(ID Modèle = 454913)

Ineris - 203228 - 2733791 - v1.019/05/2022

Support à la réalisation de l'action 39 du Plan Micropolluants :

Hiérarchisation des micropolluants en termes de nécessité et faisabilité de réduction des émissions

OFB
OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ

INERIS
maîtriser le risque
pour un développement durable

PRÉAMBULE

Ce rapport a été réalisé dans le cadre de la Convention de coopération -OFB.20.0254- relative au programme de travail 2020 « connaissance, compréhension et gestion des polluants et de leurs effets dans l'eau et les milieux aquatiques en appui la mise en œuvre du plan national micropolluants » entre l'OFB et l'Ineris.

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : Direction Stratégie, Politique Scientifique et Communication

Rédaction : BRIGNON Jean-Marc - ANDRES SANDRINE; DENIZE CYNTHIA; DULIO VALERIA

Vérification : GREAUD LAURIANE; CHAPON VALENTIN

Approbation : Document approuvé le 19/05/2022 par ROUIL LAURENCE

Correspondant OFB : STAUB Pierre-François

Liste des personnes ayant participé à l'étude : ANDRES Sandrine, DULIO Valeria.

Table des matières

1. Introduction 6
2. Choix des micropolluants et cotation des critères de hiérarchisation 7
2.1 Choix des micropolluants 7
2.2 Cotation des critères de la hiérarchisation H1 basée sur le score de priorisation du CEP 8
2.3 Cotation des critères de la hiérarchisation coût/efficacité H2 15
2.4 Surclassements basés sur ELECTRE III (H3) 17
3. Résultats et Comparaison des hiérarchisations 18
3.1 Notation des paramètres 18
3.2 Résultats de la hiérarchisation basée sur le score H1 19
3.3 Résultats de la hiérarchisation basée sur le score H2 23
3.4 Comparaison des résultats entre différentes méthodes de hiérarchisation 26
4. Focus sur quelques micropolluants prioritaires 34
4.1 Naphtalène 34
4.2 Di (2-ethylhexyle) phthalate (DEHP) 35
4.3 Nonylphénols et éthoxylates 36
4.4 Epichlorhydrine et Bisphénol A 36
4.5 Nitrobenzène 36
5. Discussion et perspectives 38
6. Références 40

Résumé

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) impose, lorsque nécessaire, le contrôle, la limitation ou l'interdiction des rejets de certaines substances dans l'environnement.

Cette étude vise à fournir une méthode et à la mettre en œuvre pour classer les micropolluants en fonction de la nécessité et la faisabilité de réduction de leurs émissions, comme prévu dans le cadre de l'action 39 du plan micropolluants 2016-2021.

Dans cette étude, environ 150 micropolluants des milieux aquatiques ont été classés en vue d'identifier ceux qui sont prioritaires pour des actions de réduction des émissions. Ces classements ne sont qu'une première base dont l'objet est avant tout de préparer des discussions, des échanges entre experts et personnes chargées de l'aide à la décision, à différentes échelles territoriales.

Afin d'avoir des résultats plus robustes, nous avons eu recours à deux méthodes de hiérarchisation (la première basée sur le score du Comité d'Experts Priorisation (CEP) (Dulio V. et al., 2012) pour prioriser la surveillance et une approche de type « coût/efficacité »). Une bonne concordance d'ensemble mais des différences significatives sont observées entre les deux classements, ce qui est attendu du fait de l'approche différente adoptée. Les deux classements offrent des visions complémentaires et pourraient de ce fait être combinés pour dégager les priorités :

- Le premier (dit CEP étendu) a pour objectif de réduire les risques pour l'environnement et la santé humaine, en tenant compte également de l'objectif de réduire la présence dans l'environnement, indépendamment du niveau de risque.
- Le second (analyse coût/efficacité ou ACE) est particulièrement adapté pour dresser une liste prioritaire de micropolluants à gérer ensemble dans une stratégie coordonnée, dans le but de maximiser les résultats en termes de réduction des émissions toxiques globales pour un budget fixé.

La hiérarchisation présentée est susceptible d'une application locale sur différents types de territoires : un bassin versant hydrologique, ou une collectivité territoriale (sur le bassin versant d'un système d'épuration par exemple). Dans ce cas, la démarche devrait faire l'objet d'une adaptation aux particularités s'appuyant sur des connaissances locales pour ce qui concerne les données technico-économiques. En particulier les critères sur les possibilités de substitution des pesticides n'ont été évalués que de façon sommaire et doivent être précisées sur le territoire d'application.

Une autre limite est que plusieurs micropolluants sont en général émis par une même source, ainsi les possibilités de réduction des émissions ne sont pas indépendantes entre micropolluants. Enfin, le danger d'un ensemble de micropolluants auxquels l'environnement est exposé simultanément, peut être moindre, égal, ou plus élevé que la somme des dangers représentés par chacun d'entre eux individuellement. La prise en compte de tous ces liens de façon systématique pour cette étude générale nationale n'a pas été possible, mais pourrait l'être lors d'une application locale.

La méthode de hiérarchisation exposée ici a des liens étroits avec le rapport de l'Ineris sur la mise en œuvre d'une stratégie de réduction des micropolluants urbains en s'appuyant sur la méthode de l'analyse coût/efficacité (Chapon V., 2022). Ce rapport porte sur une méthode pour construire des plans d'actions pour les substances dont les rejets apparaissent comme significatifs dans le cadre des campagnes RSDE STEU phase 2 et phase 3. Des acteurs de l'eau et des collectivités locales pourraient appliquer les deux méthodes de la façon complémentaire et séquentielle suivante :

- Présent rapport pour identifier les micropolluants prioritaires pour des actions de réduction des émissions ;
- Rapport sur l'ACE pour construire les actions de réduction des émissions de ces micropolluants avec une efficacité maximale.

Pour citer ce document :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, Support à la réalisation de l'action 39 du Plan Micropolluants : Hiérarchisation des micropolluants en termes de nécessité et faisabilité de réduction des émissions, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 203228 - 2733791 - v1.0, 19/05/2022.

Abstract

The Water Framework Directive (WFD) imposes, when necessary, the control, limitation or prohibition of the release of certain substances into the environment.

This study aims to provide a method and to implement it to classify micropollutants according to the need and feasibility of reducing their emissions, as planned under action 39 of the 2016-2021 French national micropollutants plan.

In this study, we have classified around 150 micropollutants of the aquatic environment in order to identify those that are priorities for action to reduce emissions. These rankings are only a first basis whose purpose is above all to prepare discussions, exchanges between experts and people in charge of decision support, at different territorial levels.

In order to have more robust results, we have used two prioritization methods (the first based on the “Comité d'Experts Priorisation” (CEP) (Dulio V. et al., 2012) score to prioritize monitoring, and another “cost/effectiveness” approach). A good overall agreement but significant differences are observed between the two rankings, as was expected due to the difference between the two approaches. The two rankings offer complementary views and could therefore be combined to identify priorities:

- The first (extended CEP) corresponds to an objective of reducing risks to the environment and health, also taking into account the objective of reducing the presence in the environment, independently of the level of risk.
- The second (cost/effectiveness analysis or CEA) is particularly suited to the purpose of drawing up a priority list of micropollutants to be managed together in a coordinated strategy, with the aim of maximizing the results in terms of reducing overall toxic emissions for a fixed budget.

The hierarchy presented is likely to be applied locally to different types of territories: a hydrological catchment area, or a local authority (on the catchment area of a wastewater treatment system, for example). In this case, the approach should be adapted to the particularities and take into account local knowledge with regard to technical and economic data. In particular, the criteria on the possibilities of substituting pesticides have only been evaluated summarily and must be specified in the territory of application.

Another limit is that several micropollutants are generally emitted by the same source and thus the possibilities of reducing emissions are not independent between micropollutants. Finally, the hazard of a set of micropollutants to which the environment is exposed simultaneously may be greater than the sum of the hazards represented by each of them individually. Taking all these links into account systematically for this general national study was not possible, but it could be during a local application.

The prioritization method presented here has close links with the Ineris report on the implementation of a strategy for reducing urban micropollutants based on the cost/effectiveness analysis method (Chapon V., 2022). This report focuses on a method for building action plans for substances whose releases appear to be significant in the context of the RSDE STEU phase 2 and phase 3 campaigns. Water players and local authorities could apply the two methods in the following complementary and sequential way:

- This report to identify priority micropollutants for emission reduction actions;
- The report on CEA to build and assess a group of actions to reduce emissions of these micropollutants with maximum efficiency.

1. Introduction

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE), ainsi que sa déclinaison nationale, organisent la gestion des risques posés par certaines substances chimiques dangereuses pour les écosystèmes aquatiques. Ces règlementations imposent, lorsque nécessaire, le contrôle, la limitation ou l'interdiction des rejets de certaines substances dans l'environnement.

Décider et mettre en œuvre efficacement ces mesures nécessitent une bonne connaissance des dangers des substances chimiques, mais aussi du contexte technico-économique dans lequel elles sont utilisées puis rejetées.

L'étude menée par l'Ineris propose et met en œuvre une méthode pour classer les micropolluants en fonction de la nécessité et la faisabilité de réduction de leurs émissions, comme prévu dans le cadre de l'action 39 du plan micropolluants 2016-2021 (« classer les molécules selon la nécessité et la faisabilité de réduction des émissions »). L'objectif principal de cette action est d'« *Etablir une méthodologie et l'appliquer en vue de classer les molécules selon la nécessité, la pertinence et la faisabilité de la réduction des émissions dans les milieux aquatiques* ». Cette action participe largement au troisième des trois grands objectifs du plan, à savoir « Dresser des listes de polluants sur lesquels agir ».

Le présent rapport couvre les travaux réalisés en 2020 et 2021, qui consistent à appliquer la méthode préalablement définie dans le rapport méthodologique finalisé en 2020 (Brignon J.M. et al., 2020), qui avait notamment repris et compété le référentiel de priorisation du Comité d'experts national pour la priorisation des micropolluants aquatiques (CEP) (Dulio V. et al., 2012).

Le chapitre 2 de ce rapport, expose comment les micropolluants classés ont été sélectionnés, en se basant sur des listes de micropolluants pertinentes déjà définies au niveau national. Ce chapitre documente également les cotations des différents critères nécessaires pour classer les micropolluants selon trois schémas de hiérarchisation ; H1, H2, et H3 décrits dans (Brignon J.M. et al., 2020), ainsi que les sources de données ayant été mobilisées à cet effet.

Le chapitre 3 rassemble et compare les résultats de hiérarchisation obtenus selon chacune de ces trois méthodes. Il propose ensuite une interprétation et une synthèse des trois classements pour parvenir à une liste de micropolluants prioritaires en vue de la réduction de leurs émissions.

Le chapitre 4 propose des exemples de leviers d'action potentiels pour quelques-uns des micropolluants classés prioritaires.

Finalement, la dernière partie du rapport propose des conclusions et des perspectives d'application, d'amélioration et de consolidation de ces travaux.

Les différentes sources d'information utilisées (BDREP, Simmbad…) sont décrites plus précisément dans les Annexes. L'intégralité des scores pour tous les critères des différents systèmes de classement, ainsi que l'intégralité de ces classements sont fournis dans un fichier Excel accompagnant ce document (voir liste des Annexes).

On rappellera que ces scores ne sont qu'une première base dont l'objet est avant tout de préparer des discussions, des échanges entre experts et personnes chargées de l'aide à la décision, pour proposer des priorités tenant compte de l'ensemble de leurs connaissances, des incertitudes et manques d'information, et de l'ensemble des paramètres de l'action publique.

2. Choix des micropolluants et cotation des critères de hiérarchisation

2.1 Choix des micropolluants

La première étape de cette étude a consisté à définir quels étaient les micropolluants à étudier, pour cela nous avons décidé de nous focaliser sur ceux ayant déjà été identifiés dans le cadre des activités nationales sur la Directive-Cadre sur l'Eau (DCE) à savoir :

- Les substances (dangereuses) prioritaires identifiées à l'échelle européenne pour l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau[1] (SP) ;
- Les Polluants Spécifiques de l'Etat Ecologique (PSEE) qui contribuent à l'évaluation de l'état écologique[2] ;
- Les "Substances Pertinentes A Surveiller" (SPAS) proposées par le Comité national d'Experts pour la Priorisation (CEP) des substances chimiques à surveiller dans les milieux aquatiques pour le 3ème cycle de gestion des eaux (Dulio V. et al., 2021).

Les micropolluants étudiés sont listés dans l'Annexe 1, il s'agit de substances variées : à usage industriel ou présents dans des biens de consommation, des produits phytosanitaires, des biocides ou des substances actives de produits pharmaceutiques.

Parmi ces substances figurent aussi des métabolites et produits de dégradation de substances actives phytosanitaires et pharmaceutiques. Les données de tendances industrielles et règlementaires, d'émissions et de faisabilité technico-économique de ces substances se réfèrent à celles de leur « substance mère ».

Quelques difficultés méthodologiques sont présentées par certaines substances, mais nous avons tout de même choisi de les intégrer à ce travail afin de présenter une vision la plus complète possible :

- Certaines substances, notamment les HAP et dans une moindre mesure d'autres molécules très utilisées (DEHP, Bisphénol A, alkylphénols) sont largement stockées dans les sols des bassins versants. Si ces stocks ont été évalués pour certaines substances et certains bassins versants (Briand C. et al., 2016)), la connaissance de ces sources d'émission dans l'eau à long terme demeure très faible. L'existence de ces stocks peut compromettre l'efficacité d'actions entreprises sur les sources d'émissions et le manque d'information à ce sujet ne nous a pas permis de prendre en compte cette question dans l'élaboration des scores. Par contre, ce fait devra être pris en compte dans les interprétations et utilisations des résultats de hiérarchisation, afin de relativiser les classements des substances que l'on sait concernées par ce problème des stocks.

- Pour les métaux, en raison des questions de spéciation et de biodisponibilité, il existe une incertitude importante (potentiellement de plusieurs ordres de grandeur) associée à l'estimation du risque de dépassement de la PNEC. L'évaluation de dépassement des PNEC pour les métaux, métalloïdes et minéraux est donc incertaine, et les scores délivrés dans cette étude pour cette catégorie de substances seront interprétés avec précaution. De plus, il n'est pas possible de renseigner un véritable score de bioaccumulation pour le score H2, par conséquent il a été décidé de ne pas les inclure dans le cadre de ce score[3].

Enfin, la mise en œuvre d'actions de réduction des émissions peut s'accompagner d'inconvénients qui peuvent amoindrir leur intérêt :

- les traitements d'effluents sont généralement consommateurs d'énergie, d'eau, et d'autres produits chimiques,

---

[1] Arrêté du 8 juillet 2010 établissant la liste des substances prioritaires et fixant les modalités et délais de réduction progressive et d'élimination des déversements, écoulements, rejets directs ou indirects respectivement des substances prioritaires et des substances dangereuses visées à l'article R. 212-9 du code de l'environnement

[2] Arrêté du 27 juillet 2018 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement

[3] Un autre choix pourrait être de fixer un score de bioaccumulation arbitraire et très élevé pour tous les métaux dans le cadre du score H2.

- lorsque la réduction des émissions est obtenue par le remplacement par des substances alternatives, celles-ci peuvent également présenter encore des risques environnementaux résiduels, et qui sont variables selon les alternatives employées.

Dans le cadre de cette étude il n'a pas été possible de recenser tous ces impacts indirects, pour lesquels l'effort de collecte d'information serait considérable pour un résultat incertain (les informations disponibles sont probablement parcellaires). Ces impacts peuvent différer d'un micropolluant à l'autre et affecter la hiérarchisation. Une application plus spécifique, plus locale dans des études ultérieures, des méthodes décrites ici, pourrait rendre possible de mieux adresser ces impacts.

2.2 Cotation des critères de la hiérarchisation H1 basée sur le score de priorisation du CEP

Ce paragraphe décrit les cotations des différents critères nécessaires pour classer les micropolluants selon les trois schémas de hiérarchisation H1, H2, et H3 décrits dans (Brignon J.M. et al., 2020), ainsi que les sources de données ayant été mobilisées à cet effet.

La hiérarchisation H1 reprend et étend le schéma de priorisation pour la surveillance du CEP pour en faire un score de priorisation des micropolluants en vue de la réduction des émissions.

