envenomation by the "gusano-pollo" caterpillar (*Megalopyge opercularis*) in Venezuela, *Investigacion Clinica*, 51(1), pp. 127-132
- Eagleman David M. (2008). Envenomation by the asp caterpillar (*Megalopyge opercularis*). *Clinical Toxicology*, 46(3), 201-205. doi: 10.1080/15563650701227729.
- Estrella, M., & Elston, D. M. (2020). What's eating you? *Megalopyge opercularis*. *Cutis*, 106(1), 23-24.
- Foot N.C. (1922). Pathology of the dermatitis caused by *Megalopyge opercularis*, a texan caterpillar. *J Exp Med*. 35(5):737-53. doi: 10.1084/jem.35.5.737.
- Forrester, M. B. (2018). *Megalopyge opercularis* caterpillar stings reported to Texas Poison Centers. *Wilderness & Environmental Medicine*, 29(2), 215-220.
- Hall, D. W. (2016). Puss caterpillar (larva), southern flannel moth (adult), *Megalopyge opercularis* (JE Smith 1797)(Insecta: Lepidoptera: Zygaenoidea: Megalopygidae). University of Florida IFAS Extension, Entomology and Nematology Department, EENY-545.
- Hyché, L. L. (1997). Some stinging caterpillars on shade and ornamental trees. *Highlights of Agricultural Research - Alabama Agricultural Experiment Station*, 44(3), 8-10.
- Stipetic M.E., Stipetic M., Rosen P.B. & Borys D.J. (1999). A Retrospective Analysis of 96 "Asp" (*Megalopyge opercularis*) Envenomations in Central Texas During 1996. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*, 37(4), 457-462. doi: 10.1081/CLT-100102436.
- Torrents R., Simon N., Schmitt C., De Haro L. & Agha M. (2015). Envenomation by caterpillars of the genus *Megalopyge* in French Guiana with an atypical clinical presentation, based on three observations. *Clinical Toxicology*, 53(8), 844-845, doi: 10.3109/15563650.2015.1070168.

Images

https://www.gbif.org/occurrence/gallery?taxon_key=1751572

Fiche du genre *Acronicta*, espèce cible *Acronicta aceris* (L.) (Noctuidae)

Position taxonomique :

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Super-famille : Noctuoidea

Famille : Noctuidae

Sous-famille : Acronictinae

Genre : *Acronicta* Ochsenheimer, 1816

Espèce : *aceris* (L.)

Présentation générale du genre :

Le genre *Acronicta* compte plus de 180 espèces décrites, présentes essentiellement dans les régions holarctique et néarctique (Cf. Figure 2). Les chenilles sont très colorées et présentent de longues soies (Cf. Figure 1). Elles se nourrissent généralement des feuilles d'angiospermes et sont polyphages. L'espèce *A. aceris* est associée à de nombreux arbres, comme les érables, le marronnier d'Inde, le mûrier platane, les tilleuls, les peupliers, les chênes blancs. Les chenilles sont urticantes en cas de contact direct: elles ne présentent pas de soies détachables mais des poils acérés qui peuvent se briser au contact et déclencher des réactions de type dermatite (Mullen & Zaspel, 2019).



Figure 1 : Chenille de *Acronicta aceris* (source : Wikipedia)

Cycle biologique :

Les adultes de *A. aceris* se reproduisent pendant l'été, et peuvent avoir deux générations par an en région méditerranéenne. L'espèce passe l'hiver sous forme de chrysalide (Waring *et al.*, 2003).

Distribution :

Distribution mondiale :

A. aceris est présente dans l'ensemble de l'Europe, ainsi qu'au Proche-Orient, au Moyen-Orient et dans l'ouest de l'Asie (Cf. Figure 3).



Figure 2 : Carte des occurrences d'*Acrionicta aceris* (données extraites du site GBIF).

Distribution en France métropolitaine :

L'espèce est présente sur l'ensemble de la France métropolitaine (Cf. Figures 3).

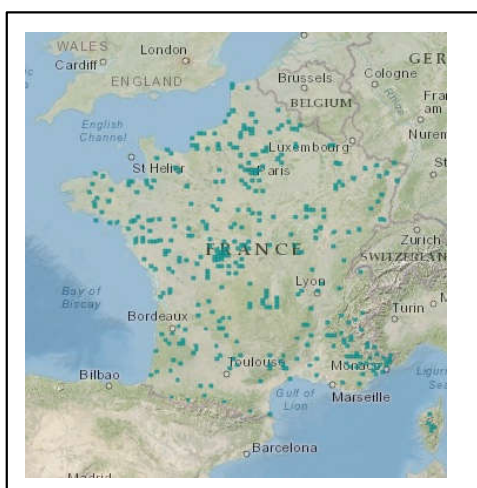


Figure 3. Carte des occurrences d'*Acrionicta aceris* en France métropolitaine (source SINP).

Distribution dans les DROM :

Acrionicta aceris est absente des DROM.

Capacités de dispersion :

Aucune donnée n'est disponible.

Plantes hôtes :

Les chenilles se nourrissent de feuilles d'angiospermes : érables, marronnier d'Inde, mûrier platane, tilleuls, peupliers, ormes, saules, chênes blancs, etc. Elles sont polyphages.

Habitats et paysage :

L'espèce est présente dans les forêts de feuillus, et dans les ripisylves en région méditerranéenne (Robineau, 2007). Elles peuvent se trouver sur marronnier en milieu urbain.

Dynamique de population :

Aucune donnée n'est disponible.

Urtication :

Les chenilles sont urticantes, mais ne possèdent pas de soies détachables. L'urtication est causée par des poils acérés qui se brisent lors du contact et libèrent des molécules causant la réaction (Mullen & Zaspel, 2019).

Période d'occurrence des stades urticants :

Les chenilles urticantes sont présentes en été.

Méthodes de lutte :

Aucune donnée n'est disponible.

Bibliographie

Mullen G.R. & Zaspel J.M. (2019). Chapter 21: Moths and Butterflies (Lepidoptera). In: Mullen GR, Durden LA (eds). Medical and Veterinary Entomology, 3rd edition. pp 439-458.

Robineau R. (2007). Guide des papillons nocturnes de France. Delachaux et Niestlé, Paris, 287p.

Waring P., Townsend M. & Lewington R. (2003). Field guide to the moths of Great Britain and Ireland. British Wildlife Publishing, Hampshire.

Fiche espèce *Aglais io* (L. 1758) (Nymphalidae)

Position taxonomique :

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Super-famille : Papilionoidea

Famille : Nymphalidae

Sous-famille : Nymphalinae

Genre : *Aglais*

Espèce : *io* (L. 1758)

Présentation générale du genre :

Le genre *Aglais* compte 7 espèces décrites. Le genre monospécifique *Inachis* (et l'espèce typique *I. io*) a été inclus dans le genre *Aglais* en 2003 suite à une étude phylogénétique (Wahlberg & Nylin 2003). Cette espèce est invasive dans une partie de l'Amérique du Nord. Les papillons du genre *Aglais* sont de taille moyenne et généralement de couleur rouge-orangé. Ceux de l'espèce *Aglais io*, appelé en français Paon de Jour, présentent des ocelles rappelant les plumes de cet oiseau (Cf. Figure 1). Ce patron de couleur permet au papillon de repousser les prédateurs, oiseaux comme chauves-souris. Les chenilles sont sombres et hérissées de poils leur donnant un aspect de barbelés (Cf. Figure 2). Elles sont décrites comme inoffensives dans la plupart des cas, mais il arrive qu'elles provoquent une urtication de contact (Kawamoto & Kumada 1984).



Figure 1 : Adulte d'*Aglais io*. Les ocelles caractéristiques sont bien visibles (source : P. Paolucci)



Figure 2 : Chenille d'*Aglais io* (source : P. Paolucci ; L. De Backer)

Cycle biologique :

L'espèce *A. io* a été initialement décrite comme typiquement univoltine (*i.e.*, une seule génération par an). Dans ce cas, les adultes sortent d'hibernation et se reproduisent dès le début du printemps. Les adultes de la génération suivante émergent alors en été mais ne se reproduisent pas immédiatement, se mettant en repos jusqu'à la fin de l'hiver. Cependant, des données de suivi de phénologie ont montré que l'espèce pouvait désormais réaliser deux générations par an. Les papillons se reproduisent en tout début de printemps, leurs descendants émergent en début d'été, se reproduisent immédiatement, et les adultes de la 2ème génération émergent à l'automne, se mettent en repos pour l'hiver et se reproduisent à leur tour au début du printemps suivant (Herremans *et al.*, 2021). La femelle pond d'importants amas d'œufs de forme pyramidale (jusqu'à 500 œufs par ponte). Les œufs situés dans les couches les plus profondes de la ponte sont ainsi protégés des Tachynaires parasites (Alexiuk *et al.*, 2021)

Distribution :*Distribution mondiale :*

Le genre *Aglais* est présent essentiellement dans la région paléarctique, une seule espèce étant naturellement présente en Amérique du Nord. *Aglais io* est présente dans l'ensemble de l'Europe, et une partie de l'Eurasie. Une sous-espèce (*A. io caucasica*) est connue dans le Caucase, et une autre sous-espèce existe au Japon et dans l'extrême est de la Russie (*A. io geisha*) (Alexiuk *et al.*, 2021 ; Nazari *et al.*, 2018).

Distribution en France métropolitaine :

L'espèce est présente sur l'ensemble de la France métropolitaine.

Distribution dans les DROM :

Les espèces du genre *Aglais* sont absentes des DROM.

Capacités de dispersion :

Aucune donnée n'est disponible.

Plantes hôtes :

Aglais io est principalement inféodé au genre *Urtica* (les orties), ou à d'autres espèces d'Urticaceae comme *Parietaria officinalis* sur certaines îles de Méditerranée où l'ortie dioïque est absente. L'espèce se reproduit parfois sur houblon (Nazari *et al.*, 2018). Elle a également besoin de plantes nectarifères dont les adultes se nourrissent.

Habitats et paysage :

L'espèce est principalement présente dans des milieux ouverts, prairies, jachères, terrains vagues, mais également sur les bords de route ou de voies ferrées. Les changements récents de milieux liés aux activités humaines tendent à augmenter les surfaces riches en azote, ce qui favorise les orties et donc *A. io* (Kurze *et al.* 2017 ; Serruys & Van Dyck, 2014).

Dynamique de population :

Aucune donnée n'est disponible.

Urtication :

Les chenilles sont très peu urticantes, et ne possèdent pas de soies détachables. L'urtication est causée par des soies modifiées (poils acérés) qui se brisent lors du contact et libèrent des molécules causant la réaction (Mullen & Zaspel, 2019).

Période d'occurrence des stades urticants :

Les chenilles urticantes sont présentes au printemps, et en été dans les régions où une seconde génération a lieu.

Méthodes de lutte :

Aucune donnée n'est disponible.

Bibliographie

- Alexiuk M.R., Lalonde M.M.L. & Marcus J.M. (2021). Phylogenetic analysis of the complete mitochondrial genome of the Japanese peacock butterfly *Aglais io geisha* (Stichel 1907) (Insecta: Lepidoptera: Nymphalidae). *Mitochondrial DNA Part B-Resources*, 6(10), 3082-3084.
- Herremans M., Gielen K., Van Kerckhoven J., Vanormelingen P., Veraghtert W., Swinnen K.R.R. & Maes D. (2021). Abundant citizen science data reveal that the peacock butterfly *Aglais io* recently became bivoltine in Belgium. *Insects*, 12(8).
- Kawamoto F., Kumada N. (1984). Biology and venoms of Lepidoptera. In: Tu AT (ed) *Handbook of natural Toxins, Vol.2. Insect poisons, allergens, and other invertebrate venoms*. Dekker, New-York, pp 291-330.
- Kurze S., Heinken T. & Fartmann T. (2017). Nitrogen enrichment of host plants has mostly beneficial effects on the life-history traits of nettle-feeding butterflies. *Acta Oecologica-International Journal of Ecology*, 85, 157-164.
- Nazari V., Handfield L. & Handfield D. (2018). The European peacock butterfly, *Aglais io* (Linnaeus, 1758) in North America (Lepidoptera: Nymphalidae). *News of The Lepidopterists' Society*, 60(3), 128-129.
- Serruys M. & Van Dyck H. (2014). Development, survival, and phenotypic plasticity in anthropogenic landscapes: trade-offs between offspring quantity and quality in the nettle-feeding peacock butterfly. *Oecologia*, 176(2), 379-387.
- Wahlberg N. & Nylin S. (2003). Morphology versus molecules: resolution of the positions of *Nymphalis*, *Polygonia*, and related genera (Lepidoptera: Nymphalidae). *Cladistics*, 19, 213–223.

Fiche espèce *Morpho* Fabricius 1807 (Nymphalidae)

Position taxonomique

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Super-famille : Papilionoidea

Famille : Nymphalidae

Sous-famille : Satyrinae

Genre : *Morpho* Fabricius 1807

Présentation générale du genre :

Les espèces de ce genre sont emblématiques de la région, car elles sont généralement de grande taille (entre 12 et 20 cm d'envergure) et la plupart ont les ailes bleu-métallique iridescentes très visibles (Cf. Figure 1). Toutes les espèces présentent des ocelles sur la face ventrale des ailes, probablement pour effrayer les prédateurs.

La taxonomie du genre est peu claire, avec seulement 29 espèces décrites ainsi que de nombreuses formes/variétés/ou sous-espèces reconnues (environ 150) mais dont le statut reste débattu. La base de données "barcoding of life" reconnaît 45 espèces potentielles sur la base du séquençage du fragment barcode. Neuf sous-genres ou groupes d'espèces sont identifiés au sein de ce genre. Le grand nombre de formes décrites est probablement attribuable au fait que de nombreux collectionneurs s'intéressent à ce genre. Une synthèse de l'évolution de la classification des espèces dans le genre jusqu'à la fin des années 90 est disponible dans Penz *et al.* (2002). La plupart des espèces présentent un dimorphisme sexuel pour la coloration. La couleur très visible des ailes serait un cas d'aposématisme lié à la capacité d'évitement des prédateurs et non à la toxicité des papillons (Pinheiro, 1996).



Figure 1 : Adulte du genre *Morpho* (source : P. Paolucci)



Figure 2 : Chenille de *Morpho* spp, prénympe et chrysalide (d'après Blandin *et al.*, 2014)

Cycle biologique :

Les chenilles du genre se développent au cours de 5 stades larvaires (Cf. Figure 2). Le cycle complet prend une centaine de jours.

Distribution :

Distribution mondiale :

Le genre *Morpho* est réparti dans la région néotropicale, du Mexique à l'Amérique du Sud.

Distribution en France métropolitaine :

Le genre est absent de France métropolitaine.

Distribution dans les DROM :

Dix-sept espèces du genre *Morpho* sont présentes en Guyane Française d'après la base de données GBIF.

Capacités de dispersion :

Les mâles du genre *Morpho* sont considérés comme de bons voiliers. Une étude de capture-marquage-recapture menée sur l'espèce *M. achilles* a estimé que les adultes pouvaient se déplacer de plusieurs centaines de mètres par jour (Tufto *et al.*, 2012).

Plantes hôtes :

Le genre *Morpho* est polyphage. La plupart des espèces se nourrissent au stade larvaire d'eudicotylédones, ce qui est original dans ce groupe de Lépidoptères, les autres Satyrinae étant plutôt

associés aux monocotylédones. Quelques espèces de *Morpho* sont cependant inféodées à des monocotylédones (Penz *et al.*, 2012). Des analyses phylogénétiques suggèrent que l'association aux monocotylédones au sein du genre *Morpho* serait une réversion vers le caractère ancestral depuis un ancêtre associé aux dicotylédones (Cassildé *et al.*, 2013 ; Penz *et al.*, 2012).

Les adultes vivent quelques semaines et se nourrissent la plupart du temps de fruits en décomposition. Ils peuvent également se nourrir de la sève coulant sur les troncs ou des carcasses d'animaux.

Habitats et paysage :

Le genre *Morpho* est essentiellement forestier. Ses espèces habitent les forêts primaires d'Amérique du Sud, même si on en trouve également dans des forêts secondaires ou dans des forêts décidues d'altitude. Selon les espèces, les mâles patrouillent majoritairement soit au-dessus de la canopée, soit à l'ombre des arbres. Les espèces sont réparties en deux groupes monophylétiques selon ce comportement, et un lien avec la morphologie alaire a pu être mis en évidence (DeVries *et al.*, 2010).

Dynamique de population :

Aucune donnée n'est disponible.

Urtication :

Les chenilles possèdent des soies modifiées non détachables. L'urtication est causée par des poils acérés qui se brisent lors du contact et libèrent des molécules causant la réaction (Mullen & Zaspel, 2019). Elles sont également capables de produire un fluide nauséabond lorsqu'elles sont dérangées.

Période d'occurrence des stades urticants :

Aucune donnée n'est disponible.

Méthodes de lutte :

Aucune donnée n'est disponible.

Bibliographie

- Blandin P., Garcia C.R., Gallusser S. et Iachau G. (2014). Premières observations de la chenille de *Morpho achilles* : comparaison avec *M. helenor* et *M. granadensis* (Lepidoptera, Nymphalidae, Morphinae). Bulletin de la Société entomologique de France, 119(3), 323-328.
- Cassildé C., Blandin P. et Silvain J.-F. (2013). Phylogeny of the genus *Morpho* Fabricius 1807: insights from two mitochondrial genes (Lepidoptera: Nymphalidae). Annales de la Société entomologique de France (NS), 48(1-2), 173-188.
- DeVries P.J., Penz C.M., Hill R.I., 2010. Vertical distribution, flight behaviour and evolution of wing morphology in *Morpho* butterflies. J. Anim. Ecol., 79(5), 1077-1085.
- Penz C.M. & DeVries P.J. (2002). Phylogenetic analysis of *Morpho* butterflies (Nymphalidae, Morphinae): Implications for classification and natural history. American Museum Novitates, 3374, 1–33.
- Penz C.M., DeVries P.J. & Wahlberg N. (2012). Diversification of *Morpho* butterflies (Lepidoptera, Nymphalidae): a re-evaluation of morphological characters and new insight from DNA sequence data. Systematic Entomology, 37(4), 670-685.
- Pinheiro C.E.G. (1996). Palatability and escaping ability in Neotropical butterflies: tests with wild kingbirds (*Tyrannus melancholicus*, Tyrannidae). Biological Journal of the Linnean Society, 59(4), 351-365.

Tufto J., Lande R., Ringsby T.H., Engen S., Saether B.E., Walla T.R. & DeVries P.J. (2012). Estimating Brownian motion dispersal rate, longevity and population density from spatially explicit mark-recapture data on tropical butterflies. *J. Anim. Ecol.*, 81(4), 756-769.

Fiche espèce *Hylesia metabus* Cramer 1755 (Saturniidae)

Position taxonomique :

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Famille : Saturniidae

Genre : *Hylesia*

Espèce : *metabus* Cramer 1755

Présentation générale :

Cette espèce est largement distribuée du nord du Mexique à l'Argentine. Elle est fréquente à basse altitude dans toute l'Amérique du Sud (Guyane française, Venezuela, Brésil, Équateur, Pérou et Bolivie) à l'exception du versant pacifique de la cordillère des Andes, du sud-est du Brésil et des zones semi-arides et arides.

Hylesia metabus présente un net dimorphisme sexuel chez les adultes : les mâles, plus petits, possèdent des antennes bipectinées, les femelles, quant à elles, ont un abdomen plus gros et une envergure plus importante, ainsi que des antennes filiformes.

Cycle biologique :

Le cycle de développement de *H. metabus* a une durée de trois mois, et donc quatre générations sont signalées chaque année (Jourdain *et al.*, 2012).

La femelle pond ses œufs, en amas, au nombre de 200 en moyenne, sur les branches des arbres. La ponte est ensuite recouverte par un tapis de poils abdominaux et de fléchettes urticantes (Vassal *et al.*, 1986).

C'est au bout d'une période moyenne de 24 jours que les larves néonates éclosent. D'une longueur de 3 mm, elles se regroupent d'abord sur le tapis de fléchettes pendant une journée ou parfois plus, avant de partir en procession à la recherche de leur nourriture. Elles forment alors une plaque unique sur la face inférieure d'une feuille et commencent à se nourrir. Une fois cette première feuille achevée, les chenilles repartent, toujours en procession, à la recherche d'une autre feuille (Vassal *et al.*, 1986).

C'est à partir du 3^e stade qu'apparaissent les épines urticantes. Elles sont implantées sur des appendices situés symétriquement de part et d'autre d'une bande médiane dorsale de couleur claire. Dans les trois premiers stades, la chenille a une teinte claire, jaune doré ; à partir du 4^e stade, elle prend une couleur plus foncée qui virera au noir dans les derniers stade (Vassal *et al.*, 1986).

La larve effectue son développement en sept stades, sur une période de 45 à 50 jours. Les chenilles en fin de septième stade ont une longueur de 5 cm pour une largeur de 8 mm. Elles sont alors extrêmement voraces, et en conséquence, compte tenu du nombre d'individus rencontrés par colonie, peuvent défolier entièrement les arbres qu'elles attaquent (Vassal *et al.*, 1986).

A la fin de leur vie larvaire, les chenilles d'*Hylesia metabus* perdent leur comportement grégaire, et se dispersent dans la végétation pour se nymphoser. Le cocon est formé dans une feuille à l'intérieur de laquelle la chenille s'enroule (Vassal *et al.*, 1986). Les adultes émergent au bout de 15 jours. Dans les conditions d'élevage pratiquées, la durée de nymphose est à peu près la même pour les deux sexes. Une partie des chenilles se nymphose environ cinq jours avant les autres, en donnant des chrysalides mâles ; ce qui explique la présence précoce des mâles dans la nature. Les adultes ont une durée de vie assez courte, de l'ordre de cinq à six jours (Vassal *et al.*, 1986).

Distribution :*Distribution mondiale du genre Hylesia :*

Le genre *Hylesia* est retrouvé en Amérique du Sud et Centrale.

Distribution en France métropolitaine :

Hylesia metabus est absente de France métropolitaine.

Distribution dans les DROM :

Hylesia metabus est présente en Guyane française.

Capacités de dispersion :

Aucune donnée n'est disponible.

Plantes hôtes :

Avicennia germinans (Avicenniaceae) ou mangrove blanche, l'espèce la plus abondante des mangroves de Guyane française colonisant la partie la plus stable de la mangrove. *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa* et *Rhizophora harrisonii*, trois espèces de la famille des Rhizophoraceae, ou palétuviers rouges, caractérisés par leurs racines échasses et la couleur rouge de leur bois et de leur sève. En Guyane française, les espèces de *Rhizophora* ne peuvent être différenciées par des critères morphologiques en dehors de la période de floraison. Pendant les périodes où les densités de *H. metabus* sont faibles, les chenilles se nourrissent presque exclusivement d'*A. germinans*. Pendant les périodes d'infestations et probablement à cause du manque d'*A. germinans*, les chenilles deviennent polyphages : les chenilles se nourrissent pendant plusieurs générations sur d'autres espèces de plantes de mangrove comme *L. racemosa*, ou même sur des arbres de savane comme *Tapirira guianensis*, des arbres fruitiers comme *Citrus sp* et *Psidium guajava*. Une liste de plus de 25 espèces végétales appartenant à 16 familles comme sources d'alimentation pour les chenilles de *H. metabus* a été proposée pendant les périodes d'infestations (Jourdain *et al.*, 2012).

Habitats et paysage :

Tous les auteurs s'accordent à dire que les infestations de papillons ne se développent que dans les zones côtières couvertes de mangrove entre les deltas de l'Orénoque (nord) et de l'Amazone (sud) ¹.

Dynamique de population :

Chaque génération est presque synchrone et ne se chevauche pas avec les autres, et les quatre générations apparaissent régulièrement à période fixe durant l'année. Le décalage de ce cycle est exceptionnel, mais peut se produire lors de périodes de faibles densités. Néanmoins, en période d'infestation (fortes densités), la présence de femelles *H. metabus* peut persister pendant environ quatre semaines consécutives (Jourdain *et al.*, 2012).

