

Maisons-Alfort, le 16 mai 2025

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

relatif aux conditions de mise sur le marché et de mise en œuvre des modules de filtration membranaire utilisés pour le traitement d'eau destinée à la consommation humaine pris en application de l'article R.1321-50 (I et II) du code de la santé publique

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 10 septembre 2024 par la Direction générale de la santé (DGS) pour la réalisation de l'expertise suivante : « Demande d'avis relatif aux conditions de mise sur le marché et de mise en œuvre des modules de filtration membranaire utilisés pour le traitement d'eau destinée à la consommation humaine pris en application de l'article R.1321-50 (I et II) du code de la santé publique ».

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

L'article R.1321-50-I du code de la santé publique (CSP) précise que : « les produits et procédés mis sur le marché et destinés au traitement de l'eau destinée à la consommation humaine [...] doivent, dans les conditions normales ou prévisibles de leur emploi [...], être conformes à des dispositions spécifiques définies par arrêté du ministre chargé de la santé, visant à ce que :

- 1° Ils ne soient pas susceptibles, intrinsèquement ou par l'intermédiaire de leurs résidus :
- a) d'être à l'origine, directement ou indirectement, d'un risque pour la santé humaine ;
 - b) d'altérer la couleur, l'odeur ou la saveur de l'eau ;
 - c) de favoriser involontairement le développement de la flore microbienne ;

d) de libérer des contaminants dans les eaux à des niveaux pouvant engendrer un non-respect des exigences de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.

2° Ils soient efficaces au regard de l'usage auquel ils sont destinés ;

Ces dispositions s'appliquent en tout ou partie, selon les groupes de produits et procédés de traitement et en fonction de leurs usages [...] ».

L'arrêté du 22 juin 2012 relatif aux conditions de mise sur le marché et de mise en œuvre des modules de filtration membranaire utilisés pour le traitement d'eau destinée à la consommation humaine (EDCH), pris en application de l'article R. 1321-50 (I et II) du CSP, précise les exigences concernant :

- l'innocuité des modules de filtration membranaire : une attestation de conformité sanitaire (ACS) du module de filtration membranaire doit être délivrée par un laboratoire habilité par le ministre chargé de la santé en application de l'article R. 1321-50-II du CSP ;
- l'efficacité des modules de filtration membranaire : si la revendication d'efficacité ne figure pas à l'annexe 6 de l'arrêté du 22 juin 2012, le responsable de la mise sur le marché doit, conformément aux dispositions de l'article R.1321-50-IV du CSP, au préalable adresser au ministre chargé de la santé un dossier, pour avis de l'Anses. Le dossier doit comporter les informations précisées dans l'arrêté du 17 août 2007 modifié en ce qui concerne les preuves d'efficacité. Quelles que soient les revendications d'efficacité (présentes ou pas dans l'annexe 6), le responsable de la mise sur le marché doit tenir à la disposition des autorités sanitaires les preuves attestant de l'efficacité revendiquée apportées par les résultats d'essais pilotes.

La DGS a informé l'Anses que les collectivités et leurs délégataires expriment des besoins de plus en plus forts de disposer de solutions de traitements curatifs pour abattre les contaminations en pesticides et PFAS¹ afin de respecter les limites de qualité réglementaires dans les EDCH.

Ainsi, l'Anses a été saisie pour étudier, au regard de la bibliographie existante, l'opportunité de modifier l'annexe 6 de l'arrêté du 22 juin 2012 afin d'étendre les revendications d'efficacité reconnues pour certains types de filtration membranaire aux molécules² organiques (dont certains pesticides et PFAS). Il est également demandé à l'Agence de proposer le cas échéant les conditions complémentaires à inscrire dans l'arrêté afin de garantir l'efficacité et l'innocuité des modules de filtration membranaire utilisés pour le traitement des polluants chimiques organiques dans l'EDCH.

L'Agence ayant été sollicitée auparavant afin de donner un avis sur des dossiers individuels concernant l'efficacité de procédés membranaires pour le traitement de micropolluants chimiques inorganiques et organiques (Anses 2014 et 2023), elle a également expertisé la possibilité d'étendre les revendications d'efficacité reconnues pour certains types de filtration membranaire à d'autres composés que les micropolluants chimiques organiques objets de la saisine (i.e. micropolluants organiques et inorganiques). La rétention des microorganismes, hors du champ de la saisine, n'a pas été réévaluée et l'expertise concerne uniquement la rétention des composés chimiques. À cet égard, et par facilité de rédaction, il convient de noter que la mention, dans l'avis qui suit, du terme « polluant organique » ne renvoie pas à des contaminations par des matières organiques naturelles (e.g. matières fécales), mais bien à

¹ Substances per- et polyfluoroalkylées.

² Molécules également appelées micropolluants dans le reste du document. Il est sous-entendu qu'il s'agit de molécules dissoutes.

des polluants chimiques de la famille des substances organiques (par opposition aux matières inorganiques ou minérales).

En sus des propositions de modification de l'annexe 6 de l'arrêté du 22 juin 2012, l'Anses a formulé d'autres propositions de précision et de clarification du texte.

Par ailleurs, des informations plus détaillées sur le traitement des PFAS³ par les modules de filtration membranaire figurent dans le rapport de l'Anses à paraître : « Composés per- et poly-fluoroalkylés (PFAS) dans différents compartiments : Bilan de la contamination et catégorisation en vue de mesures de gestion – Partie 1 : Bilan de la contamination par les PFAS de différents compartiments » (Saisine n° 2022-SA-0198).

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

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) ».

L'expertise relève du domaine de compétences du comité d'experts spécialisé (CES) « Eaux ». L'Anses a confié l'expertise à cinq experts rapporteurs. Les travaux ont été présentés au CES « Eaux » tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques le 5 mars et 1^{er} avril 2025. L'avis a été validé par le CES « Eaux » réuni le 1^{er} avril 2025.

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

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

Pour réaliser son expertise, l'Agence s'est appuyée sur :

- le dossier bibliographique préparé par la Fédération Professionnelle des Entreprises de l'Eau (FP2E) joint à la saisine qui concerne uniquement la rétention des PFAS ;
- le dossier bibliographique préparé par un fabricant de membranes joint à la saisine qui concerne notamment la rétention de différents micropolluants organiques tels que les PFAS, les pesticides et leurs métabolites ;
- la littérature ouverte existante ;
- les précédentes expertises de l'Anses sur la filtration membranaire :
 - les lignes directrices pour l'évaluation de l'innocuité des modules de filtration et de l'efficacité des procédés membranaires pour le traitement des EDCH (Anses 2009) ;
 - l'avis du 17 novembre 2010 sur un projet d'arrêté relatif aux conditions de mise sur le marché et de mise en œuvre des modules de filtration membranaire utilisés pour le traitement d'eau destinée à la consommation humaine pris en application de l'article R. 1321-50-I du code de la santé publique (Anses 2010) ;
 - l'avis et le rapport relatifs à l'utilisation des procédés membranaires pour la filtration des eaux de piscines (Anses 2020) ;
 - les avis relatifs à des demandes d'autorisation d'utilisation de modules de filtration membranaire pour l'élimination de molécules organiques et inorganiques ne faisant pas partie des revendications listées à l'annexe 6 de l'arrêté précité (Anses 2014 et 2023).

³ Ce terme désigne les 20 PFAS dont le suivi a été introduit par la directive (UE) 2020/2184 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2020 relative à la qualité des EDCH.

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES « EAUX »

3.1. Spécificités des techniques de filtration membranaire

La filtration membranaire est un procédé de séparation physique en phase liquide utilisant une membrane à la fois perméable et sélective, qualifiée de « permsélective ». Cette membrane, selon ses caractéristiques intrinsèques et son mode d'utilisation, constitue une barrière permettant le transfert dans l'eau filtrée (perméat) de certains composés et la rétention d'autres. Quatre types de procédés membranaires peuvent être ainsi définis en fonction de la taille moyenne des pores des membranes ou de leurs seuils de coupure⁴ : la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF) et l'osmose inverse (OI). Alors que les membranes de MF sont répertoriées en fonction de leur taille de pores, celles d'UF, de NF et d'OI le sont en fonction de leur seuil de coupure exprimé en Dalton (ou g.mol^{-1}) (Aimar, Bacchin, et Maurel 2023).

Il existe différentes méthodes pour déterminer la distribution de tailles des pores ou le seuil de coupure des membranes (Causserand 2015), mais en l'absence de méthode standardisée concernant cette détermination pour tous les types de membranes et de la souplesse tolérée dans les conditions de réalisation des essais dans la norme existante pour l'UF⁵, seuls les ordres de grandeur des tailles des pores et des seuils de coupure des membranes de MF, d'UF, de NF et d'OI sont présentés dans la figure 1. En effet, la distribution de tailles des pores ou le seuil de coupure des membranes dépendant de la méthode de mesure utilisée, il convient de se référer aux fiches techniques des responsables de la mise sur le marché de modules de filtration membranaire pour les connaître et vérifier leur adéquation avec les objectifs de traitement visés (Van der Bruggen 2018).

Par ailleurs, les membranes peuvent avoir des géométries différentes (plane, spiralée, tubulaire, fibres creuses) et être constituées de différents matériaux (polymères, céramiques, carbone, métaux, verre, etc.) qui influent aussi sur leur efficacité (Remigy et Desclaux 2007).

⁴ Le seuil de coupure représente la masse molaire minimum de la macromolécule traceur correspondant à un taux de rétention de 90 % par la membrane (AFNOR 2024).

⁵ La norme AFNOR NF X45-103 (2024) : Filtration des liquides - Membranes poreuses - Taux de rétention et seuil de coupure des membranes d'ultrafiltration ne concerne plus les membranes de NF contrairement à la version précédente.