Ce score additif est donc basé sur le score CEP, auquel sont ajoutés des scores concernant la pertinence et la faisabilité technico-économique de réduire les émissions :

$$\text{Score (H1)} = \text{Score}_{\text{Occurrence CEP}} + \text{Score}_{\text{Risque CEP}} + \text{Score}_{\text{Danger CEP}} + \text{Score}_{\text{Pertinence}} + \text{Score}_{\text{Faisabilité}}$$

Chaque score est normalisé entre 0 et 1 (sauf le score de danger, voir ci-après) pour refléter l'importance a priori équivalente de chaque composante, dans la même logique que celle qu'avait adopté le CEP. Certains paramètres du score, comme par exemple l'occurrence, ont été autant que possible différenciés entre les deux compartiments des eaux de surface et des sédiments. De ce fait, deux classements de type H1 peuvent être réalisés : un pour les eaux de surface, et un pour les sédiments, Dans ce rapport, nous faisons le choix, pour les micropolluants pour lesquels il existe des données à la fois pour les eaux de surface et pour les sédiments, de les considérer en tant que micropolluants des eaux de surface. Nous présenterons donc ci-après des résultats de score H1 pour les micropolluants pouvant être considérés comme pertinents pour le compartiment « eau ». Ceci conduit à ne pas présenter les résultats pour les micropolluants ne pouvant être classés qu'en tant que de pertinents pour la matrice « sédiment ». Toutefois, ceci ne concerne qu'un petit nombre de micropolluants, et les fichiers XL fournis en Annexe contiennent les classements pour les substances « sédiment », et contiennent toutes les données nécessaires pour produire d'autres variétés de classements H1 (par exemple, un classement de tous les micropolluants « eau » et « sédiment » en retenant le pire score pour les micropolluants pouvant être classés de deux façons différentes).

Les paragraphes suivants détaillent chaque composante du score, en commençant par rappeler le mode de calcul de chaque indicateur présenté dans le rapport du CEP (Dulio V. et al., 2012).

Le **score d'occurrence** reflète la présence de la substance dans les milieux aquatiques et correspond à la moyenne de la fréquence de quantification de la substance dans la matrice étudiée en termes d'analyses (pourcentage de mesures quantifiées sur le total de mesures disponibles) et en termes de sites (pourcentage de sites avec mesures quantifiées sur le total de sites investigués). Les données de présence des substances dans les milieux aquatiques qu'avait utilisé le CEP étaient issues de la base de données Naïades et correspondent aux mesures effectuées entre le 01/01/2016 et le 31/12/2018, et nous avons réutilisé ces scores.

$$\text{Score Occurrence} = \{\text{FQ (analyses)} + \text{FQ (sites)}\} / 2$$

Avec :

- FQ (analyses) = Nb analyses quantifiées / Nb total analyses
- FQ (sites) = Nb sites avec données quantifiées / Nb total sites investigués

Le score d'occurrence est compris entre 0 et 1.

Le **score risque** illustre la tendance d'une substance à être présente dans des milieux aquatiques avec des niveaux de concentration supérieurs à la valeur seuil écotoxicologique.

Les seuils écotoxicologiques retenus sont les PNEC (Predicted No Effect Concentration) et QSeco.

Le score risque correspond à la valeur moyenne du Degré de dépassement de la valeur seuil et de la Fréquence de dépassement de la valeur seuil.

$$\text{Score Risque} = \{ \text{Degré dépass}_{\text{Valeur seuil}} + \text{Fréq dépass}_{\text{Valeur seuil}} \} / 2$$

Le « Degré dépassement $_{\text{Valeur seuil}}$ » est déterminé en fonction de la valeur du rapport MEC95 / $_{\text{Valeur seuil}}$, où MEC95 est le 95ème percentile des concentrations maximales par station relevées pour une substance donnée.

Le score « Degré de dépassement $_{\text{Valeur seuil}}$ » est attribué selon la règle suivante :

MEC95 / Valeur seuil ≥ 100, score = 1

MEC95 / Valeur seuil ≥ 10, score = 0,5

MEC95 / Valeur seuil ≥ 5, score = 0,25

MEC95 / Valeur seuil ≥ 1, score = 0,1

MEC95 / Valeur seuil < 1, score = 0

La fréquence de dépassement de la Valeur seuil est égale à ∑ n / N, avec :

n = Nb de sites avec MECmax_site / Valeur seuil > 1

N = Nb total de sites avec analyses

MECmax_site = concentration maximale de la substance mesurée par site

Le score de risque est compris entre 0 et 1.

Le **score danger** renvoie aux principales propriétés intrinsèques des substances responsables de leur impact sur les écosystèmes et la santé humaine : le potentiel perturbateur endocrinien (PE), le caractère « Cancérigène, Mutagène, Reprotoxique » (CMR), la classification de la substance au titre de « Persistante, Bioaccumulable, Toxique » (PBT), et/ou « très Persistante, très Bioaccumulable » (vPvB), et/ou Polluants Organiques Persistants (POP).

Le score danger correspond à la moyenne de ces trois composantes.

Il est toutefois modifié pour prendre en compte la caractéristique de persistance (P) d'une substance, afin de souligner son importance, étant donné qu'elle peut être déterminante en termes d'évaluation des dangers notamment quand la substance n'est pas bioaccumulable, mais plutôt mobile. Il s'agit d'un facteur aggravant qui peut conduire à ce que le score Danger soit supérieur à 1 (au maximum égal à 1,33). C'est également en raison de ce caractère aggravant qu'une division par 3 est opérée au lieu d'une division par 4 (si la persistance était incluse dans la moyenne).

$$\text{Score Danger} = \{(\text{Score PE}) + (\text{Score CMR}) + (\text{Score P}) + (\text{Score PBT/vPvB/POP})\} / 3$$

Les scores de chacun de ces termes sont fixés de la façon suivante :

Score PE	Score CMR	Score P	Score PBT/vPvB/POP
PE avéré : 1 Suspect PE : 0,5 Présumé PE : 0,75 Non examiné : 0[4] Examiné et non classé : 0	CMR Catégorie 1 = 1 CMR Catégorie 2 = 0,75 CMR Catégorie 3 = 0,5 Non examinée / examinée et information insuffisante = 0,25[5] Examinée et non classée = 0	P ou vP = 1 Not P = 0	PBT/vPvB/POP = 1 PBT en cours d'évaluation = 0,25 Non avéré = 0

Le **score de pertinence,** le premier des termes rajoutés au score CEP dans le cadre de ce travail, est basé sur des critères d'exposition (via les émissions vers les milieux aquatiques) et de tendances d'utilisation (en termes de tendances industrielles et règlementaires) et est calculé comme suit :

$$\text{Score Pertinence} = (\text{Score}_{\text{Tendances}} + \text{Score}_{\text{Emissions}}) / 2$$

Les scores *Tendances* et *Emissions* ont été renseignées sur une échelle ordinale reflétant la connaissance le plus souvent qualitative et imprécise, comme précisé ci-dessous.

- $\text{Score}_{\text{Tendances}}$

Les tendances ont été décomposées en tendances règlementaires et tendances industrielles. Afin d'éviter une corrélation entre ces deux types de tendances, les tendances industrielles ont été analysées du point de vue de l'évolutions des technologies indépendamment du lien avec la règlementation. Ces deux paramètres ont été appréciés sur des échelles qualitatives (qui ont été transformées en échelles ordinales allant de 0 à 1 chacune) et combinés de la façon suivante :

$$\text{Score}_{\text{Tendances}} = (\text{Score}_{\text{Tendances règlementaires}} + \text{Score}_{\text{Tendances industrielles}}) / 2$$

Les tendances réglementaires ont été évaluées en examinant les situations pertinentes pour chaque substance considérée, parmi les domaines réglementaires suivants :

- le Règlement REACH (substances SVHC, soumises à restriction, à autorisation…)
- les Directives Européennes sectorielles (substances actives phytosanitaires, biocides, produits cosmétiques, équipements électriques et électroniques, jouets, matériaux en contact avec les aliments…)
- d'autres informations spécifiques

[4] L'application d'un score de 0,25 par défaut pour les substances non examinées sur ce critère rendrait le score PE très peu discriminant, car très peu de substances ont fait à ce jour l'objet d'une évaluation de leur potentiel PE et donc très peu de substances pourraient être classées comme examinées et non classées (score = 0) c'est pourquoi une valeur de 0 par défaut a été choisie, que la substance ait été « non examinée » ou « examinée et classée non PE ».

[5] le score CMR pour les substances pour lesquelles les données d'évaluation des propriétés CMR sont insuffisantes est égal à 0,25 car contrairement à l'évaluation du potentiel PE (cf. note de bas de page 4), l'évaluation des critères CMR est beaucoup plus avancée, par conséquent les substances déjà examinées pour ces critères sont beaucoup plus nombreuses et la discrimination entre les substances possible.

Pour une substance donnée, le score global « Tendances réglementaires » correspond à la moyenne des scores attribués pour chaque domaine réglementaire concerné (REACH, pesticides, biocides, cosmétiques, ...). Ces derniers ont été attribués selon l'échelle de notation décrite dans le Tableau 2 ci-dessous. Pour le cas particulier des métaux, l'ensemble des textes règlementaires se référant non seulement au métal mais aussi à ses composés a été pris en compte.

Le descriptif des réglementations et documents pris en compte sont disponibles respectivement en Annexes 2 et 3.

Les tendances industrielles sont appréciées grâce à des échelles qualitatives transformées par la suite en échelles ordinales de 0 à 1 selon la notation figurant dans le Tableau 1.

L'évaluation des tendances industrielles s'est appuyée sur une synthèse documentaire (Fiches Technico-Economiques de l'Ineris, sites d'organisations industrielles, rapports d'études de marché, documents spécifiques, …) ainsi que sur les tendances des usages observés dans les bases de données suivantes pour certaines catégories de micropolluants :

- La base de données BDREP[6], pour les substances soumises à déclaration au titre de la législation sur les installations classées ;
- La base de données BNV-d pour les substances actives phytosanitaires ;
- La base de données SIMMBAD pour les substances actives biocides ;
- La série de données MEDIC'AM pour les substances actives pharmaceutiques.

Lorsqu'il a été deux tendances différentes apparaissent pour une même substance, l'un provenant d'une des bases de données citées ci-dessus, l'autre de la synthèse documentaire, le score qui a été privilégié est le plus élevé des deux dans le cadre d'une approche de précaution.

Le principe des notations de ces tendances industrielles est indiqué dans le Tableau 2 ci-après :

Tendances industrielles	**Score**
Usage en expansion	1
Usage sans évolution notable	0,66
Usage en régression	0,33
Usage en cours d'abandon	0

Tableau 1. Notation des tendances industrielles

- [6] La base BDREP comporte certaines incertitudes quant à l'exhaustivité de ses données d'émissions (celles-ci émanent d'une partie des sites industriels et sont déclarées à condition que le seuil d'émission soit dépassé cf. paragraphe de l'Annexe 3 **BDREP**

)

Tendances	Score	REACH[7]	Convention de Stockholm sur les substances POP	Règlement UE sur les Biocides	Règlement UE sur les Pesticides	Directive UE sur les Cosmétiques	Directive UE ROHS (Equipements électriques et électroniques)	Directive UE Produits pharmaceutiques	Directive UE Jouets
Aucune mesure de restriction prise ni à l'étude	1	Substance intégrée à aucune des listes « REACH » : CORAP, SVHC, Annexe XIV, Annexe XVII...	Substance non mentionnée par la Convention.	Biocide approuvé et ne répondant à aucun des critères de substitution	Pesticide approuvé et ne répondant à aucune des critères de substitution	Substances autorisées	-	Substances pour lesquelles toutes les AMM sont actives	*Information non disponible pour cette Directive*
Pas de mesures de restriction prises, mais mesure(s) à l'étude (liste prioritaire, …)	0,66	CORAP ou SVHC ou Intention de restriction	Substance dont l'inclusion sur la liste des POP est proposée	Biocide approuvé avec substitution en cours d'évaluation	Pesticide approuvé avec substitution en cours d'évaluation	*Information non disponible pour cette Directive*	Limitation à l'étude	Substances pour lesquelles au moins une AMM est suspendue	*Information non disponible pour cette Directive*
Mesure(s) d'interdiction partielle/substitution en cours/prévue(s)	0,33	Substance intégrée à l'Annexe XIV ou à l'Annexe XVII (hors usages biocides), Restriction et/ou autorisation portant sur une partie mineure des usages	Substance intégrée à l'Annexe II, à l'Annexe III ou à l'Annexe IV	Biocide approuvé à substituer	Pesticide approuvé à substituer	Substances faisant l'objet d'une restriction	Substances faisant l'objet d'une limite à 0,1% (concentration maximale tolérées en poids)	Substances pour lesquelles une partie des AMM ont été retirées	Substances pour lesquelles des limites de migration ou des valeurs limites spécifiques ont été établies
Mesures d'interdiction totale en cours/prévue(s)	0	Restriction et/ou autorisation portant sur la majeure partie des usages	Substance intégrée à l'Annexe I	Biocide non-approuvé	Pesticide non-approuvé	Substances interdites	Substances faisant l'objet d'une limite à 0,01% (concentration maximale tolérées en poids)	Substances pour lesquelles toutes les AMM ont été retirées	Substances interdites

Tableau 2. Notation des tendances règlementaires

[7] Notation REACH appliquée si la substance n'est concernée que par une seule mesure, dans le cas contraire le score sera établi par jugement d'expert

- Score $_{Emissions}$

Etant donné la difficulté de trouver des données quantitatives d'émissions dans les milieux aquatiques pour l'ensemble des substances, l'approche a consisté à estimer les Scores $_{Emissions}$ comme suit :

$$\text{Score}_{Emissions} = \text{(Indicateur de) Quantité utilisée x Type d'usage}$$

Les quantités utilisées ont été codées selon un nombre réduit de classes de bandes de tonnage, en utilisant dans la mesure du possible : les bandes de tonnages utilisées dans le cadre de REACH, les données de ventes issues des bases de données telles que BNVD (pour les substances phytosanitaires), MEDIC'AM (pour les substances pharmaceutiques) et Simmbad (pour les substances biocides).

Le schéma de notation des quantités utilisées est indiqué dans le tableau 3 suivant.

Quantité utilisée (tonnes)	**Score $_{Quantité\ utilisée}$**
0	0
> 0 à < 1 000	0,25
≥ 1 000 à < 100 000 tonnes	0,5
≥ 100 000 à < 1 000 000 tonnes	0,75
≥ 1 000 000 à < 10 000 000 tonnes	1

Tableau 3. Notation des quantités utilisées

Les types d'usage ont été distingués selon leur dispersivité. Une catégorisation analogue à celle qui a été proposée dans (Bonnomet V. et al., 2007) a été utilisée, avec cinq catégories.

Pour ce paramètre, les sources d'information utilisées sont principalement les fiches technico-économiques de l'INERIS et le Guide pratique des micropolluants dans les eaux du bassin Seine-Normandie (AESN, 2018).

Le principe de notation est synthétisé dans le tableau 4 ci-dessous.

Dispersivité	**Score Dispersivité**	**Types d'usages (exemples)**
Très faible	0	Intermédiaires réactionnels Usages dans système clos Catalyseurs
Faible	0.25	Usages sur sites industriels (solvants avec récupération, …) Monomères
Moyen	0.5	Substances additives dans des matériaux pour usage intérieur (revêtements de sol, textiles, ...) Composants de carburants
Elevée	0.75	Substances additives dans des matériaux pour usage extérieur Usages domestiques avec déversement possible dans les canalisations (peintures, vernis, substances pharmaceutiques et leurs métabolites, cosmétiques, détergents...) Composant de matériaux utilisé en traitement de l'eau (filtres acétate cellulose...)
Très élevée	1	Usage extérieur par dispersion (pesticides, mousses anti-incendie, ...)

Tableau 4. Notation des émissions liées aux types d'usages

Pour certains micropolluants, comme par exemple les dioxines et les tétrachlorobenzènes, il n'y a pas ou il n'y a plus d'usages et les émissions sont involontaires. Elles n'ont donc pas été notées sur la base des modalités décrites ci-dessus, mais par une appréciation qualitative des émissions involontaires et indirectes.

Score Faisabilité Technico-Economique

Il s'agit du dernier terme ajouté au Score CEP. La Faisabilité technique et la faisabilité économique sont souvent très liées, le coût élevé étant le plus souvent une conséquence directe d'une complexité technique. Par conséquent ces deux aspects sont considérés ensemble au sein du critère de faisabilité technico-économique. Ce critère est équivalent à une appréciation qualitative d'un niveau de coût/efficacité d'une action de réduction des émissions, et il sera également employé sous cette dénomination pour le score H2. Il est apprécié de façon globale pour l'ensemble des usages et émissions d'un micropolluant.

Il n'existe pas de base de données structurée et accessible permettant de connaître le coût et la faisabilité de technologies émergentes qui permettraient de se passer d'une substance chimique dans un secteur d'activité précis. La faisabilité a donc été appréciée sur la base de la consultation d'une documentation ad-hoc. Les principales sources d'information mobilisées ont été les suivantes :

- Etudes réalisées par les consultants de la Commission Européenne dans le cadre de la DCE ;
- Projets financés par l'OFB et les Agences de l'Eau pour réduire les micropolluants ;
- Etudes d'analyse des alternatives aux substances chimiques réalisées par les industriels dans le cadre de leurs obligations vis-à-vis de REACH (substances soumises à autorisation) ou par des Etats Membres (substances soumises à restriction) ;
- Fiches Technico-Economiques et Sites Substitution de l'INERIS, précédentes études de l'INERIS, notamment sur la comparaison entre possibilités de substitution et de traitement des micropolluants ;
- Ouvrages de référence, sites recensés notamment par l'OCDE (Substitution Toolbox) ;
- Etudes de marché ou des extraits accessibles, réalisées par des consultants spécialisés (ex. Mordor Intelligence) ;
- Littérature scientifique (notamment travaux sur les performances techniques de procédés d'élimination de micropolluants).