Urtication :

L'appareil urticant est constitué par des épines en forme de fléchettes recouvrant l'abdomen. La fonction première des soies urticantes est de recouvrir le lot d'œufs et de protéger le nid des prédateurs. Ces soies sont produites par des cellules différenciées (appelées cellules trichogènes et tormogènes), formant un hypoderme monocellulaire similaire à l'hypoderme produisant les écailles. Ces soies peuvent donc être assimilées à des écailles transformées ou à de véritables soies. Quatre types de soies

abdominales ont été décrites pour la femelle de *H. metabus*, parmi lesquelles deux sont urticantes (Jourdain *et al.*, 2012).

Période d'occurrence des stades urticants :

En Guyane française, les émergences des papillons adultes ont lieu en janvier, avril, juillet et octobre avec des jeunes larves qui apparaissent dans le mois qui suit l'émergence des adultes (Jourdain *et al.*, 2012).

Méthodes de lutte :

Contrôle des adultes via des insecticides pyréthrinoïdes hors des zones humides et contrôle des larves via *Bacillus thuringiensis* (Jourdain *et al.*, 2012).

Bibliographie

Jourdain, F. *et al.* (2012). The moth *Hylesia metabus* and French Guiana lepidopterism: Centenary of a public health concern. *Parasite*, 19, 117–128.

Vassal, J. M., Dauthuille, D. et Silvain, J. F. (1986). *Hylesia metabus*, Agent de la papillonite en Guyane française. Centre national d'études spatiales.

Annexe 4 : Fiches des espèces de Lépidoptères d'intérêt

Fiche espèce Processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa* Denis & Schiffermüller (Notodontidae)

Position taxonomique

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Famille : Notodontidae

Sous-famille : Thaumetopoeinae

Genre : *Thaumetopoea*

Espèce : *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller, 1775)

Présentation générale :

La processionnaire du pin est un lépidoptère associé aux pins et certains autres conifères (Roques 2015). On la rencontre dans tous les milieux où des hôtes sont présents (forêts, bosquets, haies, paysages agricoles, parcs urbains, alignements, arbres isolés...). Elle est présente dans une grande partie de la France métropolitaine et la partie ouest du bassin méditerranéen (Kerdelhué *et al.* 2009). Les larves sont grégaires et tissent en hiver des nids soyeux et blancs caractéristiques (Cf. Figure 1) où elles se regroupent pendant la journée et d'où elles sortent la nuit pour se nourrir. Leur nom vient de leur comportement typique de déplacement en file indienne, notamment lorsqu'elles sont à la recherche d'un site de nymphose à la fin du développement larvaire (Battisti *et al.* 2015).



Figure 1 : Nid d'hiver caractéristique de la chenille processionnaire du pin

Cycle biologique :

Le cycle et ses variations sont schématisés sur la Figure 2. Les adultes émergent pendant l'été et s'accouplent immédiatement. La date d'émergence moyenne dans un site dépend des conditions environnementales. L'émergence des adultes a lieu généralement en juin dans la limite nord de l'aire de distribution, à haute altitude et sur la façade atlantique. Elle a lieu plus tard en région méditerranéenne (Battisti *et al.*, 2015 ; Robinet *et al.*, 2015). Les femelles pondent leurs œufs de manière regroupée sur deux aiguilles accolées, plus rarement un rameau de l'arbre hôte. Les jeunes chenilles de stade L1 éclosent environ un mois plus tard. Les chenilles issues d'une même ponte restent grégaires, et les chenilles issues de pontes différentes sur le même arbre peuvent se regrouper au cours de leur développement pour ne former qu'un seul nid. Le développement larvaire se déroule en automne et en hiver. Il compte 5 stades (Cf. Figure 3) qui se développent sans période de vie ralentie. A la fin du 5^{ème} stade, les chenilles quittent le nid en procession (*i.e.*, à la queue leu-leu, voir Figure 4), descendent de l'arbre et recherchent un site favorable à la nymphose. Une étude récente en forêts plantées a montré que les chenilles parcourent en moyenne 16 m entre leur arbre d'origine et leur site de nymphose

(Uemura *et al.*, 2020). Elles s'enterrent alors, passent par un stade pré-pupal avant la nymphose proprement dite. Une diapause obligatoire a lieu au stade pupa, jusqu'à émergence des adultes l'été suivant. Certains individus peuvent entrer en diapause prolongée et n'émerger qu'une ou plusieurs années après (Battisti *et al.*, 2015).

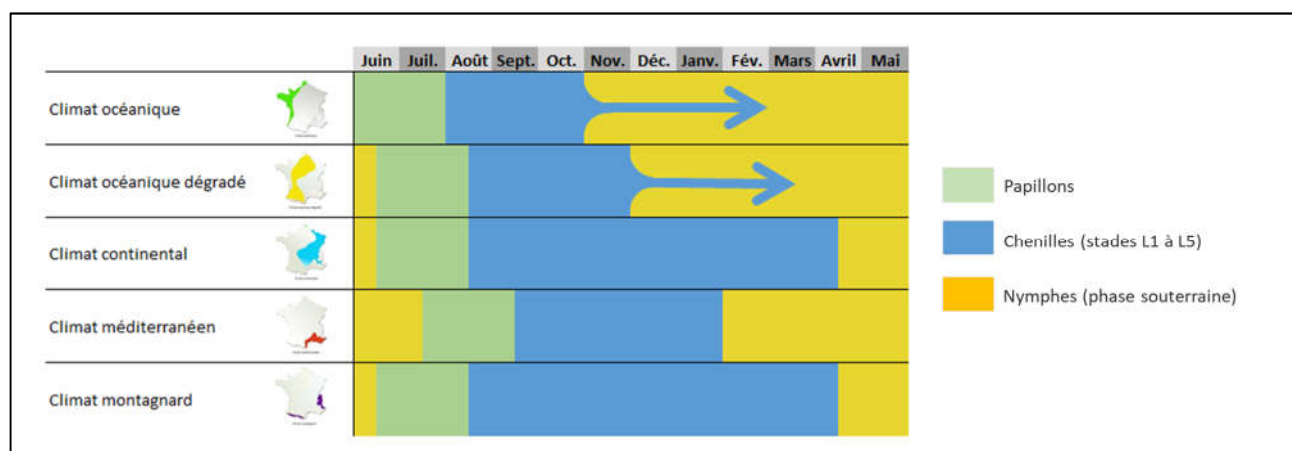


Figure 2 : Cycle biologique de la processionnaire du pin sous différents climats (en climat océanique ou océanique dégradé le stade chenilles peut s'étendre jusqu'à début mars).

Période d'occurrence des stades urticants :

Les stades urticants (stades larvaires L3 à L5 ; Cf. Figure 3) sont essentiellement présents en hiver, mais peuvent dans certaines régions apparaître en automne. Le risque principal de contact correspond à la période des processions (Cf. Figure 4), qui s'étend selon les régions de janvier à mai, même si des processions précoces sont parfois observées en décembre, voire avant. De plus, l'habitat (nids vides, sol...) peut rester contaminé par les soies urticantes plusieurs mois, voire plusieurs années.



Figure 3 : Les 5 stades larvaires de la chenille processionnaire du pin (la chenille au stade L5 mesure environ 4 cm de longueur (source : photo G. Demolin)



Figure 4 : Chenilles en procession en train de se regrouper pour s'enterrer dans le site de nymphose
(source : photo JC Martin, INRAE)

Distribution géographique de l'espèce :

Distribution mondiale :

T. pityocampa est présente dans l'Ouest du bassin méditerranéen, du Portugal à l'Ouest de la Turquie sur la rive nord, et du Maroc à la Libye sur la rive sud. L'espèce sœur *T. wilkinsoni* est présente en Turquie, à Chypre et au Moyen-Orient (Kerdelhué *et al.*, 2009). Une nouvelle espèce vient d'être décrite en Crète, où les populations de processionnaires sont désormais attribuées à *T. cretensis* İpekdağ and Avtzi (Basso *et al.*, 2023).

Distribution en France métropolitaine :

En France, *T. pityocampa* est présente sur une grande partie du territoire (Cf. Figure 5), où la température minimale de janvier reste supérieure à -4°C (Huchon & Démolin, 1971). Son aire de distribution va des rives de la méditerranée jusqu'à la Bretagne, le bassin parisien, la Champagne et la Bourgogne. Elle est absente au cœur du Massif Central et à haute altitude dans les Alpes (Roques *et al.*, 2015). Son aire de distribution est en expansion vers le nord et en altitude depuis plusieurs décennies, du fait du réchauffement climatique (Battisti *et al.*, 2005 ; Robinet *et al.*, 2014) (Cf. Figure 6). Le front de colonisation avance d'environ 5,6 km par an (Robinet *et al.*, 2012).

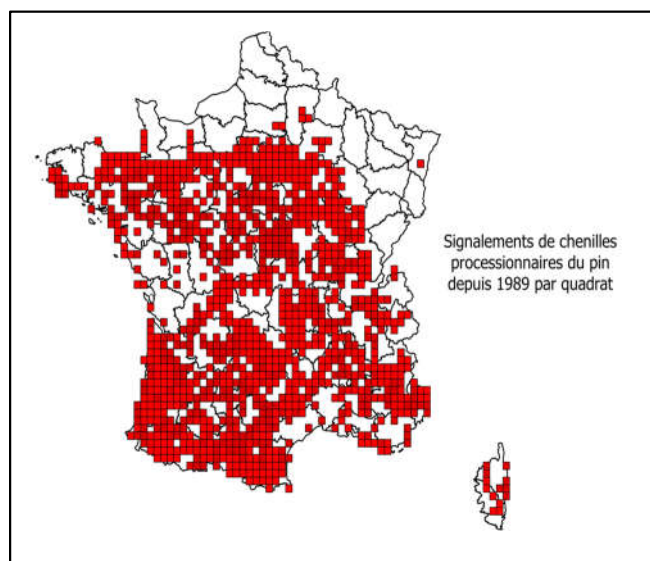


Figure 5 : Signalements de la chenille processionnaire du pin en France métropolitaine de 1989 à 2021
(source : DSF, 2022)

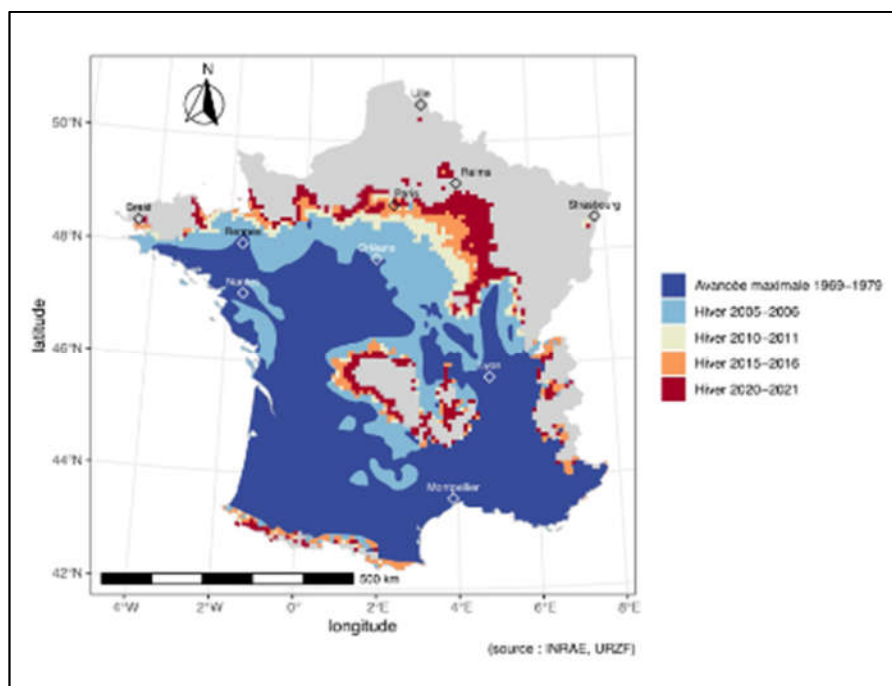


Figure 6 : Carte de distribution de la processionnaire du pin en France métropolitaine, montrant sa progression vers le nord et en altitude depuis les années 1980, ainsi qu'un certain nombre de populations isolées installées au-delà du front (source : Lannou *et al.*, 2023)

Distribution dans les DROM:

L'espèce est absente dans les DROM.

Capacités de dispersion :

La dispersion active par le vol est assez limitée, la distance moyenne effectuée par une femelle dans des conditions de laboratoire (manèges de vol) étant de 1,7 km/jour (Robinet *et al.*, 2012). A l'échelle de la France métropolitaine, de nouvelles populations pouvaient apparaître au-delà du front (Cf. Figure 6), et il a été montré que certaines ont été fondées par des individus transportés passivement avec du matériel végétal, notamment lors de plantation de pins de grande taille le long d'infrastructure routières ou dans des parcs urbains (Robinet *et al.* 2012). L'hypothèse est que les individus sont déplacés alors qu'ils se trouvent sous forme de chrysalide dans la terre des arbres, et ne sont donc pas détectés lors des contrôles phytosanitaires.

Plantes hôtes :

T. pityocampa se développe sur la plupart des espèces de pins (*Pinus* spp.), qu'ils soient naturellement présents en France ou plantés. On la trouve également sur différentes espèces de cèdre (*Cedrus* spp.), en particulier dans les parcs et jardins, et sur le sapin de Douglas *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. Les taux d'attaque et les densités de nids sont variables selon les plantes hôtes ; le pin noir (*Pinus nigra*) est en général l'espèce la plus attaquée (Robinson, 1999, Battisti *et al.*, 2015, Rossi *et al.*, 2016b). Les espèces végétales sur lesquelles le développement n'est pas complet appartiennent aux genres *Abies* spp., *Larix* spp., *Picea* spp. (CABI online, EPPO online, Robinson, 1999, Battisti *et al.*, 2015). Des espèces végétales appartenant aux genres *Crataegus* spp., *Quercus* spp. sont citées dans la littérature en tant que plantes hôtes mais leur statut n'est pas vérifié (CABI online, EPPO online, Robinson, 1999, Battisti *et al.*, 2015).

Habitats et paysage :

La processionnaire du pin se développe sur ses hôtes dans des environnements variés, aussi bien en milieu forestier que sur des arbres isolés ou en haie (Rossi et *al.*, 2016a). Elle est présente en plaine comme en montagne, ainsi que dans des environnements urbanisés (parkings, ronds-points, bords de route...) (Rossi et *al.*, 2016b).

Dynamique de population :

La littérature rapporte souvent des périodes de proliférations de *T. pityocampa*, bien que la durée de ces périodes puisse être variable. Il s'agit de successions d'années avec de fortes infestations qui peuvent causer des dégâts importants, suivies d'une diminution des densités de populations pendant plusieurs années avant une nouvelle pullulation. Cela a été observé sur le pin en France entre 1959 et 1982 (Géri et *al.*, 1985), dans les Alpes italiennes entre 1950 et 2011 (Tamburini et *al.*, 2013), et en Algérie (Zamoum et *al.*, 2007).

L'analyse de la variation de densité de population sur des séries temporelles longues (> 30 ans) dans des sites qui n'ont été traités avec aucun pesticide, indique l'existence d'un cycle approximatif de 6 ans lorsqu'un modèle de Ricker retardé est appliqué (Cf. Figure 7 ; Robinet, 2006).

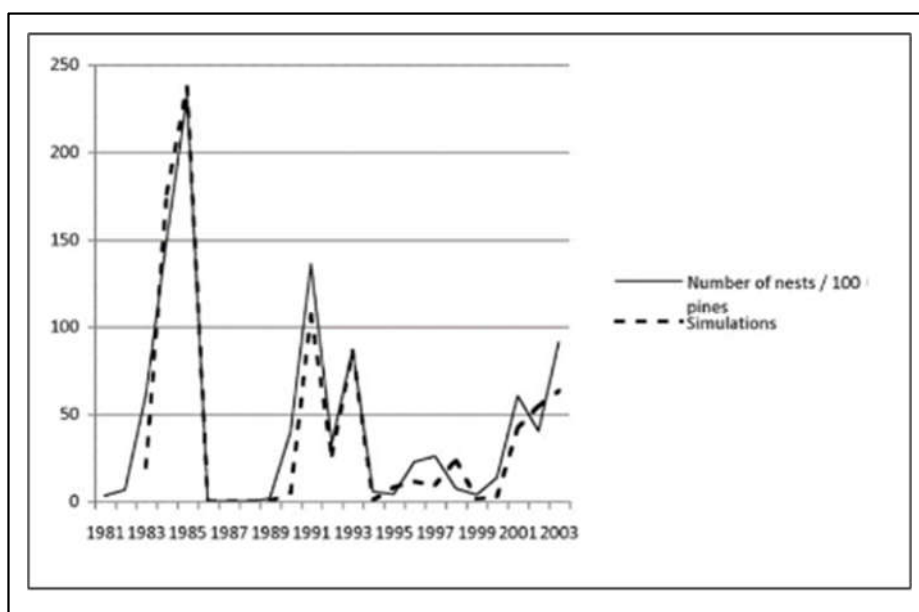


Figure 7 : Démographie observée (trait épais) dans les pinèdes de deux secteurs du centre-nord de la France (Loiret ; Cher), et des prédictions (ligne pointillée) issues d'un modèle de Ricker (basé sur des données de températures, modifié de Robinet, 2006).

D'autres données collectées en France suggèrent la même tendance. Dans la grande majorité des régions françaises où l'insecte est présent, des proliférations surviennent régulièrement avec des défoliations maximales tous les 7 à 11 ans en moyenne (Cf. Figures 7 et 8 ; Li *et al.* 2015). Ces valeurs sont proches de celles mesurées par Géri *et al.* (1985) et Robinet (2006), variant entre 6 et 10 ans.

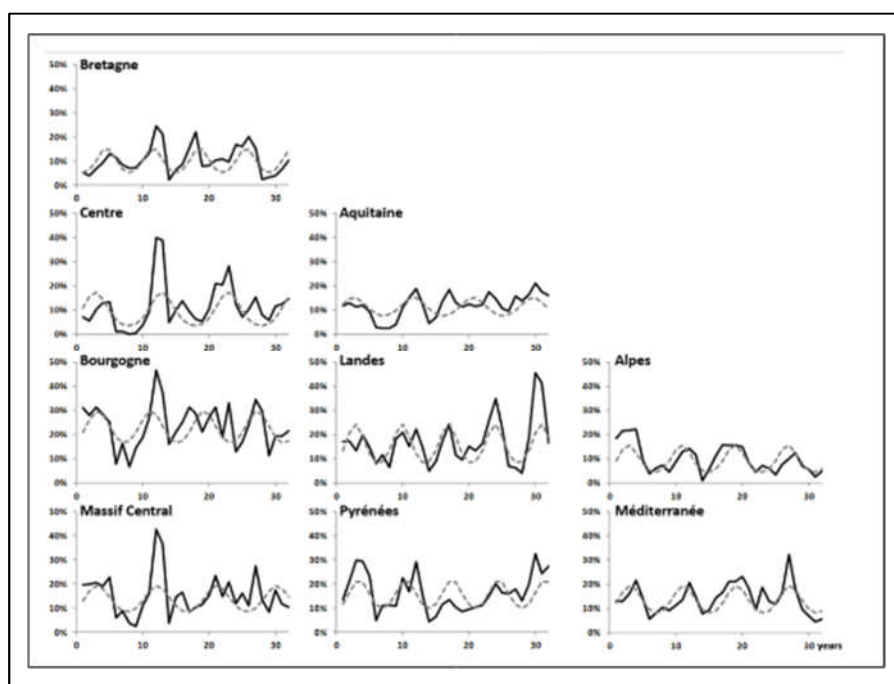


Figure 8 : Evolution démographique temporelle observée (lignes noires) et prédite (lignes pointillées grises) des infestations de processionnaire du pin dans 9 régions en France.
L'axe des abscisses représente le temps (0=1981, 30=2010) et l'axe des ordonnées représente le pourcentage moyen d'arbres infestés par unité de surface de 0,25 ha (modifié de Li *et al.* 2015).

Les méthodes de lutte contre *T. pityocampa* (processionnaire du pin) et la susceptibilité des arbres aux attaques de la processionnaire du pin diminuant avec l'âge des peuplements (donc l'impact sur la croissance des arbres est variable) (Li *et al.*, 2015) étant d'importants facteurs confondants, il est difficile de tirer des conclusions. Les facteurs potentiels impliqués dans la dynamique des populations de *T. pityocampa* ont été rarement étudiés à l'aide de données de long terme. Tamburini *et al.* (2013) ont montré qu'une rétroaction densité-dépendante avec un décalage d'un an jouait un rôle majeur dans la dynamique des populations de processionnaire dans les Alpes italiennes. Les mécanismes potentiels expliquant cette rétroaction incluent la détérioration de la qualité de l'hôte, une augmentation de la mortalité causée par des agents pathogènes et une augmentation de la diapause prolongée comme un mécanisme adaptatif pour échapper aux conditions défavorables. Peu d'informations sont disponibles sur la densité-dépendance des ennemis naturels, qui peut éventuellement affecter la périodicité des épidémies. Tout cela rend la dynamique des populations de la processionnaire du pin plutôt imprévisible à l'échelle globale, alors qu'une périodicité semble bien exister à l'échelle locale.

Urtication :

Les chenilles produisent des vraies soies urticantes et détachables à partir du stade L3. Ce caractère est une adaptation contre la prédation par les vertébrés. L'urtication est due à des soies, microscopiques (entre 100 et 500 µm de long environ), et présentes en très grand nombre (jusqu'à un million de soies sur une larve de dernier stade, à raison de 60 000 par mm², Petrucco-Toffolo *et al.*, 2014 ; Cf. Figure 8). Ces soies sont portées dans des structures spécialisées appelées "miroirs" sur la partie dorsale de l'abdomen des chenilles. Repliés au repos, ces miroirs peuvent être ouverts par la chenille lorsqu'elle est dérangée, ce qui propulse les soies qui peuvent être transportées sur plusieurs dizaines de kilomètres par le vent. De nouvelles soies sont produites à chaque mue, les anciennes restant dans

l'exuvie. Les nids vides et les sites de nymphose peuvent ainsi rester contaminants. Les soies sont en forme de petits harpons, se plantent dans la peau et libèrent des molécules urticantes lorsqu'elles cassent (Battisti *et al.*, 2017). En cas d'inhalation, les muqueuses et les bronches peuvent être touchés. La processionnaire du pin cause également des problèmes de santé animale, via des effets sur les animaux domestiques, en particulier les chiens, et les troupeaux qui peuvent entrer en contact avec des chenilles en procession traversant les pâtures (Moneo *et al.*, 2015).

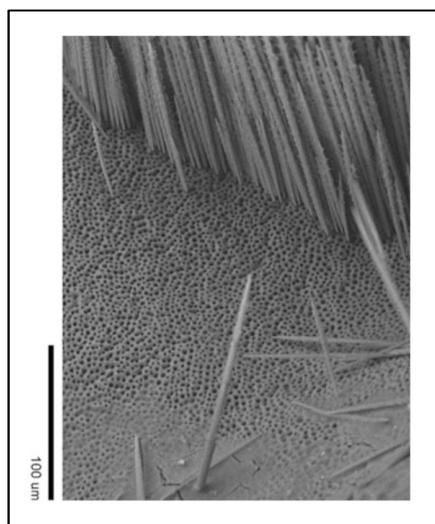


Figure 9 : soies urticantes de *Thaumetopoea pityocampa* observées au microscope électronique.

Ennemis naturels :

De nombreuses espèces sont connues pour être parasites ou prédatrices de la processionnaire du pin à différents stades (Martin, 2015, Auger-Rozenberg *et al.*, 2015). Il existe un cortège de parasitoïdes capables de pondre dans les œufs, notamment les Hyménoptères *Baryscapus servadeii* (Domenichini, 1965), chalcidien spécialiste du genre *Thaumetopoea*, et les espèces généralistes *Ooencyrtus pityocampae* (Mercet, 1921) et *Trichogramma* spp. D'autres parasitoïdes s'attaquent aux chenilles ou aux chrysalides comme les Diptères de la famille des Tachinidae (Auger-Rozenberg *et al.*, 2015, Simonato *et al.*, 2019). Les œufs, les larves et les chrysalides peuvent également faire l'objet de prédation par des espèces d'insectes (éphippigères, fourmis) ou d'oiseaux (coucou, huppe fasciée, mésanges). Les adultes peuvent quant à eux être mangés par des oiseaux et des chauves-souris.