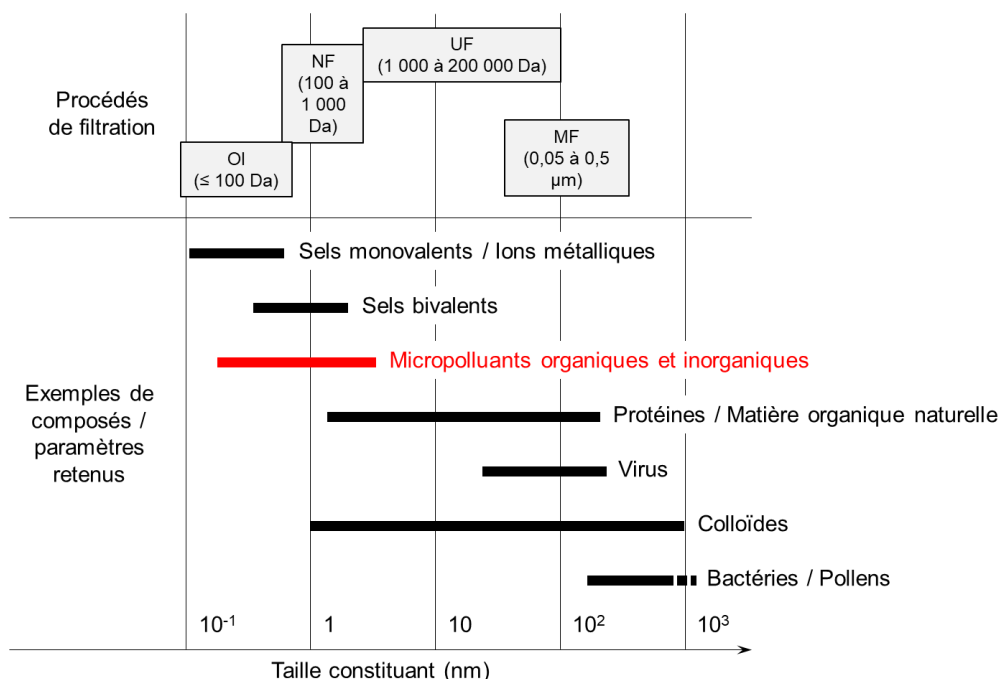


Figure 1 : Classification des procédés membranaires en fonction de la taille des composés ou paramètres retenus ainsi que de la taille des pores ou des seuils de coupure (adaptée de Anses (2020) et de Aïmar, Bacchin, et Maurel (2025)).

Seules les membranes de NF et d'OI sont susceptibles de retenir des micropolluants organiques et inorganiques.

Par ailleurs, un nouveau type de procédé membranaire a récemment émergé. Il s'agit de la NF « lâche » (LNF pour *Loose Nanofiltration*) qui a recours à un type de membrane de NF ayant une structure plus ouverte et une rétention plus faible des sels que les membranes de NF standard, qualifiée également de NF « serrée ». Elle permet de retenir les micropolluants organiques dont les pesticides et métabolites, et certains ions divalents (comme le calcium et le magnésium) tout en laissant passer plus de sels monovalents (comme le sodium et le chlorure). Ce type de membrane est utilisé pour le traitement des eaux faiblement contaminées, l'adoucissement de l'eau ou encore l'élimination sélective de certains micropolluants tout en conservant une minéralisation partielle de l'eau.

L'OI est techniquement le procédé membranaire le plus efficace en termes de rétention des composés dissous allant jusqu'aux sels lors de la filtration des eaux. L'inconvénient qui persiste avec l'OI est lié aux coûts d'exploitation, notamment les coûts énergétiques élevés du fait des plus fortes pressions à appliquer par rapport aux autres procédés membranaires et de la faible perméabilité des membranes. En outre, il est nécessaire de reminéraliser le perméat dans le cadre de la production d'EDCH pour respecter les prescriptions réglementaires.

L'osmose inverse basse pression (OIBP) fonctionne à une pression plus faible que l'OI standard, généralement entre 5 et 15 bars contre 50 à 80 bars pour de la filtration d'eau de mer par OI (ASTEE 2021). Elle permet de retirer une grande partie des sels dissous et des contaminants organiques de l'eau tout en consommant moins d'énergie. Par conséquent, ce procédé est souvent utilisé pour le traitement des eaux légèrement salines ou des eaux de surface, avec un coût énergétique réduit par rapport à l'OI.

Il est important de préciser que selon le type de membrane choisi (taille des pores, seuil de coupure, matériau membranaire, etc.) le mécanisme de rétention prépondérant n'est pas nécessairement un effet tamis (sélectivité liée à la taille des pores ou au seuil de coupure par rapport à celle du constituant) ; en effet peuvent intervenir d'autres mécanismes, en particulier en NF et en OI, liés à des effets de charges, d'hydrophobicité et/ou de polarité. De plus, la

forme des molécules peut influencer sur leur rétention. Par exemple, certaines molécules non sphériques peuvent, en fonction de leur moment dipolaire, adopter des orientations variées, leur permettant ainsi de traverser les pores, et ce, malgré un poids moléculaire supérieur au seuil de coupure de la membrane (Van der Bruggen *et al.* 1999).

La comparaison de la distribution de la taille des pores ou du seuil de coupure de la membrane et de la taille des molécules visées par les revendications d'abattement ou de rétention ne constituant pas une preuve suffisante de l'efficacité du module de filtration membranaire, le paragraphe suivant détaille les paramètres influençant cette rétention.

3.2. Variabilité de la rétention des micropolluants par des membranes de NF et d'OI

L'efficacité des membranes vis-à-vis de la rétention des micropolluants dépend des interactions physico-chimiques entre les membranes et les micropolluants d'une part, des interactions entre les micropolluants eux-mêmes d'autre part, ainsi que de plusieurs autres facteurs. Parmi ceux-ci figurent les caractéristiques des membranes, les propriétés et structures moléculaires des micropolluants, ainsi que les conditions expérimentales spécifiques (Ignacz et Szekely 2022; Khaouane, Ammi, et Hanini 2017; Yeo *et al.* 2020).

Récemment, les techniques d'apprentissage automatique⁶ (*Machine Learning*) ont gagné en popularité pour résoudre des problématiques complexes liées aux procédés membranaires (Bonny, Kashkash, et Ahmed 2022; W.-S. Lee et Lee 2022; Dagher *et al.* 2024). Ces algorithmes constituent des outils pour traiter des corrélations non linéaires complexes et fournir une compréhension des dynamiques globales des procédés de séparation par membrane (Ammi, Khaouane, et Hanini 2015) en établissant des relations générales entre des variables d'entrée et le taux de rétention des contaminants, sans nécessiter de formulation d'équations gouvernantes (modèles phénoménologiques⁷) pour le système.

Une étude récente menée par Lee et Kim (2020) visait à développer un modèle de forêt aléatoire⁸ (ou de forêts d'arbres décisionnels, RF pour *random forest*) capable d'identifier les paramètres influençant la rétention et de prédire les rétentions des membranes d'OI et de NF vis-à-vis des micropolluants. Les 84 micropolluants considérés pour l'étude sont majoritairement des pesticides et des composés pharmaceutiques. Si dans un premier temps Lee et Kim (2020) ont démontré qu'il n'existait pas de lien évident entre la rétention et les 19 paramètres étudiés, dans un second temps, ils ont démontré, à l'issue du développement d'un modèle de forêt aléatoire, une forte corrélation entre les rétentions calculées et celles observées, avec toutefois des différences notables pour cinq molécules parmi les 84 molécules étudiées. La valeur RFFI (*Random Forest Feature Importance*) du modèle, qui

⁶ Processus par lequel un algorithme évalue et améliore ses performances sans l'intervention d'un programmeur, en répétant son exécution sur des jeux de données jusqu'à obtenir, de manière régulière, des résultats pertinents (*Vocabulaire de l'intelligence artificielle (liste de termes, expressions et définitions adoptés)*, s. d.).

⁷ La modélisation phénoménologique est une approche qui vise à décrire et prédire le comportement d'un système complexe en se basant sur des observations empiriques plutôt que des lois fondamentales. Elle est particulièrement utile dans des domaines tels que la physique, la biologie et les sciences sociales, où les interactions sous-jacentes peuvent être trop complexes pour une modélisation analytique directe. En se concentrant sur les phénomènes observables, cette méthode permet de créer des modèles qui sont souvent plus flexibles et adaptés à des situations concrètes (« Modélisation Phénoménologique: Méthodes & Concepts », s. d.).

⁸ Les forêts aléatoires, une version avancée des arbres de décision, créent un ensemble complet d'arbres de décision, ce qui conduit souvent à un modèle plus précis (*Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications* 2009).

montre l'impact de chaque paramètre d'entrée sur le résultat de prédiction de la rétention, précise que les paramètres les plus significatifs sont le poids moléculaire et la largeur équivalente⁹ de la molécule. L'encombrement stérique de la molécule, le taux de conversion, le pH, la longueur de la molécule et la pression ont également une importance notable.

Plus récemment, Zhu *et al.* (2023) se sont également intéressés aux paramètres influençant la rétention de micropolluants par des membranes d'OI et de NF à l'aide de différents algorithmes d'apprentissage automatique. Pour cela, un total de 2102 points de données a été collecté pour 52 types de membranes de NF et d'OI, ainsi que 276 micropolluants issus d'articles scientifiques (Ebrahimzadeh *et al.* 2021; Garcia-Ivars *et al.* 2017; Jeong, Chung, et Tong 2021; Ozay *et al.* 2020; Zhao, Tong, et Chen 2021). Quinze paramètres d'entrée ont été pris en compte, basés sur les interactions entre les micropolluants et les membranes (effets stériques, interactions électrostatiques et phénomènes d'adsorption), ainsi que sur les conditions de mise en œuvre des essais.

Afin d'améliorer l'interprétabilité, Zhu *et al.* (2023) ont calculé pour chaque variable, une valeur dénommée SHAP (*Shapley Additive Explanations*). En effet, ce concept permet de mettre en évidence les différentes contributions des paramètres d'entrée sur les résultats d'un modèle (Lundberg *et al.* 2020).

De manière générale, les paramètres-contributeurs les plus importants sont le seuil de coupure de la membrane, le volume molaire et le poids moléculaire du soluté. Cette tendance est en accord avec de nombreux travaux qui montrent que les taux de rétention des micropolluants diminuent pour des membranes ayant des seuils de coupures plus élevés. Le volume molaire du soluté est généralement utilisé pour évaluer l'encombrement stérique d'un composé (Yangali-Quintanilla *et al.* 2009). De manière évidente, plus le volume molaire de la molécule est important, plus l'énergie nécessaire pour la faire pénétrer à travers la membrane d'OI est élevée (Zhu *et al.* 2020). L'impact du poids moléculaire des molécules est également cohérent avec les mécanismes de rétention des membranes d'OI (Ozaki et Li 2002). Les autres paramètres les plus importants dans le jeu de données étudié sont l'angle de contact¹⁰ et la charge électrostatique totale. Ces deux paramètres sont à relier aux phénomènes d'adsorption des micropolluants sur les membranes et aux effets de répulsion électrostatique pouvant intervenir lors de la filtration membranaire. Les paramètres-contributeurs suivants en termes d'importance sont ceux relatifs aux conditions de mise en œuvre : la pression, la concentration initiale du composé, le temps de mesure et le pH.