La connaissance sur ces questions n'est pas toujours publiée et accessible, et fait partie de connaissances d'experts, notamment du monde industriel. Des données *quantitatives* ne sont disponibles que pour certaines substances étudiées, par conséquent nous avons donc été contraints d'utiliser une échelle de notation *qualitative*, ensuite traduite en scores numériques. Les ressources allouées à ce travail n'ont pas permis de réaliser des réunions d'experts technico-économiques de la sphère publique et de l'industrie pour améliorer les cotations, et cela ferait partie des moyens de consolider les résultats de cette étude.

La faisabilité technico-économique est notée sur une échelle allant de 0 à 1, selon le principe de notation indiqué dans le Tableau 5 ci-dessous :

Faisabilité Technico-Economique	Score	Exemple
Nulle / Très faible	0	Métabolites de pesticide largement disséminés dans les milieux aquatiques (ex: métabolites de l'atrazine), dont l'élimination générale est techniquement et économiquement impossible.
Faible	0,33	Substances essentielles dans la production d'autres substances ou matériaux de base, et dont la substitution serait très difficile techniquement et/ou engendrerait des coûts structurels importants
Acceptable	0,66	Substances d'usages variés dont certains sont substituables, d'autre non (ou à coûts très élevés). Substances moyennement éliminées par des traitements complémentaires (et donc de coût élevé) en station d'épuration
Elevée	1	Substances pour lesquelles de nombreuses alternatives sont disponibles et abordables, et/ou très efficacement éliminées par des traitements économiquement abordables, pour la plupart des usages.

Tableau 5 : Notation de la Faisabilité Technico-Economique

Nota : pour les produits phytosanitaires, la question de la faisabilité technico-économique de la réduction de leurs émissions est particulièrement complexe et variable sur le territoire, par comparaison aux

autres produits chimiques (diversité des cultures, des conditions agronomiques et climatiques, faisabilité de l'agriculture biologique, …). Pour cette raison, il n'a pas été possible d'étudier en détail le cas de chaque pesticide. Le principe de notation suivant très simplifié a été utilisé :

- Pesticide interdit, ou métabolite d'un pesticide interdit = Nulle / Très Faible
- Pesticide actuellement en usage = Acceptable.

2.3 Cotation des critères de la hiérarchisation coût/efficacité H2

On rappelle la définition du score H2, qui n'est pas construit dans une approche de score multicritère mais qui adopte une logique de coût/efficacité, dans laquelle l'efficacité est basée sur la réduction des émissions, et est modulée par un indicateur de risque. Ce type de priorisation a déjà été proposé par plusieurs agences publiques et chercheurs dans le cadre de la priorisation des mesures de réduction des risques des produits chimiques (Brignon J.M. et al., 2018). Son principe est de prioriser les polluants pour lesquels la réduction de risques obtenue sera maximale dans le cadre d'un budget donné. Le risque et donc l'efficacité est jugée en termes de réduction des émissions pondérées par un indicateur de danger global pour la santé et pour l'environnement des micropolluants considérés. Il s'agit d'une approche très simplifiée par rapport à ce que serait une évaluation coût/efficacité pour l'atteinte du bon état, mais estimer l'efficacité sur cette base supposerait la mise en œuvre de modèles complexes de dispersion des micropolluants dans les bassins versants. Le score H2 ne distingue pas les émissions vers les milieux aquatiques de l'ensemble des émissions, ce qui peut limiter sa pertinence, puisque certains micropolluants sont très volatils. Toutefois, une part des émissions atmosphériques sera entraînée *in fine* vers les milieux aquatiques en raison des dépôts atmosphériques secs et humides sur les sols et les eaux de surface. De plus, la volatilité de la substance chimique seule n'est pas toujours représentative de sa volatilité réelle quand elle est utilisée dans une matrice ou une formulation qui peut fortement limiter cette volatilité et augmenter la solubilité.

Score H2 = Score Coût-efficacité x Indicateur de danger global de la substance

Le Score de coût-efficacité est similaire à celui utilisé dans le cadre du score H1, et obtenu avec les mêmes données. Il est (pour éviter les valeurs nulles) codé entre 1 et 10 pour le score H2 (Tableau 6):

Faisabilité Technico-Economique	**Score**	**Exemple**
Nulle / Très faible	1	Métabolites de pesticides largement disséminés dans les milieux aquatiques (ex: métabolites de l'atrazine), dont l'élimination générale est techniquement et économiquement impossible.
Faible	4	Substances essentielles dans la production d'autres substances ou matériaux de base, et dont la substitution serait très difficile techniquement et/ou engendrerait des coûts structurels importants
Acceptable	7	Substances d'usage varié dont certains sont substituables, d'autre non (ou à coûts très élevés). Substances moyennement éliminées par des traitements poussés (et donc de coût élevé) en station d'épuration
Elevée	10	Substances pour lesquelles de nombreuses alternatives sont disponibles et abordables, et/ou très efficacement éliminée par des traitements économiquement abordables, pour la plupart des usages.

Tableau 6 : Notation Coût/Efficacité pour le score H2

L'indicateur de danger proposé est basé sur les mêmes critères que ceux utilisés par le CEP, tout en étant formulé de façon différente :

Indicateur de danger = (H x BCF x PE x CMR / (PNEC x VTR).

Avec :

H : persistance dans les milieux aquatiques (représentée par une demi-vie, exprimée en jours). Pour chaque substance on dispose d'une valeur de demi-vie dans l'eau et d'une valeur relative aux sédiments. La valeur adoptée est la valeur maximale entre ces deux demi-vies.

BCF : Facteur de bioconcentration/bioaccumulation, exprimé par un facteur adimensionnel. Dans le cadre du score H2, on choisit d'utiliser cette mesure de préférence au statut règlementaire PBT de la substance, car la bioaccumulation affecte de façon continue l'ensemble des produits chimiques, alors que l'usage de seuils règlementaires introduit une part d'arbitraire dans les scores (Brignon J.M. et al., 2018).

PE : paramètre indiquant un éventuel effet perturbateur endocrinien (pour les organismes aquatiques et/ou pour la santé humaine), considéré comme aggravant

CMR : Caractère Cancérigène, Mutagène, ou Reprotoxiques, qui est également considéré comme un facteur aggravant.

PNEC : Predicted Non Effect Concentration, indicateur de la toxicité pour les milieux aquatiques, exprimée en µg/l. Pour chaque substance on dispose d'une valeur de demi-vie dans l'eau et d'une valeur relative aux sédiments. La valeur adoptée est la valeur maximale entre ces deux demi-vies.

VTR : Valeur Toxicologique de Référence, indicateur de la toxicité pour la santé humaine, exprimée en mg/l.

Cet indicateur prend en compte la proportionnalité du danger à la rémanence dans l'environnement (représentée par H), à l'exposition du vivant (représentée par le BCF), et à la toxicité et à l'écotoxicité (donc inversement proportionnel à la PNEC et à la VTR), il intègre un paramètre multiplicatif aggravant pour les effets PE sur l'environnement et/ou la santé et les effets CMR sur la santé humaine.

Pour les paramètres de cet indicateur, on utilise directement les valeurs numériques de H, BCF, PNEC et VTR. Pour PE et CMR qui sont des critères qualitatifs, ils sont convertis en valeurs numériques de la façon suivante (Tableau 7) :

Score PE	Score CMR
PE avéré : 2	CMR Catégorie 1 = 2
Suspect PE : 1.66	CMR Catégorie 2 = 1,66
Présumé PE : 1.33	CMR Catégorie 3 = 1,33
Non examiné ou Manque de données : 1	Non examinée / examinée et information insuffisante = 1
Examiné et non classé : 1	Examinée et non classée = 1

Tableau 7 : Notation des critères PE et CMR pour le score H2

Les sources d'information mobilisées pour renseigner ces données ont été extraites du Portail Chimie de l'Ineris.

En raison de la plage de variation extrêmement étendue du paramètre de danger du score H2 (voir section 3.1), la valeur logarithmique sera utilisée.

Enfin, dans le but de donner une importance équivalente à l'indicateur coût/efficacité, l'indicateur de danger sera également ramené sur une échelle comprise entre 1 et 10, par simple transformation linéaire.

2.4 Surclassements basés sur ELECTRE III (H3)

Le but de cette hiérarchisation supplémentaire est de tester la stabilité des priorités vis-à-vis d'un changement de la méthode de hiérarchisation, en particulier en choisissant une méthode assez différente d'un calcul de scores. Pour ce test, on a eu recours à la méthode de surclassement de synthèse ELECTRE III, dans laquelle les variables définissant les systèmes sont inchangées mais sont traitées différemment. Le principe est, au lieu de calculer des scores, de comparer toutes les paires de substances pour chaque critère puis d'en déduire une hiérarchie. Des éléments détaillés sur cette méthode sont fournis dans (Brignon J.M. et al., 2020). La méthode ELECTRE suppose la définition de seuils d'indifférence, de préférence et de veto. Ils ont été fixés d'un commun accord par les co-auteurs de cette étude.

3. Résultats et Comparaison des hiérarchisations

3.1 Notation des paramètres

L'ensemble des valeurs et des notations qualitatives des paramètres utilisés pour les calculs des scores est fourni dans un fichier Excel qui accompagne ce rapport.

Certains micropolluants n'ont pu être classés pour le score H2 en raison de valeurs manquantes. Le Tableau 8 en dresse la liste et indique les valeurs non disponibles. On notera que l'ensemble des métaux ne peuvent être classés du fait que dans leur cas la notion de bioaccumulation n'est pas applicable.

	BCF	PE	CMR	PNEC	VTR
Paracétamol					X
Trichlorobenzène					X
Tributylétain cation		X	X	X	
Acide fenofibrique					X
Estrone					X
Sulfamethoxazole					X
Plomb et ses composés	X				
Mercure et ses composés	X				
Nickel et ses composés	X				
Arsenic et ses composés	X				
Cadmium et ses composés	X				
Chrome été ses composés	X				
Cuivre et ses composés	X				
Zinc été ses composés	X				
Somme des 6 PBDE SP de la DCE	X	X		X	X

Tableau 8 : Liste des micropolluants pour lesquels un ou plusieurs paramètres de danger sont indisponibles pour le score H2.

L'indicateur de danger utilisé pour le calcul de H2 varie au sein d'une plage de valeurs extrêmement étendues (25 ordres de grandeur). Cette variabilité tient à la grande plage des valeurs pour plusieurs des paramètres utilisés (PNEC, VTR, BCF, H). Ce fait est illustré par la Figure 1, qui représente les effectifs de substances selon les valeurs transformées en valeurs logarithmiques de l'indicateur de risque. Il semble se dégager deux groupes de substances : un groupe très minoritaire avec un indicateur très élevé (logarithme supérieur à 13), et un groupe très majoritaire, de relativement négligeable à élevé.

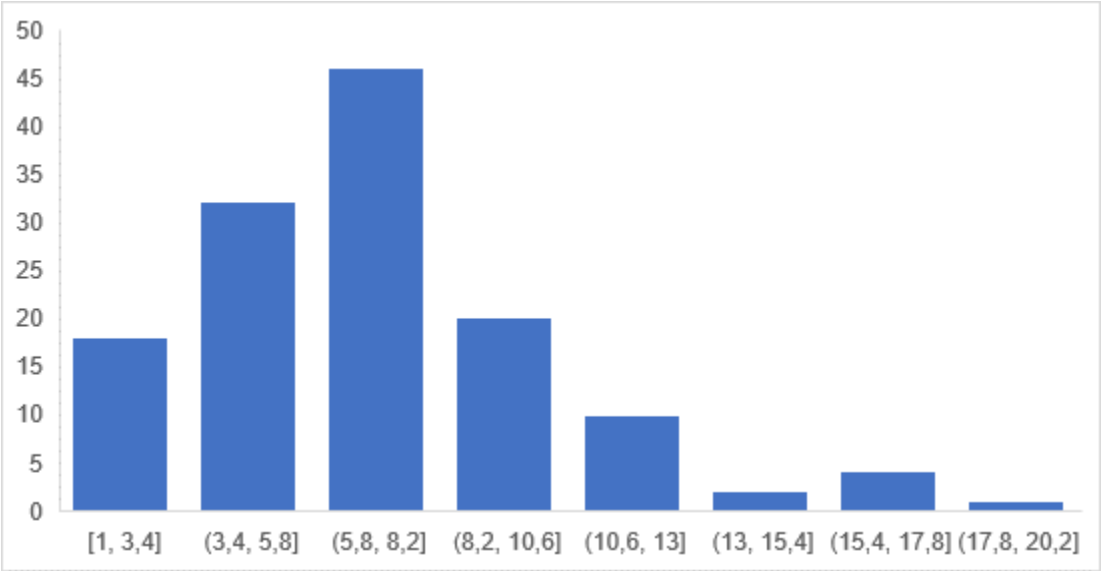


Figure 1 : Effectifs des micropolluants selon les valeurs du logarithme de l'indicateur de danger de H2.

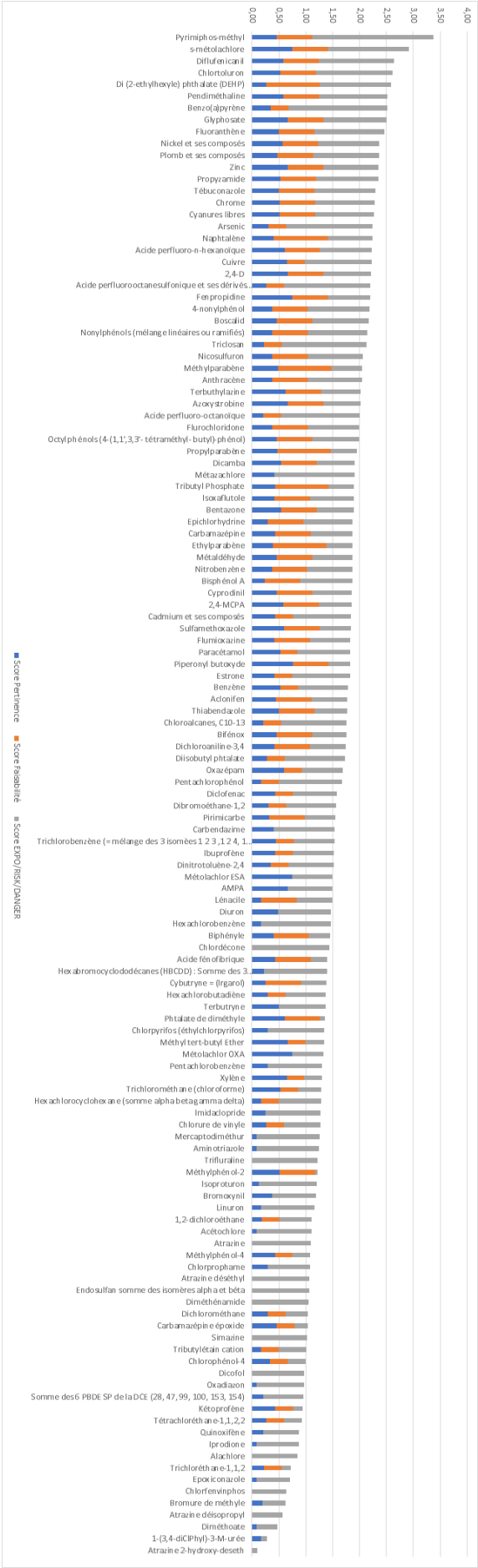
3.2 Résultats de la hiérarchisation basée sur le score H1

Le Tableau 9 présente les 20 micropolluants les plus prioritaires, et les moins prioritaires pour une action de réduction des émissions selon le score H1 pour les micropolluants classés de la liste « eaux » (liste hiérarchisée complète, dans le fichier Excel accompagnant ce rapport).