Des micro-organismes pathogènes sont également décrits comme ennemis de la processionnaire du pin tel que *Bacillus thuringiensis* kurstaki (Btk). Différentes maladies virales sont connues, et un virus de la famille des Cypovirus a même été utilisé en essai de lutte biologique dans les années 1950 (Grisson *et al.*, 1959). Des virus associés à la processionnaire du pin ont récemment été identifiés à partir de leur séquence génomique, mais leur éventuelle pathogénicité est inconnue (Dorkeld *et al.*, 2023). Les chrysalides peuvent être victimes de champignons du genre *Beauveria* dans le sol.

Méthodes de lutte :

Des techniques de lutte innovantes, alternatives à l'utilisation de produits phytosanitaires, ont été développées et mises au point ces dernières années : piégeage phéromonal, piégeage des chenilles, lutte biologique (pose de nichoirs à mésange), confusion sexuelle, traitement microbiologique ciblé (Martin *et al.*, 2012a ; Martin *et al.*, 2012b). Ces techniques visent différents stades de développement de l'insecte (Martin, 2015). Il est préconisé de les combiner pour parvenir à contrôler les populations (Brinquin & Martin, 2015 ; Brinquin *et al.*, 2013 ; Brinquin *et al.*, 2020).

Lutte contre les chenilles

Quatre méthodes permettent de cibler les chenilles au cours de leur développement : le piégeage, la lutte biologique favorisant l'installation d'oiseaux prédateurs comme les mésanges, la lutte mécanique et la lutte microbiologique.

- Les chenilles peuvent être interceptées au moment des processions de nymphose par un écopiège® posé autour du tronc de l'arbre infesté (de décembre à mars selon le climat). Lors des processions, les chenilles descendent de l'arbre et s'engouffrent dans le sac de l'écopiège® rempli de terre pour s'y nymphoser. S'il est bien installé, le piège peut capturer toutes les chenilles qui se trouvaient sur l'arbre infesté.
- La mésange est un oiseau insectivore connu pour sa prédation importante des chenilles processionnaires du pin de stades L4 et L5 (Pimentel & Nilsson, 2007). Cet oiseau prélève les chenilles à l'intérieur du nid, en perforant au travers de la soie un orifice du diamètre de sa tête. En quelques jours le nid est vidé de son contenu. La pose de nichoirs à mésanges permet de favoriser son implantation sur un site infesté et contribue ainsi à la régulation des populations de processionnaire du pin.
- La lutte mécanique (échenillage) est efficace mais ne peut se faire que pour de petites surfaces et avec un équipement de protection intégrale (combinaison, masque, gants, lunettes). En effet, le risque sanitaire pour les applicateurs est très élevé du fait des poils urticants restants à l'intérieur et l'extérieur des nids.
- Les traitements microbiologiques à base de *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* (Btk) tuent sans distinction toutes les espèces de chenilles de Lépidoptères. Appliqués en hiver, quand plupart des autres insectes sont inactifs, ces traitements ont un impact limité sur les espèces non cibles. Ils sont efficaces jusqu'au quatrième stade larvaire, avec des persistances d'action de 8 à 10 jours. La réglementation n'a cessé d'évoluer depuis plus de dix ans, considérant cette « substance bioactive » comme un produit phytosanitaire depuis 2008, et interdisant l'épandage aérien au profit de l'application par pulvérisation à partir du sol, par exemple à l'aide de drones.

Lutte contre les papillons

La lutte par piégeage consiste à attirer les papillons mâles dans un piège via une phéromone sexuelle de synthèse, réduisant ainsi les accouplements et le nombre de pontes. Elle demande beaucoup de logistique et de moyens humains et financiers pour sa mise en place. Les pièges doivent être installés avant l'émergence des papillons, c'est-à-dire de juin (voire mai pour le climat océanique) à août (voire octobre pour le climat méditerranéen).

La confusion sexuelle est une méthode de lutte récente dans la gestion de la processionnaire du pin. Cette méthode vise à saturer l'air en phéromone sexuelle afin de perturber le comportement des papillons mâles et ainsi entraver la reproduction. La méthode gagne en efficacité sur de grandes surfaces et à des taux d'infestation peu élevés.

Bibliographie

Auger-Rozenberg M.-A., Torres-Leguizamon M., Courtin C., Rossi J.-P. & Kerdelhué C. (2015). Incongruent evolutionary histories of two parasitoids in the Mediterranean Basin: influence of host specialization and ecological characteristics. *Journal of Biogeography*, 42(6), 1040-1051

Battisti A., Avci M., Avtzis D.N., Ben Jamaa M.L., Berardi L., Berretima W., Branco M., Chakali G., El Alaoui El Fels M.A., Frérot B., Hódar J.A., Ionescu-Mălăncuș I., İpekdağ K., Larsson S., Manole T., Mendel Z., Meurisse N., Mirchev P., Nemer N., Paiva M.-R., Pino J., Protasov A., Rahim N., Rousselet J., Santos H., Sauvard D., Schopf A., Simonato M., Yart A., Zamoum M. (2015). Natural history of the processionary moths (*Thaumetopoea* spp.): new insights in relation to climate change. In: Roques A (ed) *Processionary moths and climate change: an update*. Springer / Quae Editions, pp 15-80.

- Battisti A., Basso A., Avtzis D., Burban C., Kerdelhué C., Ipekda K., Magnoux E., Rousselet J. & Negrisolo E. sous presse. The pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* species complex: a phylogeny-based revision. *Arthropod Systematics & Phylogeny*.
- Battisti A., Larsson S., Roques A. (2017). Processionary moths and associated urtication risk: global change-driven effects. *Annual Review of Entomology*, 62(1), 323-342.
- Battisti A., Stastny M., Netherer S., Robinet C., Schopf A., Roques A. & Larsson S. (2005). Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological Applications*, 15(6), 2084-2096.
- Brinquin A.-S. et Martin J.-C. (2015). Guide technique sur la gestion de la processionnaire du pin. *Phytoma, la défense des végétaux*, 680, 48-49.
- Brinquin A.-S., Martin J.-C., Gutleben C. et Laille P. (2013). Processionnaire du pin, les pratiques des communes. *Phytoma, la défense des végétaux*, 665, 18-22.
- Brinquin A.-S., Muller L., Guérin M. et Gutleben C. (2020). Lutte contre la processionnaire du pin : évolution des pratiques. *Phytoma, la défense des végétaux*, 735, 39-44.
- Dorkeld F., Streiff R., Castel G., Sauné L., Ogliastro M. & Kerdelhué C. (2023). Sequence, assembly and count datasets of viruses associated to the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* (Denis & Schiffermüller) (Lepidoptera, Notodontidae) identified from transcriptomic high-throughput sequencing. *Data in Brief*, 48, 109180.
- Géri, C., Millier, C., et Xeuxet, D. (1985). Mesure des populations de processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa* Schiff.) (Lépidoptère Thaumetopoeidae) au Mont Ventoux. *Annals of Forest Science*, 42, 143-184.
- Grisson P., Vago C. et Maury R. (1959). La lutte contre la processionnaire du pin « *Thaumetopoea pityocampa* » Schiff dans le massif du Ventoux: Essai d'utilisation pratique d'un virus spécifique. *Revue Forestière Française*, 5, 363-370.
- Huchon H. et Démolin G. (1970). La bioécologie de la processionnaire du pin. Dispersion potentielle - Dispersion actuelle. *Revue Forestière Française*, 22, 220-234.
- Kerdelhué C., Zane L., Simonato M., Salvato P., Rousselet J., Roques A. & Battisti A. (2009). Quaternary history and contemporary patterns in a currently expanding species. *BMC Evolutionary Biology*, 9, 220.
- Lannou C., Rasplus J.-Y., Soubeyrand S., Gautier M. et Rossi J.-P. (eds) (2023). *Crises sanitaires en agriculture. Les espèces invasives sous surveillance*. Editions Quæ, Versailles, 326 pp.
- Li S., Daudin J.J., Piou D., Robinet C. et Jactel H. (2015). Periodicity and synchrony of pine processionary moth outbreaks in France. *Forest Ecology and Management*, 354, 309-317.
- Martin J.-C. (2015). Development of environment-friendly strategies in the management of processionary moths. In: Roques A (ed), *Processionary Moths and Climate Change: An Update*. Springer / Quæ Editions, pp 411-427.
- Martin J.-C., Leblond A., Brinquin A.-S. et Decoin M. (2012a). Processionnaire du pin, revue des méthodes alternatives. *Phytoma, la défense des végétaux*, 657, 13-21.
- Martin J.-C., Mazet R., Correard M., Morel E. et Brinquin A.-S. (2012b). Nouvelles techniques de piégeage pour réguler la processionnaire du pin: piégeage phéromonal des adultes, piégeage comportemental des larves: des expériences prometteuses de piégeage de masse. *Phytoma, la défense des végétaux*, 655, 17-22.
- Moneo I., Battisti A., Dufour B., Garcia-Ortiz J.C., Gonzalez-Munoz M., Moutou F., Paolucci P., Petrucco Toffolo E., Rivière J., Rodriguez-Mahillo A.-I., Roques A., Roques L., Vega J.M. & Vega J. (2015). Medical and veterinary impact of the urticating processionary larvae. In: Roques A (ed), *Processionary moths and climate change: an update*. Springer / Quæ Editions, pp 359-410.
- Petrucco-Toffolo E., Zovi D., Perin C., Paolucci P., Roques A., Battisti A. & Horvath H. (2014). Size and dispersion of urticating setae in three species of processionary moths. *Integrative Zoology*, 9(3), 320-327.
- Pimentel C. & Nilsson J.-Å. (2007). Response of great tits *Parus major* to an irruption of a pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* population with a shifted phenology. *Ardea*, 95(2), 191-199.

- Robinet C. (2006). Modélisation mathématique des phénomènes d'invasion en écologie, exemple de la chenille processionnaire du pin. Thèse de doctorat, spécialité Mathématiques et Applications aux Sciences de l'Homme, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (E.H.E.S.S.), Paris, France, 208 p.
- Robinet C., Imbert C.E., Rousselet J., Sauvard D., Garcia J., Goussard F. & Roques A. (2012). Human-mediated long-distance jumps of the pine processionary moth in Europe. *Biological Invasions*, 14(8), 1557-1569.
- Robinet C., Laparie M. & Rousselet J. (2015). Looking beyond the large scale effects of global change: local phenologies can result in critical heterogeneity in the pine processionary moth. *Frontiers in Physiology*, 6, 334.
- Robinet C., Rousselet J. & Roques A. (2014). Potential spread of the pine processionary moth in France: preliminary results from a simulation model and future challenges. *Annals of Forest Science*, 71(2), 149-160.
- Robinson G.S. (1999). HOSTS: a database of the host plants of the world. *Nota Lepidopterologica*, 22, 35-47.
- Roques A. (ed). (2015). Processionary moths and climate change: an update. Springer / Quae, Editions, 427 pp.
- Roques A., Rousselet J., Avcı M., Avtzi D.N., Basso A., Battisti A., Ben Jamaa M., Bensidi A., Berardi L., Berretima W., Branco M., Chakali G., Çota E., Dautbašić M., Delb H., El Alaoui El Fels M.A., El Mercht S., El Mokhefi M., Forster B., Garcia J., G. G., Glavendekić M.M., Goussard F., Halbig P., Henke L., Hernandez R., Hodar J.A., İpekdağ K., Jurc M., Klimetzek D., Laparie M., Larsson S., Mateus E., Matošević D., Meier F., Mendel Z., Meurisse N., Mihajlović L., Mirchev P., Nasceski S., Nussbaumer C., Paiva M.-R., Papazova I., Pino J., Podlesnik J., Poirot J., Protasov A., Rahim N., Sanchez Peña G., Santos H., Sauvard D., Schopf A., Simonato M., Tsankov G., Wagenhoff E., Yart A., Zamora R., Zamoum M., Robinet C. (2015) Climate warming and past and present distribution of the processionary moths (*Thaumetopoea* spp.) in Europe, Asia Minor and North Africa. In: Roques A (ed) *Processionary moths and climate change: an update*. Springer / Quae Editions, pp 81-162.
- Rossi J.P., Imbault V., Lamant T. & Rousselet J. (2016). A citywide survey of the pine processionary moth *Thaumetopoea pityocampa* spatial distribution in Orléans (France). *Urban Forestry & Urban Greening*, 20, 71-80.
- Simonato M., Pilati M., Magnoux E., Courtin C., Sauné L., Rousselet J., Battisti A., Auger-Rozenberg M.-A. & Kerdelhué C. (2019). A population genetic study of the egg parasitoid *Baryscapus servadeii* reveals large scale automictic parthenogenesis and almost fixed homozygosity. *Biological Control*, 139, 104097.
- Tamburini, G., Marini, L., Hellrigl, K., Salvadori, C., & Battisti, A. (2013). Effects of climate and density-dependent factors on population dynamics of the pine processionary moth in the Southern Alps. *Climatic Change*, 121, 701–712.
- Uemura M., Perkins L.E., Zalucki M.P. & Battisti A. (2020). Movement behaviour of two social urticating caterpillars in opposite hemispheres. *Movement Ecology*, 8(1), 4.
- Zamoum, M., Guendouz, H., et Deia, D. (2007). Structure des communautés d'ennemis naturels de *Thaumetopoea pityocampa* (Lep., Thaumetopoeidae) sur pin d'Alep en Algérie subsaharienne. *Entomologica Bari*, 40, 139–151.

Fiche espèce Processionnaire du chêne, *Thaumetopoea processionea* (Linnaeus, 1758) (Notodontidae)

Position taxonomique :

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Famille : Notodontidae

Sous-famille : Thaumetopoeinae

Genre : *Thaumetopoea*

Espèce : *Thaumetopoea processionea* (L. 1758)

Présentation générale :

La processionnaire du chêne, *T. processionea* (L. 1758), est un Lépidoptère défoliateur, spécifiquement associé aux chênes. Cette espèce est présente en Europe de l'ouest, et plus fréquente dans le nord de cette région, y compris le nord et l'est de la France. Les chenilles sont grégaires, vivent en colonies et se déplacent la nuit en procession sur leur arbre hôte pour aller se nourrir (Cf. Figure 1). Leur nom vient de ce comportement caractéristique. Les chenilles sont responsables de problèmes phytosanitaires importants puisqu'elles s'alimentent du feuillage et des inflorescences de leur hôte au printemps, pouvant ainsi entraîner des réductions de croissance des arbres infestés. Du fait des soies urticantes qu'elles développent à partir du 3^{ème} stade larvaire, elles sont également susceptibles de provoquer des urtications et des réactions allergiques chez l'Homme et les animaux.



Figure 1 : Procession de chenilles processionnaires du chêne (source : A.-S. Brinquin).

Biologie de l'insecte :

La processionnaire du chêne réalise une génération par an. Les œufs éclosent vers mi-avril, au moment du débourrement de leurs arbres hôtes (Cf. Figure 2). Ainsi, les petites chenilles de stade L1 s'agglutinent sur les bourgeons turgescents dans l'attente de s'alimenter des premières feuilles. Elles sont particulièrement résistantes au froid et sont capables de jeûner sur de longues périodes dans l'attente du débourrement des bourgeons (Meurisse *et al.*, 2012). Chaque ponte génère une colonie larvaire, début mai. Ensuite, les colonies forment un nid sur le tronc. Les chenilles se développent jusqu'en juillet en passant par 6 stades larvaires successifs, et se nourrissent dans la nuit du feuillage de leur arbre hôte. Elles deviennent urticantes à partir du 3^{ème} stade larvaire du fait de l'apparition de poches

sur leur dos contenant de microscopiques soies pourvues d'aiguillons urticants. Ces soies sont véhiculées par le vent (jusqu'à 1 à 2 km selon le modèle de Fenk *et al.*, 2017) et sont susceptibles de causer de graves problèmes sanitaires. Au fur et à mesure du développement de l'insecte, les colonies du même arbre fusionnent formant de larges nids de nymphose sur les troncs et branches charpentières (Cf. Figure 3), d'où émergeront environ 1 mois plus tard les papillons. Ceux-ci sont nocturnes et ne vivent que 2 jours maximum, le temps de se reproduire. Les femelles pondent sur de fins rameaux des plaques d'œufs (= ooplaques) pouvant compter une centaine d'œufs, généralement dans la partie supérieure des houppiers (Cf. Figure 4). Cet insecte passe l'hiver sous cette forme, et les œufs de cette nouvelle génération n'éclosent qu'à partir du printemps suivant.

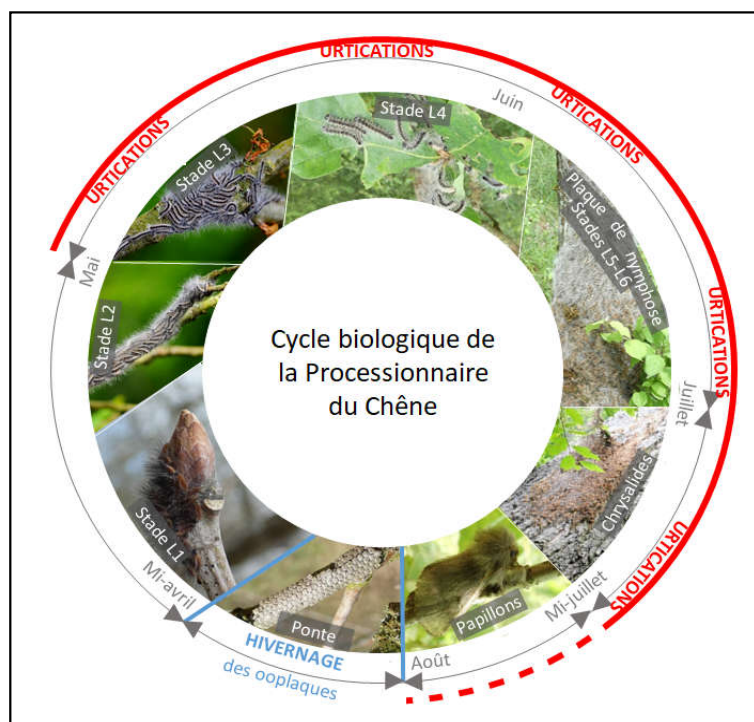


Figure 2 : Cycle biologique de la processionnaire du chêne avec les périodes de risque d'urtication (Source : A.-S. Brinquin).



Figure 3 : Plaque de nymphose de chenilles processionnaires du chêne de stade L5, sur un tronc de chêne (source : C. Bailly).



Figure 4 : Ooplaque de processionnaires du chêne sur un rameau de chêne (source : C. Bailly).

Période d'occurrence des stades urticants :

La période d'occurrence des stades urticants débute lorsque les chenilles atteignent leur 3ème stade larvaire, à partir du mois de mai et jusqu'en juillet (Cf. Figure 2). Cette période s'étale jusqu'à ce que les papillons émergent des plaques de nymphose au cours de l'été, voire au-delà puisque ces dernières restent fortement chargées en exuvies et soies urticantes, et toujours attachées sur les troncs et charpentières des arbres infestés. La contamination des plaques de nymphose peut durer plusieurs mois voire plusieurs années. Le risque sanitaire est donc important sur période pouvant durer plusieurs mois voire plusieurs années, puisque les plaques de nymphose se dégradent lentement.

Distribution géographique de l'espèce :

Distribution mondiale :

T. processionea est présente essentiellement en Europe centrale, de l'ouest et du sud, principalement aux Pays-Bas, en Allemagne, en Belgique et en France (Groenen *et al.*, 2012 ; Godefroid *et al.*, 2020) (Cf. Figure 5).

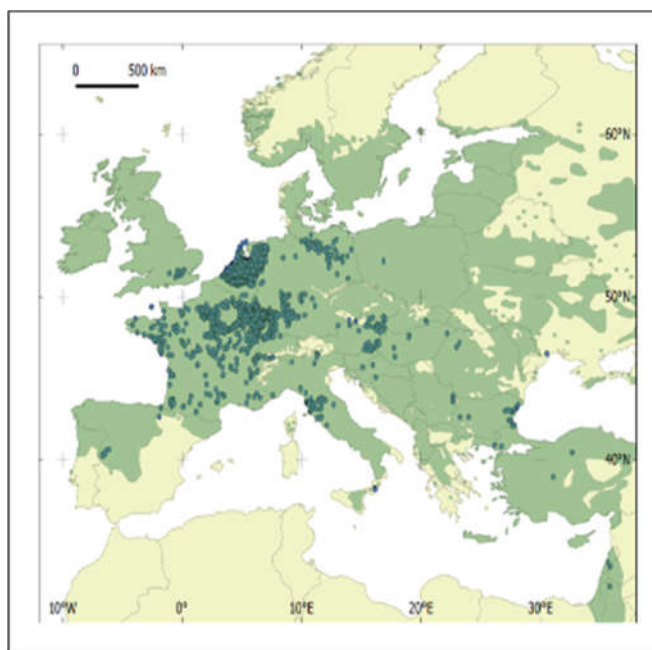


Figure 5 : Carte des occurrences de la processionnaire du chêne trouvées dans la littérature (la zone verte correspond à la zone de présence des plantes hôtes et les points correspondent aux occurrences de la processionnaire du chêne) (source : Godefroid *et al.*, 2020).

Distribution en France métropolitaine :

La processionnaire du chêne est présente dans plusieurs régions de France métropolitaine (Cf. Figure 6), et notamment la région Grand-Est (Groenen *et al.*, 2012).

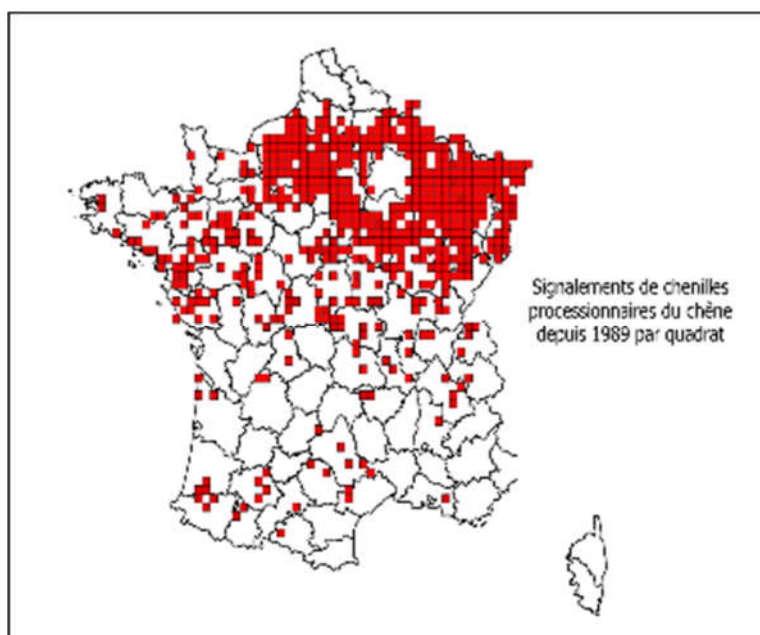


Figure 6 : Signalements de la chenille processionnaire du chêne en France métropolitaine de 1989 à 2021 (source : DSF, 2022).

Distribution dans les DROM :

L'espèce est absente dans les DROM.

Capacités de dispersion :

La majorité des femelles sont réputées pondre à proximité de leur lieu d'émergence, ce qui expliquerait la faible vitesse de dissémination de cet insecte. Cependant, une étude récente montre que la vitesse de dissémination des femelles varie entre 1,66 et 6,17 km par an (Suprunenko *et al.*, 2021).

Plantes hôtes :

La processionnaire du chêne se développe complètement sur la plupart des chênes à feuilles caduques, et en particulier les chênes sessiles (*Quercus petraea*) et les chênes pédonculés (*Quercus robur*) (Robinson, 1999 ; Battisti *et al.*, 2015 ; Damestoy *et al.*, 2020).

Certaines espèces appartenant au genre *Fagus* sont connues comme plantes hôtes sur lesquelles le développement n'est pas complet (CABI online ; EPPO online ; Robinson, 1999 ; EFSA, 2009 ; Battisti *et al.*, 2015). Des espèces végétales appartenant aux genres *Acacia*, *Betula*, *Carpinus*, *Castanea*, *Corylus*, *Crataegus*, *Juglans*, *Pistacia*, *Pinus*, *Robinia*, *Sorbus*, sont citées dans la littérature en tant que plantes hôtes mais leur statut n'est pas vérifié (CABI online ; EPPO online ; Robinson, 1999 ; EFSA 2009 ; Battisti *et al.*, 2015).