En résumé, les différents modèles développés à partir de l'agrégation de nombreuses données issues de la littérature montrent que la prédiction de la rétention de micropolluants par des membranes de NF et d'OI est complexe et nécessite l'analyse de plusieurs paramètres. Ainsi, les modèles indiquent qu'il est essentiel de considérer le poids moléculaire, le volume molaire, les configurations spatiales (largeur, longueur, etc.) et la charge électrostatique des molécules. Ces paramètres doivent être évalués en fonction des propriétés des membranes, notamment le seuil de coupure, la charge électrostatique et l'angle de contact de la membrane.

Ces observations sont liées au jeu de données utilisé pour entraîner les modèles d'apprentissage automatique, ainsi qu'aux gammes des propriétés des molécules et des membranes étudiées. Par conséquent, la prédiction de la rétention pour des

⁹ La largeur équivalente de la molécule est définie par la formule suivante : largeur équivalente = $\sqrt{\text{largeur} \times \text{profondeur}}$ (S. Lee et Kim 2020).

¹⁰ La mouillabilité de la surface est caractérisée par l'angle de contact (θ) formé par la surface solide et la tangente à la surface liquide au point de raccordement (Causserand 2015).

molécules et des membranes différentes, qui sortent de la gamme des propriétés employées pour entraîner les modèles, doit être utilisée avec précaution. À noter qu'aucune donnée de rétention de substances de la famille des PFAS n'a été utilisée pour entraîner ces modèles.

Ces résultats, bien que pertinents, soulignent la difficulté de généraliser les résultats des essais pilotes réalisés dans des conditions de mise en œuvre spécifiques (qualité de l'eau, pH, prétraitements, taux de conversion, pression, etc.).

3.3. Aptitudes et performances des membranes de NF et d'OI pour la rétention de composés

3.3.1. Rétention de micropolluants organiques par des membranes de NF et d'OI

La NF et l'OI sont connues pour leur efficacité vis-à-vis de micropolluants organiques tels que certains pesticides et métabolites et certains PFAS. Quelle que soit la géométrie des membranes étudiées, les taux de rétention maximums calculés sont de l'ordre de 90-99 % pour la NF et de plus de 99 % pour l'OI. La majorité des membranes de NF et d'OI étudiées sont des membranes composites à couches minces (TFC pour *Thin-film composite*) en polyamide de géométrie plane ou spiralée, même si récemment une nouvelle génération de membranes de NF de géométrie fibre creuse est apparue sur le marché (Dagher *et al.* 2024; Granger-Delacroix *et al.* 2024; Steinle-Darling et Reinhard 2008; Liu *et al.* 2022).

Concernant la capacité de rétention des PFAS, la plupart des études se sont concentrées sur une sélection limitée de PFAS : les acides perfluoroalkyliques carboxyliques (PFCA) avec plus de sept atomes de carbone et les acides perfluoroalkylsulfoniques (PFSA) avec plus de six atomes de carbone, et notamment l'acide perfluorooctane sulfonique (PFOS) et l'acide perfluorooctanoïque (PFOA). Par conséquent, les efficacités sur d'autres PFAS, notamment ceux à chaînes plus courtes sont peu documentées. Les facteurs influençant la rétention sont notamment :

- les propriétés des PFAS (physico-chimie, longueur de chaîne) et des membranes (géométrie, charge de surface, etc.) ;
- la composition de l'eau à traiter et son pH ;
- les conditions de mise en œuvre.

En effet, le seuil de coupure et la taille des pores des membranes NF utilisées (quelle que soit la géométrie) pour le traitement des PFAS varient respectivement entre 90 et 1000 Da et entre 0,3 et 2,1 nm. Pour les membranes d'OI, le seuil de coupure est inférieur ou égal à 100 Da.

Les membranes TFC de NF formées par les monomères aromatiques pipérazine et chlorure de trimésyle (TMC pour *trimesoyl-chloride*) sont modérément hydrophiles (angles de contact avec l'eau variant de 14,4 à 73,5°). En revanche, les membranes TFC d'OI formées par m-phénylènediamine (MPD) et TMC sont plus hydrophobes (angles de contact avec l'eau de 43,7° à 76,5°).

Ainsi, le principal mécanisme de rétention pour la NF et l'OI est l'exclusion stérique. La rétention du PFOS est positivement corrélée à celle du chlorure de sodium. Néanmoins, d'autres mécanismes peuvent intervenir, tels que la répulsion électrostatique. En effet, les PFAS sont généralement chargés négativement, tout comme les membranes de NF et de OI, ce qui permet d'observer des taux de rétention élevés même pour des membranes dont le seuil de coupure est supérieur au poids moléculaire de la molécule. De possibles mécanismes d'interactions hydrophobes peuvent également expliquer la rétention des PFAS. En général, la présence de matière organique améliorerait la rétention des PFAS (baisse du seuil de

coupure de la membrane ou liaisons avec la matière organique) (Appleman *et al.* 2013), ainsi que la présence de cations (formation de ponts avec les anions PFAS, qui sont donc mieux retenus). Les conditions de mise en œuvre, et surtout la pression transmembranaire¹¹, ont également un effet sur les performances de rétention.

Les données de la littérature montrent en général que la rétention de certaines substances à chaîne ultra-courte et courte par le procédé de NF est plus faible que celle des substances à chaîne longue. Les taux de rétention de certains PFAS anioniques à chaîne courte¹² et de certains PFAS neutres à chaîne longue sont inférieurs à 80 % (Liu *et al.* 2022).

La littérature sur la rétention des PFAS par les membranes d'OI est plus limitée. Les performances constatées sont meilleures que celles des membranes de NF et se situent autour de 99 %, y compris pour les PFAS à chaîne courte. Pour l'OIBP cette rétention est supérieure à 90 % pour la majeure partie des PFAS testés (Liu *et al.* 2022).

Ainsi, les taux de rétention pour les PFAS varient en fonction des molécules.

Concernant les pesticides et métabolites, les retours d'expériences (données confidentielles issues de dossiers industriels) montrent des taux de rejection variables en fonction des molécules pour la NF (dossier d'un fabricant de membranes joint à la saisine) et pour l'OIBP (Anses 2023).

Les figures 2 et 3 illustrent les performances variables des membranes de NF et d'OIBP pour la rétention de micropolluants organiques.

¹¹ La pression transmembranaire représente la force agissante de l'opération qui détermine la productivité (flux de perméation) mais aussi la sélectivité (taux de rétention) du procédé. Elle correspond à la moyenne des pressions d'alimentation et du rétentat, à laquelle la pression du perméat est soustraite (Aimar, Bacchin, et Maurel 2023).

¹² Définitions ITRC (*Interstate Technology & Regulatory Council*) (2023) complétées pour les ultra-courts :

- PFCA : Chaîne ultra-courte (deux à trois carbones), chaîne courte (quatre à sept carbones), chaîne longue (huit à douze carbones).
- PFSA : Chaîne ultra-courte (deux à trois carbones), chaîne courte (quatre à cinq carbones), chaîne longue (six à douze carbones).

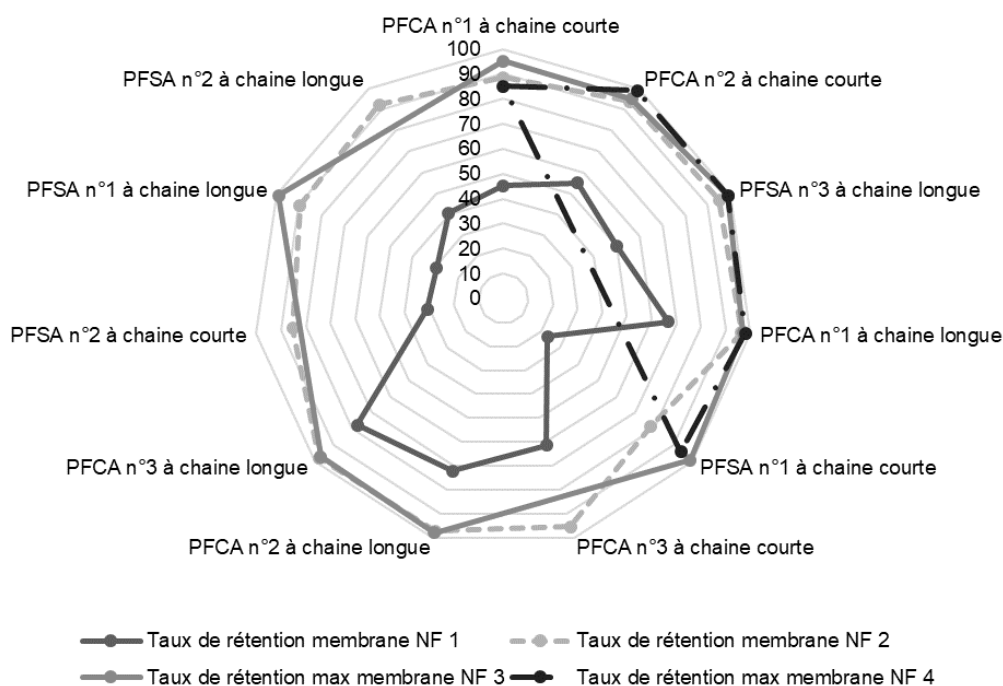


Figure 2 : Taux de rétention lors d'essais visant à l'évaluation de la rétention de PFAS par des membranes de NF (données issues de Liu et al. (2022), de « PFAS retentions of direct nanofiltration validated by KWR » s. d.) et d'un dossier industriel confidentiel).

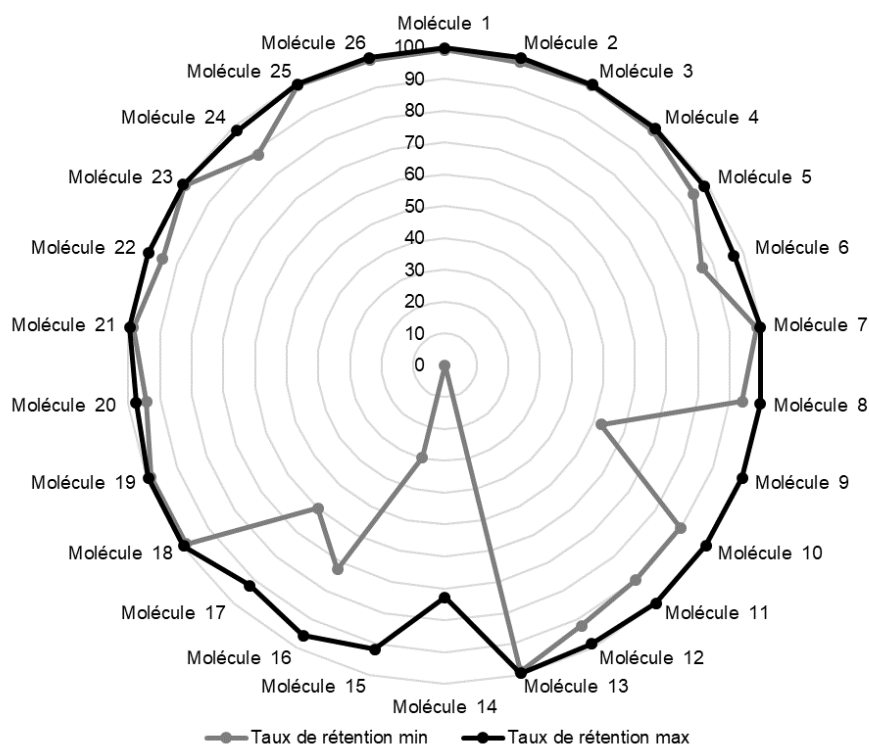


Figure 3 : Taux de rétention minimum et maximum calculés lors d'essais pilotes visant à l'évaluation de la rétention de 26 pesticides et métabolites par une membrane d'OIBP (données confidentielles issues d'un dossier industriel (Kuntz et al. 2024)).