Substance	Code SANDRE	n°CAS	H1
Pyrimiphos-méthyl	1261	29232-93-7	3,37
s-métolachlore	1221	87392-12-9	2,92
Diflufenicanil	1814	83164-33-4	2,64
Chlortoluron	1136	15545-48-9	2,61
Di (2-ethylhexyle) phthalate (DEHP)	6616	117-81-7	2,59
Pendiméthaline	1234	40487-42-1	2,51
Benzo(a)pyrène	1115	50-32-8	2,51
Glyphosate	1506	1071-83-6	2,50
Fluoranthène	1191	206-44-0	2,46
Nickel et ses composés	1386	7440-02-0	2,37
Plomb et ses composés	1382	7439-92-1	2,36
Zinc	1383	7440-66-6	2,35
Propyzamide	1414	23950-58-5	2,35
Tébuconazole	1694	107534-96-3	2,30
Chrome	1389	7440-47-3	2,28
Cyanures libres	1084	57-12-5	2,27
Arsenic	1369	7440-38-2	2,25
Naphtalène	1517	91-20-3	2,23
Acide perfluoro-n-hexanoïque	5978	307-24-4	2,23
Cuivre	1392	7440-50-8	2,22
2,4-D	1141	94-75-7	2,21

Substance	Code SANDRE	n°CAS	H1
Dichlorométhane	1168	75-09-2	1,04
Carbamazépine époxide	6725	36507-30-9	1,03
Simazine	1263	122-34-9	1,02
Tributylétain cation	2879	36643-28-4	1,01
Chlorophénol-4	1650	106-48-9	1,00
Dicofol	1172	115-32-2	0,97
Oxadiazon	1667	19666-30-9	0,97
Somme des 6 PBDE SP de la DCE (28, 47, 99, 100, 153, 154)	7705	Sans objet	0,96
Kétoprofène	5353	22071-15-4	0,94
Tétrachloréthane-1,1,2,2	1271	79-34-5	0,93
Quinoxifène	2028	124495-18-7	0,88
Iprodione	1206	36734-19-7	0,87
Alachlore	1101	15972-60-8	0,85
Trichloréthane-1,1,2	1285	79-00-5	0,72
Epoxiconazole	1744	135319-73-2	0,71
Chlorfenvinphos	1464	470-90-6	0,64
Bromure de méthyle	1530	74-83-9	0,62
Atrazine déisopropyl	1109	1007-28-9	0,57
Diméthoate	1175	60-51-5	0,47
1-(3,4-diClPhyl)-3-M-urée	1929	3567-62-2	0,28
Atrazine 2-hydroxy-deseth	3159	19988-24-0	0,09

Tableau 9 : les 20 substances de la liste « eaux » d'indice de danger maximal (à gauche) et minimal (à droite) selon l'indicateur de danger du score H1



La Figure 2 ci-contre montre l'ensemble du classement (liste « eaux ») selon le critère H1, et pour chaque micropolluant, la contribution au score total des trois principales composantes suivantes :

- Score Occurence/Risque/Danger
- Score Pertinence
- Score Faisabilité

La Figure 3 permet de cerner l'importance respective des deux principales composantes qui constituent le score H1, à savoir Exposition/Risques/Dangers d'une part, et Pertinence/Faisabilité d'autre part. Cette comparaison n'a pas de valeur absolue mais seulement relative, puisque les deux composantes ont toutes les deux été ramenées sur des plages normées. Une observation semble être qu'en règle générale, il n'y a pas de lien entre les deux composantes et qu'aucun schéma entre ces deux grandes composantes ne se dégage, ce qui tend à indiquer leur complémentarité.

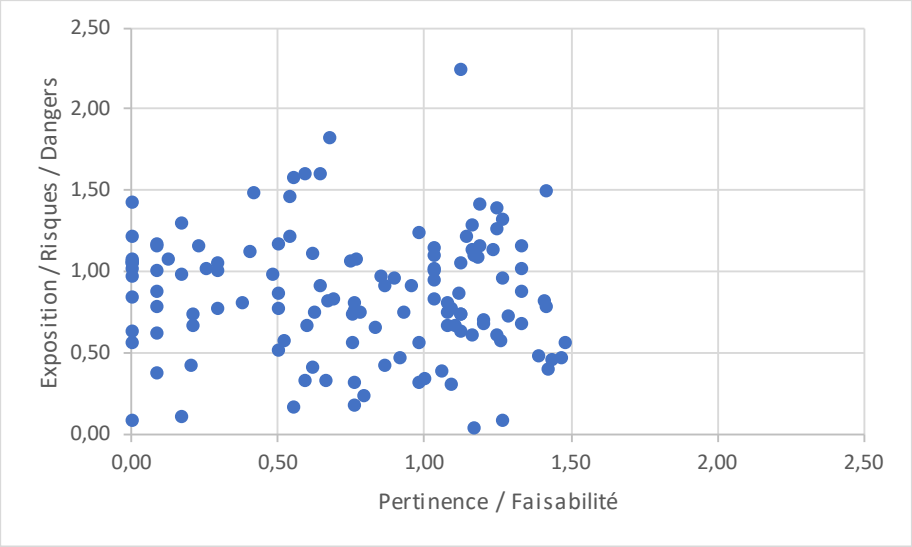


Figure 3 : Décomposition du score H1 en scores partiels de « pertinence/faisabilité » et « Exposition/Risques/Dangers »

Les Tableaux 10 et 11 présentent les 10 premières priorités respectivement pour les seuls pesticides et pour les micropolluants autres que des pesticides (liste « eaux »). Concernant les micropolluants qui ne sont pas des pesticides, on notera la présence de plusieurs HAP et métaux.

Substance	Code SANDRE	n°CAS	H1
Di (2-ethylhexyle) phthalate (DEHP)	6616	117-81-7	2,59
Benzo(a)pyrène	1115	50-32-8	2,51
Fluoranthène	1191	206-44-0	2,46
Nickel et ses composés	1386	7440-02-0	2,37
Plomb et ses composés	1382	7439-92-1	2,36
Zinc et ses composés	1383	7440-66-6	2,35
Chrome et ses composés	1389	7440-47-3	2,28
Cyanures libres	1084	57-12-5	2,27
Arsenic	1369	7440-38-2	2,25
Naphtalène	1517	91-20-3	2,23
Acide perfluoro-n-hexanoïque	5978	307-24-4	2,23

Tableau 10 : les 10 premières priorités (hors pesticides) pour les micropolluants de la liste « eaux » selon le score H1

Substance	Code SANDRE	n°CAS	H1
Pyrimiphos-méthyl	1261	29232-93-7	3,37
s-métolachlore	1221	87392-12-9	2,92
Diflufenicanil	1814	83164-33-4	2,64
Chlortoluron	1136	15545-48-9	2,61
Pendiméthaline	1234	40487-42-1	2,51
Glyphosate	1506	1071-83-6	2,50
Propyzamide	1414	23950-58-5	2,35
Tébuconazole	1694	107534-96-3	2,30
2,4-D	1141	94-75-7	2,21
Fenpropidine	1700	67306-00-7	2,20
Boscalid	5526	188425-85-6	2,17

Tableau 11 : les 10 premières priorités (seulement parmi les pesticides) pour les micropolluants de la liste « eaux » selon le score H1

3.3 Résultats de la hiérarchisation basée sur le score H2

Le Tableau 12 présente les 20 micropolluants les plus prioritaires, et les moins prioritaires pour une action de réduction des émissions selon le score H2 (liste hiérarchisée complète dans le fichier Excel accompagnant ce rapport).

Nom Substance	Code SANDRE	n°CAS	Score H2
Fluoranthène	1191	206-44-0	40,1
Cyperméthrine	1140	52315-07-8	39,9
Pyrimiphos-méthyl	1261	29232-93-7	39,8
Naphtalène	1517	91-20-3	36,9
Phénanthrène	1524	85-01-8	36,4
Pendiméthaline	1234	40487-42-1	33,8
Di (2-ethylhexyle) phthalate (DEHP)	6616	117-81-7	33,5
Anthracène	1458	120-12-7	33,1
Acénaphtène	1453	83-32-9	32,4
Diflufenicanil	1814	83164-33-4	32,1
Flurochloridone	1675	61213-25-0	31,8
Nonylphénols (mélange linéaires ou ramifiés)	6598	25154-52-3	31,3
Bifénox	1119	42576-02-3	31,2
Aclonifen	1688	74070-46-5	30,9
4-nonylphenol diethoxylate	6369	27176-93-8	30,8
Cyprodinil	1359	121552-61-2	30,3
Méthyl-2-Naphtalène	1618	91-57-6	30,2
Cybutryne = (Irgarol)	1935	28159-98-0	30,0
Benzo(a)pyrène	1115	50-32-8	29,4
Dichloroaniline-3,4	1586	95-76-1	27,6
Flumioxazine	2023	103361-09-7	27,0

Nom Substance	Code SANDRE	n°CAS	Score H2
Isoproturon	1208	34123-59-6	3,8
Alachlore	1101	15972-60-8	3,6
Simazine	1263	122-34-9	3,6
Diméthoate	1175	60-51-5	3,5
Diméthénamide	1678	87674-68-8	3,5
Atrazine	1107	1912-24-9	3,5
Bromure de méthyle	1530	74-83-9	3,4
1-(3,4-diClPhyl)-3-M-urée	1929	3567-62-2	3,4
Métazachlore	1670	67129-08-2	3,2
Chlorprophame	1474	101-21-3	3,2
Atrazine déséthyl	1108	6190-65-4	3,1
Bromoxynil	1125	1689-84-5	3,1
Aminotriazole	1105	61-82-5	3,0
Atrazine déisopropyl	1109	1007-28-9	3,0
Atrazine 2-hydroxy-deseth	3159	19988-24-0	2,9
Linuron	1209	330-55-2	2,9
Epoxiconazole	1744	135319-73-2	2,4
Carbendazime	1129	10605-21-7	2,2
Métolachlor OXA	6853	152019-73-3	1,8
Métolachlor ESA	6854	171118-09-5	1,0
AMPA	1907	1066-51-9	1,0

Tableau 12 : 20 micropolluants les plus prioritaires (à gauche) et les moins prioritaires (à droite) pour une action de réduction des émissions selon le score H2

Les micropolluants suivants ont pu être classés dans le cadre du score H2, alors qu'ils n'ont pu l'être pour le score H1 (en raison d'un manque de données d'occurrence, que le score H2 n'utilise pas) : Cyperméthrine, 1,2,3,4-Tetrachlorobenzène, 1,2,3,5-Tetrachlorobenzène, 1,2,4,5-Tetrachlorobenzène, Acénaphtène, Décabromodiphényl éther, Epoxyde cis/trans d'heptachlore, n-butyl phtalate, Toluène, Composés du tributylétain, Dichlorvos, Dioxines et composés de type dioxine, Méthyl-2-Naphtalène.

Parmi ceux-ci, il est important de noter que **la cyperméthrine est la seconde molécule la plus prioritaire selon le classement H2**.

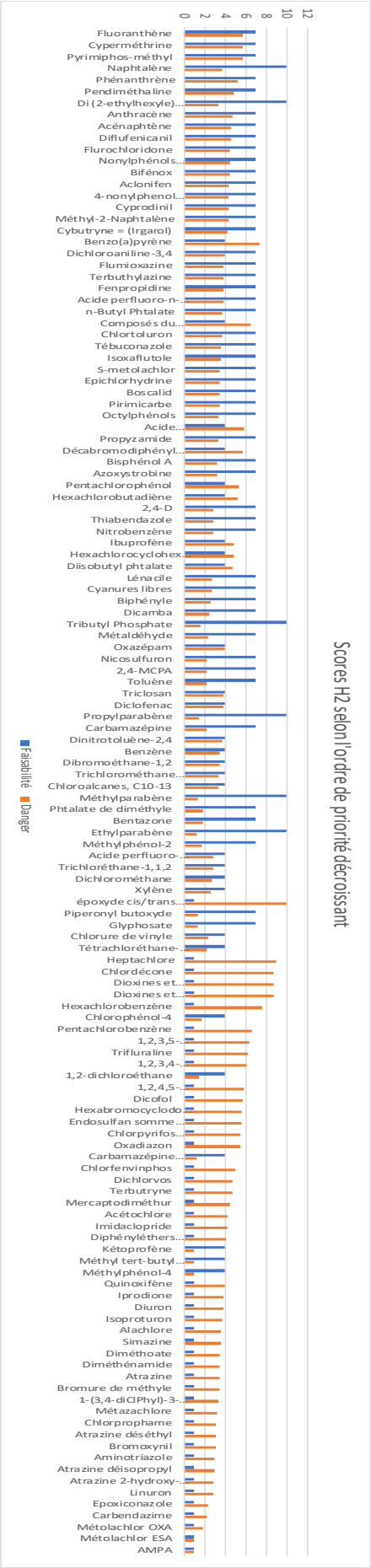
Les Tableaux 13 et 14 présentent les 10 premières priorités respectivement pour les seuls pesticides et pour les micropolluants autres que des pesticides.

Nom Substance	Code SANDRE	n°CAS	**Score H2**
Pyrimiphos-méthyl	1261	29232-93-7	39,8
Pendiméthaline	1234	40487-42-1	33,8
Diflufenicanil	1814	83164-33-4	32,1
Flurochloridone	1675	61213-25-0	31,8
Bifénox	1119	42576-02-3	31,2
Aclonifen	1688	74070-46-5	30,9
Cyprodinil	1359	121552-61-2	30,3
Flumioxazine	2023	103361-09-7	27,0
Terbuthylazine	1268	5915-41-3	26,9
Fenpropidine	1700	67306-00-7	26,7

Tableau 13 : les 10 substances phytosanitaires les plus prioritaires selon le score H2

Nom Substance	Code SANDRE	n°CAS	**Score H2**
Fluoranthène	1191	206-44-0	40,1
Cyperméthrine	1140	52315-07-8	39,9
Naphtalène	1517	91-20-3	36,9
Phénanthrène	1524	85-01-8	36,4
Di (2-ethylhexyle) phthalate (DEHP)	6616	117-81-7	33,5
Anthracène	1458	120-12-7	33,1
Acénaphtène	1453	83-32-9	32,4
Nonylphénols (mélange linéaires ou ramifiés)	6598	25154-52-3	31,3
4-nonylphenol diethoxylate	6369	27176-93-8	30,8
Méthyl-2-Naphtalène	1618	91-57-6	30,2

Tableau 14 : les 10 substances autres que phytosanitaires les plus prioritaires selon le score H2



La Figure 4 ci-contre montre l'ensemble du classement selon le critère H2, et pour chaque micropolluant, les valeurs de chacun des deux termes composant le score :

- Coût/Efficacité
- Indicateur de danger

La Figure 5 permet de cerner l'importance respective des deux indicateurs de faisabilité et de danger qui constituent le score H2. Cette comparaison n'a pas de valeur absolue mais seulement relative, puisque les composantes ont été toutes deux ramenées sur une échelle entre 1 et 10[8]. Une observation semble être qu'en règle générale les deux composantes sont bien indépendantes, avec toutefois une légère tendance qui indiquerait que les micropolluants les plus dangereux sont aussi en règle générale ceux pour lesquels la réduction des émissions est la plus difficile.

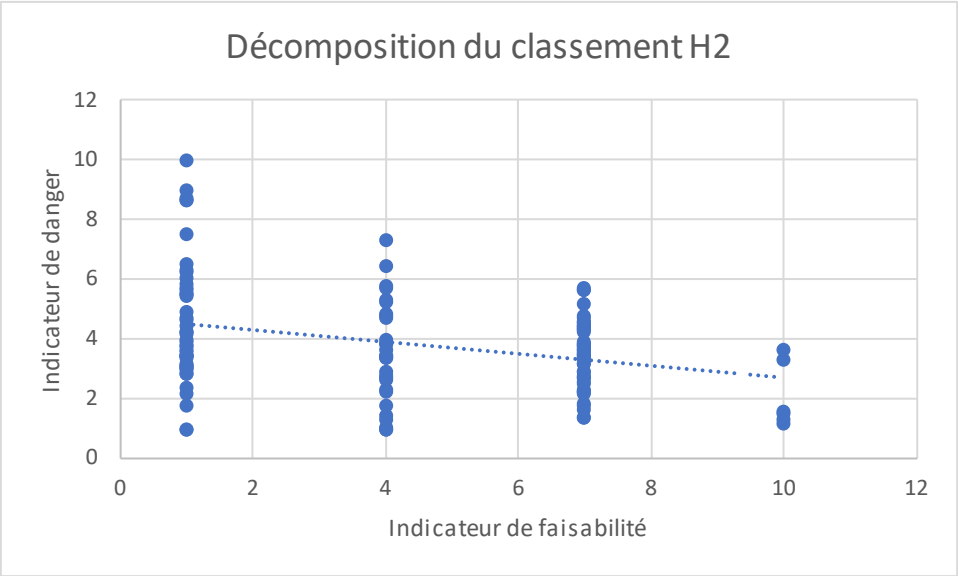


Figure 5 : Décomposition du classement H2 entre indicateur de faisabilité et indicateur de danger

3.4 Comparaison des résultats entre différentes méthodes de hiérarchisation

Une comparaison a été faite entre H1 et H2, et entre H1 et H3. Aucune comparaison n'a été faite entre H2 et H3 car elle serait peu pertinente. En effet, H2 n'est pas une analyse multicritère mais une approche coût/ efficacité avec un indicateur unique totalement agrégé et basé sur la réduction des émissions. Le désagréger à nouveau pour réaliser une analyse multicritère avec la méthode ELECTRE et observer des différences serait normal et non le signe d'un manque de robustesse lié au choix d'une méthode de calcul plutôt qu'une autre.