Habitats et paysage :

T. processionnea se développe préférentiellement dans des paysages ouverts tels que les lisières de peuplement et les clairières en milieu forestier ou encore les arbres isolés en milieu urbain.

Dynamique de population :

Généralement, la dynamique de population de *T. processionea* est cyclique (des phases de pullulations importantes pouvant durer de 1 à 3 années successives, suivies par des phases de fortes régressions), soit à cause de gels printaniers tardifs détruisant les jeunes feuilles de chêne, soit sous l'effet des cortèges de prédateurs, parasites et maladies agissant sur chacun des stades de développement de l'insecte (Klapwijk *et al.*, 2013 ; Csoka *et al.* 2018). Dans ce second cas, un équilibre écologique s'établit, ce qui permet de maintenir les populations du ravageur à des niveaux peu dommageables durant de nombreuses années.

Urtication :

Les chenilles produisent de vraie soies urticantes et détachables à partir du 3ème stade larvaire (L3), comme leur espèce « cousine » la processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*). Des soies microscopiques se développent dans de petites structures appelées « miroirs », situées sur la partie dorsale des chenilles (Rahlenbeck, 2017). Les soies sont renouvelées à chaque mue. Dès que les chenilles se sentent dérangées ou menacées, ces miroirs s'ouvrent libérant dans l'air les soies urticantes qui viennent se planter tels de petits harpons dans la peau (Cf. Figure 7). En se grattant, les soies se cassent libérant des toxines dont les thaumetopoéines responsables de forte réactions allant de l'urtication au choc anaphylactique. En cas d'inhalation, les muqueuses des voies respiratoires peuvent également être touchées.

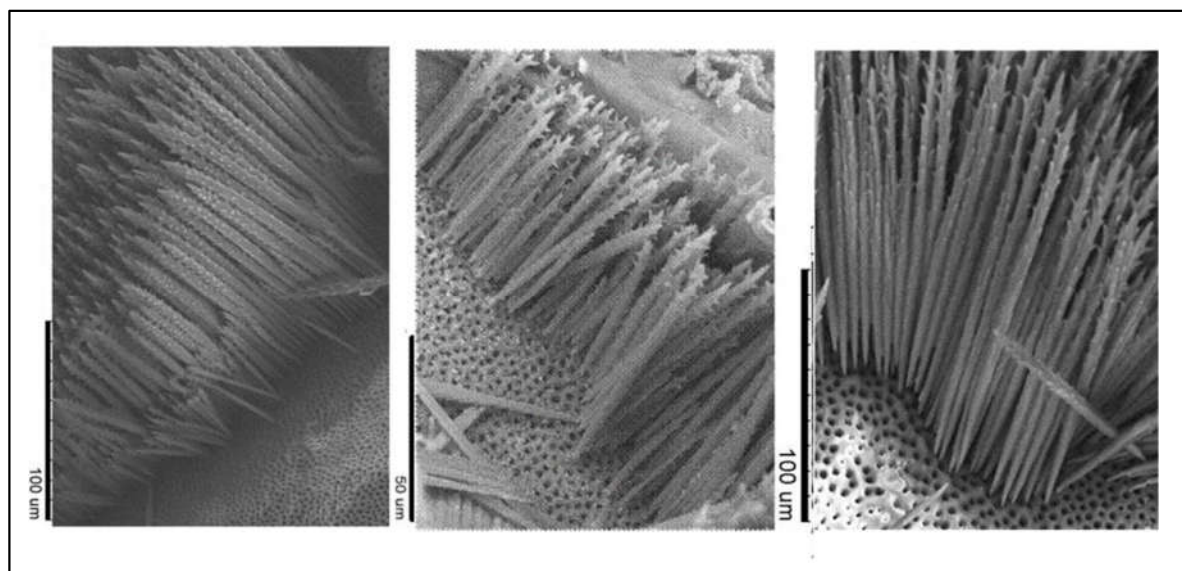


Figure 7 : Photographie au microscope électronique à balayage de l'appareil urticant dans trois espèces de *Thaumetopoea* (à gauche, *T. pityocampa* ; au centre *T. pinivora* ; à droite *T. processionea*) où l'on peut voir la présence des soies courtes et longues pour *T. pityocampa* et *T. pinivora*, qui correspond à une distribution bimodale de la taille des soies, tandis que pour *T. processionea* la distribution est unimodale (toutes les soies ont la même taille) (depuis Petrucco *et al.*, 2014).

Ennemis naturels :

Un cortège d'ennemis naturels influe sur la régulation des populations de processionnaires du chêne, notamment au cours des pullulations, en agissant sur chacun des stades de développement de l'insecte. Ce cortège est constitué notamment de prédateurs généralistes comme certains oiseaux (mésanges, fauvettes...), des chauve-souris et des Coléoptères comme *Calosoma sycophanta* (L. 1758) et *Calosoma inquisitor* (L. 1758) (Battisti *et al.*, 2015). Ce cortège compte également des parasites et parasitoïdes plus ou moins spécifiques tels que des Tachinidae (*Carcelia iliaca* (Ratzeburg 1840)) et des Hyménoptères (*Anastatus bifasciatus* (Geoffroy in Fourcroy, 1785), *Pimpla processioneae* (Ratzeburg 1849) et *Pimpla rufipes* (Miller 1759)) (Sands *et al.*, 2015 ; Zwakhals, 2005 ; Mirchev *et al.*,

2003 ; Stratan, 1971). Enfin, les processionnaires du chêne peuvent être touchées par des pathogènes tels que des bactéries, des virus ou encore des champignons (Hoch *et al.*, 2008 ; Vago & Vasiljevic, 1955).

Méthodes de lutte :

Contrairement à la processionnaire du pin, *Thaumetopoea pityocampa*, les méthodes pour lutter efficacement contre la processionnaire du chêne, *Thaumetopoea processionea*, sont limitées. Le moyen le plus efficace reste l'application d'un biocide microbiologique. Ce traitement consiste à appliquer sur le feuillage des chênes infestés une préparation contenant la bactérie *Bacillus thuringiensis kurstaki* (Btk), lorsque les chenilles processionnaires du chêne se trouvent aux stades L1 à L4 (avril-mai). Ce traitement est toutefois soumis aux restrictions de la réglementation et à des conditions d'utilisation strictes.

La lutte mécanique consistant à prélever les plaques de nymphose des chênes infestés est également possible mais nécessite l'utilisation d'EPI (combinaisons, gants, lunettes et masques) et n'est pas envisageable sur de grands arbres.

D'autres méthodes sont également à l'essai et nécessitent des moyens de recherche afin de les optimiser et de les développer. En effet, la transposition sur la processionnaire du chêne des techniques de gestion développées avec succès sur la processionnaire du pin, n'est pas si évidente. La faible efficacité de la grande majorité des diffuseurs de phéromone sexuelle testés reste le principal verrou au développement du piégeage phéromonal et de la confusion sexuelle. Dans le premier cas, la technique consiste à installer des pièges à phéromone afin de capturer les papillons mâles (Williams *et al.*, 2013), et de réduire ainsi les accouplements et le nombre de pontes potentielles. Plutôt que d'être utilisée à des fins de lutte, cette méthode peut être employée dans le but de surveiller la dynamique de population de l'insecte et d'optimiser la mise en place d'autres techniques de gestion. La confusion sexuelle, quant à elle, consiste à émettre une importante concentration de phéromone sexuelle de synthèse afin de désorienter les papillons mâles alors incapables de localiser les papillons femelles.

D'autres recherches doivent être approfondies afin d'étudier l'impact réel de certains ennemis naturels sur les populations de processionnaire du chêne, et éventuellement de développer par la suite des stratégies de lutte biologique, au travers de lâchers de parasitoïdes ou de prédateurs, ou encore l'installation de nichoirs à mésanges et à chauve-souris.

Enfin, une étude plus exploratoire sur l'utilisation de la phéromone de trace, responsable du comportement grégaire de l'insecte, mériterait d'être poursuivie (Fitzgerald, 2003). Le but étant de développer un perturbateur capable de disperser les colonies, rendant ainsi les chenilles vulnérables, ou bien à moindre concentration, de guider les chenilles vers un système de piégeage.

Bibliographie

- Battisti, A., Avci, M., Avtzi, D. N., Jamaa, M. L. B., Berardi, L., Berretima, W., ... & Zamoum, M. (2015). Natural history of the processionary moths (*Thaumetopoea* spp.): new insights in relation to climate change. In *Processionary moths and climate change: An update* (pp. 15-79). Springer, Dordrecht.
- Csóka, G., Hirka A., Szöcs L., Móricz N., Rasztoivits E. and Pödör Z. (2018). Weather-dependent fluctuations in the abundance of the oak processionary moth, *Thaumetopoea processionea* (Lepidoptera: Notodontidae). *European Journal of Entomology*, 115, 249–255.
- Damestoy T., Jactel H., Belouard T., Schmuck H., Plomion C. & Castagneyrol B. (2020). Tree species identity and forest composition affect the number of oak processionary moth captured in pheromone traps and the intensity of larval defoliation. *Agricultural and Forest Entomology*, 22, 169-177. doi: 10.1111/afe.12371
- Fenk L, Vogel B, Horvath H. (2007). Dispersion of the bio-aerosol produced by the oak processionary moth. *Aerobiologia*, 23, 79–87.

- Fitzgerald, T. D. (2003). Role of trail pheromone in foraging and processionary behavior of pine processionary caterpillars *Thaumetopoea pityocampa*. *Journal of Chemical Ecology*, 29(3), 513-532.
- Godefroid M., Meurisse N., Groenen F., Kerdelhué C. & Rossi J.-P. (2020). Current and future distribution of the invasive oak processionary moth. *Biological Invasions*, 22(2), 523-534. doi: 10.1007/s10530-019-02108-4.
- Groenen F. & Meurisse N. (2012). Historical distribution of the oak processionary moth *Thaumetopoea processionea* in Europe suggests recolonization instead of expansion. *Agricultural and Forest Entomology*, 14(2), 147-155. doi: 10.1111/j.1461-9563.2011.00552.x.
- Hoch, G., Verucchi, S., & Schopf, A. (2008). Microsporidian pathogens of the oak processionary moth, *Thaumetopoea processionea* (L.) (Lep., Thaumetopoeidae), in eastern Austria's oak forests. *Mitt Dtsch Ges Allg Angew Ent*, 16, 225-228.
- Klapwijk, M. J., Csóka, G., Hirka, A., & Björkman, C. (2013). Forest insects and climate change: long-term trends in herbivore damage. *Ecology and Evolution*, 3(12), 4183-4196. doi.org/10.1002/ece3.717.
- Meurisse N., Hoch G., Schopf A., Battisti A. & Gregoire J.C. (2012). Low temperature tolerance and starvation ability of the oak processionary moth: implications in a context of increasing epidemics. *Agricultural and Forest Entomology*, 14(3), 239-250. doi: 10.1111/j.1461-9563.2011.00562.x.
- Mirchev, P., Tsankov, G., & Petrov, Y. (2003). Study of some aspects of the bioecology of the oak processionary moth (*Thaumetopoea processionea* Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Notodontidae) in North-East Bulgaria. *Silva Balcanica*, 3(1), 5-10.
- Petrucchio-Toffolo, E., Zovi, D., Perin, C., Paolucci, P., Roques, A., Battisti, A. & Horvath, H. (2014). Size and dispersion of urticating setae in three species of processionary moths. *Integrative Zoology*, 9, 320–327.
- Rahlenbeck S. (2017). Allergy caused by oak processionary moth: caterpillars with irritating stinging hairs. *Deutsche Ärzteblatt international*, 114,18, 367-374.
- Sands, R. J., Kitson, J. J. N., Raper, C. M., Jonusas, G., & Straw, N. (2015). *Carcelia iliaca* (Diptera: Tachinidae), a specific parasitoid of the oak processionary moth (Lepidoptera: Thaumetopoeidae), new to Great Britain. *British Journal of Entomology and Natural History*, 28(4), 225-228.
- Stratan, V. S. (1971). An egg parasite of the oak processionary moth. *Zashchita Rastenii*, 16(5).
- Vago, C., & Vasiljevic, L. (1955). A virus disease located in the intestine of *T. processionea*, with cytoplasmic affinities. *Antonie van Leeuwenhoek: J. Microbiol. & Serol.*, 21(2), 210-4.
- Williams D.T., Straw N., Townsend M., Wilkinson A.S. & Mullins A. (2013). Monitoring oak processionary moth *Thaumetopoea processionea* L. using pheromone traps: the influence of pheromone lure source, trap design and height above the ground on capture rates. *Agricultural and Forest Entomology*, 15, 126-134. doi.org/10.1111/afe.12005.
- Zwakhals, C. J. (2005). *Pimpla processioneae* and *P. rufipes*: specialist versus generalist (Hymenoptera: Ichneumonidae, Pimplinae). *Entomologische Berichten*, 65(1), 14-16.

Fiche espèce *Euproctis chrysorrhoea* (Linnaeus, 1758) (Erebidae)

Position taxonomique :

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Famille : Erebidae

Genre : *Euproctis*

Espèce : *Euproctis chrysorrhoea* (Linnaeus, 1758)

Présentation générale :

Euproctis chrysorrhoea (L. 1758), appelé le bombyx cul-brun, est un défoliateur bien connu des forêts de feuillus en Europe et en Amérique du Nord, où il a été accidentellement introduit avec *Lymantria dispar* mais sans causer les mêmes dégâts. En France, dans la période 1986-1988 des attaques ont été observées dans la Haute-Vienne, la Creuse, la Charente et la Charente-Maritime avec des impacts des soies de papillons sur la santé humaine (Bois-Janicot, 1987 cité in Werno et Lamy, 1994). Les larves sont aussi dotées de poils urticants à partir du deuxième stade et elles peuvent causer des réactions chez les humains et les animaux domestiques.

Biologique de l'insecte :

E. chrysorrhoea réalise une seule génération par an et passe l'hiver au troisième stade larvaire à l'intérieur de nids allongés soyeux tissés entre les feuilles à l'apex des branches des plantes attaquées la saison précédente (Cf. Figure 1). En avril, les chenilles reprennent leur activité et défolient voracement les plantes jusqu'à fin juin (Cf. Figure 2) ; enfin elles se nymphosent dans un cocon sur les rameaux ou sur les feuilles. Les adultes volent entre fin juin et juillet (Cf. Figure 3) ; les femelles pondent de 150 à 200 œufs et recouvrent ces derniers d'une couche de poils abdominaux brun-jaune (Cf. Figure 4). Ces pontes sont similaires à celles de *L. dispar*, mais plus étroites et allongées, et généralement situées sur la face inférieure des feuilles. Au printemps, les chenilles se nourrissent individuellement par décapage de la face supérieure des feuilles. Les larves deviennent grégaires, d'août à fin septembre, lorsqu'elles tissent un nid hivernal plus volumineux pouvant accueillir des individus de pontes différentes.



Figure 1 : Nids du dernier stade larvaire (source : Milan Zubrik, Forest Research Institute - Slovakia, Bugwood.org)



Figure 2 : Chenilles du dernier stade larvaire (source : Milan Zubrik, Forest Research Institute - Slovakia, Bugwood.org)



Figure 3 : Papillons femelle (à gauche) et mâle (à droite) (source : Milan Zubrik, Forest Research Institute - Slovakia, Bugwood.org)



Figure 4 : Ponte sur chêne (source : A. Battisti)

Période d'occurrence des stades urticants :

Il existe des stades urticants en permanence. Les stades urticants correspondent selon la saison (i) aux adultes et aux pontes situées sur la face inférieure des feuilles en été, (ii) aux chenilles de l'été au printemps suivant dans les nids soyeux sur les arbres et les buissons, et (iii) aux chenilles en nymphose et aux cocons présents sur la végétation et le sol (au printemps, d'avril à mai).

Distribution géographique de l'espèce :*Distribution mondiale :*

On la trouve dans les zones tempérées de l'Europe, surtout dans la partie occidentale (Cf. Figure 5). Elle est par ailleurs exotique envahissante dans le nord-est des États-Unis (Boyd *et al.*, 2021).

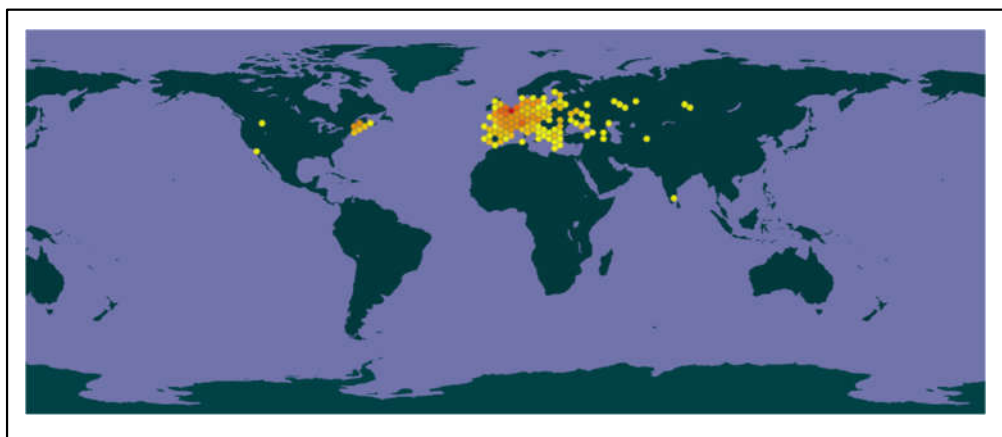


Figure 5 : Carte des occurrences mondiales de *Euproctis chrysorrhoea* (données extraites du site GBIF).

Distribution en France métropolitaine :

En France, *E. chrysorrhoea* est présente sur l'ensemble du territoire (Cf. Figure 6).

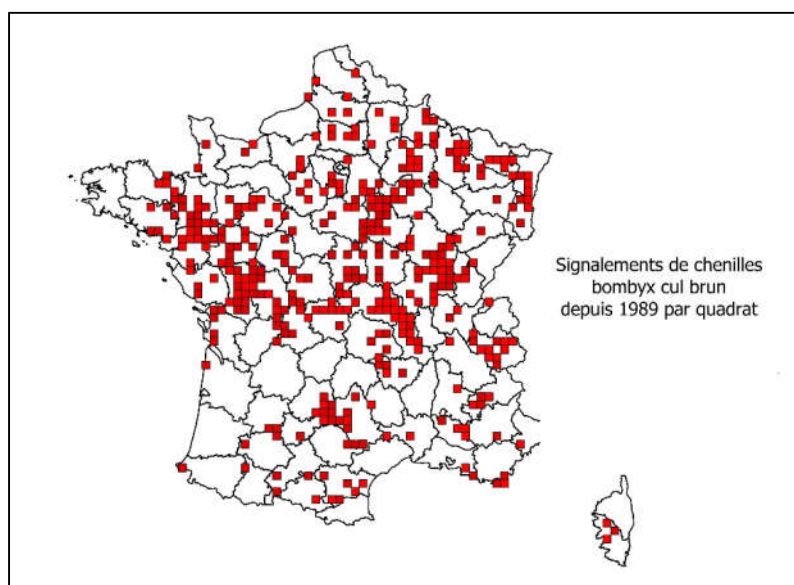


Figure 6 : Carte des occurrences de *Euproctis chrysorrhoea* en France métropolitaine de 1989 à 2021 (données DSF).

Distribution dans les DROM :

L'espèce est absente dans les DROM.

Plantes hôtes :

Euproctis chrysorrhoea est largement polyphage sur les arbustes et les arbres feuillus forestiers (Cf. Figure 7), fruitiers ou ornementales, principalement dans les lisières forestières, les haies et les arbres isolés. En phase de latence des populations (années à faibles densités de populations), les nids sont facilement repérables sur les rosacées arbustives spontanées, en particulier les aubépines (*Crataegus* spp.), le prunellier (*Prunus spinosa* L.), le cerisier à grappes (*Prunus padus*) ; en région

méditerranéenne, l'espèce se trouve de préférence sur les arbousiers (*Arbutus unedo* L.), les myrtes (*Myrtus* spp.) et les phillaires (*Phillyrea angustifolia* L.) ; en région méditerranéenne, l'espèce se trouve de préférence sur les arbousiers (*Arbutus unedo* L.), les myrtes (*Myrtus* spp.) et les phillaires (*Phillyrea angustifolia* L.). Lors des infestations importantes, l'insecte s'attaque à la quasi-totalité des feuillus, en particulier les chênes (surtout le chêne pubescent (*Quercus pubescens* Willd.) et le chêne vert (*Quercus ilex* L.)) ; Cf. Figure 7), les hêtres et les charmes. D'autres espèces végétales sont citées dans la littérature en tant que plantes hôtes mais leur statut n'est pas vérifié (CABI online, EPPO online, EFSA 2009, Battisti *et al.*, 2015). Elles appartiennent aux genres suivants : *Acacia*, *Betula*, *Carpinus*, *Castanea*, *Corylus*, *Crataegus*, *Juglans*, *Pistacia*, *Pinus*, *Robinia*, *Sorbus*.



Figure 7 : Nids et dégâts sur feuillus (source : A. Battisti)

Habitats et paysage :

En Europe du sud, les conditions climatiques chaudes et sèches sont favorables à la survie de l'espèce. *E. chrysorrhoea* s'attaque principalement aux maquis et à la garrigue méditerranéens (les facteurs climatiques ayant davantage d'influence que la nature du sol). En Europe du nord, les pullulations partent souvent de petits noyaux d'infestation permanents présents sur des plantes isolées ou des haies, notamment l'aubépine, l'arbousier ou le chêne.

Dynamique de population :

Les pullulations durent généralement de 2 à 4 ans, alternant avec de longues périodes sans attaque. Pendant les pullulations, les dégâts occasionnés en période printanière sont parfois importants, avec des défoliations totales affectant des milliers d'hectares.

Urtication :

Les problèmes d'urtication sont liés à la dispersion de vraies soies urticantes et détachables produites par les papillons et les chenilles et qui peuvent nuire au bétail en pâturage et aux habitants des zones infestées.

Les papillons sont connus pour causer une urtication mais il n'est pas clairement établi si cette urtication est due aux soies produites par les chenilles et transférées sur les papillons après la dernière mue larvaire dans le cocon (Tyzzer 1907 ; Kawamoto *et al.*, 1978), ou aux soies produites ex-novo par les papillons, dans ce dernier cas par les femelles (Kemper, 1955). Dans ce second cas, ils sont produits dans les derniers segments abdominaux et sont utilisés pour protéger les œufs après la ponte. Dans les deux cas, les soies peuvent être relâchées pendant le vol, pour exemple si les papillons entrent dans les maisons lorsqu'ils sont attirés par la lumière et vont percer les parois, en relâchant leurs soies dans l'air. Les œufs sont aussi très urticants en cas de contact. Les poils urticants produits par les papillons femelles sont 1,8 mm de longueur (Kemper, 1955).

Les chenilles produisent les soies à partir du deuxième stade sur des tubercules dorsaux. Au début, les soies ne sont présentes que sur les tubercules des deux premiers tergites abdominaux mais ils

apparaissent ensuite sur tous les tergites des chenilles du cinquième stade (Tyzzer, 1907 ; Kawamoto *et al.*, 1978). Les soies sont semblables à celles produites par les chenilles processionnaires et elles ont une longueur moyenne de 0,15 mm (Cf. Figure 8).

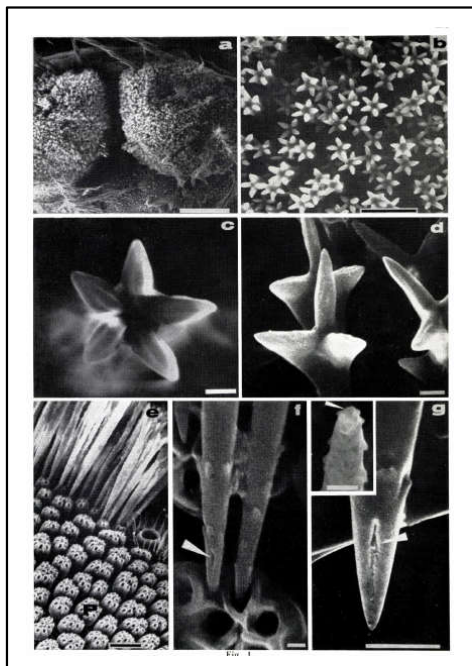


Figure 8 : Soies urticantes d'*Euproctis subflava* et *E. similis* au Japon (source : Kawamoto *et al.*, 1978)

Ennemis naturels :

Aucune information n'est disponible sur les ennemis naturels spécifiques.