3.3.2. Rétention de molécules inorganiques par des membranes de NF et d'OI

Les traitements membranaires, OI et NF, conduisent également à une rétention de sels dissous avec, dans le cas de l'OI, une déminéralisation pratiquement totale de l'eau (conductivité du perméat inférieure à 50 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$). Des sels de références (NaCl , MgSO_4 ou

CaCl_2) peuvent être utilisés pour évaluer et comparer les membranes. Les membranes d'OI présentent généralement des taux de rétention en NaCl supérieurs à 99 % tandis qu'une membrane de NF a généralement un taux de rétention en MgSO_4 supérieur à 97 % (ASTEE 2021). Les taux de rétention en CaCl_2 sont également utilisés pour faire la distinction entre les membranes de NF « lâche » (taux de rétention inférieur à 50 %) et les membranes de NF « serrée » (taux de rétention supérieur à 80 %). Alhussaini *et al.* (2024) ont ainsi comparé des membranes d'OI et de NF « serrée » et « lâche » afin de confirmer et de détailler ces tendances comme illustré par la figure 4. Les membranes de NF fibres creuses conduisent à des résultats similaires aux membranes de NF « lâche ».

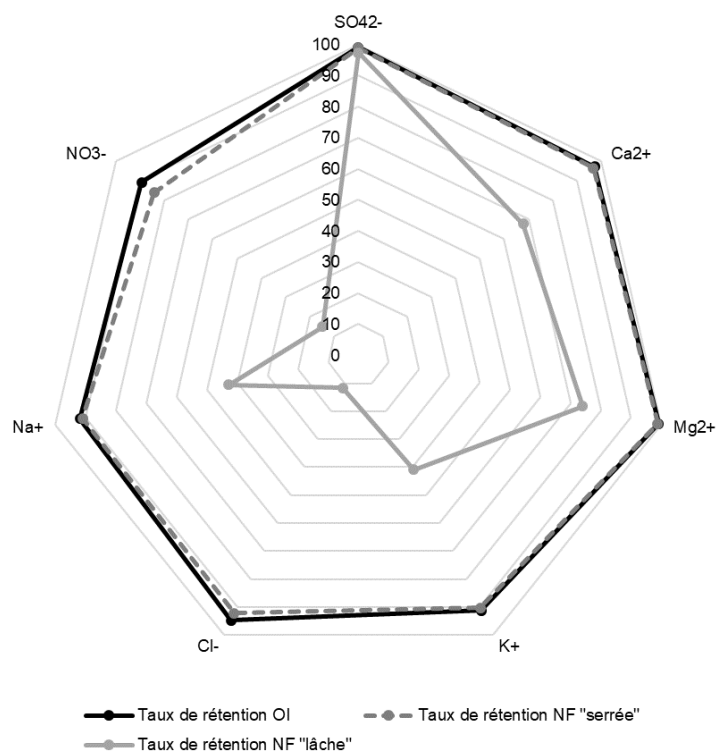


Figure 4 : Taux de rétention de molécules inorganiques par des membranes d'OI et de NF « lâche » et « serrée » (données issues de Alhussaini *et al.* (2024)).

Dans tous les cas les rétentions en sels doivent être évaluées dans des conditions stabilisées et peuvent varier en fonction des conditions d'exploitation des membranes (flux, taux de conversion) et des caractéristiques des eaux à traiter (figure 5).

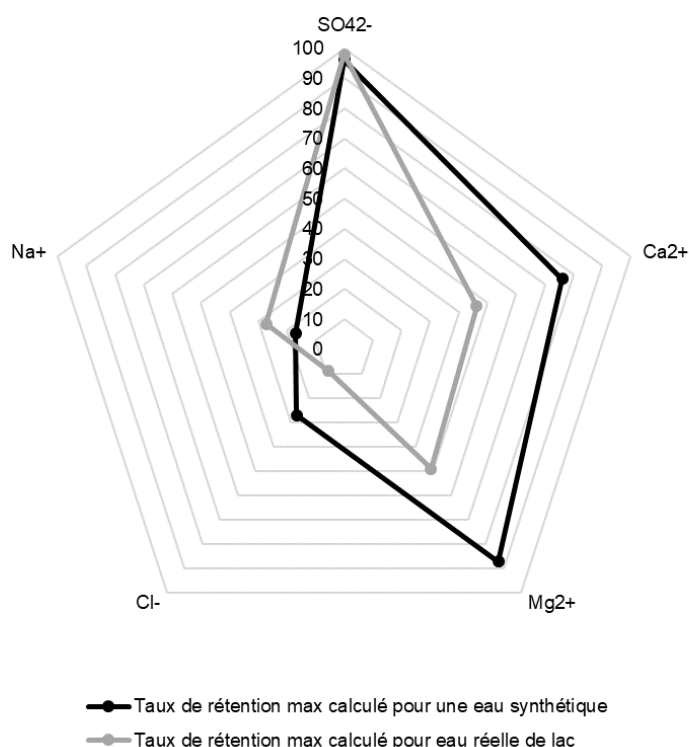


Figure 5 : Taux de rétention maximum de molécules inorganiques par des membranes de NF, calculés lors des essais sur une eau synthétique et une eau de réelle de lac (données confidentielles issues d'un dossier industriel).

Pour la production d'eau potable, la rétention des sels dissous peut être un effet souhaité : adoucissement partiel, traitement de micropolluants inorganiques (perchlorates, sélénium, nickel, arsenic, etc.), réduction de concentrations excessives de certains ions (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , etc.) (figure 6).

Néanmoins, une déminéralisation trop poussée de l'eau est aussi un effet négatif du traitement qui doit ensuite être corrigée par un traitement de reminéralisation et de remise à l'équilibre calco-carbonique de l'eau avant sa mise en distribution. La connaissance des taux de rétention des sels inorganiques par la membrane constitue donc également un élément de choix important. La rétention des ions monovalents tels que le bicarbonate (HCO_3^-), le sodium (Na^+) et le chlorure (Cl^-) n'est souvent pas nécessaire dans le traitement de l'eau potable à partir des eaux de surface. Le fait de ne pas éliminer ces ions est bénéfique pour éviter la reminéralisation et pour une meilleure gestion des concentrats, ce qui est en faveur de l'utilisation de membranes de NF par rapport à celles d'OI, sans considérer les objectifs de traitement d'autres composés.

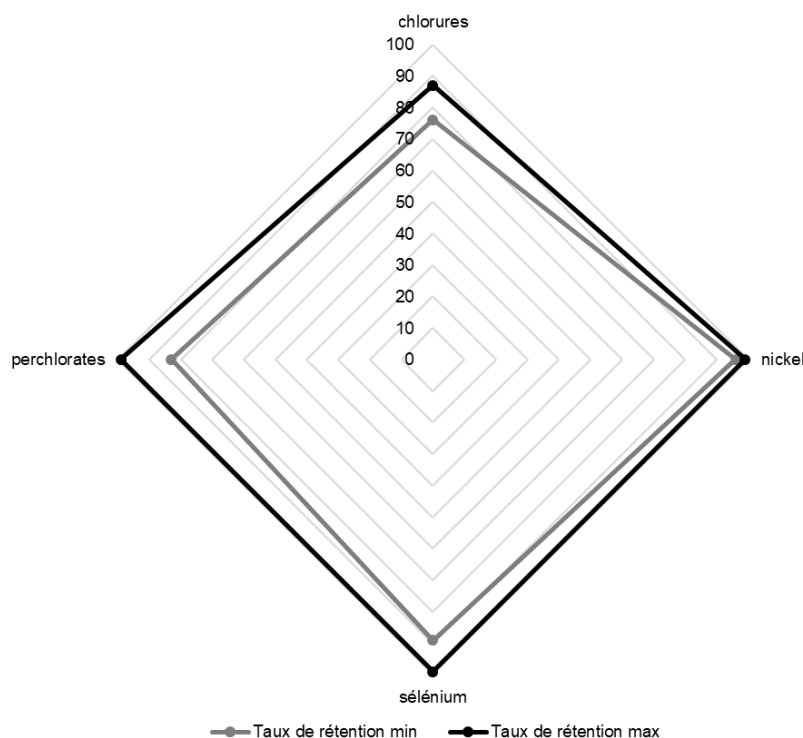


Figure 6 : Taux de rétention maximum de molécules inorganiques par des membranes de NF (données confidentielles issues d'un dossier industriel)

Les procédés membranaires NF et OI peuvent donc constituer une solution pour le traitement de certains micropolluants inorganiques.

3.4. Synthèse et conclusions

L'Anses a expertisé la possibilité d'étendre les revendications d'efficacité reconnues (modification de l'annexe 6 de l'arrêté du 22 juin 2012), pour certains types de procédés de filtration membranaire (NF et OI), aux micropolluants organiques et inorganiques.

Les membranes de NF et d'OI permettent souvent des abattements en micropolluants inorganiques et organiques (en particulier certains pesticides et métabolites et certains PFAS). La valeur de ces abattements dépend de nombreux facteurs détaillés précédemment et peut être, dans certains cas, très faible (inférieure à 5 %) et dans de nombreux cas, très élevée (supérieure à 90 %). De plus la littérature relative aux techniques d'apprentissage automatique a montré la difficulté de prédire la rétention et de généraliser les résultats d'essais pilotes réalisés dans des conditions de mise en œuvre spécifiques. Ainsi, les extrapolations à d'autres conditions de traitement que celles mises en œuvre lors des essais pilotes sont à considérer avec prudence.