Cette remarque souligne à nouveau la différence également significative d'approche entre H1 et H2, et l'intérêt d'observer les points communs, mais aussi des différences de résultats, qui sont attendues. On rappelle également que certains critères pris en compte dans H1 (présence dans l'environnement aquatique, pertinence basée sur les futures tendances règlementaires et industrielles) ne le sont pas dans H2, construit sur une logique « pure » coût/efficacité.

Il est intéressant en premier lieu de repérer les micropolluants qui sont prioritaires à la fois pour les classements H1 et H2 car particulièrement candidats à une action de réduction, étant prioritaires quelle que soit la méthode de priorisation utilisée.

Toutefois certains micropolluants ne sont pas intégrés dans les deux classements et leur cas doit être examiné de façon spécifique. Les micropolluants non traités dans H2 ont été rappelés dans la section 3.3, avec notamment le cas à enjeu de la cyperméthrine. Les métaux sont un autre cas particulier, n'étant classés que selon le classement H1, dans lequel plusieurs d'entre eux apparaissent au sein des 20 premières priorités (Nickel, Chrome, Zinc, Plomb, Cuivre).

Les micropolluants qui sont parmi les 20 plus prioritaires pour les deux classements (classement H1 « eaux » et classement H2), **sont les suivants, présentés ici (Tableau 15) dans leur ordre de**

[8] Contrairement à la figure 3 similaire à celle-ci pour le classement H1, les barres ne sont pas superposées car le score H2 n'est pas additif (les deux composantes sont multipliées et non additionnées).

priorité selon H1. Le Pyrimiphos-méthyl est le seul micropolluant (qui n'a pas déjà été identifié comme substance prioritaire de la DCE, que ce soit au titre de substance prioritaire ou de substance de l'état écologique[9]. Le Tableau indique, si elle est définie pour le micropolluant, l'ambition nationale de réduction des émissions qui a été établie par le Ministère[10].

	Phytosanitaire	Substance déjà visée par la DCE (prioritaire ou état écologique)	Objectif national de réduction de – 10% des émissions	Objectif national de réduction de – 30% des émissions	Objectif national de réduction de – 100% des émissions maitrisables à un coût acceptable
Pyrimiphos-méthyl	X				
Di (2-ethylhexyle) phthalate (DEHP)		X		X	
Pendiméthaline	X	X	X		
Benzo(a)pyrène		X			X
Fluoranthène		X	X		
Naphtalène		X		X	
Nonylphénols et éthoxylates		X			X

Tableau 15 : Micropolluants parmi les 20 plus prioritaires à la fois pour le score H1 et le score H2, et certaines de leurs caractéristiques

Une analyse des micropolluants prioritaires communs pour H1 (liste « eaux ») et H2 sur une plus longue séquence (**les 40 plus prioritaires** parmi ceux présents dans les deux classements) permet d'identifier (Tableau 16) un grand nombre (27) de priorités communes aux deux classements (liste selon l'ordre de priorités décroissant dans le score H1). Les micropolluants qui n'ont pas déjà été identifiés comme substance prioritaire de la DCE, que ce soit au titre de substance prioritaire ou de substance de l'état écologique[11], ainsi que les pesticides y sont indiqués.

[9] Le Pyrimiphos-méthyl est également parmi les 20 principales priorités selon H3 (rang 11).

[10] Note technique du 29 septembre 2020 relative aux objectifs nationaux de réduction des émissions, rejets et pertes de substances dangereuses dans les eaux de surface et à leur déclinaison dans les SDAGE 2022-2027

[11] Le Pyrimiphos-méthyl est également parmi les 20 principales priorités selon H3 (rang 11).

	Phytosanitaire	Substance déjà visée par la DCE (prioritaire ou état écologique)	Objectif national de réduction de – 10% des émissions	Objectif national de réduction de – 30% des émissions	Objectif national de réduction de – 100% des émissions maitrisables à un coût acceptable
Pyrimiphos-méthyl	X				
Métolachlore (s Métolachlore)	X				
Diflufénicanil [12]			X		
Di (2-ethylhexyle) phthalate (DEHP)		X		X	
Pendiméthaline [12]	X	X	X		
Benzo(a)pyrène		X			X
Fluoranthène		X	X		
Propyzamide					
Tébuconazole [12]	X	X	X		
Cyanures libres					
Naphtalène		X		X	
Acide perfluoro-n-hexanoïque					
2,4-D	X	X		X	
Acide perfluorooctanesulfonique et ses dérivés (PFOS)		X		X	
Fenpropidine	X				
Boscalid [12]	X				
Nonylphénols et éthoxylates		X			X
Anthracène		X			X
Terbuthylazine	X				
Azoxystrobine [12]	X	X	X		
Flurochloridone	X				
Isoxaflutole	X				
Epichlorhydrine					
Nitrobenzène					
Bisphénol A					
Cyprodinil [12]	X	X	X		

Tableau 16 : Micropolluants parmi les 40 plus prioritaires à la fois pour le score H1 et le score H2, et certaines de leurs caractéristiques

[12] Le plan Ecophyto 2+ prévoit de diviser par deux l'épandage de ces substances d'ici 2025. Les objectifs pour ces substances reflètent la contribution attendue des SDAGE aux objectifs du plan Ecophyto.

Une comparaison plus générale entre les deux hiérarchisations est proposée dans les Figures 6 et 7. Des différences significatives sont observées entre les deux classements H1 (liste « eaux ») et H2, ce qui est attendu du fait de l'approche différente adoptée, mais elles sont plus réduites entre H1 et H3. De plus ces différences sont plus faibles pour les micropolluants les plus prioritaires et pour les micropolluants les moins prioritaires : les deux techniques sont en accord pour ce qui est des micropolluants qui seraient absolument à retenir, et ceux qui seraient absolument à écarter. Cela tend à montrer que la technique mathématique de classement (scores pour H1, surclassement de synthèse avec ELECTRE III pour H3) a relativement peu d'influence, ce qui est un point positif quant à la robustesse du classement H1.

Les figures 8 et 9 proposent d'identifier les micropolluants qui sont à la fois les plus prioritaires respectivement dans un des deux classements H1 ou H2, et H1 ou H3, et caractérisés par une plus forte différence de rangs entre deux classements (on les obtient en divisant la différence de rangs entre les deux classements, par le rang dans le classement de référence). Il peut s'agir de micropolluants qui, bien que n'étant pas prioritaires dans les deux classements simultanément, pourraient être pris en considération. On observe que les différences sont nettement plus réduites qu'entre H1 et H2.

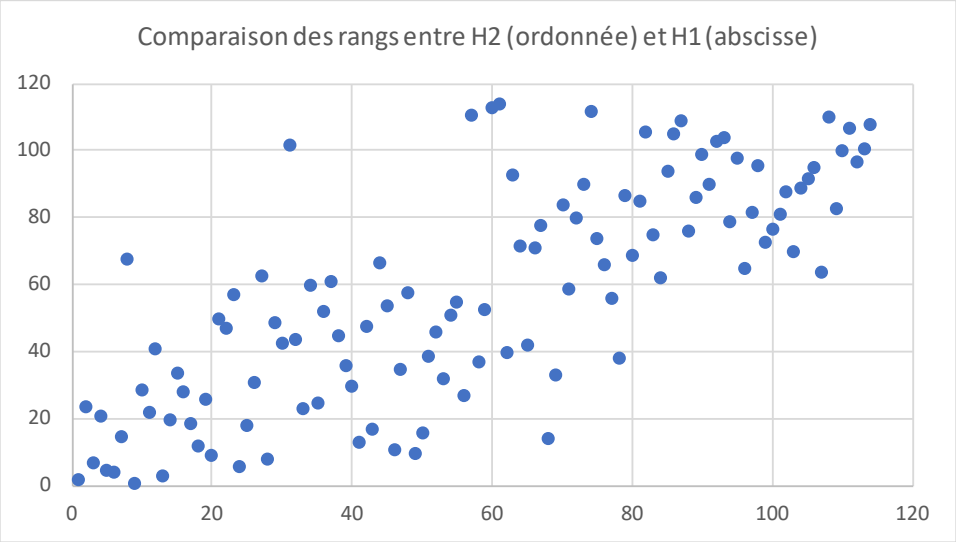


Figure 6 : Comparaison des rangs entre classements H1 et H2

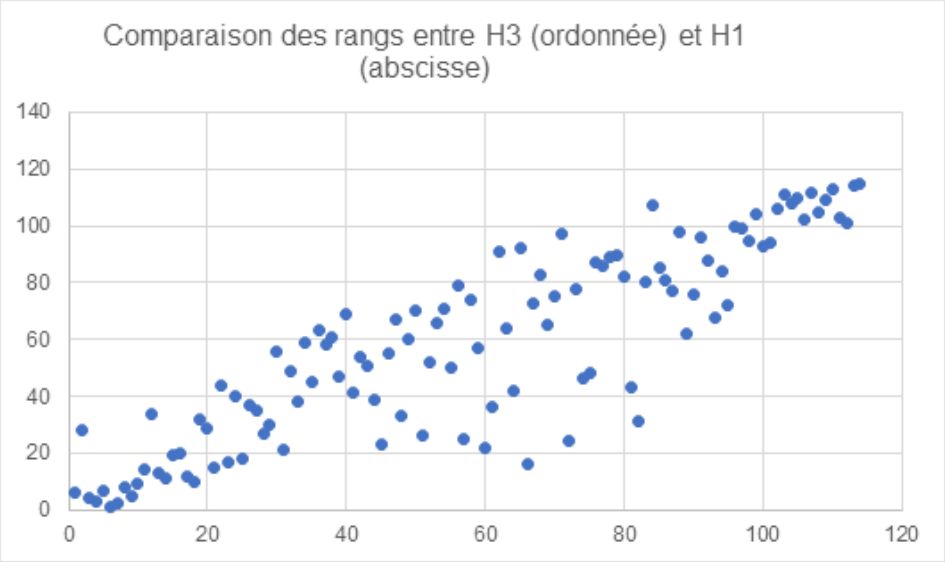
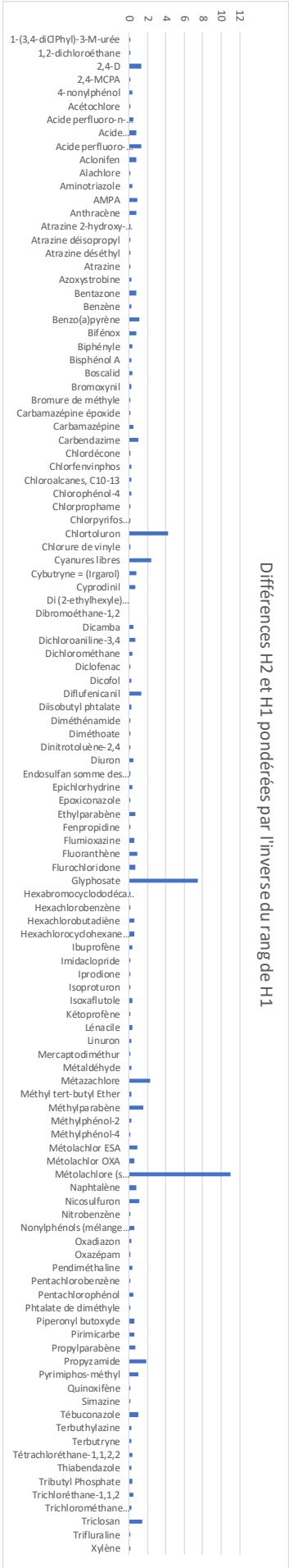


Figure 7 : Comparaison des rangs entre classements H1 et H3



La Figure 8 ci-contre montre pour chaque micropolluant, dans quelle mesure il est à la fois parmi les plus prioritaires pour H1 (liste « eaux »), et moins prioritaire pour H2.

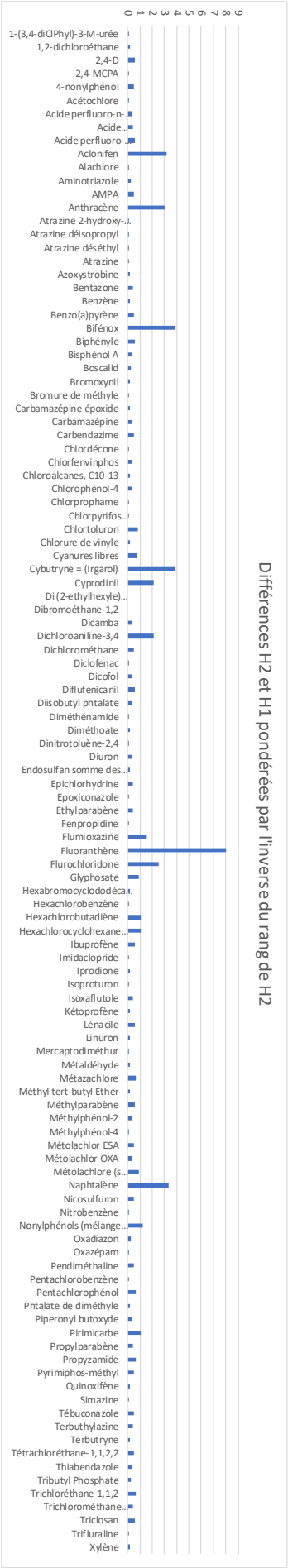
Les micropolluants ayant ainsi une plus forte différence de statut de priorité entre H1 et H2, et parmi les plus prioritaires selon H1 sont les suivants :

- S-Métolachlore
- Pyrimiphos-méthyl

Et dans une moindre mesure,

- Cyanures libres

L'explication de ce décalage est notamment explicable par le fait que le S-Métolachlore et le Pyrimiphos-méthyl ont un score d'occurrence respectivement élevé et maximal dans H1, alors que l'occurrence n'est pas prise en compte dans H2.

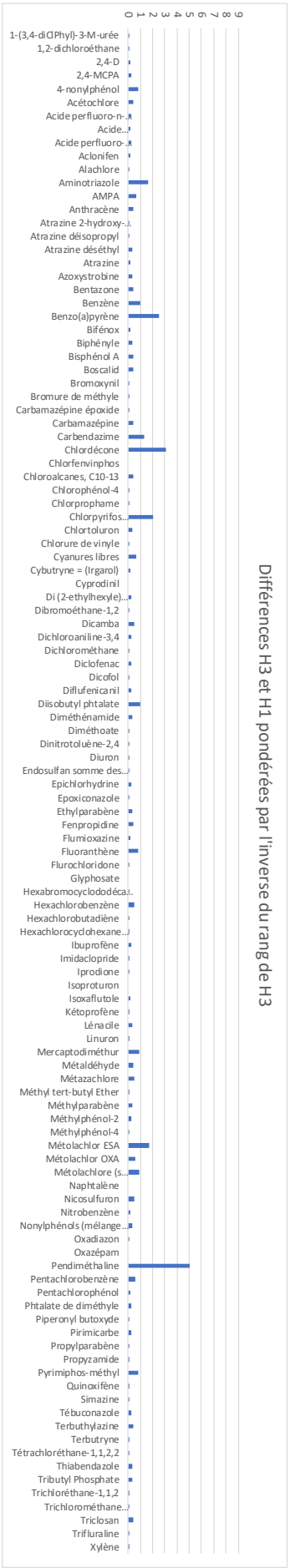


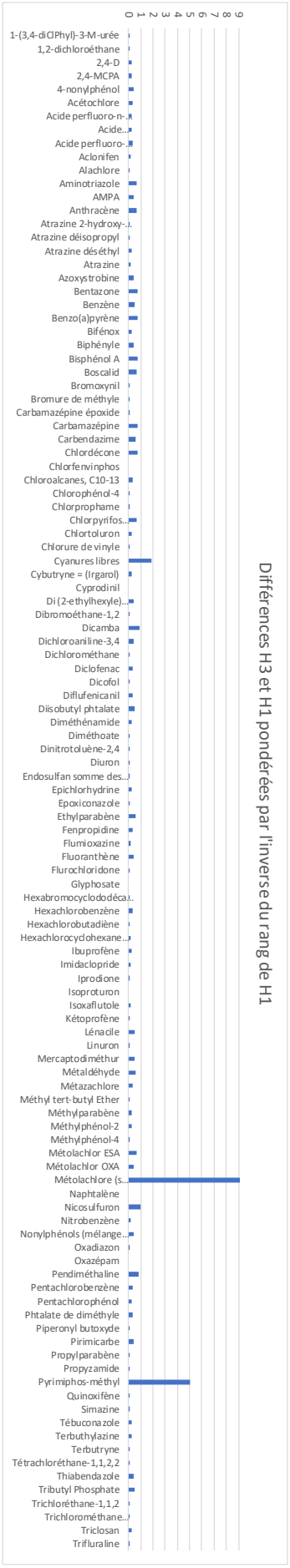
La Figure 9 ci-contre montre pour chaque micropolluant, dans quelle mesure il est à la fois plus prioritaire pour H2, et moins prioritaire pour H1 (liste « eaux »).