Méthodes de lutte :

La lutte a pour objectif la protection des zones les plus sensibles en contenant dans des limites acceptables les invasions du ravageur. En forêt péri-urbaine et dans les zones agricoles fréquentées par le public et/ou les animaux, l'aspect inesthétique des arbres défeuillés et les urtications provoquées par les chenilles peuvent justifier des décisions de lutte. En forêt de production, une intervention dans les jeunes plantations et à leur périphérie immédiate peut être mise en œuvre lorsque les défoliations peuvent compromettre leur avenir. En cas d'attaque ponctuelle sur des arbres de faible dimension et facilement accessibles, il est possible de lutter mécaniquement (échenillage sur jeunes arbres ou broyage sur haies basses), en détruisant les nids durant l'hiver.

Parmi les antagonistes naturels du phytophage figurent plusieurs oiseaux, notamment les mésanges, qui pillent les nids d'hiver. Les œufs, les larves et les pupes sont parasités par de nombreuses espèces d'hyménoptères et de diptères parasitoïdes. L'intervention d'antagonistes naturels ou l'apparition d'épidémies virales, fongiques ou bactériennes se traduisent souvent par un retour rapide des populations de défoliateurs à un état de latence. Dans les zones à risque d'épisodes antérieurs de forte infestation, il peut être utile de surveiller la présence de nids d'hiver ou l'utilisation de pièges à phéromones sexuelles.

Bibliographie

Anonyme, consulté 20 juin 2022. Le bombyx cul brun.

https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/documents/pdf/Le_bombyx_cul_brun_euprchr-2.pdf.

Blair, C. P. (1979). The browntail moth, its caterpillar, and their rash. Clin. Exp. Dermatol., 4, 215–222. doi: 10.1111/j.1365-2230.1979.tb01621.x.

Bois-Janicot D. (1987). Papillonite à *Euproctis chrysorrhoea* L. Doctoral Thesis. Limoges, 1-81.

- Kawamoto F., Suto C. & Kumada N. (1978). Studies on the venomous spicules and spines of moth caterpillars. Fine structure and development of the venomous spicules of the *Euproctis* caterpillars. Japan. J. Med. Sci. Biol., 31, 291-299.
- Kemper H. (1955). Experimentelle Untersuchungen über die durch Afterwolle von *Euproctis chrysorrhoea* (Lepidoptera) erzeugte Dermatitis, verglichen mit der Wirkung von Arthropodenstichen. Zeitschrift für angewandte Zoologie, 55, 37-59.
- Lamy M. et Werno J. (1989). Le papillon du Bombyx cul brun *Euproctis chrysorrhoea* L. (Lépidoptères) responsable de papillonite en France: interprétation biologique. C. R. Acad. Sci., Paris, 309, 3: 605-610.
- Tyzzar E.E. (1907). The pathology of the brown-tail moth dermatitis. J. Med. Res., 16, 43-64.
- Werno J. & Lamy M. (1989). Daily cycles for emission of urticating hairs from the pine processionary caterpillar (*Thaumetopoea pityocampa* S.) and the brown tail moth (*Euproctis chrysorrhoea* L.) (Lepidoptera) in laboratory conditions. Aerobiologia, 10, 147-151.

Fiche espèce *Euproctis similis* (Fuessly, 1775) (Erebidae)

Position taxonomique :

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Famille : Erebidae

Genre : *Euproctis*

Espèce : *Euproctis similis* (Fuessly, 1775)

Présentation générale :

Euproctis similis (Füssli, 1775), appelé le bombyx cul-doré, possède une aire de distribution plus vaste qu'*E. chrysorrhoea*, dont il est très proche par sa biologie et son écologie. Le cycle de développement des deux espèces est similaire, mais les chenilles d'*E. similis* ne sont pas grégaires. Le cycle de développement des deux espèces est similaire mais les chenilles d'*E. similis* ne sont pas grégaires.

Biologie de l'insecte :

Il réalise une seule génération et passe l'hiver au troisième stade larvaire sur les arbres sous forme de chenille individuelle. En avril, les larves reprennent leur activité et défolient voracement les plantes jusqu'à fin juin; enfin elles se nymphosent dans un cocon sur les rameaux ou sur les feuilles. Les adultes (Cf. Figure 1) volent entre fin juin et juillet ; les femelles pondent de 150 à 200 œufs et recouvrent ces derniers d'une couche de poils abdominaux jaune-orange.



Figure 1 : Photographies des adultes femelle (à gauche ; http://www.pyrgus.de/bilder_en.php) et mâle (à droite ; https://www.gbif.org/occurrence/gallery?taxon_key=1821911).

Période d'occurrence des stades urticants :

Aucune donnée n'est disponible.

Distribution géographique de l'espèce :

Distribution mondiale :

On la trouve dans les zones tempérées de l'Europe et de l'Asie, ainsi que dans quelques régions subtropicales (Cf. Figure 2).

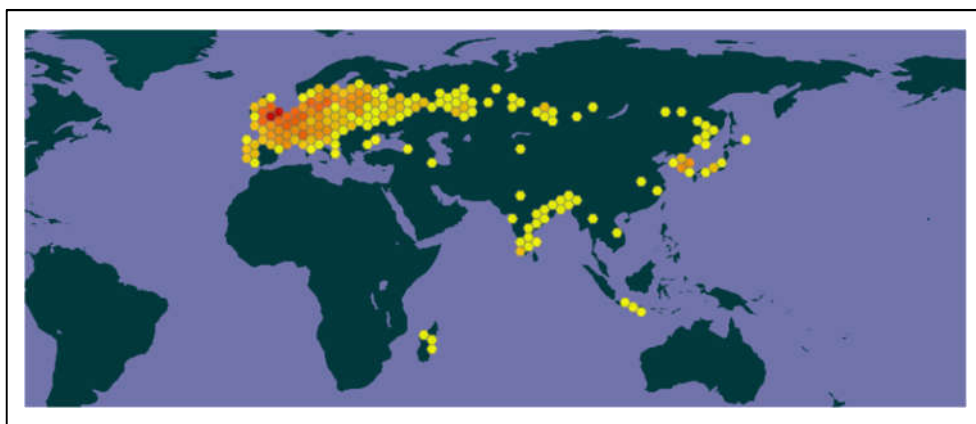


Figure 2 : Carte des occurrences mondiales de *Euproctis similis* (données extraites du site GBIF).

Distribution en France métropolitaine :

En France, *E. similis* est présente sur l'ensemble du territoire.

Distribution dans les DROM :

L'espèce est présente au Madagascar.

Plantes hôtes :

Euproctis similis est polyphage sur les arbustes et les arbres feuillus forestiers, fruitiers ou ornementaux. Les espèces végétales dont le statut de plantes hôtes est vérifié dans la littérature appartiennent à la famille des Betulaceae, des Fagaceae, des Ranunculaceae et des Rosaceae (Robinson *et al.*, 2023). On observe généralement les larves sur les rosacées arbustives spontanées, en particulier les aubépines (*Crataegus* spp.), le prunellier (*Prunus spinosa* L.) ou le cerisier à grappes (*Prunus padus*).

Habitats et paysage :

On la trouve principalement dans les lisières forestières ou les haies mais aussi occasionnellement sur des arbres isolés. En Europe, l'espèce est répandue un peu partout mais assez rare. En Allemagne elle est considérée comme étant à risque de disparition par la modification du paysage.

Dynamique de population :

Aucune donnée relative aux dynamiques de population n'est disponible.

Urtication :

Aucune donnée n'est disponible en Europe sur le mécanisme d'urtication. Dans l'Asie orientale *E. similis* est souvent considérée comme un facteur important d'urtication pour la population humaine (Kawamoto *et al.*, 1978). Les soies urticantes et le mécanisme sont similaires à *E. chrysorrhoea* selon les auteurs.

Ennemis naturels :

Aucune information n'est disponible sur les ennemis naturels spécifiques.

Méthodes de lutte :

Aucune donnée n'est disponible.

Bibliographie

Kawamoto F., Suto C., Kumada N. (1978). Studies on the venomous spicules and spines of moth caterpillars. Fine structure and development of the venomous spicules of the *Euproctis* caterpillars. Japan. J. Med. Sci. Biol., 31, 291-299.

Fiche espèce *Lithosia quadra* (L., 1758) (Erebidae)

Position taxonomique :

En l'état des connaissances, la taxonomie est la suivante :

Classe : Insecta

Ordre : Lepidoptera

Famille : Erebidae

Genre : *Lithosia* Fabricius 1798

Espèce : *Lithosia quadra* L. 1758

Présentation générale :

La Lithosie quadrille, *Lithosia quadra* L., 1758, est une espèce polyphage de la famille des Erebidae. Cette espèce présente un dimorphisme sexuel important, et se nourrit principalement de lichens et d'algues poussant sur des arbres (notamment les chênes) ou des surfaces inertes (p.ex. roches, murs, etc.). Elle peut devenir nuisible dans certains cas (notamment lors de faible disponibilité de sa nourriture primaire) lorsqu'elle migre dans les habitations et est en contact avec les humains et les animaux domestiques. Les chenilles sont dotées de soies modifiées (non détachables) d'environ 1 mm de longueur et caractérisées par une ampoule basale remplie d'une substance urticante qui peuvent causer des réactions lorsqu'elles sont en contact direct (Faucheux, 2007).

Cycle biologique :

L'espèce réalise généralement une génération par an, mais deux générations sont fréquemment observées dans le sud de son aire de répartition. L'adulte est nocturne (avec un vol nocturne et crépusculaire) et est actif de juin à octobre. La femelle pond des œufs en grand nombre (plusieurs centaines si l'on se base sur d'autres espèces de la famille des Erebidae de taille similaire) par groupes de 20 à 50 sur les troncs ou les toits couverts de lichens. Le développement embryonnaire dure environ deux semaines. La chenille mesure jusqu'à 40 mm et est couverte de poils de différents types, dont certaines sont urticantes (les poils longs sont non urticants et les poils courts sont urticants : les seconds sont d'un seul type (non-détachables) ; description par Faucheux (2007)).

Elle hiverne au stade chenille dans des encroûtements de lichens ou sous les 'écorce. La nymphose se déroule en mai-juin. Les adultes semblent avoir une certaine activité migratrice, par exemple de fortes densités d'adultes ont pu être observées dans le Jura sans que des larves de cette espèce ne puissent être détectées (Luquet, 2015).

Lorsque l'espèce devient très abondante, une pénurie de nourriture peut pousser les larves à se nourrir sur des feuilles et des aiguilles d'arbres, et l'espèce peut alors devenir nuisible.

L'espèce présente un dimorphisme sexuel important. Les mâles sont de taille plus réduite que les femelles, avec une envergure variant de 35 à 43 mm chez les premiers, et de 35 à 62 mm chez les secondes. Par ailleurs, les mâles ont des ailes antérieures d'un jaune gris assez foncé et jaune d'or à la base (Cf. Figure 2b), tandis que les femelles ont les ailes antérieures jaunes avec deux points noirs sur chacune (Cf. Figure 2a). Les pattes des adultes sont noires et les antennes sont filiformes. Les chenilles sont gris ardoise, avec de fines lignes longitudinales, une tache noire transversale sur le dos en avant, une au centre et une en arrière. Sous le dos, il y a des rangées longitudinales de petites excroissances jaune rougeâtre (Cf. Figures 1a et 1b). La pupa est trapue, noire avec un éclat de porcelaine.

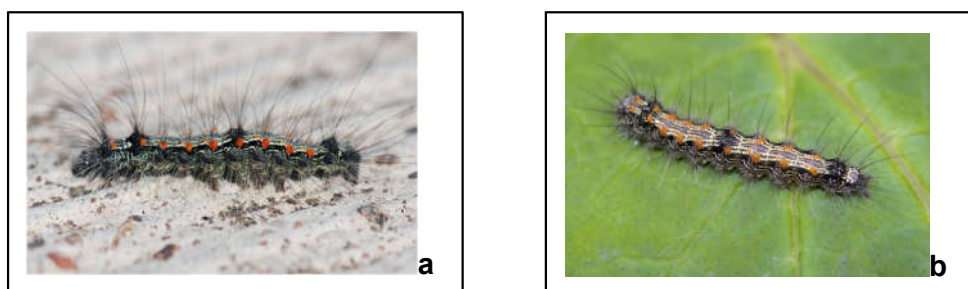


Figure 1 : *Lithosia quadra* : a. chenille (source : Forum Natura Mediterraneo) ; b. chenille (source : E. Gil Alcubilla)

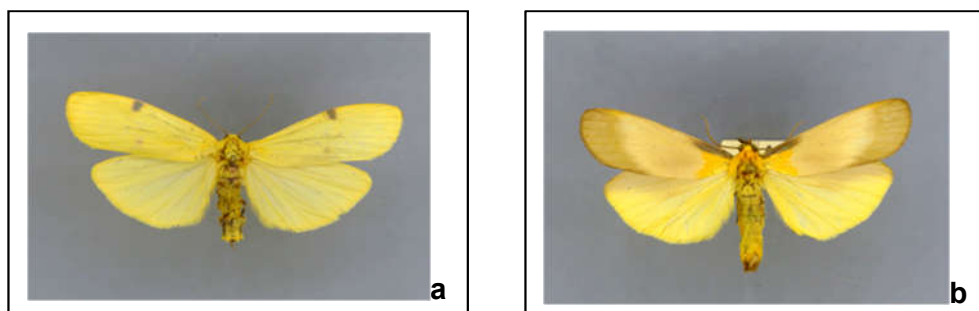


Figure 2 : *Lithosia quadra* : a. papillon femelle ; b. papillon mâle (source : P. Paolucci)

Distribution géographique de l'espèce :

Distribution mondiale :

On trouve *L. quadra* dans le sud et le centre de l'Europe, ainsi qu'en Asie jusqu'en Chine et au Japon, mais avec des sous-espèces différentes (Dubatolov *et al.*, 2016). Elle est aussi présente dans le sud du Royaume-Uni, dans le sud de la Scandinavie, ainsi que dans certaines régions méditerranéennes (sud de la Grèce, Sicile, Malte, etc.).

Distribution en France métropolitaine :

En France, *L. quadra* est présente sur l'ensemble du territoire métropolitain, Corse comprise (Cf. Figure 3).

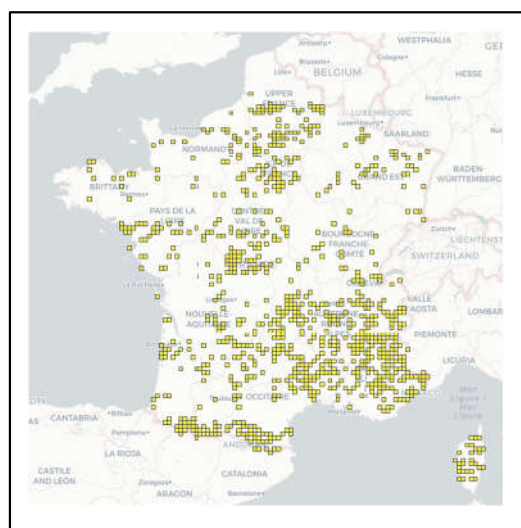


Figure 3 : Signalements de la Lithosie quadrille en France métropolitaine (source : INPN)

Distribution dans les DROM :

L'espèce n'est pas présente dans les DROM, ni dans des régions limitrophes aux DROM.

Plantes hôtes :

La chenille se nourrit de lichens (notamment de l'espèce *Xanthoria parietina* (L.) Beltr) et d'algues poussant sur les arbres (en particulier les chênes), les murs et les pierres. Lorsque l'espèce devient très abondante, en situation de pénurie de nourriture, les larves consomment les feuilles et les aiguilles des arbres et l'espèce peut alors devenir nuisible.

Habitats et paysage :

La lithosie quadrille est ubiquiste, elle fréquente tous les types de milieux (jusqu'à 1300 m d'altitude) et il n'est pas rare de la croiser en ville. Elle recherche cependant principalement des endroits humides et boisés présentant de vieux arbres recouverts de lichens. Si les conditions sont favorables elle peut devenir extrêmement abondante.

Dynamique de population :

Aucune donnée relative aux dynamiques de population n'est disponible.

Urtication :

Aucune donnée n'est disponible.

Ennemis naturels :

Aucune information n'est disponible sur les ennemis naturels spécifiques.

Méthodes de lutte :

Aucune donnée n'est disponible.

Bibliographie

Dubatolov V.V., Zolotuhin V.V. & Witt T.J. (2016). Revision of *Lithosia* Fabricius, 1798 and *Conilepia* Hampson, 1900 (Lepidoptera, Arctiidae). *Zootaxa*, 4107, 175-196.

Faucheux M.J. (2007). Les poils urticants de la chenille de *Lithosia quadra* Linnaeus 1758 : structure et fonctionnement particuliers (Lepidoptera : Arctiidae : Lithosinae). *Bull. Soc. Sc. Nat. Ouest de la France*, 29, 202-205.

Luquet G. C. (2015). Récentes pullulations de *Lithosia quadra* (Linné, 1758) à Poligny (Jura). *Alexanor*, 27(1), 37-64.

Annexe 5 : Glossaire

A

- **Aléa** : dans le cas présent, l'aléa est le phénomène de propagation des chenilles urticantes sur un espace territorial donné comprenant une probabilité de présence P, des cinétiques C et une intensité particulière I (voir aussi définition de *risque*) ; $A = P \times C \times I$.
- **Anaphylaxie** : réaction allergique la plus grave avec une atteinte multiviscérale pouvant mettre en jeu le pronostic vital se caractérisant par une association à des degrés variables de divers symptômes cliniques touchant la peau (urticaire), les muqueuses (œdème), les voies respiratoires (rhinite, bronchospasme), le système cardio-vasculaire (tachycardie, hypotension avec au maximum collapsus), le système digestif (douleurs abdominales, diarrhée, vomissements) (https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2013-11/anaphylaxie_document_de_travail_message__cles.pdf).
- **Aposématisme** : stratégie adaptative permettant à certains organismes d'émettre un signal pour avertir les prédateurs d'un danger et donc éviter la prédation.
- **Appareil urticant** : ensemble des parties du corps, normalement le dos et les flancs de la chenille, où les soies urticantes ou les épines sont produites par les cellules spécialisées de l'épiderme, groupées en tapis/tubercules ou isolées.

B

- **Biocides (produits)** : toute substance ou tout mélange, sous la forme dans laquelle il est livré à l'utilisateur, constitué d'une ou plusieurs substances actives, en contenant ou en générant, qui est destiné à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à en prévenir l'action ou à les combattre de toute autre manière par une action autre qu'une simple action physique ou mécanique (Règlement 528/2012/CE).

C

- **Cinétique** : rapidité ou vitesse d'un phénomène (ici, rapidité de la propagation des chenilles) sur une parcelle ou un territoire. Elle dépend de plusieurs critères : la zone territoriale étudiée, les conditions de propagation, etc.
- **Critère** : caractère, principe, élément auquel on se réfère pour juger, apprécier, définir un niveau de risque ou de préoccupation ou de vigilance ;
 - domaine de critères de hiérarchisation : désigne un cadre général de la hiérarchisation. Les domaines explorés sont : le domaine sanitaire, le domaine sociétal et le domaine économique.

- famille de critères de hiérarchisation : ensemble cohérent de critères permettant de rendre compte d'un point de vue. Les critères doivent être cohérents, non-redondants et exhaustifs.
 - macro-critère de hiérarchisation : sous-ensemble de la famille de critères.
 - critère de hiérarchisation : représente un point de vue spécifique ou global d'un acteur sur la hiérarchisation d'objets donnés (ex : dangers, couples aliment-danger). Ici, il doit refléter la manière avec laquelle un acteur caractérise un niveau de risque (ex. : sévérité de l'effet, niveau de l'exposition).
- **Consentement à payer** : prix maximum qu'un acheteur consent à payer pour une quantité donnée d'un bien ou d'un service.
 - **Coût d'opportunité** : le coût d'opportunité correspond à la valeur des avantages perdus et qu'on aurait pu avoir par le meilleur usage alternatif d'une ressource. Le coût d'opportunité est mesuré par les prix de marché lorsque ceux-ci résultent d'un jeu libre de l'offre et la demande.

D

- **Domage** : effet d'un aléa (ici naturel) que peut être l'atteinte au bien-être des personnes ou à l'environnement, la dégradation de biens privés et collectifs et la perturbation des activités économiques.
- **Danger** : ce qui menace la sécurité d'un enjeu.
- **Densité de populations** : mesure de la taille de la population de chenilles à partir de la proportion d'arbres attaqués ou du nombre de nids par arbre pour la processionnaire par exemple. La densité de population des chenilles est mesurée par le nombre d'individus par mètre carré, par arbre, par hectare. Elle est directement liée au risque.
- **Dissémination** : extension de la distribution géographique d'un organisme nuisible à l'intérieur d'une zone (CIPV 2021, NIMP5 (glossaire des termes phytosanitaires)).

E

- **Effet** : conséquence de l'exposition aux chenilles urticantes aussi bien sur le végétal, l'animal ou l'homme (au sens de manifestation clinique) ; cette conséquence se traduit par un/des symptôme/s spécifique/s présenté/s avec un niveau de gravité donné.
- **Enjeu** : systèmes qui comptent dans l'étude de risque. Ils représentent les éléments potentiellement vulnérables (correspondant ici au système du vivant = hommes, animaux, végétaux et système économique = tourisme, production sylvicole).
- **Épidémiologie** : étude des maladies et des facteurs de santé dans une population.

- **Épine** : structure complexe qui a la fonction de piquer tout ce qui vient en contact direct avec elle, avec des substances toxiques qui sont libérées lorsque l'épine est cassée (sensation de douleur immédiate).
- **Établissement** : établissement d'une espèce exotique dans un habitat de la zone où elle est entrée, par reproduction réussie (Cf. CIPV, 2012, NIMP5) – *i.e.* au moins un cycle biologique complet a été accompli.
- **Exuvie** : ce qui reste après la mue (changement de la peau) dans la croissance des chenilles, elle peut porter des poils urticants encore actifs.

F

- **Fraction de risque attribuable** : proportion de cas de la maladie qui seraient évités si l'exposition considérée était supprimée (Coste *et al.*, 1991).
- **Fréquence d'exposition ou d'effet** : nombre d'occurrences d'un événement, *i.e.* le nombre de fois où il se produit (www.dictionnaire-medical.fr/definitions/162-frequence). Dans ce sens, la fréquence s'exprime par deux notions qu'il convient de bien distinguer : l'incidence et la prévalence (pour ces deux derniers termes, voir leurs définitions dans ce glossaire).
 - On parle de *fréquence d'exposition* pour désigner le nombre de fois où l'exposition à des chenilles à poils urticants se produit sur une période de temps donnée ou une zone géographique donnée ;
 - On parle de *fréquence d'effet* pour désigner le nombre de fois où un effet (sanitaire notamment) se manifeste consécutivement à l'exposition à des chenilles à poils urticants.

G

- **Gravité** : propriété mesurant l'ampleur des conséquences avérées ou potentielles (dans le cadre d'une analyse multicritères du risque). En pathologie humaine, la gravité est la qualité de ce qui apporte des conséquences graves c'est-à-dire, en médecine, une invalidité ou une incapacité, des soins prolongés ou pénibles et, à l'extrême, le décès ([www.academie-medecine.fr/le-dictionnaire/index.php?q=gravité](http://www.academie-medecine.fr/le-dictionnaire/index.php?q=gravite)). Elle est évaluée par des scores de gravité comme le *poisoning-severity-score* (PSS) (<https://www.who.int/publications/m/item/poisoning-severity-score>).

I

- **Impact** : quelle que soit la nature de l'impact étudié, cet impact peut faire l'objet d'une valorisation économique si les données disponibles le permettent (cf. définition de « valorisation économique »).
- **Impacts sanitaires** : effets positifs (favorables) ou négatifs (défavorables) d'une exposition sur la santé humaine et/ou animale exprimés en termes de morbidité (nature et nombre de pathologies, réduction de la qualité de vie) ou de mortalité (nombre de décès).