Les expertises précédentes de l'Anses, concernant l'efficacité de procédés membranaires pour la rétention de molécules organiques et inorganiques, ont également conduit au constat d'une certaine efficacité, en se basant sur les éléments de preuve fournis dans les dossiers, à savoir les résultats d'essais pilotes. Cependant, l'Anses a recommandé la réalisation systématique de nouveaux essais pilotes sur l'eau brute à traiter puisque les performances des procédés membranaires varient en fonction des propriétés des composés à retenir, de celles des membranes, de la composition des eaux et des conditions d'utilisation des procédés membranaires.

Ainsi, l'expérience montrant que la plus-value de l'expertise de l'Anses sur ces dossiers est limitée, le CES « Eaux » propose de ne plus recourir systématiquement à l'Agence

pour les revendications d'efficacité des procédés membranaires de NF et d'OI pour la rétention des micropolluants inorganiques et organiques (dont pesticides et PFAS).

En effet, le responsable de la mise sur le marché des modules de filtration membranaire doit, dans tous les cas, détenir les preuves attestant de l'efficacité revendiquée selon les modalités figurant en annexe 7 de l'arrêté du 22 juin 2012 et réaliser des essais pilotes.

Par ailleurs, le CES « Eaux » rappelle les effets négatifs des traitements de NF et d'OI :

- une déminéralisation trop poussée de l'eau peut nécessiter un traitement de reminéralisation et de remise à l'équilibre calco-carbonique de l'eau avant sa mise en distribution ;
- la problématique de l'élimination des concentrats au regard de leur teneur éventuelle en micropolluants organiques tels que les PFAS.

3.4.1. Modification de l'annexe 6 de l'arrêté du 22 juin 2012

Le CES « Eaux » propose les modifications suivantes de l'annexe 6 :

- préciser le titre actuel « revendications d'efficacité reconnues » par « revendications d'efficacité reconnues des procédés membranaires vis-à-vis de la rétention de paramètres/composés cibles » ;
- modifier l'orientation du tableau pour une meilleure lisibilité et compréhension ;
- modifier les seuils de coupure ou les tailles de pores indiqués sous chaque type de filtration membranaire, même s'ils sont donnés à titre indicatif, afin de prendre en compte l'état actuel des connaissances sur les procédés membranaires ; de regrouper les ions monovalents et divalents et d'y inclure les micropolluants / molécules inorganiques ;
- ajouter la cellule micropolluants / molécules organiques ;
- supprimer les valeurs d'abattement des paramètres microbiologiques et les valeurs de turbidité dans l'eau filtrée mentionnées pour la MF et l'UF afin d'harmoniser les dispositions avec celles de la NF et l'OI (qui ne précisent pas de valeurs d'abattement) ;
- mentionner la turbidité et les matières en suspension dans la même cellule ;
- utiliser le terme « matières organiques dissoutes » plutôt que « matières organiques (dont le carbone organique dissous) ».

Le CES « Eaux » suggère de conserver le possible recours à l'article R. 1321-50-IV du CSP (produits et procédés de traitement innovants) pour les paramètres et composés non listés (micro/nanoplastiques¹³, etc.).

De ce fait, il est proposé que l'annexe 6 soit présentée de la façon suivante :

ANNEXE 6

REVENDEICATIONS D'EFFICACITÉ RECONNUES DES PROCÉDÉS MEMBRANAIRES VIS-À-VIS DE LA RÉTENTION DE PARAMÈTRES/COMPOSÉS CIBLES

Les paramètres et composés cibles du traitement par les procédés membranaires sont présentés dans le tableau ci-après. Les revendications de mise en œuvre de procédés

¹³ Actuellement, données scientifiques limitées et difficultés d'échantillonnage et d'analyse.

membranaires pour la rétention de paramètres et composés qui n'y sont pas mentionnées relèvent des dispositions prévues à l'article R. 1321-50-IV du code de la santé publique.

La mise en œuvre de modules de filtration membranaire dans une installation de production d'eau destinée à la consommation humaine ne peut être revendiquée comme une étape de désinfection de l'eau produite.

Type de filtration membranaire Paramètres / Composés cibles du traitement ⁽¹⁾	Microfiltration (taille de pores comprise entre 0,05 et 0,5 µm ⁽²⁾)	Ultrafiltration (seuil de coupure compris entre 1 000 et 200 000 Daltons ⁽²⁾)	Nanofiltration ⁽³⁾ (seuil de coupure compris entre 100 et 1 000 Daltons ⁽²⁾)	Osmose inverse ⁽³⁾ (seuil de coupure ≤ 100 Daltons ⁽²⁾)
Turbidité / Matières en suspension	X	X	X ⁽⁴⁾	X ⁽⁴⁾
Kystes de <i>Giardia</i> / Oocystes de <i>Cryptosporidium</i>	X	X	X	X
Bactéries	X	X	X	X
Virus		X	X	X
Ions monovalents et divalents dont les micropolluants / molécules inorganiques			X ⁽⁵⁾	X
Micropolluants / Molécules organiques			X	X
Matières organiques dissoutes			X	X

⁽¹⁾ Sous réserve que soit mis en œuvre un protocole de contrôle de l'intégrité des modules de filtration membranaire à une fréquence suffisante, tel que défini par le responsable de la mise sur le marché dans la notice d'utilisation.

⁽²⁾ Données indicatives.

⁽³⁾ Il est rappelé l'obligation de remettre à l'équilibre calco-carbonique les eaux traitées par nanofiltration et osmose inverse : il est recommandé que les eaux soient ramenées à un titre hydrotimétrique et à un titre alcalimétrique complet d'au moins 8°f (8°f = 80 mg.L⁻¹ exprimé en CaCO₃ ou 1,6 méq.L⁻¹) et à un pH permettant d'être légèrement incrustant et voisin de 8.

⁽⁴⁾ Considérant le seuil de coupure de la nanofiltration et de l'osmose inverse, ces procédés sont capables de rejeter les matières en suspension responsables de la turbidité. Cependant, afin d'éviter les risques de colmatage, il n'est pas d'usage de les employer à cet effet. Souvent un prétraitement est utilisé en amont pour prévenir ce colmatage.

⁽⁵⁾ Avec une moindre efficacité que l'osmose inverse pour les ions monovalents.

3.4.2. Autres propositions de modifications de l'arrêté du 22 juin 2012

- Modification de l'article 21 – I : ajouter « et de la personne responsable de la production et de la distribution d'eau » dans la phrase : « Le responsable de la mise sur le marché tient à la disposition des autorités sanitaires **et de la personne responsable de la production et de la distribution d'eau**, les preuves attestant de l'efficacité revendiquée du module de filtration membranaire. »

- Modification de l'article 21 – II : ajouter « réalisés selon les modalités de l'annexe 7 » dans la phrase : « Les résultats d'essais pilotes, **réalisés selon les modalités de l'annexe 7**, constituent des preuves attestant de l'efficacité des modules de filtration membranaire [...] »
- Modification de l'annexe 7 – II : ajouter « la concentration de » la fraction quantifiée dans la phrase : « Les résultats des essais sont présentés comme **la concentration de** la fraction quantifiée des éléments présents dans le perméat par rapport à la concentration présente dans l'eau alimentant le pilote, en utilisant l'abattement ou le taux de rétention. »
- Modification de l'annexe 7 – IV : modifier « Pour des molécules organiques différentes » par « pour d'autres éléments/composés ou molécules qui n'ont pas été testés » dans la phrase : « Les éléments, dont le taux de rétention est revendiqué, sont ceux pouvant affecter la qualité des eaux (ions majeurs ou micropolluants). L'extrapolation des résultats **pour d'autres éléments/composés ou molécules qui n'ont pas été testés** n'est pas possible. »

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) adopte les conclusions du CES « Eaux » relatifs à l'analyse du projet d'arrêté visant à remplacer celui du 22 juin 2012 pour application de l'article R.1321-50-I du code de la santé publique (CSP).

Au vu des travaux qu'elle mène dans le domaine de l'évaluation de la sécurité sanitaire des eaux au regard de l'évolution des pressions anthropiques sur les ressources, l'Anses estime que le nombre de personnes responsables de la production et de la distribution de l'eau (PRPDE au sens de l'article L. 1321-4 du CSP) qui vont être amenées à mettre en place des dispositifs de traitement va augmenter et que des solutions nouvelles vont être développées par les professionnels du traitement de l'eau pour faire face aux besoins. Aussi, il est important d'actualiser l'encadrement réglementaire des dispositifs de traitement par membrane.

Au regard des deux familles d'exigences énoncées, à savoir l'innocuité et l'efficacité, l'Anses considère, au vu des travaux menés dans cette analyse et par le passé par ses experts, qu'il est adapté de distinguer les modes de vérification du respect des exigences :

- S'agissant de l'innocuité, il ressort notamment des exigences de l'arrêté, qu'une vérification par un laboratoire habilité tierce partie est en place, avec l'obligation pour le metteur en marché d'obtenir des attestations de conformité sanitaire (ACS) des modules de filtration membranaire, et doit être maintenue ;
- S'agissant de l'efficacité, l'Anses constate que, si les expertises qu'elle a menées permettent d'établir les performances attendues par type de filtration membranaire, et d'identifier les paramètres majeurs qui influencent ces performances, la diversité des technologies, des performances revendiquées et des contextes de mise en œuvre (caractéristiques des ressources à traiter) ne permettent pas de prédéterminer des dispositions générales d'encadrement par type de procédé. En effet, le retour d'expérience des expertises précédentes sur les procédés membranaires de nanofiltration (NF) et d'osmose inverse (OI) pour la rétention des micropolluants chimiques organiques et inorganiques montre que la qualité de la démonstration des performances réside principalement dans la batterie d'essais mis en œuvre pour l'attester et des résultats qui en découlent. De ce fait, l'Agence ne recommande plus qu'une évaluation préalable des démonstrations d'efficacité lui soit soumise. Elle considère cependant qu'il est incontournable que la démonstration d'efficacité inclue la réalisation systématique d'essais pilotes dans les conditions opératoires correspondant ou couvrant le cas des installations réelles dans lesquelles le module sera amené à fonctionner. L'Agence souligne l'importance pour les PRPDE d'inclure la vérification de ces performances dans le processus d'acquisition et d'installation de ce type de dispositifs de traitement, conformément à leurs obligations au titre de l'article R. 1321-51 du CSP.

Afin de faciliter l'émergence de solutions techniques validées dans des conditions maîtrisées, et lisibles pour les acquéreurs, l'Anses recommande également que la profession ou la fédération professionnelle du secteur développe un guide de recommandations sur la conduite des essais pilotes. Au titre du maintien dans le temps de la performance des modules de filtration membranaire, une attention devra également être accordée à la capacité du système à détecter une défaillance au niveau de son intégrité physique et de l'étanchéité des éléments périphériques (joints toriques, mastic/produit d'étanchéité, etc.).