Les micropolluants ayant ainsi une plus forte différence de statut de priorité entre H1 et H2, et parmi les plus prioritaires selon H2 sont les suivants :

- Fluoranthène
- Cybutrine
- Bifénox
- Aclinofen aclonifene
- Anthracène
- Natphtalène
- Flurochloridone
- Dichloroaniline 3,4
- Cyprodinil

Le classement H2, qui ne prend pas en compte l'occurrence, met en évidence des composés qui n'apparaissent pas comme priorités lorsque l'attention est plus focalisée sur la présence dans l'environnement, mais pour lesquels une action de réduction coût/efficace des émissions est possible. Par contre, l'effet de ces réductions des émissions sur l'état des masses d'eau est incertain, car d'autres sources d'émissions difficiles à maîtriser existent (cas des HAP).





La Figure 10 ci-contre montre de façon similaire aux Figures précédentes, pour chaque micropolluant, les principales différences entre H1 et H3. Les différences sont nettement réduites par comparaison à H1/H2 et elles concernent principalement deux micropolluants dans chaque cas :

- S-Métolachlore et Pyrimiphos-méthyl (très prioritaires H1 et peu prioritaires H3)

- Pendiméthaline (très prioritaires H3 et peu prioritaires H1)

4. Focus sur quelques micropolluants prioritaires

Dans cette partie du rapport, nous détaillons les usages et les possibilités de réduction des émissions de quelques-uns des micropolluants apparaissant comme étant les plus prioritaires dans les classements H1 et H2, en dehors des pesticides (en effet, pour ces derniers, le traitement des possibilités de réduction a été sommaire dans ce rapport, et nécessite une étude adaptée aux spécificités locales pour chaque cas d'application), et pour lesquels des pistes de substitution sont connues. Nous ne fournissons pas un panorama complet des sources d'émissions, usages et possibilités de réduction[13] mais nous concentrons sur certaines solutions paraissant potentiellement coût/efficaces et accessibles aux acteurs de l'eau. Des informations plus sommaires sur les usages et possibilités de réduction (et la liste des sources d'informations consultées pour les établir) sont fournies pour tous les micropolluants étudiés, dans l'Annexe de ce rapport.

4.1 Naphtalène

Les informations de cette section sont extraites de la Fiche Technico-Economique du Naphtalène (Ineris, 2022).

Le naphtalène est comme les autres HAP notamment un composant de produits issus du pétrole comme la créosote, les goudrons et bitumes, le brai de houille, et il est émis par les combustions fossiles. En dehors de ces caractéristiques communes aux autres HAP, il possède un grand nombre d'utilisations spécifiques dont certaines peuvent constituer des leviers d'action en termes de substitution de produits. Une des applications intentionnelles et spécifiques du naphtalène est l'utilisation de dérivés dans les **superplastifiants pour bétons**. Il s'agit de sels sulfonés de polycondensats de naphtalène et de formaldéhyde (n°CAS 36290-04-7) (cf. Figure 11), fréquemment nommés les polynaphtalènes sulfonates ou naphtalène sulfonate de sodium formaldéhyde (SNF). Ce sel disperse les particules de ciment floculées au moyen d'un mécanisme de répulsion électrostatique.

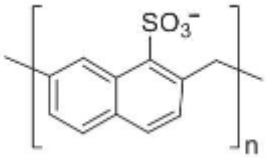


Figure 11. Structure chimique des sels sulfonés de polycondensés de naphtalène et de formaldéhyde (n°CAS 36290-04-7)

Des **alternatives** sont disponibles. Les plus récentes sont à base de polycarboxylates. Moins efficaces, les lignosulfonates continuent à être utilisés de nos jours car ils sont biosourcés et relativement peu onéreux. Enfin, bien que très comparables aux sels sulfonés de polycondensés de naphtalène et de formaldéhyde, les polymélamines sulfonates présentent l'avantage de retarder très peu la prise du ciment.

D'autres sels du naphtalène (polynaphtalènesulfonate de sodium (n°CAS 9084-06-4), naphtalènesulfonate de sodium (n°CAS 532-05-5 ou 1321-69-3), disodium méthylène dinaphtalènesulfonate (n°CAS 26545-58-4/14857-90-0)) trouvent de nombreuses applications en tant que tensio-actifs, dans les cosmétiques : produits de maquillage (ombres à paupières, mascara, fards à joues, fonds de teint, rouge à lèvres…) et de produits de soin corporel (shampooings…).

Des dérivés du naphtalène intègrent les formulations de divers produits (parfums, cosmétiques…) en tant qu'agent parfumant et/ou agent masquant[14].

---

[13] Pour des informations plus complètes on pourra consulter les Fiches Technico Economiques de l'Ineris, disponibles pour la plupart des micropolluants étudiés dans cette section.

[14] Réduit ou inhibe l'odeur ou le goût de base du produit

A titre d'exemples :

- le 2-méthoxy-naphtalène (n°CAS 93-04-9) et le 2-éthoxy-naphtalène (n°CAS 93-18-5) apportent une odeur de fleur d'oranger à des produits biocides (désinfectants, produits antiparasitaires), parfums, cosmétiques, produits de soins personnels, cires et cirages, produits de nettoyage
- le 2-acétonaphthone (n° CAS 93-08-3) est utilisé comme agent parfumant et agent masquant pour des parfums et des matières premières aromatiques
- le méthyl-beta-naphthyl-ether (n° CAS 93-04-9) est un agent parfumant utilisé pour des parfums et matières premières aromatiques.

Enfin, toujours dans le domaine des cosmétiques, certains dérivés du naphtalène sont employés comme agents colorants pour cheveux, dont :

- Le 2-méthyl-1-naphthol (n° CAS 7469-77-4)
- Le 1,5-naphtalènediol (n° CAS 83-56-7)
- Le 1-naphthol (n° CAS 90-15-3)
- Le 2,7-naphtalènediol (n° CAS 582-17-2)

Plusieurs des composés précédemment mentionnés sont également employés comme tensio-actifs dans des produits de consommation tels que les assouplissants, les nettoyants liquides de surface et les liquides pour lave-vaisselle (polynaphtalènesulfonate de sodium (n°CAS 9084-06-4)), ainsi que des peintures en phase aqueuse (sels sulfonés de polycondensés de naphtalène et de formaldéhyde (n°CAS 36290-04-7)).

Pour la formulation de cosmétiques et de produits de soins corporel, d'autres tensioactifs peuvent se substituer aux sulfonates de naphtalène, citons :

- d'autres tensioactifs anioniques **(**sels d'acide carboxylique, lipoaminoacides, lipo-oligopeptides et dérivés sulfatés), par ex le Sodium coco sulfate (SCS), le Sodium cocoyl isethionate (SCI), l'huile de Ricin sulfatée (Sulfated castor oil), le Sodium lauryl sulfoacetate (SLSA) et le Sodium Lauroyl Sarcosinate
- l**es tensioactifs amphotères** (bétaïnes, dérivés d'acides aminés et d'imidazole), par ex. le Cocamidopropyl Betaïn et la mousse de Babassu (Babassuamidopropyl betaïne)
- **les tensioactifs non ioniques** (polyoxyéthylènes, alcanolamides, oligopeptides), par ex. le Decyl glucoside, le Cetyl alcohol, les glutamates, le Lauryl glucoside et le Coco glucoside

4.2 Di (2-ethylhexyle) phthalate (DEHP)

Le DEHP est un plastifiant du PVC souple. Un grand nombre d'usages du DEHP sont désormais interdits, mais il existe encore certains leviers d'action pour agir sur certaines sources d'émission. Du fait que la présence dans l'environnement aquatique résulte aussi des stocks de PVC ancien, de telles actions peuvent ne pas avoir d'effet perceptible sur la concentration en DEHP dans les masses d'eau, mais elles peuvent contribuer aux objectifs de réduction des émissions.

Les interdictions européennes prises dans le cadre du règlement REACH et entrées en vigueur en Juillet 2020 ont plusieurs exceptions, qui peuvent constituer autant de leviers d'action pour réduire les émissions vers les milieux aquatiques.

Ainsi le plastifiant DEHP a longtemps été le premier choix pour les applications médicales flexibles à base de PVC en raison de sa facilité de traitement et de son faible coût. Cependant, du fait de la pression règlementaire[15] une gamme de plastifiants est désormais disponible pour presque toutes les applications médicales : le DINCH (di(isononyl)cyclohexane-1,2-dicarboxylate) (DINCH), le DEHT (di(2-

[15] Ces usages sont désormais soumis à une autorisation dans le cadre du règlement REACH, à demnader avant le 27 Novembre 2023, voir *Commission Regulation (EU) 2021/2045 of 23 November 2021 amending Annex XIV to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH*)

ethylhexyl)terephthalate), le TOTM (Tris(2-ethylhexyl) benzene- 1,2,4-tricarboxylate) et le BTHC (Butyryl-tri-n-hexylcitrate).

Le DEHP reste autorisé au cas par cas dans le cadre de REACH[16] également en contact alimentaire et les usages de PVC dans ce cadre peuvent faire l'objet d'une substitution.

D'autres exceptions pour lesquelles un usage du DEHP reste possible sont les suivantes :

- Usages de PVC souple en agriculture (films, bâches, …). Le DEHP est émis par des films en PVC pour serres et paillage, et des alternatives (EVA, Polyoléfines) n'émettent pas ou très peu de phtalates semblent disponibles[17].
- Articles pour les consommateurs destinés à un usage en extérieur (bâches, tuyaux d'arrosage, …). Par exemple, des actions pour sensibiliser les consommateurs et les diriger vers une offre de tuyaux PVC sans DEHP, qui existe, paraissent possibles.

4.3 Nonylphénols et éthoxylates

De façon similaire au cas du DEHP, la règlementation européenne a réduit les usages admis, mais des usages très variés restent autorisés et pourraient constituer des leviers d'action potentiels.

Il s'agit notamment de leur présence en tant qu'additifs dans de nombreux matériaux en plastique et des bétons, des durcisseurs pour résines et colles epoxy (voir aussi le cas de ces résines pour Epichlorhydrine et Bisphenol A), des peintures, vernis et encres, ou encore dans des liquides techniques automobiles (lubrifiant moteur). Leur présence peut être toutefois difficile à tracer, et les produits alternatifs sans ce polluant difficiles à identifier. L'utilisation de Fiches de Données de Sécurité de certains produits peut fournir des informations sur les produits en contenant et ceux les évitant.

4.4 Epichlorhydrine et Bisphénol A

Ces deux micropolluants sont les deux composants principaux des résines epoxy, à partir desquels ils peuvent donc migrer, notamment lorsque ces résines sont utilisées avec des matériaux qui sont impliqués dans le cycle de l'eau (canalisations, contenants dans l'industrie agroalimentaire et les installations et réseaux d'eau potable par exemple). Une revue des solutions de substitution aux résines epoxy est disponible dans les Fiches Technico-Economiques de l'Ineris du Bisphenol A et de l'Epichlorydine (accessibles sur subtances.ineris.fr) et sur le site substitution.ineris.fr.

Pour ce qui concerne spécifiquement l'epichlorhydrine, des usages de composés proches de ce micropolluant peuvent faire l'objet de substitutions (voir Fiche Technico Economique Ineris).

Pour ce qui concerne spécifiquement le Bisphénol A, il est utilisé comme monomère du polycarbonate, et des matériaux alternatifs sont envisageables, voir également la Fiche Technico-Economique de l'Ineris du Bisphenol A (accessible sur subtances.ineris.fr) et le site substitution.ineris.fr. Le sujet Bisphénol A étant identifié depuis longtemps, la marge de progrès est probablement inférieure que dans le cas de l'épichlorhydrine.

4.5 Nitrobenzène

Le nitrobenzène est un des additifs présents dans les mousses polyuréthannes (PU), à des teneurs faibles (1%) mais les mousses PU sont utilisées dans des volumes importants. Le remplacement des mousses PU par d'autres matériaux est un levier à envisager, d'autant plus que d'autres micropolluants sont aussi employés potentiellement dans ces mousses : DEHP (plastifiant), des mélanges d'hydrocarbures aromatiques (retardateurs de flamme/plastifiants), des métaux prioritaires (pigments).

---

[16] Ces usages sont désormais soumis à une autorisation dans le cadre du règlement REACH, à demnader avant le 14 Juin 2023, voir *Commission Regulation (EU) 2021/2045 of 23 November 2021 amending Annex XIV to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH*)

[17] Wang, Y., Wang, F., Xiang, L., Gu, C., Redmile-Gordon, M., Sheng, H., Wang, Z., Fu, Y., Bian, Y., & Jiang, X. (2021). Risk assessment of agricultural plastic films based on release kinetics of phthalate acid esters. Environmental Science & Technology, 55(6), 3676–3685. https://doi.org/10.1021/acs.est.0c07008

Il peut également être employé en tant que solvant, dans des cirages, et comme masquant d'odeurs (INRS, 2007), mais il est vraisemblable que ces usages, dont il est difficile de trouver des traces, ont été substitués en raison du caractère cancérigène suspecté et toxique pour la reproduction de ce produit chimique.

Il intervient également dans un grand nombre de synthèses chimiques (mousses PU également, paracétamol, …) et peut être à ce titre présent dans les rejets d l'industrie chimique et pharmaceutique (Commission Européenne, 2016).

Enfin le nitrobenzène et plus généralement les nitrobenzènes font partie des composés chimiques associés à l'usage des explosifs perchloratés utilisés durant la première guerre mondiale et peuvent ainsi être présents pour cette raison dans des sols et aquifères contaminés (Hube D., 2013). La gestion des nitrobenzènes peut alors dans ce cas être rapprochée de celle du problème des perchlorates.

5. Discussion et perspectives

Dans ce rapport nous avons classé de l'ordre de 150 micropolluants des milieux aquatiques en vue d'identifier ceux qui sont prioritaires pour des actions de réduction des émissions.

Afin d'avoir des résultats plus robustes, nous avons eu recours à deux méthodes de hiérarchisation (H1 qui est basée sur le scope du CEP pour prioriser la surveillance, et une autre approche H2), dont les résultats doivent être tous les deux exploités, même si une méthode était jugée préférable, ou devoir servir de référence par la suite. Nous avons également testé la robustesse de la première méthode (H1), qui s'y prêtait, à un changement de méthode mathématique de calcul des priorités (méthode H3).

La comparaison entre H3 et H1 montre de faibles différences, en particulier pour les tête et fin de classement, ce qui conforte la robustesse de la méthode H1.

Les méthodes H1 répondent à des objectifs et des principes différents, et il est normal que des différences de classement plus substantielles apparaissent. Toutefois la bonne concordance également observée sur des approches aussi différentes conforte aussi la crédibilité de ces classements. Plusieurs modalités d'exploitation sont envisageables :

- Privilégier une approche (par exemple H1 qui est dans la continuité des travaux du CEP) et utiliser l'autre pour vérifier que des priorités ne sont pas oubliées (dans ce cas, une substance prioritaire H2 peu ou moins prioritaire H1).
- Se focaliser sur les micropolluants prioritaires à la fois dans les deux approches dans le but d'éviter avant tout de possibles erreurs et de fausses priorités

Les deux méthodes peuvent aussi être employées l'une ou l'autre, en fonction du contexte en prenant leurs spécificités en compte :

- H1 correspond à un objectif de réduire les risques pour l'environnement et la santé en tenant compte également de l'objectif de réduire indépendamment du niveau de risque la présence dans l'environnement.
- H2 est particulièrement adapté au but de dresser une liste prioritaire de micropolluants à gérer ensemble dans une stratégie coordonnée, dans le but de maximiser les résultats en termes de réduction des émissions toxiques globales pour un budget fixé.

On rappellera que, comme dans le cas de toute priorisation basée sur des scores ou une autre méthode mathématique, ces résultats ne sont qu'une première base dont l'objet est avant tout de préparer des discussions, des échanges entre experts et personnes chargées de l'aide à la décision, pour proposer des priorités tenant compte de l'ensemble de leurs connaissances, des incertitudes et manques d'information, et de l'ensemble des paramètres de l'action publique.

Les limites à ce travail sont importantes et des données et des analyses supplémentaires pour mieux noter les critères technico-économiques seraient nécessaires avant de prendre des décisions fermes. **En particulier les critères sur les possibilités de substitution des pesticides n'ont été évalués que de façon sommaire et doivent être précisées sur le territoire d'application.**

La hiérarchisation présentée est susceptible d'une **application locale sur différents types de territoires** : un bassin versant hydrologique, ou une collectivité territoriale (sur le bassin versant d'un système d'épuration par exemple).

Dans ce cas, la démarche devrait faire l'objet d'une adaptation aux particularités et d'une prise en compte des connaissances locales pour ce qui concerne les données technico-économiques (c'est-à-dire toutes les notations de critères en dehors des caractéristiques inhérentes aux produits chimiques).