- **Impacts environnementaux** : effets (positifs ou négatifs) d'une exposition sur l'environnement (écosystèmes, biodiversité, etc.) exprimés en termes d'amélioration ou de dommage sur certains compartiments environnementaux (eau, air, etc.) ou certaines espèces par exemple.
- **Impacts économiques** : effets (positifs ou négatifs) d'une exposition sur les activités exploitant les ressources naturelles (agriculture, forêt, tourisme) et activités économiques en général.
- **Imputabilité** : indique la force du lien causal entre une exposition à un agent et la survenue d'un effet de santé (symptôme, syndrome ou maladie)
- **Incidence** : en épidémiologie, l'incidence rapporte le nombre de nouveaux cas d'une pathologie observés pendant une période donnée. Cette définition correspond aussi à celle du dictionnaire médical (définition de l'Insee, <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/definition/c1060>).
- **Intensité de l'effet** : voir *gravité*.
- **Intensité de l'aléa** : sévérité d'un phénomène.

L

- **Lutte (contre un organisme nuisible)** : suppression, enrayement ou éradication de la population d'un organisme nuisible (CIPV 2021, NIMP5 (glossaire des termes phytosanitaires)).

M

- **Mesure phytosanitaire** : toute législation, réglementation ou méthode officielle ayant pour objet de prévenir l'introduction ou la dissémination d'organismes de quarantaine ou de limiter l'incidence économique d'organismes réglementés non de quarantaine (CIPV 2021, NIMP5 (glossaire des termes phytosanitaires)).
- **Mesure préventive** : mesure visant à empêcher la présence et la colonisation de nouvelles zones par les chenilles.
 - exemples : favorisation de l'implantation des ennemis naturels, gestion paysagère et sylvicole (choix de plantes hôtes pas ou peu sensibles, plantations d'arbres non-hôtes en zones sensibles comme les abords d'hôpitaux ou d'écoles), information de la population générale et des professionnels ;
 - en santé des végétaux, nous parlons de **méthode de lutte préventive**.
- **Mesure curative** : mesure visant à lutter contre les chenilles urticantes par l'intervention directe contre les chenilles.

- exemples : utilisation de produits biocides et phytopharmaceutiques à base de Btk⁷⁶, lâcher d'ennemis naturels, parasitoïdes, pièges à chenilles, pièges à phéromones, lutte mécanique (retrait des nids) ;
- en santé des végétaux, nous parlons de **méthode de lutte curative**.
- **Mode de contamination ou mode de contact**
 - **Mode de contamination direct** : exposition aux chenilles à poils urticants sans média intermédiaire avec l'homme, l'animal ou le végétal (par exemple : contact cutané ou buccal direct avec les chenilles ou les nids des chenilles) ;
 - **Mode de contamination indirect (dilution)** : exposition aux poils urticants des chenilles de l'homme, l'animal ou le végétal via des animaux ou objets contaminés par des poils urticants (par exemple : contact de l'homme via un chien domestique contaminé ou contact d'un animal d'élevage via nourriture contaminée) ;
 - **Mode de contamination aéroportée** : exposition aux soies transportées dans l'air, donc sans contact direct avec la chenille ni avec un objet contaminé.
- **Monophage** : se dit d'une espèce d'insecte se nourrissant sur une seule espèce ou un seul genre de plante.

N

- **Nymphose** : étape intermédiaire entre le dernier stade larvaire et le stade adulte. Chez les Lépidoptères, la larve se transforme en chrysalide, qui elle-même se métamorphose en papillon.

O

- **Organisme nuisible** : toute espèce, souche ou biotype de végétal, d'animal ou d'agent pathogène nuisible aux végétaux ou produits végétaux (CIPV 2021, NIMP5 (glossaire des termes phytosanitaires)).
- ***Ophtalmia nodosa*** : réaction inflammatoire oculaire à des corps étrangers tels que des soies de chenilles ou des poils d'araignées.

P

- **« Poil »** : structure située dans le tégument avec différentes fonctions. Les soies urticantes et les épines sont des poils modifiés pour la défense.
- **Polyphage** : se dit d'une espèce d'insecte se nourrissant sur un grand nombre de plantes différentes (plusieurs genres et familles).
- **Prévalence** : mesure de la présence d'une maladie dans une population donnée et sur une période donnée (<https://www.dictionnaire-medical.fr/definitions/626-prevalence>).

⁷⁶ *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki*

- **Pullulation** : multiplication en grand nombre d'une population de chenilles (dans le cas de la présente expertise). Il s'agit d'une phase du cycle démographique.

R

- **Réceptivité** : aptitude d'un organisme à héberger un agent pathogène biologique, à en permettre le développement ou la multiplication, sans forcément en souffrir.
- **Risque** :
 - il existe différentes formalisations du risque en fonction des domaines et des disciplines ;
 - en utilisant les approches systémiques, le risque est le résultat de la rencontre de deux systèmes dont l'état dit « cible » et « source » peut changer souvent la finesse d'analyse attendue ;
 - la formulation suivante : système source « aléa » et système cible « enjeux vulnérable » est celle qui a été sélectionnée dans le groupe de travail ;
 - en épidémiologie (humaine ou animale), un risque correspond à la probabilité qu'une maladie ou qu'un phénomène pathologique survienne à un moment donné ou pendant un intervalle de temps (<http://aeema.vet-alfort.fr/index.php/ressources-en-epidemiologie/terminologie-en-epidemiologie-animale/terminologie>) ;
 - en analyse de risque, un risque correspond à la probabilité de la survenue d'un danger, combinée à l'importance de ses conséquences indésirables (<http://aeema.vet-alfort.fr/index.php/ressources-en-epidemiologie/terminologie-en-epidemiologie-animale/terminologie>).

S

- **Scénario** : succession de causes expliquant un phénomène central qui conduit à des conséquences. Il existe autant de scénarios que de phénomènes. La construction d'un scénario de risque consiste à regrouper l'ensemble des critères caractérisant le phénomène et les enjeux vulnérables. La rencontre d'un phénomène et des enjeux constitue un risque.
- **Sensibilité (à un agent pathogène)** : aptitude d'un organisme à exprimer cliniquement la maladie après un contact avec un agent pathogène.
- **Sensibilisation** : capacité de l'organisme à développer une réaction immunitaire de type allergique.
- **Soies urticantes** : les vraies soies sont des « poils » modifiés par la perte de la connexion avec le tégument de la chenille et elles sont détachables. Les soies urticantes libèrent des toxines lorsqu'elles pénètrent dans l'épiderme et/ou la muqueuse du vertébré (animal ou Homme). Les soies modifiées ont une base connectée au tégument de la chenille mais qui peut être cassée facilement par contact.
- **Sporadique** : se dit de cas isolés d'une atteinte par un agent pathogène (ici les soies urticantes) chez une ou plusieurs espèces animales dans une région géographique donnée ou sur une période déterminée.

- **Stade de développement** : étape du développement d'un organisme compris entre deux changements ou deux mues. Pour les Lépidoptères, on distingue généralement le stade œuf (embryon), puis plusieurs stades larvaires, la chrysalide et l'adulte.

T

- **Tégument** : Structure qui constitue la partie extérieure des arthropodes, elle est changée complètement pendant la mue.
- **Topographie** : partie du revêtement cutané ou muqueux exposée et/ou atteinte.

U

- **Urticant** : responsable d'une réaction inflammatoire locale (différente des lésions réelles d'urticaire).

V

- **Valorisation économique** : dans le cadre de cette expertise, la valorisation est comprise comme l'attribution d'une valeur monétaire (identification, quantification puis monétarisation).
- **Vulnérable** : qui est exposé aux atteintes d'une maladie, qui peut servir de cible facile aux attaques d'un ennemi.
- **Vulnérabilité** :
 - caractère vulnérable de quelque chose ou de quelqu'un ;
 - synonyme de *sensibilité* : aptitude d'une espèce à présenter des symptômes et des dommages suite à une infection par un agent pathogène ;
 - relatif également à un espace géographique/un territoire.

Annexe 6 : Questionnaire adressé à des associations de dermatologues

Questionnaire

Exposition des populations aux chenilles à poils urticants

Bonjour,

L'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) a été saisie par le ministère en charge de la santé pour mener une expertise sur l'exposition aux chenilles émettrices de poils urticants. Un groupe de travail a été créé à cet effet en janvier 2021. Les conclusions de ses travaux seront rendues fin 2022 et porteront sur les risques sanitaires liés à l'exposition à ces chenilles et les recommandations de mesures de gestion.

Le groupe de travail, faisant le constat d'une absence de données de terrain sur l'exposition des populations aux chenilles à poils urticants, a décidé de recueillir ce type de données en organisant une enquête auprès des professionnels de santé.

Dans le cadre de cette expertise, nous aurions besoin de recueillir auprès de professionnels de santé des données d'exposition aux chenilles à poils urticants en France.

Nous vous proposons donc de remplir le questionnaire ci-dessous pour l'année 2020. Nous vous enverrons un message en fin d'année avec le même questionnaire pour collecter les données relatives à l'année 2021.

Nous ne manquerons pas de revenir vers vous pour vous restituer les principaux enseignements que le groupe de travail aura pu tirer de la présente enquête.

Nous vous remercions très sincèrement pour votre participation à cette enquête.

1) **Dans quel département exercez-vous ?**

2) **Voyez-vous en consultation des patients atteints de dermatite liée aux chenilles urticantes ?**

Oui

Non

3) **Si oui, pouvez-vous chiffrer le nombre de patients vus ayant présenté ce type de lésions :**

– En 2020 :

Catégorie d'âge des patients reçus en 2020 (*nombre de patients*) :

– 0-5 ans :

– 5-18 ans :

– >18 ans :

4) **A quelle période avez-vous reçus ces patients ?** (si possible avec le nombre de patients...)

- Hiver :
- Printemps :
- Été :
- Automne :

5) **Pouvez-vous préciser les circonstances d'exposition :**

- Exposition professionnelle :

Oui Non

- Si observation d'expositions professionnelles, préciser le type de profession concernée (*nombre de patients si possible*) :

- Travailleur forestier :
- Agriculture :
- Elevage :
- Activités équestres :
- Vétérinaire :
- Travail dans des parcs et jardins (travailleurs des espaces verts, élagueurs, entreprises du paysage, collecte déchets verts) :
- Pépiniéristes/horticulteurs :
- Autres (à préciser) :

- Exposition non professionnelle, préciser l'activité pratiquée lors de l'exposition (*nombre de patients si possible*) :

- Promenade en forêts :
- Coupe de bois :
- Activités de plein air (promenade, sport, jeux de plein air, repas en extérieur, ...) :
- Jardinage (tonte, taille de haie...) :
- Intervention contre les chenilles :
- Autres (à préciser) :

- Lieu de contamination supposé (*nombre de patients si possible*):

- Zone urbaine :

- Parc urbain
- Voirie
- Jardin personnel
- Forêt
- Autres (à préciser : ex., cour d'école)

- Zone rurale :

- Voirie
- Jardin personnel
- Forêt
- Prairie
- Autres (à préciser : ex., cour d'école)

- Mode de contamination (*nombre de patients si possible*):
 - Contact direct avec les chenilles/nids
 - Contact aéroporté
 - Autre (préciser, ex. : objet contaminé)
 - Inconnu

- Identification de la chenille :

Oui Non

- Si oui (*Cf. liens ci-dessous, plateforme Ephytia*) :
 - Processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*)
 - Processionnaire du chêne (*Thaumetopoea processionea*)
 - Cul-brun (*Euproctis chrysorrhoea*) (arbres feuillus et arbustes)

Processionnaire du pin (*Thaumetopoea pityocampa*) : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/19306/Forets-Processionnaire-du-pin>

Processionnaire du chêne (*Thaumetopoea processionea*) : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/19062/Forets-Processionnaire-du-chene>

Cul-brun (*Euproctis chrysorrhoea*) : <http://ephytia.inra.fr/fr/C/19064/Forets-Bombyx-cul-brun>

Pouvez-vous préciser les conséquences ? :

- Type d'atteinte (*nombre de patients si possible*) :
 - Lésions cutanées classiques (dermatite papuleuse prurigineuse)
 - Urticaire de contact (apparition en moins d'une heure et disparition en quelques heures)
 - Atteinte respiratoire
 - Atteinte conjonctivale
 - Autre (à préciser)
- Quel a été le type de prise en charge : (*nombre de patients si possible*)
 - Traitement uniquement local
 - Traitement systémique
 - Recours aux services d'urgence
 - Hospitalisation

Le questionnaire est à envoyer à l'adresse suivante : gt.chenilles-urticantes@anses.fr (si possible avec le nombre de patients...)

Annexe 7 : Données des deux centres anti-poison vétérinaires de Lyon et Nantes

Région	1991-2005	2006-2021	Total
Hauts-de-France	1	11	12
Normandie	1	2	3
Grand Est	5	11	16
Corse	6	1	7
Bretagne	7	27	34
Ile-de-France	11	54	65
Bourgogne-France-Comté	15	24	39
Centre-Val de Loire	17	21	38
Nouvelle-Aquitaine	26	62	88
Pays-de-la-Loire	31	58	89
Occitanie	40	51	91
Provence-Alpes-Côtes d'Azur	47	39	86
Auvergne-Rhône-Alpes	92	100	192
Total	299	461	760

Nombre de cas par région administrative regroupés en deux périodes (1991-2005 ; 2006-2021)

	Hauts-de-France	Normandie	Ile-de-France	Bretagne	Pays-de-la-Loire	Grand Est	Centre-Val de Loire	Bourgogne-France-Comté	Auvergne-Rhône-Alpes	Nouvelle-Aquitaine	Occitanie	Provence-Alpes-Côte d'Azur	Corse
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1	2	2	1
1992	0	0	0	2	2	0	3	0	4	1	3	1	1
1993	0	0	1	0	1	0	1	2	6	1	1	0	0
1994	0	0	0	1	4	0	2	0	0	1	2	2	0
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	3	4	0
1996	0	0	1	0	1	0	0	0	4	2	1	4	0
1997	0	0	0	0	2	0	0	1	12	2	4	7	0
1998	0	0	3	0	3	0	1	1	5	3	5	3	1
1999	0	0	1	0	1	0	2	3	6	4	4	8	3
2000	1	0	1	0	0	1	0	2	10	0	1	3	0
2001	0	0	1	0	3	0	1	2	11	2	6	3	0
2002	0	0	0	1	3	1	5	2	12	3	3	6	0
2003	0	0	2	1	5	2	2	1	8	4	2	0	0
2004	0	1	0	2	3	1	0	1	3	0	1	1	0
2005	0	0	1	0	3	0	0	0	1	2	2	3	0
2006	0	0	0	2	2	0	1	0	4	0	2	4	0
2007	0	0	1	2	1	0	1	0	2	0	4	1	0
2008	0	0	5	1	3	0	2	1	8	5	1	3	0
2009	1	0	4	1	3	0	2	1	4	7	2	3	0
2010	0	0	2	2	4	1	1	1	8	1	1	2	0
2011	0	0	5	1	10	0	3	2	13	7	5	3	0
2012	0	0	3	3	2	0	0	0	4	4	1	5	0
2013	0	0	2	3	5	0	1	3	3	1	2	6	0
2014	1	0	1	0	3	1	3	3	13	5	8	3	0
2015	0	0	3	2	7	0	0	1	5	7	9	2	0
2016	3	0	2	0	2	1	2	0	9	0	2	2	1
2017	2	0	4	0	3	0	1	6	10	7	5	1	0
2018	0	0	5	2	5	3	1	0	4	5	1	2	0
2019	0	0	2	3	3	1	1	3	2	7	1	2	0
2020	1	0	6	2	2	2	1	1	7	1	4	0	0
2021	3	2	9	3	3	2	1	2	4	5	3	0	0
TOTAL	12	3	65	34	89	16	38	39	192	88	91	86	7

Répartition des cas d'exposition à des chenilles processionnaires chez les chiens et les chats rapportés aux CAPV par année et par région administrative

Annexe 8 : Méthodes pour l'évaluation économique des services écosystémiques culturels

La méthode des prix hédoniques

La méthode des « prix hédoniques » ou « hédonistes » part du principe que le prix d'un bien ou d'un service dépend de ses caractéristiques. Cette méthode est souvent appliquée dans le domaine de l'immobilier, en particulier pour calculer ou corriger des indices de prix, mais aussi pour l'évaluation de biens non marchands. Elle se base sur l'observation et l'analyse économétrique (*i.e.*, statistique) de la variation des prix de vente sur un marché réel et suppose que ces variations sont corrélées à la présence et la qualité de différents attributs à des niveaux spécifiques. Ainsi, le prix d'une maison peut être déterminé par le nombre de pièces, l'emplacement, la proximité de services publics, la proximité de forêts ou d'espaces verts, etc. (*i.e.*, caractéristiques ou attributs). Cette méthode vise à identifier statistiquement l'impact spécifique d'une caractéristique sur le prix du bien immobilier (*i.e.*, sa contribution marginale). Cet impact spécifique nous donne la valeur économique implicite de la caractéristique.

Cette méthode, robuste et bien établie, permet notamment d'évaluer monétairement les services écosystémiques culturels relatifs au cadre de vie. Or, comme le soulignent les résultats de la revue de la littérature conduite par le GT, la présence et l'activité de ravageurs forestiers est susceptible d'induire une dégradation du cadre de vie par le biais d'effets directs ou indirects, cette dernière pouvant impacter significativement les prix de l'immobilier.

La méthode des coûts de déplacement

La méthode des coûts de déplacement a été initialement mise au point pour évaluer spécifiquement les loisirs de plein air et les activités récréatives pratiquées dans les sites naturels. L'objectif de la méthode est d'établir la demande récréative à partir de la fréquentation d'un site ou d'un ensemble de sites d'accès libre au travers les dépenses de transport que les individus engagent pour s'y rendre. Généralement, ces dépenses peuvent être estimées par trois façons. La première ne prend en compte que les coûts du carburant, la deuxième le coût total du véhicule (entretien, assurance et carburant) et la troisième les coûts perçus tels que déclarés par les répondants. Certaines études intègrent également le coût d'opportunité du temps passé sur le site. La fréquentation d'un site est une fonction décroissante des coûts, mais une fonction croissante de la qualité de l'expérience du fait des conditions récréatives que les sites proposent. L'application de la méthode des coûts de déplacement permet de disposer d'une mesure des bénéfices récréatifs d'une sortie en forêt. En revanche, elle ne fournit pas une évaluation du consentement à payer (CaP) individuel pour la mise en place d'action de gestion des chenilles urticantes afin de permettre le maintien des usages des forêts et les bénéfices des services culturels.

Les méthodes des préférences déclarées

Les méthodes des préférences déclarées (méthode d'évaluation contingente et la méthode des choix discrets) s'appuient pour l'essentiel sur un protocole d'enquête permettant de faire révéler directement aux individus la valeur qu'ils retirent de la fréquentation de la forêt et des différents usages qu'ils en font, par le biais de leur consentement à payer (CaP), pour soutenir actions de gestion de la présence des chenilles urticantes sous forme de scénario.

D'une manière générale, la **méthode d'évaluation contingente** propose deux alternatives de choix aux enquêtés : le statu quo (pas d'intervention publique ce qui se traduirait par la présence des chenilles urticantes) et une situation où l'état de la forêt est contingent de l'action de gestion financée directement par une contribution financière individuelle. Deux types de véhicule de paiement peuvent être utilisés : une augmentation des prélèvements obligatoires (taxe de séjour ou taxe foncière selon le type de bénéficiaires cibles : touristes ou résidents), ou un ticket de parking. Les procédures de révélation empirique des préférences sont simples. On peut utiliser une question en format ouvert se présentant comme suit : « Si..., combien êtes-vous prêt à payer ? », ou en format fermé selon la formule suivante : « Êtes-vous prêt à payer ...€, pour ...? ». L'application de la méthode d'évaluation contingente est sujette à de nombreuses critiques. C'est pourquoi la méthode des expériences de choix discrets est la plus mobilisée par pallier à certaines de celles-ci.

Comme la méthode d'évaluation contingente, la **méthode des expériences de choix discrets** (MECD) est une procédure de génération d'informations sur les préférences des individus, au travers de scénarios hypothétiques. Sa mise en œuvre se déroule en deux étapes. La première étape est relative à la génération des scénarios de choix alternatifs et à la mise en place d'un protocole d'enquête. La deuxième étape est dédiée au traitement des réponses individuelles à ces différents scénarios pour disposer les montants des CaP des individus. L'application de la MECD à l'évaluation des impacts des chenilles urticantes sur les services culturels, considèrent ces services comme des services multi-attributs, c'est-à-dire dont la qualité et la disponibilité (par exemple) sont définies et affectées par les actions de gestion qui seront envisagées. Ce sont alors des scénarios de services multi-attributs qui sont soumis à l'évaluation. Chaque scénario est défini par un ensemble d'attributs non monétaires et un attribut monétaire correspondant à la part de l'individu dans le financement d'une action de gestion qu'on lui soumet. Cet attribut monétaire peut s'exprimer soit sous forme de distance supplémentaire à parcourir pour bénéficier de ce service (coût de déplacement) ou par l'acquittement d'une taxe/ticket selon le cas. Pour le scénario de *statu-quo* (pas d'action de gestion), cet attribut monétaire prend la valeur nulle. Les différents attributs selon leurs niveaux sont par la suite combinés pour générer des scénarios alternatifs qui vont être présentés aux enquêtés dans le cadre d'une « série de choix » ou « expérience » composée généralement de deux scénarios alternatifs à comparer avec un scénario de référence qui, lui, est commun pour l'ensemble des séries de choix soumises à l'évaluation. Au moment de l'enquête, chaque individu doit sélectionner, pour chaque série, son scénario préféré. On peut ainsi, par le renouvellement de l'expérience de choix, tenir compte des relations entre les attributs et entre les différents niveaux de chacun des attributs dans les préférences individuelles. L'utilité associée à chaque scénario serait ici fonction des différentes variations des attributs du service culturel fourni par la forêt. Et les résultats de l'analyse économétrique permettraient de reconstituer les montants des CaP individuels pour chacun des attributs non monétaires.

La méthode du transfert de bénéfices

Pour pallier le coût élevé d'une évaluation originale, la méthode de transfert des bénéfices est au centre du débat sur l'évaluation environnementale. Cette méthode consiste à construire le bénéfice de la gestion d'un site récréatif dans une région à partir des résultats d'évaluation d'action de gestion similaires dans d'autres régions.

Deux procédures peuvent être utilisées pour transférer les valeurs. Le premier conduit à attribuer au nouveau site la valeur moyenne obtenue sur un site similaire pour lequel les données sont disponibles. La seconde propose de récupérer l'ensemble des coefficients des variables explicatives d'une équation de consentement à payer, pour calculer, avec les nouvelles valeurs de ces variables, les bénéfices de la politique sur le nouveau site. L'équation de transfert peut correspondre à la fonction de CaP d'un seul site. Dans ce cas, les variables explicatives sont les caractéristiques socio-économiques des

bénéficiaires. Elle peut être également issue d'une meta-analyse d'un ensemble d'études, les variables explicatives sont alors les caractéristiques des études.

La sélection des études de référence doit respecter un ensemble de critères. Deux d'entre eux sont très importants. Premièrement, les biens évalués doivent présenter des similitudes en termes de qualité, de disponibilité et d'évolution de leurs caractéristiques. Secondement, les valeurs utilisées doivent être obtenues à partir de techniques empiriques adéquates donnant lieu à une fonction de CaP correctement spécifiée.