En matière de disposition réglementaire, l'Agence recommande, dorénavant, de limiter les sollicitations pour avis de sa part, au titre de l'article R. 1321-50-IV du CSP, uniquement pour les composés non listés dans l'annexe 6 mise à jour (par exemple pour les micro/nanoplastiques).

L'Anses rappelle que même si les procédés membranaires permettent de retenir certains paramètres/composés cibles, toutes les étapes d'une filière de traitement concourent à son efficacité.

Elle souligne enfin l'importance de la gestion des concentrats des modules de NF ou d'OI qui peuvent être chargés en micropolluants organiques (notamment PFAS, pesticides et métabolites) et/ou minéraux. Leur prise en charge et devenir devraient être étudiés afin d'éviter qu'ils ne deviennent une source de contamination secondaire de l'environnement.

Pr Benoit Vallet

MOTS-CLÉS

Eau destinée à la consommation humaine, procédé de traitement membranaire, efficacité, nanofiltration, osmose inverse, micropolluants organiques et inorganiques.

Drinking water, membrane treatment process, efficiency, nanofiltration, reverse osmosis, organic and inorganic micropollutants.

BIBLIOGRAPHIE

Publications

- Aimar, Pierre, Patrice Bacchin, et Alain Maurel. 2023. « Filtration membranaire (OI, NF, UF, MFT) - Aspects théoriques : mécanismes de transfert ». <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/operations-unitaires-techniques-separatives-sur-membranes-42331210/filtration-membranaire-oi-nf-uf-mft-j2789/>.
- Alhussaini, Mohammed A., Bianca M. Souza-Chaves, Varinia Felix, et Andrea Achilli. 2024. « Comparative analysis of reverse osmosis and nanofiltration for the removal of dissolved contaminants in water reuse applications ». *Desalination* 586 (octobre) : 117822. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.117822>.
- Ammi, Yamina, Latifa Khaouane, et Salah Hanini. 2015. « Prediction of the rejection of organic compounds (neutral and ionic) by nanofiltration and reverse osmosis membranes using neural networks ». *Korean Journal of Chemical Engineering* 32 (11) : 2300-2310. <https://doi.org/10.1007/s11814-015-0086-y>.
- Anses. 2009. « Lignes directrices pour l'évaluation de l'innocuité des modules de filtration et de l'efficacité des procédés membranaires ». Saisine n°2005-SA-0214. Maisons-Alfort : Anses. <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX-Ra-Membranes.pdf>.
- . 2010. « Avis de l'Anses sur un projet d'arrêté relatif aux conditions de mise sur le marché et de mise en œuvre des modules de filtration membranaire utilisés pour le traitement d'eau destinée à la consommation humaine pris en application de l'article R. 1321-50-I du code de la santé publique ». Saisine n°2010-SA-0113. Maisons-Alfort : Anses. <https://www.anses.fr/en/system/files/EAUX2010sa0113.pdf>.
- . 2014. « Extrait de l'avis du 29 juillet 2014 de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à une demande d'approbation du procédé « NanEau Force » mettant en œuvre les modules de filtration membranaire « Filmtec NF90B 400 » pour le traitement des eaux destinées à la consommation humaine vis-à-vis des paramètres chlorures, nickel, sélénium et perchlorates ». Saisine n°2014-SA-0026. Maisons-Alfort : Anses. <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2014sa0026.pdf>.
- . 2020. « Utilisation des procédés membranaires pour le traitement des eaux de piscine ». Saisine n°2018-SA-0034. Maisons-Alfort : Anses. <https://hal.science/hal-04374192>.
- . 2023. « Extrait de l'avis du 11 décembre 2023 de l'Anses relatif à une demande d'autorisation d'utilisation d'un procédé mettant en œuvre des membranes d'osmose inverse basse pression « TORAY TEP-HA » pour l'élimination de 26 pesticides et métabolites en vue de la production d'eau destinée à la consommation humaine ». Saisine n°2023-SA-0148. Maisons-Alfort : Anses. <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2023SA0148.pdf>.
- Appleman, Timothy D., Eric R. V. Dickenson, Christopher Bellona, et Christopher P. Higgins. 2013. « Nanofiltration and granular activated carbon treatment of perfluoroalkyl acids ».

- Journal of Hazardous Materials* 260 (septembre) : 740-46.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.06.033>.
- ASTEE. 2021. *Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine*.
- Bonny, Talal, Mariam Kashkash, et Farah Ahmed. 2022. « An efficient deep reinforcement machine learning-based control reverse osmosis system for water desalination ». *Desalination* 522 (janvier) : 115443. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115443>.
- Causserand, Christel. 2015. « Filtration membranaire (OI, NF, UF) - Caractérisation des membranes ». <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/operations-unitaires-techniques-separatives-sur-membranes-42331210/filtration-membranaire-oi-nf-uf-j2792/caracteristiques-structurales-j2792niv10001.html>.
- Dagher, G., G. Saab, A. Martin, G. Couturier, P. Candido, L. Moulin, J. P. Croué, et B. Teychene. 2024. « Understanding and predicting the adsorption and rejection of pesticides and metabolites by hollow fiber nanofiltration membranes ». *Separation and Purification Technology* 330 (février) : 125323. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.125323>.
- Ebrahimzadeh, Salma, Bas Wols, Arianna Azzellino, Bram J. Martijn, et Jan Peter van der Hoek. 2021. « Quantification and modelling of organic micropollutant removal by reverse osmosis (RO) drinking water treatment ». *Journal of Water Process Engineering* 42 (août) : 102164. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102164>.
- Garcia-Ivars, Jorge, Lucia Martella, Manuele Massella, Carlos Carbonell-Alcaina, Maria-Isabel Alcaina-Miranda, et Maria-Isabel Iborra-Clar. 2017. « Nanofiltration as tertiary treatment method for removing trace pharmaceutically active compounds in wastewater from wastewater treatment plants ». *Water Research* 125 (novembre) : 360-73. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.070>.
- Granger-Delacroix, M., C. Albasi, L. Latapie, A. Vandenbossche, G. Nourrit, et C. Causserand. 2024. « Retention of nine micropollutants covering a wide range of physical-chemical properties using polyelectrolyte multilayer hollow fiber NF membranes ». *Separation and Purification Technology* 338 (juin) : 126495. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.126495>.
- Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications*. 2009. <https://shop.elsevier.com/books/handbook-of-statistical-analysis-and-data-mining-applications/nisbet/978-0-12-374765-5>.
- Ignacz, Gergo, et Gyorgy Szekely. 2022. « Deep learning meets quantitative structure–activity relationship (QSAR) for leveraging structure-based prediction of solute rejection in organic solvent nanofiltration ». *Journal of Membrane Science* 646 (mars) : 120268. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2022.120268>.
- ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council). 2023. « PFAS Technical and Regulatory Guidance Document and Fact Sheets PFAS-1 ». Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, PFAS Team. <https://pfas-1.itrcweb.org/>.
- Jeong, Nohyeong, Tai-heng Chung, et Tiezheng Tong. 2021. « Predicting Micropollutant Removal by Reverse Osmosis and Nanofiltration Membranes: Is Machine Learning Viable? » *Environmental Science & Technology* 55 (16) : 11348-59. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04041>.
- Khaouane, Latifa, Yamina Ammi, et Salah Hanini. 2017. « Modeling the Retention of Organic Compounds by Nanofiltration and Reverse Osmosis Membranes Using Bootstrap Aggregated Neural Networks ». *Arabian Journal for Science and Engineering* 42 (4) : 1443-53. <https://doi.org/10.1007/s13369-016-2320-2>.
- Kuntz, Jonathan, Quentin Ferret, Christyne Videloup, Célia Spiral, Raphaëlle Du Besset, Karl Glucina, Axel Geslin, et al. 2024. « Autorisation du procédé d'osmose inverse basse pression pour éliminer les traces de 26 pesticides et métabolites dans l'eau potable ». Poitiers.

- Lee, Sangsuk, et Jooho Kim. 2020. « Prediction of Nanofiltration and Reverse-Osmosis-Membrane Rejection of Organic Compounds Using Random Forest Model ». *Journal of Environmental Engineering* 146 (11) : 04020127. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001806](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001806).
- Lee, Woo-Sung, et Chang-Ha Lee. 2022. « Dynamic modeling and machine learning of commercial-scale simulated moving bed chromatography for application to multi-component normal paraffin separation ». *Separation and Purification Technology* 288 (mai) : 120597. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.120597>.
- Liu, Caihong, Xiaoqing Zhao, Andreia F. Faria, Katherine Y. Deliz Quiñones, Chuhui Zhang, Qiang He, Jun Ma, Ye Shen, et Yue Zhi. 2022. « Evaluating the efficiency of nanofiltration and reverse osmosis membrane processes for the removal of per- and polyfluoroalkyl substances from water: A critical review ». *Separation and Purification Technology* 302 (décembre) : 122161. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122161>.
- Lundberg, Scott M., Gabriel Erion, Hugh Chen, Alex DeGrave, Jordan M. Prutkin, Bala Nair, Ronit Katz, Jonathan Himmelfarb, Nisha Bansal, et Su-In Lee. 2020. « From local explanations to global understanding with explainable AI for trees ». *Nature Machine Intelligence* 2 (1) : 56-67. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0138-9>.
- « Modélisation Phénoménologique: Méthodes & Concepts ». s. d. StudySmarter FR. <https://www.studysmarter.fr/resumes/ingenierie/genie-mecanique/modelisation-phenomenologique/>.
- Ozaki, Hiroaki, et Huafang Li. 2002. « Rejection of organic compounds by ultra-low pressure reverse osmosis membrane ». *Water Research* 36 (1) : 123-30. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00197-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00197-X).
- Ozay, Yasin, Oltan Canli, Bahar Ozbey Unal, Bulent Keskinler, et Nadir Dizge. 2020. « Investigation of plasticizer production industry wastewater treatability using pressure-driven membrane process ». *Water Supply* 21 (5) : 1994-2007. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.268>.
- « PFAS retentions of direct nanofiltration validated by KWR ». s. d. NX Filtration. <https://nxfiltration.com/solutions/pfas-retentions-of-direct-nanofiltration-validated-by-kwr/>.
- Remigy, Jean-Christophe, et Sandrine Desclaux. 2007. « Filtration membranaire (OI, NF, UF) - Présentation des membranes et modules ». <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/procedes-chimie-bio-agro-th2/operations-unitaires-techniques-separatives-sur-membranes-42331210/filtration-membranaire-oi-nf-uf-j2791/>.
- Steinle-Darling, Eva, et Martin Reinhard. 2008. « Nanofiltration for Trace Organic Contaminant Removal: Structure, Solution, and Membrane Fouling Effects on the Rejection of Perfluorochemicals ». *Environmental Science & Technology* 42 (14) : 5292-97. <https://doi.org/10.1021/es703207s>.
- Van der Bruggen, Bart. 2018. « Chapter 2 - Microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, reverse osmosis, and forward osmosis ». Dans *Fundamental Modelling of Membrane Systems*. Sous la direction de Patricia Luis, 25-70. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813483-2.00002-2>.
- Van der Bruggen, Bart, J. Schaep, D. Wilms, et C. Vandecasteele. 1999. « Influence of molecular size, polarity and charge on the retention of organic molecules by nanofiltration ». *Journal of Membrane Science* 156 (1) : 29-41. [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(98\)00326-3](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(98)00326-3).
- Yangali-Quintanilla, V., A. Sadmani, M. McConville, M. Kennedy, et G. Amy. 2009. « Rejection of pharmaceutically active compounds and endocrine disrupting compounds by clean and fouled nanofiltration membranes ». *Water Research* 43 (9) : 2349-62. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.02.027>.