Une autre limite à ce travail est que les **connections entre micropolluants** n'ont pas été prises en compte : plusieurs micropolluants sont en général émis par une même source et ainsi les possibilités de réduction des émissions ne sont pas indépendantes entre micropolluants. Ce fait est particulièrement évident pour les produits phytosanitaires. La prise en compte de ces liens de façon systématique pour cette étude générale nationale n'a pas été possible. Dans le cas d'une application locale il est fortement conseillé de vérifier si plusieurs micropolluants sont liés sur le territoire étudié, et de prendre en compte les synergies techniques et économiques dans les notes de ces critères de hiérarchisation (par exemple en augmentant la note des micropolluants présentant des synergies). La prise en compte de ces synergies peut également se faire au cas par cas en aval de l'exercice de hiérarchisation. Dans certains cas, au lieu de synergies, des actions de réduction des émissions de deux micropolluants peuvent être antagonistes, en particulier si l'un est une alternative potentielle à l'autre. Dans ce cas, qui n'a pu non

plus faire l'objet d'une étude systématique dans le cadre de ce travail, il est conseillé de prendre en compte ces antagonismes. Des micropolluants, même non identifiés prioritaires, mais qui présentent des synergies ou des antagonismes avec des polluants identifiés comme prioritaires, devraient être intégrés à la liste de ces derniers, et traités avec eux lors de l'élaboration d'une stratégie de réduction des émissions.

Un autre type de connections entre micropolluants sont les effets dits « cocktail » qui font que le danger d'un ensemble de micropolluants auxquels l'environnement est exposé simultanément, peut-être plus élevé que la somme des dangers représentés par chacun des micropolluants individuellement. La prise en compte de ces liens de façon systématique pour cette étude générale nationale n'a pas été possible. Dans le cas d'une application locale il est fortement conseillé de vérifier si plusieurs micropolluants sont liés sur le territoire étudié, et de prendre en compte cet effet potentiel. Des propositions, pour mener une évaluation protectrice de cet effet cocktail existent : il s'agit par exemple d'utiliser un facteur d'évaluation des mélanges (ou MAF pour Mixture Assessment Factor), mais ces approches sont globalisantes et non spécifiques, et, du fait qu'elles appliquent le même facteur à tous les polluants, ne seraient pas utiles ici. Pour autant, des micropolluants, même non identifiés prioritaires, mais qui présentent ce type de lien sur un territoire avec des polluants identifiés comme prioritaires, devraient être intégrés à la liste de ces derniers, et traités avec eux lors de l'élaboration d'une stratégie de réduction des émissions. Ces réflexions doivent se mener à l'échelle locale, en fonction des pressions qui constituent le mélange effectif auxquels sont exposés les écosystèmes. Pour ce type d'approche au niveau local, afin de tenir compte de l'impact combiné de plusieurs composés sur une même cible écosystémique, des indicateurs de type gradué et spécifiques tels que proposés par l'Ineris (James Casas A. et al., 2018) pourraient être déployés afin d'affiner les priorités d'action pour un groupe de substance.

La méthode de hiérarchisation exposée ici a des liens étroits avec le rapport de l'Ineris sur la mise en œuvre d'une stratégie de réduction des micropolluants urbains en s'appuyant sur la méthode de l'analyse coût/efficacité (Chapon V., 2022). Ce rapport porte sur une méthode pour construire des plans d'actions pour les substances dont les rejets apparaissent comme significatifs dans le cadre des campagnes de mesures réalisées dans les eaux usées urbaines (RSDE STEU phase 2 et phase 3). L'établissement du plan d'action pour les collectivités est une tâche complexe du fait de la multitude des micropolluants, de leurs sources ainsi que des mesures de réduction possibles en particulier du fait que la mise en œuvre de ces actions de réduction doit généralement se faire à budget contraint. L'Analyse Coût Efficacité (ACE) permet de comparer les mesures pour un ensemble de micropolluants en fonction de leurs ratio coût-efficacité et ainsi de construire la stratégie de réduction la plus efficiente possible, et donc d'optimiser le budget qui y est consacré pour réduire la pression exercée par les micropolluants sur l'environnement et la santé humaine.

Ainsi, des acteurs de l'eau et des collectivités locales pourraient appliquer les deux méthodes de chacun des deux rapports de la façon complémentaire et séquentielle suivante :

- Présent rapport pour identifier les micropolluants prioritaires pour des actions de réduction des émissions
- Rapport sur l'ACE pour construire les actions de réduction des émissions de ces micropolluants avec une efficacité maximale

6. Références

Ici sont répertoriés les documents cités dans ce rapport. Les documents ayant été utilisés uniquement spécifiquement pour déterminer certains des scores sont indiqués dans le fichier Excel accompagnant ce rapport.

AESN - Agence Eau Seine Normandie, 2018 “Guide pratique des micropolluants dans les eaux du bassin Seine-Normandie" https://fr.calameo.com/agence-de-l-eau-seine-normandie/read/004001913160d812330d6

Bonnomet V. and Dulio V., 2007, “Implementation of requirements on Priority substances within the Context of the Water Framework Directive - Prioritisation of Substances: BACKGROUND DOCUMENT Version 3, INERIS/IOW Reference ENV.D.2/ATA/2004/0103

Briand C. et al., Bilans et flux de polluants organiques dans le bassin de la Seine, PIREN-Seine – phase VII – rapport 2016

Brignon J.M., Andres S., Dulio V., 2020, Support à la réalisation de l’action 39 du plan micropolluants - Critères et indicateurs pour caractériser la nécessité et la faisabilité d’une réduction des émissions Ineris - 181229 - 2118437

Brignon J.M., Maxim L., Mombelli E., Tan D., Vergnaud J.C., 2018, « Evaluation économique de Risques Chimiques Complexes et incertains : cas de perturbateurs endocriniens et de substances PBT/vPvB (ERICC) », Rapport Final projet PNR EST ERICC –N° EST-2015/1/178

Chapon V., 2022, Développer une stratégie de réduction des micropolluants urbains en s'appuyant sur la méthode ACE, Verneuil-en-Halatte : Rapport Ineris - 203097 - v1.0, 20/01/2022.

Commission Européenne, 2016, Document de Référence sur les Meilleures Techniques Disponibles pour les systèmes de Management et de Traitement des Effluents aqueux et gazeux dans le secteur de la chimie.

Dulio V. et al., 2012, “Référentiel méthodologique pour la priorisation des micropolluants des milieux aquatiques - établi par le Comité d'Experts Priorisation (CEP)”. Rapport AQUAREF, 60 p. Document final http://www.aquaref.fr/referentiel-methodologique-priorisation-micropolluantsmilieux-aquatiques

Dulio V. et al., 2021, “Synthèse des travaux du Comité national d'Experts pour la Priorisation (CEP) des substances chimiques à surveiller dans les milieux aquatiques pour le 3ème cycle de gestion des eaux - Synthèse des travaux du Comité national d'Experts pour la Priorisation (CEP) des substances chimiques à surveiller dans les milieux aquatiques pour le 3ème cycle de gestion des eaux” Rapport Ineris 203227-2519521-v1.0

Hube D., 2013, Potentialités d’un marquage des eaux souterraines par des substances pyrotechniques avec les zones de combats de la première guerre mondiale – Le cas des perchlorates. Rapport final BRGM/RP 62008 -FR

JAMES CASAS Alice, ANDRES Sandrine (2018) Propositions méthodologiques pour la mise en place d’indicateurs gradués et agrégés pour la priorisation des stations dans l’évaluation de l’état chimique des eaux superficielles de la DCE, Ineris N° DRC-18-158732-11803A

Annexes

Annexe 1 - Liste des micropolluants étudiés

Annexe 2 - Réglementations prises en compte pour le calcul des scores de tendances réglementaires

Annexe 3 - Bases de données et sources d'informations employées pour le calcul du score de tendances industrielles

Annexe 4 - Notations "Quantités utilisées"

Annexe 5 – Ensemble des fichiers XL contenant l'ensemble des notes des critères, les feuilles de calculs (H1 et H2) et résultats de hiérarchisation (pour H1, H2 et H3).

Annexe 1 : Liste des micropolluants étudiés

Type de substance	Substance	Code SANDRE	n°CAS	Fonction
PSEE	Arsenic	1369	7440-38-2	
PSEE	Cuivre	1392	7440-50-8	
PSEE	Zinc	1383	7440-66-6	
PSEE	Diflufenicanil	1814	83164-33-4	Substance phytosanitaire
PSEE	Métazachlore	1670	67129-08-2	Substance phytosanitaire
PSEE	Chlortoluron	1136	15545-48-9	Substance phytosanitaire
PSEE	Chrome	1389	7440-47-3	
PSEE	Pendiméthaline	1234	40487-42-1	Substance phytosanitaire
PSEE	Nicosulfuron	1882	111991-09-4	Substance phytosanitaire
PSEE	Aminotriazole	1105	61-82-5	Substance phytosanitaire
PSEE	Cyprodinil	1359	121552-61-2	Substance phytosanitaire
PSEE	AMPA	1907	1066-51-9	Produit de dégradation du glyphosate (n°CAS 1071-83-6)
PSEE	Glyphosate	1506	1071-83-6	Substance phytosanitaire
PSEE	Boscalid	5526	188425-85-6	Substance phytosanitaire
PSEE	Bentazone	1113	25057-89-0	Substance phytosanitaire
PSEE	Métaldéhyde	1796	108-62-3	Substance phytosanitaire
PSEE	Tébuconazole	1694	107534-96-3	Substance phytosanitaire et biocide
PSEE	2,4-D	1141	94-75-7	Substance phytosanitaire
PSEE	Imidaclopride	1877	138261-41-3	Substance phytosanitaire et biocide
PSEE	2,4-MCPA	1212	94-74-6	Substance phytosanitaire
PSEE	Azoxystrobine	1951	131860-33-8	Substance phytosanitaire et biocide
PSEE	Tributyl Phosphate	1847	126-73-8	
PSEE	Xylène	1780	1330-20-7	
PSEE	Biphényle	1584	92-52-4	
PSEE	Oxadiazon	1667	19666-30-9	Substance phytosanitaire
PSEE	Thiabendazole	1713	148-79-8	Substance phytosanitaire et biocide
PSEE	Chlorprophame	1474	101-21-3	Substance phytosanitaire
PSEE	Iprodione	1206	36734-19-7	Substance phytosanitaire
PSEE	Linuron	1209	330-55-2	Substance phytosanitaire
PSEE	Chlordécone	1866	143-50-0	Substance phytosanitaire
PSEE	Toluène	1278	108-88-3	
SPAS	Cyanures libres	1084	57-12-5	
SPAS	Métolachlore	1221	51218-45-2	Substance phytosanitaire
–	S-métolachlore	2974	87392-12-9	“Substance mère” du Métolachlor ESA (n°CAS 171118-09-5) et Métolachlor OXA (n°CAS 152019-73-3)
SPAS	Diisobutyl phtalate	5325	84-69-5	
SPAS	Atrazine déséthyl	1108	6190-65-4	Produit de dégradation de l’atrazine (n°CAS 1912-24-9)
SPAS	Diméthénamide	1678	87674-68-8	Substance phytosanitaire
SPAS	Carbamazépine	5296	298-46-4	Substance pharmaceutique
SPAS	Diclofenac	5349	15307-86-5	Substance pharmaceutique

Type de substance	Substance	Code SANDRE	n°CAS	Fonction
SPAS	Terbuthylazine	1268	5915-41-3	Substance phytosanitaire
SPAS	Atrazine déisopropyl	1109	1007-28-9	Produit de dégradation de l'atrazine (n°CAS 1912-24-9)
SPAS	Carbendazime	1129	10605-21-7	Substance phytosanitaire et biocide
SPAS	Lénacile	1406	2164-08-1	Substance phytosanitaire
SPAS	Bisphénol A	2766	80-05-7	
SPAS	Acide perfluoro-octanoïque	5347	335-67-1	
SPAS	Propyzamide	1414	23950-58-5	Substance phytosanitaire
SPAS	Acide perfluoro-n-hexanoïque	5978	307-24-4	
SPAS	Oxazépam	5375	604-75-1	Substance pharmaceutique
SPAS	Kétoprofène	5353	22071-15-4	Substance pharmaceutique
SPAS	Métolachlor ESA	6854	171118-09-5	Métabolite du métolachlore (n°CAS 51218-45-2) et S-métolachlor (n°CAS 87392-12-9)
SPAS	Epoxiconazole	1744	135319-73-2	Substance phytosanitaire
SPAS	Paracétamol	5354	103-90-2	Substance pharmaceutique
SPAS	Métolachlor OXA	6853	152019-73-3	Métabolite du métolachlore (n°CAS 51218-45-2) et S-métolachlor (n°CAS 87392-12-9)
SPAS	Sulfamethoxazole	5356	723-46-6	Substance pharmaceutique
SPAS	Méthylparabène	6695	99-76-3	
SPAS	Ethylparabène	6644	120-47-8	
SPAS	Propylparabène	6693	94-13-3	
SPAS	Ibuprofène	5350	51146-56-6 / 15687-27-1	Substance pharmaceutique
SPAS	Méthylphénol-4	1638	106-44-5	
SPAS	Acide fénofibrique	5369	42017-89-0	Métabolite du fénofibrate (n°CAS 49562-28-9)
SPAS	Carbamazépine époxide	6725	36507-30-9	Métabolite de la carbamazépine (n°CAS 298-46-4)
SPAS	Piperonyl butoxyde	1709	51-03-6	Substance phytosanitaire et biocide
SPAS	Dicamba	1480	1918-00-9	Substance phytosanitaire
SPAS	Acétochlore	1903	34256-82-1	Substance phytosanitaire
SPAS	Linuron	1209	330-55-2	Substance phytosanitaire
SPAS	Fenpropidine	1700	67306-00-7	Substance phytosanitaire
SPAS	Pirimicarbe	1528	23103-98-2	Substance phytosanitaire
SPAS	Isoxaflutole	1945	141112-29-0	Substance phytosanitaire
SPAS	Mercaptodiméthur	1510	2032-65-7	Substance phytosanitaire
SPAS	Flurochloridone	1675	61213-25-0	Substance phytosanitaire
SPAS	Bromoxynil	1125	1689-84-5	Substance phytosanitaire
SPAS	Méthylphénol-2	1640	95-48-7	
SPAS	Bromure de méthyle	1530	74-83-9	
SPAS	Diméthoate	1175	60-51-5	Substance phytosanitaire
SPAS	Phtalate de diméthyle	1489	131-11-3	
SPAS	Estrone	5396	53-16-7	Substance pharmaceutique

Type de substance	Substance	Code SANDRE	n°CAS	Fonction
SPAS	Pyrimiphos-méthyl	1261	29232-93-7	Substance phytosanitaire
SPAS	Triclosan	5430	3380-34-5	Substance biocide
SPAS	Dinitrotoluène-2,4	1578	121-14-2	
SPAS	Dichloroaniline-3,4	1586	95-76-1	
SPAS	Tétrachloréthane-1,1,2,2	1271	79-34-5	
SPAS	Flumioxazine	2023	103361-09-7	Substance phytosanitaire
SPAS	Epichlorhydrine	1494	106-89-8	
SPAS	Dibromoéthane-1,2	1498	106-93-4	
SPAS	Méthyl tert-butyl Ether	1512	1634-04-4	
SPAS	Chlorure de vinyle	1753	75-01-4	
SPAS	Nitrobenzène	2614	98-95-3	
SPAS	Trichloréthane-1,1,2	1285	79-00-5	
SPAS	1-(3,4-diClPhyl)-3-M-urée	1929	3567-62-2	Produit de dégradation du diuron (n°CAS 330-54-1)
SPAS	Atrazine 2-hydroxy-deseth	3159	19988-24-0	Produit de dégradation de l'atrazine (n°CAS 1912-24-9)
SPAS	Chlorophénol-4	1650	106-48-9	
SPAS	Phénanthrène	1524	85-01-8	
SPAS	Décabromodiphényl éther	1815	1163-19-5	
SPAS	n-Butyl Phtalate	1462	84-74-2	
SPAS	Acénaphtène	1453	83-32-9	
SPAS	Méthyl-2-Naphtalène	1618	91-57-6	
SPAS	1,2,4,5-Tetrachlorobenzène	1631	95-94-3	
SPAS	4-nonylphenol diéthoxylate	6369	27176-93-8	
SPAS	1,2,3,4-Tetrachlorobenzène	2010	634-66-2	
SPAS	1,2,3,5-Tetrachlorobenzène	2536	634-90-2	
SP	Alachlore	1101	15972-60-8	Substance phytosanitaire
SP	Anthracène	1458	120-12-7	
SP	Atrazine	1107	1912-24-9	Substance phytosanitaire
SP	Benzène	1114	71-43-2	
SP	Somme des 6 PBDE SP de la DCE (28, 47, 99, 100, 153, 154)	7705	Sans objet	
SP	Cadmium et ses composés	1388	7440-43-9	
SP	Chloroalcanes, C10-13	1955	85535-84-8	
SP	Chlorfenvinphos	1464	470-90-6	Substance phytosanitaire
SP	Chlorpyrifos (éthylchlorpyrifos)	1083	2921-88-2	Substance phytosanitaire
SP	1,2-dichloroéthane	1161	107-06-2	
SP	Dichlorométhane	1168	75-09-2	
SP	Di (2-ethylhexyle) phthalate (DEHP)	6616	117-81-7	
SP	Diuron	1177	330-54-1	Substance phytosanitaire et biocide
SP	Endosulfan somme des isomères alpha et béta	1743	115-29-7	Substance phytosanitaire