Annexe 9 : Services écosystémiques culturels fournis par les systèmes vivants

Table A - 1 : Extrait de la classification CICES – Services écosystémiques culturels fournis par les systèmes vivants

Division	Groupe	Classe	Définition
Interactions directes, <i>in situ</i> avec des systèmes vivants	Interactions physiques et expérientielles avec l'environnement naturel	Caractéristiques des systèmes vivants qui permettent la pratique d'activités favorisant la santé, la récupération ou le plaisir par le biais d'interactions actives ou immersives.	Utilisation de l'environnement pour le sport et les loisirs ; utilisation de la nature pour rester en forme
		Caractéristiques des systèmes vivants qui permettent la pratique d'activités favorisant la santé, la récupération ou le plaisir par le biais d'interactions passives ou d'observations.	Observer les plantes et les animaux là où ils vivent ; utiliser la nature pour se détresser
	Interactions intellectuelles et représentatives avec l'environnement naturel	Caractéristiques des systèmes vivants permettant la recherche scientifique ou la production de connaissances écologiques traditionnelles	Mener des recherches sur la nature
		Caractéristiques des systèmes vivants qui permettent l'éducation et la formation	Etudier la nature
		Caractéristiques des systèmes vivants qui ont une résonance en termes de culture ou de patrimoine	Les éléments de la nature qui aident les gens à s'identifier à l'histoire ou à la culture de l'endroit où ils vivent ou dont ils sont originaires.
		Caractéristiques des systèmes vivants qui permettent des expériences esthétiques	La beauté de la nature
Interactions indirectes, à distance, souvent en l'intérieur, avec des systèmes vivants qui ne nécessitent pas de présence dans l'environnement naturel*	Interactions spirituelles, symboliques et autres avec l'environnement naturel	Éléments des systèmes vivants qui ont une signification symbolique	La nature comme emblème national ou local
		Éléments des systèmes vivants qui ont une signification sacrée ou religieuse	Les éléments de nature qui ont une importance spirituelle pour les sociétés humaines
		Éléments de systèmes vivants utilisés pour le divertissement ou la représentation	Les éléments de nature évoqués dans les œuvres artistiques (films, livres, etc.)
	Autres caractéristiques de l'environnement naturel ayant une valeur de non-usage	Caractéristiques ou particularités des systèmes vivants qui ont une valeur d'existence	Les éléments de la nature qui, selon nous, doivent être conservés
		Caractéristiques ou particularités des systèmes vivants qui ont une valeur d'option ou de legs	Les éléments de la nature dont nous voulons que les générations futures profitent ou utilisent

* Les services écosystémiques appartenant à cette catégorie ne sont pas considérés comme des services écosystémiques culturels dans le cadre de l'Efese. Ces derniers relèvent du patrimoine naturel.

Annexe 10 : Arrêtés d'interdiction de fréquentation de massif mis en œuvre entre 2016 et 2021 en région Grand Est

Table A - 2 : Arrêtés d'interdiction de fréquentation de massif mis en œuvre entre 2016 et 2021 en région Grand Est

Commune	Département	Date de l'arrêté	Date de début	Lieu d'application
Sarreguemines	Moselle	21/06/2019	21/06/2019	Forêt du Buchholz
Montbronn	Moselle	27/06/2019	27/06/2019	Parcours de santé
Goetzenbruck	Moselle	04/07/2019	04/07/2019	Forêt communale
Hundling	Moselle	10/07/2019	10/07/2019	Forêts de Kellwald et Rebenwald
Vigneulles les Hattonchatel	Meuse	08/09/2016	08/09/2016	Massif de la Woèvre
Les Forges	Vosges	26/05/2020	26/05/2020	Parcours de santé
Remoncourt	Vosges	28/05/2020	28/05/2020	Forêt communale
Chamagne	Vosges	28/05/2020	28/05/2020	Forêt communale
Châtel/Moselle	Vosges	15/05/2020	15/05/2020	Forêt communale
Domèvre sur Avière	Vosges	29/05/2020	29/05/2020	Forêt communale
Provenchères les Darney	Vosges	28/05/2020	28/05/2020	Forêt communale
Sanchev	Vosges	29/05/2020	29/05/2020	Forêt communale
Uxegney	Vosges	27/05/2020	27/05/2020	Parcours de santé
Deyviller	Vosges	29/05/2020	29/05/2020	Parcours de santé
Villoncourt	Vosges	03/06/2020	03/06/2020	Forêt communale
Haillinville	Vosges	04/06/2020	04/06/2020	Forêt communale
Claudon	Vosges	04/06/2020	04/06/2020	Forêt communale
Morville	Vosges	28/05/2020	28/05/2020	Forêt communale
Essegney	Vosges	29/05/2020	29/05/2020	Territoire communal
Chavelot	Vosges	28/05/2020	28/05/2020	Forêt communale
Thiraucourt	Vosges	05/06/2020	06/06/2020	Forêt communale

Commune	Département	Date de l'arrêt	Date de début	Lieu d'application
Vrecourt	Vosges	2020	2020	Non spécifié
Florémont	Vosges	2020	2020	Non spécifié
Haillainville	Vosges	2020	2020	Non spécifié
Houécourt	Vosges	2020	2020	Non spécifié
La Vode les Bains	Vosges	2020	2020	Non spécifié
Longchamp	Vosges	2020	2020	Non spécifié
Ménarmont	Vosges	2020	2020	Non spécifié
Neufchateau	Vosges	2020	2020	Non spécifié
Oncourt	Vosges	2020	2020	Non spécifié
Remiremont	Vosges	2020	2020	Non spécifié
Thiraucourt	Vosges	2020	2020	Non spécifié
Tremontzey	Vosges	2020	2020	Non spécifié
Chatel sur Moselle	Vosges	2021	2021	Non spécifié
Hergugney	Vosges	20/04/2021	20/04/2021	Forêt communale
Moriville	Vosges	30/03/2021	30/03/2021	Forêt communale
Remoncourt	Vosges	28/05/2021	28/05/2021	Forêt communale

Annexe 11 : Définition des unités forestières concernées par la mise en œuvre d'arrêtés d'interdiction de fréquentation

Table A - 3 : Correspondance entre les forêts communales et les unités forestières concernées par la mise en œuvre d'arrêtés d'interdiction de fréquentation

Commune	INSEE	Id forest	% de l'unité forestière fermée	% forêt fermée	Main
La Vode les Bains	88029	53532	80	15	0
La Vode les Bains	88029	53760	100	4	0
La Vode les Bains	88029	53762	100	4	0
La Vode les Bains	88029	53776	100	5	0
La Vode les Bains	88029	53781	100	15	0
La Vode les Bains	88029	53782	100	25	1
La Vode les Bains	88029	53827	50	4	0
La Vode les Bains	88029	53830	100	5	0
La Vode les Bains	88029	53840	40	14	0
La Vode les Bains	88029	53842	100	4	0
La Vode les Bains	88029	53850	30	5	0
Chamagne	88084	53428	30	20	0
Chamagne	88084	53429	10	20	0
Chamagne	88084	53631	30	20	0
Chamagne	88084	54165	20	20	0
Chamagne	88084	54173	90	20	1
Chatel-sur-moselle	88094	54065	30	50	0
Chatel sur Moselle	88094	54065	30	55	0
Chatel-sur-moselle	88094	54260	100	45	1
Chatel sur Moselle	88094	54260	100	45	1
Chavelot	88099	53543	20	80	1
Claudon	88105	53708	10	10	0
Claudon	88105	53711	10	20	0
Claudon	88105	53864	20	20	0
Claudon	88105	53867	40	50	1
Deyviller	88132	54000	20	10	0
Deyviller	88132	54294	25	70	1
Deyviller	88132	54298	20	10	0
Deyviller	88132	54318	20	10	0
Domevre-sur-aviere	88142	53542	20	10	0
Domevre-sur-aviere	88142	53543	10	30	0
Domevre-sur-aviere	88142	53995	40	60	1
Essegney	88163	53428	20	50	0
Essegney	88163	54159	50	50	1
Florémont	88173	53540	20	10	0
Florémont	88173	54129	80	35	1
Florémont	88173	54132	60	30	0
Florémont	88173	54163	100	25	0
Les-forges	88178	54301	20	10	0
Les-forges	88178	54305	80	90	1
Haillainville	88228	53422	70	70	1
Haillainville	88228	53422	40	70	1
Haillainville	88228	53423	30	30	0
Haillainville	88228	54423	40	30	0
Herquqney	88239	53612	70	50	0
Herquqney	88239	54168	100	50	1

Commune	INSEE	Id forest	% de l'unité forestière fermée	% forêt fermée	Main
Houécourt	88241	54203	40	70	0
Houécourt	88241	54228	100	30	1
Longchamp	88273	54000	70	60	1
Longchamp	88273	54294	20	20	0
Longchamp	88273	54318	50	10	0
Longchamp	88273	54319	15	5	0
Ménarmont	88298	53421	20	80	1
Ménarmont	88298	54113	50	10	0
Ménarmont	88298	54122	40	10	0
Moriville	88313	54081	95	20	1
Moriville	88313	54092	80	20	0
Moriville	88313	54149	30	60	0
Moriville	88313	54153	30	20	0
Neufchateau	88321	54144	20	35	0
Neufchateau	88321	54155	100	25	1
Neufchateau	88321	54180	30	20	0
Neufchateau	88321	54199	10	10	0
Neufchateau	88321	54221	60	10	0
Provencheres-les-	88360	53942	30	30	0
Provencheres-les-	88360	53960	30	40	1
Provencheres-les-	88360	53973	20	30	0
Remiremont	88383	53531	100	20	0
Remiremont	88383	53826	100	25	0
Remiremont	88383	53829	95	25	1
Remiremont	88383	53835	100	20	0
Remiremont	88383	53851	40	10	0
Remoncourt	88385	54005	80	95	1
Remoncourt	88385	54010	50	30	0
Remoncourt	88385	54025	50	30	0
Remoncourt	88385	54311	25	30	0
Remoncourt	88385	54321	10	10	0
Sanchev	88439	53880	25	90	0
Oncourt	88465	53543	100	70	1
Thiraucourt	88469	54207	20	95	1
Thiraucourt	88469	54207	100	20	1
Tremontzey	88479	53713	60	30	0
Tremontzey	88479	53724	20	70	1
Uxeqney	88483	53542	40	60	0
Uxeqney	88483	54279	50	30	1
Uxeqney	88483	54305	90	10	0
Villoncourt	88509	54191	10	100	1
Vrecourt	88524	53582	30	60	1
Vrecourt	88524	53913	100	40	0

La valeur indiquée dans la colonne “Main” est égale à “1” si l'unité forestière considérée représente la majeure partie de la forêt fermée.

Annexe 12 : Hypothèses du modèle d'utilité

Table A - 4 : Principales hypothèses du modèle d'utilité estimé par Abildtrup *et al.* (2021)

Hypothèse	Justification	Implications
Seules les forêts de plus de 25 hectares ont été incluses dans l'estimation du modèle d'utilité aléatoire et dans la simulation des visites.	Les forêts de faible superficie ont été exclues afin de réduire l'ensemble de données et ainsi le temps de calcul nécessaire à l'estimation du modèle. Très peu de visiteurs se sont rendus dans des forêts d'une superficie <25 ha (voir tableau A16, Abildtrup <i>et al.</i> , 2021).	La fréquentation estimée dans les forêts incluses dans le jeu de données final peut être surestimée car le nombre total de visites est alloué à une surface plus petite (sans les forêts de faible superficie). La valeur marginale de la fermeture d'une forêt est également surestimée car moins de substituts sont disponibles dans notre modèle par rapport à la réalité.
Un adulte se rend en moyenne 21,7 fois en forêt au cours d'une période de 12 mois.	Hypothèse basée sur le nombre moyen de visites réalisé par un adulte tel qu'estimé par Abildtrup <i>et al.</i> en tenant compte des non-visiteurs.	En réalité, si un visiteur potentiel a facilement accès à une forêt, le nombre attendu de visites annuelles sera plus élevé que si peu de forêts sont disponibles dans le voisinage. Par conséquent, on peut s'attendre à ce que le nombre de visites soit légèrement surestimé dans les régions à faible densité forestière et sous-estimé dans les régions à forte densité forestière.
On considère un coût de transport moyen par km (0,36 €/km dans les deux sens) sans tenir compte du mode de transport.	Hypothèse standard pour ce type de modélisation. ⁷⁷	
On considère une fonction d'utilité identique pour l'ensemble des usagers des forêts	Afin de réduire la complexité de la procédure d'estimation, Abildtrup <i>et al.</i> appliquent un modèle logit conditionnel sans aucune variable régionale ou socio-démographique. L'hétérogénéité non observée n'est pas non plus prise en charge par le modèle.	L'utilisation de modèles régionaux, aurait permis un meilleur ajustement du modèle et potentiellement la prise en compte de davantage de caractéristiques forestières dans le modèle d'utilité. Cependant, l'objectif de la présente étude n'est pas d'étudier l'hétérogénéité des préférences pour les visites en forêt, mais d'estimer la perte récréative moyenne induite par la mise en œuvre des mesures considérées.
Les forêts situées dans une zone de 50 km autour du lieu de résidence ⁷⁸ sont prises en compte dans l'ensemble de choix d'un visiteur.	La plupart des visites ont lieu à proximité du domicile (73 % à moins de 40 km, voir Abildtrup <i>et al.</i> p39). Cette hypothèse reflète donc la réalité des comportements et permet de réduire le temps de calcul.	Cela implique qu'un visiteur a accès à moins d'alternatives que dans la réalité, car il pourrait parcourir plus de 50 km pour se rendre dans une autre forêt. Cette restriction a impact minime sur les résultats, car seule une très petite partie des forêts accessibles dans un rayon de 50 km est fermée dans l'analyse réalisée dans la présente expertise.
Le lieu de résidence est affecté à la mairie pour l'ensemble des résidents d'une même commune.	Il s'agit d'une contrainte d'estimation : d'une part bien qu'Abildtrup <i>et al.</i> aient accès aux coordonnées de la résidence des usagers des forêts interrogées dans l'enquête	Cela implique que le modèle est moins précis pour prédire le choix de la forêt à visiter dans le voisinage très proche, puisque ce choix est sensible à la localisation exacte de la résidence d'un usager. Cependant, cette

⁷⁷ Abildtrup, J., Olsen, S. B., & Stenger, A. 2015. Combining RP and SP data while accounting for large choice sets and travel mode – an application to forest recreation. *Journal of Environmental Economics and Policy*. 4(2), 177–201.

⁷⁸ Pour rappel, le lieu de résidence est affecté à la mairie pour l'ensemble des résidents d'une même commune.

Hypothèse	Justification	Implications
	(approximativement à partir d'un clic sur une carte), cela n'est pas le cas pour l'ensemble de la population ; d'autre part, réaliser une estimation des choix individuels à partir de données de résidence individuelles ne serait pas réalisable du point de vue de la puissance de calcul nécessaire.	hypothèse ne devrait, en moyenne, pas influencer les résultats globaux de la présente analyse.
Estimations réalisées sur la base de données de fréquentation et de coût de déplacement datant de 2016-2018.	Pas d'accès à des données plus récentes	On suppose que cela a une influence limitée sur les résultats. Il pourrait cependant être intéressant d'évaluer l'effet de la pandémie de COVID-19 et de l'augmentation récente des frais de déplacement.

Annexe 13 : Famille de critères de l'aléa relatif à la processionnaire du pin, à la processionnaire du chêne et au bombyx cul-brun

Tableau 1 : Famille des critères de l'aléa processionnaire du pin

Id.	Intitulé	Désignation	Nature de l'échelle	Sens des performances	Incertitudes	Références bibliographiques
Critère n°1	pin maritime en milieu forestier	probabilité de présence de pin maritime (plante hôte)	échelle quantitative (surface donnée en ha à l'échelle communale)	sens croissant du paramètre	surface mesurée à l'échelle départementale à partir d'images satellitaires certains types de formations végétales recouvrent des mélanges forestiers	BD IFN
Critère n°1bis	occurrence de pins maritimes observée par commune : statut d'attribut	probabilité de présence de pin maritime (plante hôte)	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	observation non systématique	BD INPN
Critère n°2bis	occurrence de cèdres observée par commune : statut d'attribut	probabilité de présence de cèdre (plante hôte)	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	observation non systématique	BD INPN
Critère n°3	surface de pin noir (= pin laricio) en milieu forestier	probabilité de présence de pin noir (plante hôte)	échelle quantitative (surface donnée en ha à l'échelle communale)	sens croissant du paramètre	Cf. Critère 1	BD IFN
Critère n°3bis	occurrence de pins noirs observée par commune : statut d'attribut	probabilité de présence de pin noir (plante hôte)	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	observation non systématique	BD INPN

Id.	Intitulé	Désignation	Nature de l'échelle	Sens des performances	Incertitudes	Références bibliographiques
Critère n°4	surface de pin sylvestre en milieu forestier	probabilité de présence de pin sylvestre (plante hôte)	échelle quantitative (surface donnée en ha à l'échelle communale)	sens croissant du paramètre	surface mesurée à l'échelle départementale à partir d'images satellitaires certains types de formations végétales recouvrent des mélanges forestiers	BD IFN
Critère n°4bis	occurrence de pins sylvestres observée par commune : statut d'attribut	probabilité de présence de pin sylvestre (plante hôte)	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	observation non systématique	BD INPN
Critère n°5	surface de pin d'Alep en milieu forestier	probabilité de présence de pin d'Alep (plante hôte)	échelle quantitative (surface donnée en ha à l'échelle communale)	sens croissant du paramètre	surface mesurée à l'échelle départementale à partir d'images satellitaires certains types de formations végétales recouvrent des mélanges forestiers	BD IFN
Critère n°5bis	occurrence de pins d'Alep observée par commune : statut d'attribut	probabilité de présence de pin d'Alep (plante hôte)	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	observation non systématique	BD INPN
Critère n°6	influence de la précipitation sur la population de chenilles de l'année n+1 (écart entre le niveau de précipitation locale et le niveau moyen de précipitation) - période janvier/mars	probabilité de survie des chenilles de printemps	échelle quantitative : écarts positifs ont un effet positif sur la densité de population (mm)	sens croissant du paramètre	2018 : année choisie pour la collecte des données météorologiques car représentative des valeurs météorologiques moyennes sur la période récente le site meteomanz repose sur 157 stations réparties sur l'ensemble du territoire national métropolitain avec une représentativité variable selon les zones.	site météomanz (www.meteomanz.com)

Id.	Intitulé	Désignation	Nature de l'échelle	Sens des performances	Incertitudes	Références bibliographiques
Critère n°7	influence de la précipitation sur la population de chenilles de l'année n (écart entre le niveau de précipitation locale et le niveau moyen de précipitation) - période octobre/décembre	probabilité de survie des chenilles d'automne	échelle quantitative : écarts positifs ont un effet négatif sur la densité de population (mm)	sens décroissant du paramètre	2018 : année choisie pour la collecte des données météorologiques car représentative des valeurs météorologiques moyennes sur la période récente données meteomanz*	site météo manz (www.meteomanz.com)
Critère n°8	température minimale (janvier)	probabilité de survie des chenilles de printemps	échelle quantitative (°C)	sens décroissant du paramètre	2018 : année choisie pour la collecte des données météorologiques car représentative des valeurs météorologiques moyennes sur la période récente données meteomanz*	site météo manz (www.meteomanz.com)
Critère n°10	probabilité d'épidémie de chenilles (donnée à l'échelle régionale)	probabilité de pullulation	échelle quantitative (valeur comprise entre 0 et 1)	sens croissant du paramètre	les données issues de Li <i>et al.</i> (2015) ont été calculées à l'échelle régionale. Les régions concernées correspondent à des zones géographiques. toutes les régions de la France métropolitaine ne sont pas couvertes.	Li <i>et al.</i> (2015)
Critère n°11a	signalements de la présence de la CPP de 2007 à 2021	probabilité de présence de la CPP	échelle quantitative (le critère a été modifié : si la valeur du critère est égale à 0 alors la valeur de 11a est égale à 0 et si valeur de 11a est différente de 0	sens croissant du paramètre	les données de signalement des chenilles résultant d'observations faites par des observateurs, sont déclaratives. L'absence de signalement sur une commune n'implique pas l'absence de la chenille.	DSF

Id.	Intitulé	Désignation	Nature de l'échelle	Sens des performances	Incertitudes	Références bibliographiques
			alors la valeur de 11 a est égale à 1)			
Critère n°11b	évolution du nombre de signalements de CPP	probabilité de présence de la CPP	échelle qualitative (augmentation/stabilité/diminution)t)	sens croissant du paramètre	les données de signalement des chenilles résultant d'observations faites par des observateurs, sont déclaratives. L'absence de signalement sur une commune n'implique pas l'absence de la chenille.	DSF
Critère n°11c	somme des signalements de CPP sur les communes en 2021	probabilité de présence de la CPP	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	les données de signalement des chenilles résultant d'observations faites par des observateurs, sont déclaratives. L'absence de signalement sur une commune n'implique pas l'absence de la chenille.	DSF

* le site meteomanz* repose sur 157 stations réparties sur l'ensemble du territoire national métropolitain avec une représentativité variable selon les zones.

Tableau 2 : Famille des critères de l'aléa processionnaire du chêne

Id.	Intitulé	Désignation	Nature de l'échelle	Sens des performances	Incertitudes	Références bibliographiques
Critère n°1	précipitations de printemps (total des précipitations de mars à juin)	probabilité de survie des chenilles de printemps	échelle quantitative (mm)	sens décroissant du paramètre	2018 : année choisie pour la collecte des données météorologiques car représentative des valeurs météorologiques moyennes sur la période récente données meteomanz*	site météo manz (www.meteomanz.com)
Critère n°2	température de printemps (température moyenne de mars à juin)	probabilité de survie des chenilles de printemps	échelle quantitative (°C)	sens croissant du paramètre	2018 : année choisie pour la collecte des données météorologiques car représentative des valeurs météorologiques moyennes sur la période récente Données meteomanz*	site météo manz (www.meteomanz.com)

Id.	Intitulé	Désignation	Nature de l'échelle	Sens des performances	Incertitudes	Références bibliographiques
Critère n°3	température estivale (température moyenne de juillet à août)	probabilité du vol des papillons	échelle quantitative (°C)	sens croissant du paramètre	2018 : année choisie pour la collecte des données météorologiques car représentative des valeurs météorologiques moyennes sur la période récente données meteomanz*	site météo-manz (www.meteomanz.com)
Critère n°4	surface de chênes décidus purs en milieu forestier	probabilité de présence de chênes décidus purs (plante hôte)	échelle quantitative (surface donnée en ha à l'échelle communale)	sens croissant du paramètre	surface mesurée à l'échelle départementale à partir d'images satellitaires certains types de formations végétales recouvrent des mélanges forestiers	BD IFN
Critère n°5	signalements de la présence de la CPC de 2007 à 2021	probabilité de présence de la CPC	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	les données de signalement des chenilles résultant d'observations faites par des observateurs, sont déclaratives. L'absence de signalement sur une commune n'implique pas l'absence de la chenille.	DSF

* le site meteomanz* repose sur 157 stations réparties sur l'ensemble du territoire national métropolitain avec une représentativité variable selon les zones.

Tableau 3 : Critères de l'aléa bombyx cul-brun

Id.	Intitulé	Désignation	Nature de l'échelle	Sens des performances	Incertitudes	Références bibliographiques
Critère n°1	précipitations d'automne (total des précipitations d'août à octobre)	probabilité de survie de la chenille d'automne	échelle quantitative (mm)	sens décroissant du paramètre	2018 : année choisie pour la collecte des données météorologiques car représentative des valeurs météorologiques moyennes sur la période récente données meteomanz	site météo-manz (www.meteomanz.com)
Critère n°2	température d'automne (température moyenne d'août à octobre)	probabilité de survie de la chenille d'automne	échelle quantitative (°C)	sens croissant du paramètre	2018 : année choisie pour la collecte des données météorologiques car représentative des valeurs météorologiques moyennes sur la période récente données meteomanz*	site météo-manz (www.meteomanz.com)

Id.	Intitulé	Désignation	Nature de l'échelle	Sens des performances	Incertitudes	Références bibliographiques
Critère n°3	précipitations de printemps (température moyenne d'avril à juin)	probabilité de survie de la chenille de printemps	échelle quantitative (mm)	sens décroissant du paramètre	2018 : année choisie pour la collecte des données météorologiques car représentative des valeurs météorologiques moyennes sur la période récente données meteomanz*	site météo manz (www.meteomanz.com)
Critère n°4	température de printemps (température moyenne d'avril à juin)	probabilité de survie de la chenille de printemps	échelle quantitative (°C)	sens croissant du paramètre	2018 : année choisie pour la collecte des données météorologiques car représentative des valeurs météorologiques moyennes sur la période récente données meteomanz*	site météo manz (www.meteomanz.com)
Critère n°5	température estivale (juillet)	probabilité du vol des papillons	échelle quantitative (°C)	sens croissant du paramètre	2018 : année choisie pour la collecte des données météorologiques car représentative des valeurs météorologiques moyennes sur la période récente données meteomanz*	site météo manz (www.meteomanz.com)
Critère n°6	surface de feuillus (exclusion des types de formations végétales contenant des pins) en milieu forestier	probabilité de présence de feuillus (plante hôte)	échelle quantitative (surface donnée en ha à l'échelle communale)	sens croissant du paramètre	surface mesurée à l'échelle départementale à partir d'images satellitaires certains types de formations végétales recouvrent des mélanges forestiers	BD IFN
Critère n°7	signalements de la présence du bombyx cul-brun de 2007 à 2021	probabilité de présence de du bombyx cul-brun	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	les données de signalement des chenilles résultant d'observations faites par des observateurs, sont déclaratives. L'absence de signalement sur une commune n'implique pas l'absence de la chenille.	DSF
Critère n°8	occurrences des signalements du bombyx cul-brun en milieu urbain	probabilité de présence du bombyx cul-brun	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	observation non systématique	BD GBIF

* le site meteomanz* repose sur 157 stations réparties sur l'ensemble du territoire national métropolitain avec une représentativité variable selon les zones.