- Yeo, Chester Su Hern, Qian Xie, Xiaonan Wang, et Sui Zhang. 2020. « Understanding and optimization of thin film nanocomposite membranes for reverse osmosis with machine learning ». *Journal of Membrane Science* 606 (juillet) : 118135. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118135>.
- Zhao, Yangying, Xin Tong, et Yongsheng Chen. 2021. « Fit-for-Purpose Design of Nanofiltration Membranes for Simultaneous Nutrient Recovery and Micropollutant Removal ». *Environmental Science & Technology* 55 (5) : 3352-61. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c08101>.
- Zhu, Tengyi, Wenxuan Chen, Rajendra Prasad Singh, et Yanran Cui. 2020. « Versatile *in silico* modeling of partition coefficients of organic compounds in polydimethylsiloxane using linear and nonlinear methods ». *Journal of Hazardous Materials* 399 (novembre) : 123012. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123012>.
- Zhu, Tengyi, Yu Zhang, Cuicui Tao, Wenxuan Chen, et Haomiao Cheng. 2023. « Prediction of organic contaminant rejection by nanofiltration and reverse osmosis membranes using interpretable machine learning models ». *Science of The Total Environment* 857 (janvier) : 159348. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159348>.

Normes

AFNOR. 2024. « Norme NF X45-103. Filtration des liquides - Membranes poreuses - Taux de rétention et seuil de coupure des membranes d'ultrafiltration ». <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-x45103/filtration-des-liquides-membranes-poreuses-taux-de-retention-et-seuil-de-co/fa205248/418513>.

Réglementation

Arrêté du 17 août 2007 relatif à la constitution du dossier de demande de mise sur le marché d'un produit ou d'un procédé de traitement d'eau destinée à la consommation humaine mentionné à l'article R. 1321-50-IV du code de la santé publique, modifié par l'arrêté du 4 juin 2009. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000000279278/>.

Arrêté du 22 juin 2012 relatif aux conditions de mise sur le marché et de mise en œuvre des modules de filtration membranaire utilisés pour le traitement d'eau destinée à la consommation humaine pris en application de l'article R. 1321-50 (I et II) du code de la santé publique. <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000026087753/>.

Vocabulaire de l'intelligence artificielle (liste de termes, expressions et définitions adoptés). <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037783813>.

CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2025). Avis de l'Anses relatif aux conditions de mise sur le marché et de mise en œuvre des modules de filtration membranaire utilisés pour le traitement d'eau destinée à la consommation humaine pris en application de l'article R.1321-50 (I et II) du code de la santé publique. Saisine 2024-SA-0136. Maisons-Alfort : Anses, 28 p.

ANNEXE 1

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.

RAPPORTEURS

M. Jean BARON – Directeur adjoint de la Direction de la Recherche & Développement et de la Qualité de l'Eau – Eau de Paris – Chimie de l'eau, connaissance de tous les matériaux (y compris membranes) et maîtrise de leur évaluation sanitaire, vieillissement et corrosion des matériaux, produits et procédés de traitement de l'eau, filières de traitement d'EDCH.

Mme Christel CAUSSERAND – Professeure des universités – Université de Toulouse – Génie chimique, filtration membranaire, traitement des eaux, sélectivité, rétention de bactéries, élimination de micropolluants, vieillissement des membranes.

Mme Julie MENDRET – Maître de conférences en génie des procédés et traitement de l'eau – Université de Montpellier - Polytech Montpellier, Département Génie des procédés membranaires – Réutilisation des eaux usées traitées, production d'eau destinée à la consommation humaine, filtration membranaire, procédés d'oxydation avancée

M. Mathias MONNOT – Enseignant chercheur – Université de Toulouse – Génie chimique, génie des procédés, filtration membranaire, élimination des PFAS, virus (OIBP, UF), couplage procédés membranaires/oxydation, dessalement d'eau de mer.

M. Benoit TEYCHENÉ – Maître de conférences en traitement de l'eau – Université de Poitiers, École Nationale Supérieure d'Ingénieur de Poitiers (ENSI Poitiers), Institut de chimie des milieux et matériaux de Poitiers (IC2MP) – Traitement de l'eau (eau potable et eaux usées), micropolluants, procédés membranaires.

COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

■ CES « Eaux »

Président

M. Gilles BORNERT – Chef de service – Groupe vétérinaire des armées de Rennes – Microbiologie, réglementation, situations dégradées, *water defense*.

Vice-présidentes

Mme Catherine QUIBLIER – Professeure – Université Paris Cité – Museum national d'histoire naturelle (MNHN).

Mme Anne TOGOLA – Chef de projet de recherche – Bureau de recherche géologiques et minières (BRGM) – Micropolluants organiques, chimie analytique, eaux souterraines.

Membres

M. Jean-Luc BOUDENNE – Professeur – Université Aix-Marseille, Laboratoire Chimie de l'environnement – Métrologie des eaux, chimie et qualité des eaux.

M. Nicolas CIMETIERE – Maître de conférences, HDR – École nationale supérieure de chimie de Rennes (ENSCR) – Analyse et traitement des eaux (EDCH, micropolluants organiques).

M. Jean-François COMMAILLE – Retraité – Traitement des eaux et des sous-produits.

M. Christophe DAGOT – Professeur – Université de Limoges, UMR Inserm 1092, RESINFIT – Antibiorésistance (intégrons, génie des procédés), qualité des effluents (antibiotiques et bactéries résistantes).

Mme Sabine DENOOZ – Expert process et qualité de l'eau – La société Wallonne des eaux, Belgique – Produits et procédés de traitement de l'eau (EDCH), plans de gestion de la sécurité sanitaire des eaux (PGSSE), expertise technique.

M. Frédéric FEDER – Directeur de l'unité « Recyclage et risque » – Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) – Géochimie, transfert des contaminants eau/sol/plante, évaluation des risques environnementaux, analyses des eaux, sols et végétaux, reuse, REUT.

M. Matthieu FOURNIER – Maître de conférences, HDR en Géosciences – Université Rouen Normandie – Hydrogéologie, hydrologie, EDCH, transfert et devenir des micro-organismes dans l'environnement, modélisation, risques sanitaires.

M. Stéphane GARNAUD-CORBEL – Chargé de mission recherche « Eau, biodiversité et aménagement urbain » – Office français de la biodiversité (OFB) – Assainissement, gestion intégrée des eaux pluviales, traitement des boues, utilisation d'eaux non conventionnelles.

M. Johnny GASPERI – Directeur de recherche – Université Gustave Eiffel – Micropolluants organiques, eaux urbaines, eaux de surface, traitements des eaux usées.

M. Jean-Yves GAUBERT – Responsable R&D – Eau du bassin rennais et Rennes Métropole assainissement – Constituants et contamination des eaux et des rejets, génie des procédés, produits et procédés de traitement, réactions secondaires et sous-produits de désinfection, réseau de distribution, exploitation de services d'eaux.

M. Julio GONÇALVÈS – Professeur – Université Aix-Marseille, Centre européen de recherche et d'enseignement en géosciences de l'environnement (CEREGE) – Hydrogéologie, ressources en eaux, transfert de contaminants dans les nappes, modélisation, recharge.

M. Jean-Louis GONZALEZ – Chercheur, HDR – Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER) – Milieu marin, contaminants chimiques, spéciation, modélisation, échantillonnages passifs.

M. Jean-François HUMBERT – Directeur de recherche, HDR – UMR BIOENCO, Institut de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) – Microbiologie de l'eau dont cyanobactéries, écologie microbienne.

M. Frédéric JORAND – Professeur – Université de Lorraine-Faculté de pharmacie – Eaux destinées à la consommation humaine, biofilm, biocorrosion, eau minérales naturelles, thermalisme.

M. Jérôme LABANOWSKI – Chargé de recherche CNRS – Université de Poitiers, UMR CNRS 7285 IC2MP, École Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers – Qualité des effluents, biofilm en rivière, sédiments, devenir des contaminants effluents-rivière.

M. Jérôme LABILLE – Directeur de recherche au CNRS – Université Aix-Marseille – Devenir des contaminants dans les cycles de l'eau, exposition environnementale, vectorisation colloïdale, continuum homme terre mer, transfert en milieu, REUT, traitement de l'eau.

Mme Sophie LARDY-FONTAN – Directrice du laboratoire d'hydrologie de Nancy – Métrologie, chimie analytique, micropolluants, ultratrace, assurance qualité/contrôle qualité (QA/QC).

M. Rodolphe LEMÉE – Professeur à Sorbonne Université, HDR – Laboratoire d'Océanographie de Villefranche, UMR 7093 CNRS-Sorbonne Université – Compétences en microalgues toxiques et nuisibles, *Ostreopsis*.

Mme Françoise LUCAS – Enseignant-chercheur – Université Paris-Est Créteil, Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains (LEESU) – Virologie, écologie microbienne, indicateurs de contamination fécale, bactériophages, mycobactéries, virus entériques, eaux usées et pluviales.

Mme Julie MENDRET – Maître de conférences, HDR – Université de Montpellier, Institut Européen des Membranes – Procédés membranaires, procédés d'oxydation avancée, couplage de procédés, élimination de micropolluants dans l'eau, réutilisation des eaux usées traitées.

M. Laurent MOULIN – Responsable du département recherche et développement – Eau de Paris – Microbiologie, virologie, traitements de désinfection, amibes.

M. Damien MOULY – Épidémiologiste, responsable d'unité, en charge de surveillance des épidémies d'origine hydrique – Santé Publique France – Risques infectieux, risques chimiques, PGSSE, épidémiologie, évaluation des risques sanitaires, surveillance, alerte.

Mme Fabienne PETIT – Professeur émérite – Université de Rouen, UMR CNRS M2C – Écologie microbienne.

Mme Pauline ROUSSEAU-GUEUTIN – Enseignante chercheuse en hydrogéologie – École des hautes études en santé publique (EHESP) – Hydrogéologie, hydrologie, transferts des contaminants, périmètres de protection de captage, PGSSE.

Mme Marie-Pierre SAUVANT-ROCHAT – Professeur – Université Clermont-Auvergne, Faculté de Pharmacie – Santé publique et environnement, épidémiologie, évaluation de risques sanitaires.

Mme Mylène TROTTIER – Médecin-conseil – Institut national de santé publique du Québec – Prévention des risques professionnels liés aux nuisances en milieu de travail, épidémiologie, biostatistiques.

M. Sébastien WURTZER – Responsable du service de biologie moléculaire et pathogènes émergents – Eau de Paris – Virologie clinique et environnementale, biologie moléculaire, traitement de l'eau, évaluation du risque sanitaire, gestion du risque microbiologique.

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

Mme Jeannette CHOKKI – coordinatrice d'expertise scientifique – Unité d'évaluation des risques liés à l'eau, Direction de l'évaluation des risques.

Mme Anne NOVELLI – adjointe à la cheffe de l'unité des risques liés à l'eau – Direction de l'évaluation des risques.

Contribution scientifique

Mme Éléonore NEY – cheffe de l'unité des risques liés à l'eau – Direction de l'évaluation des risques.

Secrétariat administratif

Mme Séverine BOIX – Anses

ANNEXE 2

Annexe 6 de l'arrêté du 22 juin 2012

ANNEXE 6

REVENDECATIONS D'EFFICACITÉ RECONNUES

Les revendications d'efficacité reconnues sont présentées dans le tableau ci-après. Les revendications qui n'y sont pas mentionnées relèvent des dispositions prévues à l'article R. 1321-50-IV du code de la santé publique.

La mise en œuvre de modules de filtration membranaire dans une installation de production de l'eau destinée à la consommation humaine ne peut être revendiquée comme une étape de désinfection de l'eau produite.

TYPE de filtration membranaire	EXIGENCES MINIMALES D'EFFICACITÉ
Microfiltration (point de coupure $\leq 0,5 \mu\text{m}$ [1])	Abattement de la turbidité : turbidité de l'eau filtrée $< 0,5$ NFU en continu (2)
	Abattement de <i>Giardia</i> et/ou de <i>Cryptosporidium</i> ≥ 4 log (3)
	Abattement de bactéries ≥ 4 log (3)
Ultrafiltration (5, 6) (point de coupure $\leq 200\,000$ Daltons [1])	Abattement de la turbidité : turbidité de l'eau filtrée $< 0,2$ NFU en continu (2)
	Abattement de <i>Giardia</i> et/ou de <i>Cryptosporidium</i> ≥ 4 log (3)
	Abattement de bactéries ≥ 4 log (3)
	Abattement de virus ≥ 4 log (3)
Nanofiltration (5) (point de coupure ≤ 300 Daltons [1])	Abattement des ions divalents participant à la minéralisation de l'eau (dont Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-})
	Abattement de l'ion fluorure (F^-) (4)
	Abattement des matières organiques (dont le carbone organique dissous)
Osmose inverse (5) (point de coupure ≤ 100 Daltons [1])	Abattement des ions monovalents et divalents (7)
<p>(1) Données indicatives.</p> <p>(2) Sous réserve que la turbidité maximale admissible dans l'eau à traiter, telle que définie par le responsable de la mise sur le marché dans la notice d'utilisation, soit respectée.</p> <p>(3) Sous réserve que soit mis en œuvre un protocole de contrôle de l'intégrité de la membrane à une fréquence suffisante, tel que défini par le responsable de la mise sur le marché dans la notice d'utilisation.</p> <p>(4) Sous réserve que l'eau à traiter contienne des ions calcium.</p> <p>(5) Sous réserve que les concentrations maximales admissibles en fer et en manganèse dans l'eau à traiter, telles que définies par le responsable de la mise sur le marché dans la notice d'utilisation, soient respectées.</p> <p>(6) Sous réserve que les conditions de compatibilité avec les produits de floculation (polyélectrolytes) mis en œuvre en amont dans la filière, telles que définies par le responsable de la mise sur le marché dans la notice d'utilisation, soient respectées.</p> <p>(7) Dans le cas de l'abattement de l'ion monovalent du bore, le pH de l'eau à traiter doit être supérieur à 11.</p>	

Annexe 7 de l'arrêté du 22 juin 2012

ANNEXE 7

CONDITIONS OPÉRATOIRES D'ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ DES PROCÉDÉS METTANT EN ŒUVRE DES MODULES DE FILTRATION MEMBRANAIRE

I. – Mise en œuvre d'essais pilotes

Les essais à l'échelle pilote sont effectués sur des eaux éventuellement modifiées par dopage artificiel. Le dopage est ajusté à la limite supérieure d'usage du module de filtration membranaire, telle que définie par le responsable de la mise sur le marché dans sa notice d'utilisation, c'est-à-dire à la limite au-delà de laquelle les modules sont susceptibles de subir des dégradations anormales ou l'efficacité du procédé n'est pas garantie. A défaut, l'ajustement de la contamination se fait à un niveau tel que les allégations et les taux d'abattement revendiqués soient démontrés par une analyse statistique des données obtenues pour chaque paramètre concerné.

La mise en œuvre des essais et le suivi des paramètres de fonctionnement du module et de la qualité de l'eau (notamment les capteurs en continu) est conduite sous assurance qualité. Toutes les analyses sous-traitées sont effectuées par un laboratoire accrédité pour les opérations de prélèvement et pour l'analyse de tous les paramètres physico-chimiques et microbiologiques suivis (ou équivalent européen).

II. – Expression des résultats

Les résultats des essais sont présentés comme la fraction quantifiée des éléments présents dans le perméat par rapport à la concentration présente dans l'eau alimentant le pilote, en utilisant l'abattement ou le taux de rétention :

L'abattement se définit comme le rapport entre les concentrations d'un composé dans le filtrat et dans le rétentat. Le logarithme décimal de cette valeur (noté « LRV », taux de rétention maximum) se définit comme :

$$LRV = \log (100/[100-R]),$$

où R représente le taux de rétention en %.

Le taux de rétention se définit comme la fraction d'éléments retenue, par rapport à la fraction qui passerait dans le perméat, si la membrane n'offrait aucune sélectivité :

$$R(\%) = 100 \times (1 - C_{\text{perméat}}/C_{\text{rétenant}})$$

ou

$$R(\%) = 100 \times (1 - \exp [-LRV])$$

Deux catégories de revendications peuvent être envisagées portant :

- soit sur un abattement des virus, bactéries, algues, parasites, matières en suspension, colloïdes, etc. ;
- soit sur un abattement, sélectif ou non, de molécules dissoutes et d'ions présents dans l'eau à traiter.

Les revendications d'efficacité sont présentées pour chaque paramètre ciblé, assorties des conditions opératoires.

III. – Démonstration de l'efficacité des procédés mettant en œuvre des modules de filtration membranaire dans le cas de la rétention

III-1. Rétention de micro-organismes :

Dans le cas d'une revendication de rétention des micro-organismes par le module de filtration membranaire, le responsable de la mise sur le marché présente les résultats d'essais réalisés dans des conditions opératoires variées, suivant des protocoles validés par un laboratoire accrédité.

Les conditions opératoires choisies pour réaliser chaque essai (flux de perméat, pression, taux de conversion) correspondent à des conditions dans lesquelles le module de filtration membranaire est amené à fonctionner dans les installations réelles.

L'ensemble des essais est réalisé conformément aux revendications du responsable de la mise sur le marché. Le dopage d'eau par des micro-organismes peut conduire à un ajout de micro-organismes agglomérés qui peuvent biaiser le taux de rétention. Le laboratoire réalisant les essais précise les conditions de mise en œuvre. L'eau brute doit être contaminée à un niveau suffisamment élevé pour déterminer les abattements obtenus par le module de filtration membranaire.

III-2. Rétention de particules et de colloïdes :

Les traitements membranaires constituant des étapes physiques de clarification de l'eau (eaux de surface ou eaux influencées par des eaux de surface), la turbidité de l'eau filtrée respecte la réglementation en vigueur et est strictement inférieure à 0,5 NFU en incluant l'incertitude analytique de la méthode. Cette limite est vérifiée pour les turbidités maximales d'eau brute admissibles sur le module de filtration membranaire, revendiquées par le responsable de la mise sur le marché.

Les conditions opératoires choisies pour réaliser chaque essai (flux de perméat, pression, taux de conversion) correspondent aux conditions dans lesquelles le module de filtration membranaire est amené à fonctionner dans les installations réelles.

IV. – Démonstration de l'efficacité des procédés mettant en œuvre des modules de filtration membranaire dans le cas de membranes sélectives des composés dissous

Les membranes sélectives contribuent à modifier la composition en éléments dissous dans les eaux (macromolécules, ions minéraux ou organiques, molécules) et également à l'abattement en micro-organismes. A ce titre, elles font l'objet des essais visés au paragraphe précédent. Cependant, des fuites au niveau des jonctions du système membranaire demeurent possibles et sont d'autant plus probables que les pressions appliquées sont plus élevées.

Pour chaque paramètre ciblé, le responsable de la mise sur le marché présente les résultats d'essais réalisés dans des conditions opératoires variées, suivant des protocoles validés par un laboratoire accrédité. Les résultats de rétention de solutés obtenus par essais pilotes sont fournis sous forme du taux de rétention dans les conditions suivantes :

- utilisation d'une eau de qualité identique pour tous les essais. La définition de la qualité de l'eau est laissée à l'appréciation du responsable de la mise sur le marché sous le contrôle du laboratoire. Les grandeurs, telles que la température, la force ionique ou la conductivité, la turbidité et le pH de chaque essai, devront être spécifiées. Le responsable de la mise sur le marché veille à ce que ces conditions soient représentatives de situations réelles ;
- définition de conditions opératoires (flux de perméat, pression, conditions hydrodynamiques dans le module) correspondant à des conditions préconisées par le responsable de la mise sur le marché.

Les éléments, dont le taux de rétention est revendiqué, sont ceux pouvant affecter la qualité des eaux (ions majeurs ou micropolluants). Pour des molécules organiques différentes, l'extrapolation des résultats n'est pas possible.