Annexe 14 : Famille de critères de la vulnérabilité en santé humaine

Tableau 1 : Famille de critères de vulnérabilité en santé humaine

Id.	Intitulé	Désignation	Nature de l'échelle	Sens des performances	Incertitudes	Références bibliographiques
Critère n°1	Pop_tot	Nombre d'habitants dans la commune en 2018	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre		BD Insee
Critère n°2	Pop_inf_5	Nombre d'enfants de moins de 5 ans dans la commune	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	données à l'échelle départementale fournies par la CCMSA désagrégée à l'échelle de la commune au prorata de la population active dans les secteurs forêts et agriculture	données de la CCMSA
Critère n°3	strat_com	Existence d'une stratégie de communication sur le risque chenilles à poils urticants à l'échelle régionale attestée par l'existence d'une page de communication dédiée sur le site de l'ARS	échelle qualitative		données à l'échelle départementale fournies par la CCMSA désagrégée à l'échelle de la commune au prorata de la population active dans les secteurs forêts et agriculture	données de la CCMSA
Critère n°4.1	Pop_metiers_cheval	Population professionnelle liée à l'activité hippique sur la commune	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	données à l'échelle départementale fournies par la CCMSA désagrégée à l'échelle de la commune au prorata de la population active dans les secteurs forêts et agriculture	données de la CCMSA
Critère n°4.2	Pop_sylviculture	Population professionnelle liée à l'activité sylvicole sur la commune	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	données à l'échelle départementale fournies par la CCMSA désagrégée à l'échelle de la commune au prorata de la population active dans les secteurs forêts et agriculture	données de la CCMSA

Id.	Intitulé	Désignation	Nature de l'échelle	Sens des performances	Incertitudes	Références bibliographiques
Critère n°4.3	Pop_exploitation_bois	Population professionnelle liée à l'exploitation du bois sur la commune	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	données à l'échelle départementale fournies par la CCMSA désagrégée à l'échelle de la commune au prorata de la population active dans les secteurs forêts et agriculture	données de la CCMSA
Critère n°4.4	Pop_scieries	Population professionnelle des scieries sur la commune	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	données à l'échelle départementale fournies par la CCMSA désagrégée à l'échelle de la commune au prorata de la population active dans les secteurs forêts et agriculture	données de la CCMSA
Critère n°4.5	Pop_jardin_paysage	Population professionnelle liée à l'entretien des parcs et jardins sur la commune	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	données à l'échelle départementale fournies par la CCMSA désagrégée à l'échelle de la commune au prorata de la population active dans les secteurs forêts et agriculture	données de la CCMSA
Critère n°4.6	Pop_gardes_chasse_peche	Population professionnelle de gardes chasse/pêche sur la commune	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	données à l'échelle départementale fournies par la CCMSA désagrégée à l'échelle de la commune au prorata de la population active dans les secteurs forêts et agriculture	données de la CCMSA
Critère n°4.7	Pop_gardes_foret	Population professionnelle de gardes forestiers sur la commune	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	données à l'échelle départementale fournies par la CCMSA désagrégée à l'échelle de la commune au prorata de la population active dans les secteurs forêts et agriculture	données de la CCMSA
Critère n°5.1	Niv_expo_metiers_cheval	Indicateur qualitatif du niveau de l'exposition aux chenilles de la profession hippique	échelle qualitative (1 à 3)		estimation	dire d'expert
Critère n°5.2	Niv_expo_sylviculture	Indicateur qualitatif du niveau de l'exposition aux chenilles de la profession sylvicole	échelle qualitative (1 à 3)		estimation	dire d'expert

Id.	Intitulé	Désignation	Nature de l'échelle	Sens des performances	Incertitudes	Références bibliographiques
Critère n°5.3	Niv_expo_exploitation_bois	Indicateur qualitatif du niveau de l'exposition aux chenilles de la profession liée à l'exploitation du bois	échelle qualitative (1 à 3)		estimation	direx d'expert
Critère n°5.4	Niv_expo_scieries	Indicateur qualitatif du niveau de l'exposition aux chenilles de la profession liée à l'activité des scieries	échelle qualitative (1 à 3)		estimation	direx d'expert
Critère n°5.5	Niv_expo_jardin_paysagel	Indicateur qualitatif du niveau de l'exposition aux chenilles de la profession liée à l'entretien des parcs et jardins	échelle qualitative (1 à 3)		estimation	direx d'expert
Critère n°5.6	Niv_expo_gardes_chasse_peche	Indicateur qualitatif du niveau de l'exposition aux chenilles des gardes chasse/pêche	échelle qualitative (1 à 3)		estimation	direx d'expert
Critère n°5.7	Niv_expo_gardes_foret	Indicateur qualitatif du niveau de l'exposition aux chenilles des gardes forestiers	échelle qualitative (1 à 3)		estimation	direx d'expert
Critère n°6	Nb_visite_foret	Nombre annuel de visites en forêt par les habitants de la commune	échelle quantitative (dénombrement)	sens croissant du paramètre	la forêt située à proximité de la commune peut être visitée par des habitants d'autres communes	
Critère n°7	Surface_forêt_milieux_seminat	Surface en forêt et milieux semi-naturels sur la commune (données Corine Land Cover 2018)	échelle quantitative (ha)	sens croissant du paramètre	approximation de la surface	Données Corine Land Cover 2018

Annexe 15 : Choix d'une procédure d'agrégation multicritères

Merad (2010) définit quatre typologies de problèmes de risques qui sont conditionnés par des critères comme : la culture scientifique et technique du groupe de travail (mono-disciplinaire ou mono acteur ou non, le niveau de décision, le niveau d'incertitude, le niveau de compensation attendu entre les critères, le niveau de concertation attendu entre les membres du groupe). A chaque typologie de problème de risque, des procédures d'agrégation multicritères sont suggérées.

Le type de problème posé au sein du groupe de travail « Chenilles à poils urticants » correspond au type de problème dit « type A ». Les études de risque de ce type ont pour particularité de se faire en situation d'incertitude ou d'ambiguïté, sous l'influence de plusieurs acteurs (cultures scientifiques différentes) et portent sur des horizons temporels d'analyse et de gestion pouvant être différentes. Dans ces contextes, les préférences des acteurs/experts se construisent au fur et à mesure de l'échange d'arguments, d'avis, d'opinion et d'information entre eux et ne se compensent pas. Notons que l'évaluation d'une commune en matière de risque, d'aléa ou de vulnérabilité en situation d'incertitude ne se fait pas de manière absolue, mais souvent en ayant recours à la comparaison ; plus explicitement, une commune est jugée à risque par comparaison à une autre commune et non du seul fait, de ses évaluations sur différents critères.

Pour la typologie de problème de « type A », Merad (2010) propose d'utiliser des procédures d'agrégation multicritères (PAMC) basée sur :

- des PAMC non ou partiellement compensatoires du type surclassement de synthèse ;
- des structures de préférence de type (S^{79} , R) nous semblent intéressantes car la relation d'incomparabilité R permet aux différents acteurs/experts de se poser des questions sur la formulation des contours de l'étude de risque ; sur la pertinence des critères utilisés, etc ;
- l'utilisation d'informations aussi bien quantitatives que qualitatives ;
- la possibilité d'exprimer explicitement les différentes opinions d'acteurs.

La procédure d'agrégation multicritères sélectionnée dans le cadre du GT est la procédure ELECTRE III (Roy, 1985 ; Roy et Bouyssou, 1993). Cette procédure permet d'obtenir un rangement des communes, de celles présentant les niveaux d'aléas (ou de vulnérabilité) les plus élevés jusqu'aux communes présentant les niveaux d'aléas (ou de vulnérabilité) les plus faibles avec la possibilité d'*ex æquo*.

La procédure d'agrégation multicritères ELECTRE III est utilisée pour produire six fois des hiérarchisations partielles des communes en fonction des aléas et des vulnérabilités en fonction des critères considérés.

A chaque critère, de la famille cohérente de critères, est rattachée une fonction critère $g_j(.)$ qui associe à chaque commune (Com) sa performance.

L'évaluation des performances de l'ensemble des communes Com_i est entachée d'incertitudes et de mauvaises connaissances, qui ont une incidence sur les hiérarchisations partielles des communes et donc leur caractérisation finale. Deux seuils permettent de prendre en compte cette incertitude et la mauvaise connaissance :

⁷⁹ S : Relation de surclassement.

- **un seuil d'indifférence q_j .** Si une commune Com_{i1} et une commune Com_{i2} ont des performances sur le critère j telles que : $-q_j[g_j(Com_{i2})] \leq g_j(Com_{i2}) - g_j(Com_{i1}) \leq q_j[g_j(Com_{i1})]$ alors les deux communes sont considérées comme ayant la même importance/niveau d'aléa/vulnérabilité (ou indifférentes) au vu du critère g_j ; ceci est alors noté $Com_{i1} I Com_{i2}$;
- **un seuil de préférence p_j .** Si Com_{i1} et Com_{i2} sont telles que : $g_j(Com_{i2}) > g_j(Com_{i1}) + p_j[g_j(Com_{i1})]$ alors la commune Com_{i2} est strictement préférable (présente un niveau d'aléa/vulnérabilité supérieur) que la commune Com_{i1} : $Com_{i2} P Com_{i1}$. La zone intermédiaire reflète une ambiguïté entre les situations d'indifférence et de préférence stricte et est décrite comme une situation de préférence faible de la commune Com_{i2} à la commune Com_{i1} . Ceci est alors noté $Com_{i2} Q Com_{i1}$.

Les seuils q_j et p_j peuvent tout aussi bien être constants ou fonction de la performance de la commune Com_{i1} sur le critère j ($g_j(Com_{i1})$) et sont respectivement définies comme étant : la plus grande différence [$g_j(Com_{i2}) - g_j(Com_{i1})$] à la limite de l'indifférence entre une comparaison des communes Com_{i2} et Com_{i1} ; et la plus petite différence [$g_j(Com_{i2}) - g_j(Com_{i1})$] qui rend la préférence stricte de la performance de la commune Com_{i2} par rapport à Com_{i1} à une prédisposition à un niveau d'aléa/vulnérabilité plus élevé.

La procédure d'agrégation multicritères ELECTRE III (Cf. Figure 1) permet de comparer chaque commune Com_{i1} à une autre commune Com_{i2} dans la perspective d'estimer un degré de crédibilité aux assertions : « Com_{i1} présente un niveau d'aléa/vulnérabilité au moins plus élevé que Com_{i2} ». Cette assertion est généralement notée « $Com_{i1} surclasse Com_{i2}$ » ou « $Com_{i1} S Com_{i2}$ ».

Il n'est pas exclu d'envisager les possibilités que [$Com_{i1} S Com_{i2}$ et $Com_{i2} S Com_{i1}$] ou que [$non Com_{i1} S Com_{i2}$ et $non Com_{i2} S Com_{i1}$]. La première possibilité correspond à une situation d'indifférence ($Com_{i1} I Com_{i2}$) entre les deux communes (elles présentent un niveau d'aléa/vulnérabilité équivalent). La deuxième correspond à une situation d'incomparabilité ($Com_{i1} R Com_{i2}$) entre les deux communes.

Afin de calculer la crédibilité de l'assertion « Com_{i1} présente un niveau d'aléa/vulnérabilité au moins plus élevé que Com_{i2} », on utilise un indice noté $s(Com_{i1}, Com_{i2})$ qui prend des valeurs dans l'intervalle [0, 1]. Cet indice prend la valeur 0 si l'assertion « $Com_{i1} S Com_{i2}$ » est rejetée et 1 si l'assertion est validée. Entre 0 et 1, l'indice de crédibilité prend appui sur deux indices :

- **L'indice de concordance $C(Com_{i1}, Com_{i2})$.** Il permet de prendre en compte les critères qui sont concordants avec l'assertion « $Com_{i1} S Com_{i2}$ » tout en considérant l'importance relative de chaque critère qui s'exprime à travers leurs poids.
- **L'indice de discordance partiel $d_j(Com_{i1}, Com_{i2})$.** Il permet aux critères discordants avec l'assertion « $Com_{i1} S Com_{i2}$ » de s'exprimer individuellement. Lorsque l'écart, sur un critère g_j atteint ou dépasse une valeur v_j , alors l'indice de discordance prend la valeur 1 et remet en question la crédibilité de l'assertion « $Com_{i1} S Com_{i2}$ » ($s(Com_{i1}, Com_{i2})=0$). Cette valeur v_j est appelée seuil de veto.

Dans cette perspective, l'indice de crédibilité de l'assertion « Com_{i1} présente un niveau d'aléa/vulnérabilité au moins plus élevé que Com_{i2} » est représenté par la formule :

$$\sigma(Com_{i1}, Com_{i2}) = C(Com_{i1}, Com_{i2}) \prod_{j \in \bar{F}} \frac{1 - d_j(Com_{i1}, Com_{i2})}{1 - C(Com_{i1}, Com_{i2})}$$

où $\bar{F}$ représente la famille de critères discordant avec l'assertion « $Com_{i1} S Com_{i2}$ ».

Compte tenu des échanges effectués entre les experts participants au groupe de travail, nous n'avons pas identifié et fixé des seuils de veto sur les critères. De ce fait, les seuils de veto sur chaque critère se sont vu attribuer une valeur assez élevée pour ne pas permettre à l'indice de discordance d'atteindre la valeur 1.

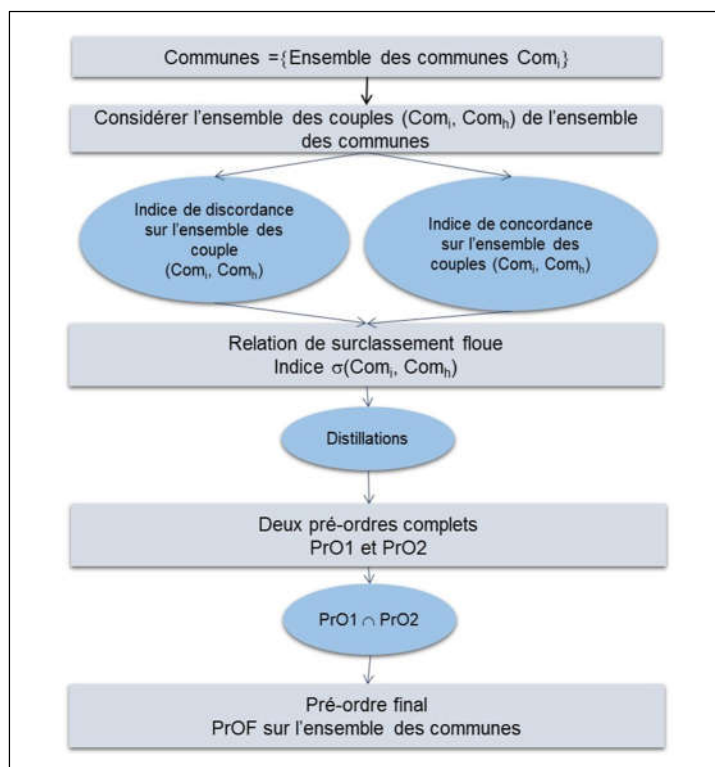


Figure 1 : Logigramme de la démarche d'agrégation de type ELECTRE III

Le calcul des indices de crédibilité $\sigma(\text{Com}_{i1}, \text{Com}_{i2})$ et $\sigma(\text{Com}_{i2}, \text{Com}_{i1})$ permet de définir une relation de surclassement floue ; ce qui synthétise l'ensemble des résultats de comparaison paire par paire de l'ensemble des communes étudiées.

Sur la base d'une relation de surclassement floue, ELECTRE III permet d'établir un pré-ordre partiel qui en plus des trois situations envisagées par le pré-ordre complet ($\text{Com}_{i1} \text{ S } \text{Com}_{i2}$, Com_{i1} et Com_{i2} présentent niveau d'aléa/vulnérabilité égal, Com_{i2} a strictement un niveau plus élevé d'aléa/vulnérabilité que Com_{i1}) ajoute une quatrième possibilité représentée par : ni Com_{i1} ni Com_{i2} ne présente un niveau d'aléa/vulnérabilité plus élevé. La richesse de ce dernier point vient du fait que, compte tenu de la nature imparfaite des données utilisées, du niveau de connaissance fourni par les critères il ne sert à rien de faire basculer la comparaison d'une paire de communes vers une préférence stricte ou une indifférence.

Chaque hiérarchisation ou « pré-ordre final » sur l'ensemble des communes considérées est le résultat de l'intersection de deux pré-ordres complets qui sont le résultat de deux procédures dites de « distillation ascendante » et de « distillation descendante ». Ainsi, la commune Com_{i1} sera considérée comme préférable (présentant un niveau d'aléa/vulnérabilité plus élevé que) à la commune Com_{i2} si, dans l'un au moins des deux classements Com_{i1} est classée avant Com_{i2} et si, dans l'autre, Com_{i1} est au moins aussi bien classée que Com_{i2} ; la commune Com_{i1} sera jugée indifférente à Com_{i2} si les deux communes appartiennent à la même classe d'équivalence dans les deux pré-ordres ; enfin, les communes Com_{i1} et Com_{i2} seront incomparables si Com_{i1} est mieux classée que Com_{i2} dans la distillation ascendante et Com_{i2} mieux classée que Com_{i1} dans la distillation descendante ou vice-versa.

Annexe 16 : Détermination de jeux de poids pour les familles cohérentes de critères

La méthode de Simos révisée est une méthode qui permet de réduire les biais induits par une interrogation directe des experts sur des jeux de poids, en passant par la demande de trois informations aux experts (l'ordre sur les critères, une grandeur sur le nombre de fois où le critère le plus important de la famille de critères est plus important que le critère le moins important de la famille de critères (z), et le nombre de cartes blanches entre les critères d'un rang d'écart) permettant par la suite d'effectuer un calcul normé des jeux de poids des critères.

Nous appliquons la méthode Simos révisée de la manière suivante. L'analyste en aide à la décision et gestion de risque dans le groupe de travail demande aux experts de renseigner la fiche décrite dans la Figure 1. Cette fiche se présente de la manière suivante. Elle comporte : une case d'identification du nom de l'expert ; un tableau où sont alternées des lignes grises et des lignes blanches ; une case pour indiquer la valeur de l'indice z qui indique le nombre de fois où le dernier critère est plus important que le premier. Les lignes grises représentent les rangs et servent à indiquer la position des critères, par leur identifiant, rangés du moins important jusqu'au plus important. Au niveau des lignes blanches, l'expert est invité à indiquer un nombre de cartes blanches (Cf. Figure 1) qui séparent les critères de deux rangs successifs.

Figure 1 : Exemple d'une fiche de pondération présentée à chaque expert

Soient $\bar{n}$, le nombre de classes de pré ordre et n le nombre de critères.

Remettre aux experts interrogés une série de cartes (n) à classer ; avec la possibilité d'ex-æquo.

Demander aux experts d'introduire des cartes blanches entre les critères (Cf. Tableau 1).

Indiquer de combien de fois le dernier critère est plus important que le premier : z .

Tableau 1 : Résultat des étapes 1 et 2 de la méthode révisée de Simos

Rang	Paquets d'ex- æquo	Nombre de carte dans chaque paquet.
1		
.		
.		

• **Calcul des poids non normés $k(r)$**

Soit e_r le nombre de cartes blanches qui sépare la classe r de la classe $(r + 1)$. Posons :

$$\begin{cases} e_r = e_r' + 1 & \forall r = 1, \dots, (n - 1) \\ e = \sum_{r=1}^{n-1} e_r \\ u = \frac{z-1}{e} \quad (u : \text{conserve six décimales après la virgule}) \end{cases}$$

alors

$$k(r) = 1 + u.(e_0 + \dots + e_{r-1}) \text{ avec } e_0 = 0 \quad (\text{Cf. Tableau 2})$$

Tableau 2 : Résultat de l'étape 4 de la méthode révisée de Simos

Rang r	Critères de rang r	Nombre de cartes blanches suivant le rang r ,		Poids non normés $k(r)$	Total $k(r)$ (n^{bre} de critères du même rang)
1					
Sommes					

Calcul des poids normés k_i

Soit g_i un critère de rang r . Notons k_i' le poids de ce critère dans son expression non normée :

$$k_i' = k(r)$$

Posons :

$$\begin{cases} K' = \sum_{i=1}^n k_i' \\ k_i^* = \frac{100}{K'} \cdot k_i' \end{cases}$$

On veut obtenir des nombres à une décimale. Pour cela, on introduit les nombres k_i'' de la façon suivante : soit $w=1$

$$\begin{cases} K'' = \sum_{i=1}^n k_i'' \leq 100 \\ \varepsilon = 100 - K'' \leq 10^{-1} \cdot n \end{cases}$$

$v = 10^I \cdot \varepsilon$: entier, au plus, égal à n .

$$k_i = \begin{cases} k_i'' + 10^{-1} & \text{pour les } v \text{ critères convenablement choisis } (\Delta) \\ k_i'' & \text{pour les } (n - v) \text{ autres} \end{cases}$$

Alors : $\sum_{i=1}^n k_i = 100$

• **(Δ). Explications.**

1. Calculer pour chaque critère g_i :

$$\begin{cases} d_i = \frac{10^{-1} - (k_i^* - k_i'')}{k_i^*} & \text{erreur relative par excès} \\ \bar{d}_i = \frac{k_i^* - k_i''}{k_i^*} & \text{erreur relative par défaut} \end{cases}, \text{ avec : } k_i^* = \frac{100 \cdot k_i'}{K'} \text{ et } k_i'' \text{ dépend}$$

de k_i^* en ne conservant que une décimale ($w = 1$).

2. Créer deux listes L et $\bar{L}$; telles que : L : Couples (i, d_i) rangés selon valeurs croissantes de d_i . $\bar{L}$: Couples $(i, \bar{d}_i)$ rangés selon valeurs croissantes de $\bar{d}_i$. Poser:

$$M = \{i / d_i > \bar{d}_i\}, |M| = m.$$

3. Partitionner les n critères de F en F^+ et F^- tel que : $|F^+| = v$ et $|F^-| = n - v$; $|F^+|$: Critères qui seront arrondis par excès ; $|F^-|$: Critères qui seront arrondis par défaut. La partition de F se fait comme suit :

- Si $m + v \leq n$, former F^- avec les m critères de M complété par $(n - v - m)$ de $\bar{L}$ n'appartenant pas à M . La liste F^+ est formée par les v premiers critères de $\bar{L}$ n'appartenant pas à M (Tableau 3).
- Si $m + v > n$, former F^+ avec les $(n - m)$ critères de L n'appartenant pas à M complétés par les $(v + m - n)$ premiers critères de $L \in M$. La liste F^- est formée de $(n - v)$ derniers critères de $L \in M$ (Tableau 4).

Tableau 3 : Listes L et $\bar{L}$

N° Critère	d_i	N° Critère	$\bar{d}_i$

(L) ($\bar{d}_i$)

Tableau 4 : Résultats de l'étape 4 de la méthode révisée de Simos

Rang r	Critère	Poids normés k'_i (sans arrondis)	Poids normés k''_i avec $w=1$ (non corrigé)	Ratio d_i	Ratio $\bar{d}_i$	Poids normés k_i (corrigé)
1						
Sommes						



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 — @Anses_fr