Type de substance	Substance	Code SANDRE	n°CAS	Fonction
SP	Fluoranthène	1191	206-44-0	
SP	Hexachlorobenzène	1199	118-74-1	
SP	Hexachlorobutadiène	1652	87-68-3	
SP	Hexachlorocyclohexane (somme alpha beta gamma delta)	5537	608-73-1	Substance phytosanitaire
SP	Isoproturon	1208	34123-59-6	Substance phytosanitaire et biocide
SP	Plomb et ses composés	1382	7439-92-1	
SP	Mercure et ses composés	1387	7439-97-6	
SP	Naphtalène	1517	91-20-3	
SP	Nickel et ses composés	1386	7440-02-0	
SP	Nonylphénols (mélange linéaires ou ramifiés)	6598	25154-52-3	
SP	4-nonylphénol	1958	84852-15-3	
SP	Octylphénols (mélange linéaires ou ramifiés)	6600	Sans objet	
SP	Octylphénols (4-(1,1',3,3'-tétraméthyl- butyl)-phénol)	1959	140-66-9	
SP	Pentachlorobenzène	1888	608-93-5	
SP	Pentachlorophénol	1235	87-86-5	
SP	Benzo(a)pyrène	1115	50-32-8	
SP	Simazine	1263	122-34-9	Substance phytosanitaire
SP	Tributylétain cation	2879	36643-28-4	
SP	Trichlorobenzène (= mélange des 3 isomèes 1 2 3 ,1 2 4, 1 2 5)	1774	12002-48-1	
SP	Trichlorométhane (chloroforme)	1135	67-66-3	
SP	Trifluraline	1289	1582-09-8	Substance phytosanitaire
SP	Dicofol	1172	115-32-2	Substance phytosanitaire
SP	Acide perfluorooctanesulfonique et ses dérivés (perfluoro-octanesulfonate PFOS)	6560	1763-23-1	
SP	Quinoxifène	2028	124495-18-7	Substance phytosanitaire
SP	Dioxines et composés de type dioxine (somme des 7 PCB 10 PCDF et 12 PCB de la DCE selon TEQ98)	7432	Sans objet	
SP	Dioxines et composés de type dioxine (somme PONDEREE PAR EQ TOXIQUES des 7 PCB 10 PCDF ET des 12 PCB de la DCE)	7707	Sans objet	
SP	Aclonifen	1688	74070-46-5	Substance phytosanitaire

Type de substance	Substance	Code SANDRE	n°CAS	Fonction
SP	Bifénox	1119	42576-02-3	Substance phytosanitaire
SP	Cybutryne = (Irgarol)	1935	28159-98-0	Substance biocide
SP	Cyperméthrine	1140	52315-07-8	Substance phytosanitaire et biocide
SP	Dichlorvos	1170	62-73-7	Substance phytosanitaire
SP	Hexabromocyclododécanes (HBCDD) : Somme des 3 isomères DCE	7128	3194-55-6	
SP	Heptachlore et époxyde cis/trans d'heptachlore	1198	76-44-8/1024-57-3	Substance phytosanitaire
SP	Terbutryne	1269	886-50-0	Substance phytosanitaire et biocide

Annexe 2 - Réglementations prises en compte pour le calcul des scores de tendances réglementaires

- **Règlementation REACH**

Une substance peut faire l'objet de différentes mesures de gestion dans le cadre de REACH :

- L'identification en tant que substance extrêmement préoccupante (SVHC) s'accompagnant de son inscription sur la liste candidate[18] en vue de son inclusion à la liste des substances soumises à autorisation (Annexe XIV[19])
- La notification de l'intention de restriction[20] aux fins d'une éventuelle inclusion à la liste des substances soumises à restrictions (Annexe XVII[21])

Lorsque les informations disponibles sont insuffisantes pour lever une préoccupation pour la santé humaine et/ou l'environnement, une substance peut être évaluée au plan d'action communautaire (Community rolling action plan - CoRAP)[22].

- **Règlementation POP**

Le terme POP (Polluants Organiques Persistants) recouvre un ensemble de substances organiques qui sont persistantes, bioaccumulables, toxiques et mobiles.
Le Règlement (UE) 2019/1021[23] (ou Règlement POP) est l'instrument de mise en œuvre des accords internationaux qui encadrent les POP dans l'Union européenne.
Les Annexes I, II, III et IV du Règlement listent respectivement :

- Les substances dont la production, la mise sur le marché et l'utilisation sont interdites soit en tant que telles, soit incorporées dans des préparations, soit sous forme de constituant d'articles (des dérogations spécifiques sont listées dans cette annexe pour certaines substances)
- Les substances dont la production, la mise sur le marché et l'utilisation sont restreintes
- Les substances pour lesquelles ont été prévues des dispositions en matière de limitation des émissions
- Les substances dont la présence dans des déchets implique pour ces derniers des opérations d'élimination et de valorisation

Le site « POP » de l'ECHA liste les substances dont l'inclusion sur la liste des POP est proposée[24].

- **Règlementation des produits phytosanitaires et biocides**

L'utilisation de substances actives phytosanitaires et biocides est soumise, en France comme dans tous les autres États membres de l'Union européenne, respectivement au Règlement (CE) n° 1107/2009[25] et au Règlement (UE) n° 528/2012[26]. L'évaluation des demandes d'approbation de ces substances actives se base sur des critères d'exclusion et de substitution définis par les mêmes Règlements.
Les données règlementaires des substances phytosanitaires proviennent de la base de données de la Commission Européenne « EU Pesticides Database »[27] et celles des biocides sont issues de la base de données du site de l'ECHA « Information on biocides »[28].

---

[18] https://echa.europa.eu/fr/candidate-list-table
[19] https://echa.europa.eu/fr/authorisation-list
[20] https://echa.europa.eu/fr/registry-of-restriction-intentions?p_p_id=disslists_WAR_disslistsportlet&p_p_lifecycle=0
[21] https://echa.europa.eu/fr/substances-restricted-under-reach
[22] https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/evaluation/community-rolling-action-plan/corap-table
[23] Règlement (UE) 2019/1021 du Parlement européen et du Conseil du 20 juin 2019 concernant les polluants organiques persistants
[24] https://echa.europa.eu/fr/list-of-substances-proposed-as-pops
[25] Règlement (CE) n° 1107/2009 du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques
[26] Règlement (UE) n° 528/2012 du Parlement européen et du Conseil du 22 mai 2012 concernant la mise à disposition sur le marché et l'utilisation des produits biocides
[27] https://ec.europa.eu/food/plants/pesticides/eu-pesticides-database_en
[28] https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/biocidal-active-substances 1

Cas particulier du piperonyl butoxyde (n°CAS 51-03-6) : cette substance est un synergisant (produit chimique qui améliore les propriétés pesticides d'autres substances) qui n'a pas encore été évalué au niveau européen. Etant donné ses niveaux de vente (de l'ordre de 30 000kg/an), cette substance est malgré tout considérée comme une substance phytosanitaire approuvée et ne répondant pas à un seul critère de substitution.

- **Règlementation des produits cosmétiques**

Les produits cosmétiques mis sur le marché européen doivent satisfaire aux règles du Règlement (CE) n° 1223/2009[29]. Ce texte liste :

- les substances interdites dans les produits cosmétiques
- les substances que les produits cosmétiques ne peuvent contenir en dehors des restrictions prévues

- **Directive RoHS**

La Directive 2011/65/UE[30] établit les règles relatives à la limitation de l'utilisation de substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques (EEE) afin de contribuer à la protection de la santé humaine et de l'environnement. A ce jour, six substances sont soumises à limitations via des valeurs de concentration maximales tolérées. Nous avons admis que des concentrations maximales de 0,1% et 0,01% correspondaient respectivement à des mesures d'interdiction partielle et d'interdiction totale.
Un consortium dirigé par l'Oeko-Institut a été chargé par la DG Environnement de la Commission européenne de préparer une étude afin de soutenir la révision de la liste des substances restreintes. Le travail entrepris a permis de dresser une liste de sept substances qui pourraient faire l'objet d'une éventuelle restriction future.

- **Règlementation des jouets**

Les jouets mis le marché européen doivent être conçus et fabriqués conformément aux exigences de la Directive européenne n° 2009/48/CE[31] qui spécifie que les substances classées comme étant cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR), de catégorie 1A, 1B ou 2 ne doivent pas être utilisées dans les jouets et ne doivent pas entrer dans la composition de jouets ou de parties de jouets micro-structurellement distinctes[32]. De plus, la Directive établit une liste des substances parfumantes allergisantes interdites et des substances faisant l'objet de limites de migration et de valeurs limites spécifiques.

- **Règlementation des produits pharmaceutiques**

Pour être commercialisé en France, un médicament doit avoir obtenu une autorisation de mise sur le marché (AMM) délivrée par l'Agence française de sécurité des médicaments et des produits de santé (ANSM) ou par l'Agence européenne du médicament (EMA) pour une durée de 5 ans renouvelable.
Lorsqu'il apparaît que la spécialité pharmaceutique est nocive dans les conditions normales d'emploi ou que l'effet thérapeutique fait défaut ou que la spécialité n'a pas la composition quantitative et qualitative déclarée, le Directeur Général de l'ANSM ou la Commission Européenne peuvent décider de suspendre (pendant une durée ne pouvant excéder 1 an), voire de retirer l'AMM.
Les données relatives aux AMM des produits pharmaceutiques proviennent du fichier des spécialités de l'ANSM[33].

---

[29] Règlement (CE) n° 1223/2009 du Parlement Européen et du Conseil du 30 novembre 2009 relatif aux produits cosmétiques
[30] Directive 2011/65/UE du Parlement européen et du Conseil du 8 juin 2011 relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques
[31] Directive 2009/48/CE du Parlement européen et du Conseil du 18 juin 2009 relative à la sécurité des jouets
[32] Le nickel est la seule substance classée CMR bénéficiant d'une autorisation d'utilisation (sous conditions)

[33] http://agence-prd.ansm.sante.fr/php/ecodex/telecharger/telecharger.php

Annexe 3 – Bases de données et sources d'informations employées pour le calcul du score de tendances industrielles

Bases de données

- **BDREP**

En France, l'Arrêté du 31/01/08 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions et des transferts de polluants et des déchets modifié par l'arrêté du 11 décembre 2014 liste les substances dont les rejets dans l'air et l'eau doivent être déclarés lorsqu'ils dépassent un certain seuil[34]. Cette déclaration annuelle se fait sur le Registre des Emissions Polluantes, via le logiciel de saisie GEREP (Gestion électronique du registre des émissions polluantes) et est gérée dans la base de données nationale du registre des émissions polluantes (BDREP, IREP[35]). Rappelons que ces données d'émission ne sont pas exhaustives car les données BDREP correspondent à des déclarations qui ne concernent que les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) soumises aux régimes d'autorisation et d'enregistrement, ainsi que les stations de traitement des eaux usées (STEU).

- **BNV-d**

Mise en place en 2009, la BNV-d (Banque nationale des ventes de produits phytosanitaires pour les distributeurs https://bnvd.ineris.fr/) est la base de données qui rassemble les informations déclarées par les distributeurs de produits phytosanitaires suite à la mise en place de la redevance pour pollutions diffuses. Cette redevance répond aux exigences de la loi sur l'eau de décembre 2006. Les données utilisées ont été extraites en mai 2021 et correspondent aux ventes de substances phytosanitaires en France entre 2009 et 2018.

- **Simmbad**

Cogéré par le Ministère de l'Environnement et l'ANSES, Simmbad[36] est un site internet qui permet aux industriels de remplir plusieurs obligations réglementaires dont la déclaration des quantités de produits biocides mises sur le marché au cours de l'année précédente.
L'étude des tendances d'emploi des substances biocides été réalisée à partir de l'extraction « Simmbad » des quantités de produits biocides mis sur le marché entre 2011 et 2020. Les données issues de l'extraction correspondent aux quantités de produits mises sur le marché et non à la quantité de chacune des substances actives biocides mise sur le marché. Toutefois, ces données sont suffisantes pour dégager des tendances de vente.

- **MEDIC'AM**

La série de données MEDIC'AM[37] labellisée par l'Autorité de la statistique publique (ASP) présente des informations sur les médicaments délivrés par les pharmacies de ville et remboursés par l'ensemble des régimes d'assurance maladie. Pour chaque médicament sont présentés : le nombre de boîtes remboursées, le montant remboursé et la base de remboursement de l'Assurance Maladie.
Les données de nombre de boîtes remboursées 2012-2020 nous ont permis d'établir des tendances d'utilisation pour les substances pharmaceutiques.

---

[34] Arrêté du 31/01/08 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions et des transferts de polluants et des déchets modifié par l'arrêté du 11 décembre 2014
[35] https://www.georisques.gouv.fr/risques/registre-des-emissions-polluantes
[36] https://simmbad.fr/servlet/accueilMinistere.html
[37] https://assurance-maladie.ameli.fr/etudes-et-donnees/medicaments-classe-atc-medicam-2021

Autres sources d'information

- **Fiches Technico-Economiques de l'Ineris**

L'objectif des Fiches Technico-Economiques (FTE) est d'évaluer les enjeux posés en France par la réduction ou la suppression des émissions dans l'eau, et par la substitution de certaines substances chimiques dangereuses. Elles visent à :

  - dresser un bilan des différentes origines de la présence dans les eaux de ces substances;
  - évaluer l'importance économique de ces sources de rejets ;
  - déterminer quels sont les moyens de réduction de ces rejets (substitution des substances, traitement des rejets des installations industrielles, etc.) ;
  - évaluer les coûts de ces moyens de réduction des rejets.

Ces données peuvent notamment être utiles pour conduire des évaluations de risques (usages des substances, rejets, présence dans les milieux) ou pour élaborer des stratégies de réduction des risques (possibilités de réduction de l'emploi et des rejets des substances et coûts associés).
Ces fiches sont établies à partir de recherches bibliographiques (littérature scientifique, rapports internationaux UNECE, OSPAR, OCDE, et autres). Pour compléter ces informations, des enquêtes sont effectuées auprès d'institutions techniques professionnelles concernées, d'experts et directement auprès d'acteurs industriels.

- **Autres sources d'information**

De nombreuses autres sources d'information ont été utilisées et sont spécifiques à une ou quelques substances. Elles sont indiquées pour chacune d'entre elles dans le fichier Excel accompagnant ce rapport.

Annexe 4 – Notations “Quantités utilisées”

De par l’emploi des bandes de tonnages issues de la règlementation REACH, la comparaison des quantités utilisées s’effectue pour chaque substance à l’échelle européenne. Or, faute de données de quantités utilisées en Europe, nous avons été amenés à estimer cette variable pour certaines familles de substances comme suit :

- Substances à usage exclusivement phytosanitaires : les quantités utilisées en Europe ont été estimées en se basant sur les ventes françaises de pesticides en 2019 issues de la base de données BNVD et sur le pourcentage que représentent les ventes françaises à l’échelle européenne38. Nous avons donc dû considérer que la répartition des ventes entre toutes les substances phytosanitaires de même fonction est similaire entre la France et les autres pays européens.
- Substances utilisées à la fois comme phytosanitaires et biocides : l’emploi de ces substances a été évalué sur la base des ventes phytosanitaires françaises et européennes de ces substances et de leurs ventes biocides françaises. Nous avons supposé que, pour une substance donnée, la répartition [Ventes Biocides / Ventes Phyto] était proche pour tous les pays européens.
- Cas de la terbutryne : ne disposant pas de données de ventes phytosanitaires françaises, et étant donné que cette substance est employée uniquement dans des biens de consommation39, nous avons admis que son emploi à l’échelle européenne est directement proportionnel au nombre d’habitants pour en déduire (à partir des ventes biocides françaises 2019) les ventes européennes.
- Substances exclusivement biocides : sont concernées uniquement le triclosan et la cybutryne. Les usages du triclosan correspondent à des biens de consommation[40], nous avons donc traité cette substance de la même manière que la terbutryne (cf. ci-dessus). La cybutryne est employée pour la formulation de peintures “antifouling” destinées à empêcher les organismes aquatiques de se fixer sur la coque des navires ou sur d’autres objets immergés. Il ne nous a pas été possible d’estimer la part des ventes françaises de ces produits à l’échelle européenne en tenant compte de la spécificité de la France par rapport à d’autres pays pour ce type d’usages. Nous avons donc dû traiter cette substance comme le triclosan et la terbutryne en appliquant un facteur de proportion aux ventes françaises basé sur le nombre d’habitants.
- Les monomères ne font pas systématiquement l’objet d’un enregistrement auprès de l’ECHA, il se peut donc que leur bande de tonnage soit sous-estimée. Nous avons donc augmenté par précaution de 0,25 leur notation initiale[41].

---

[38] Cette donnée provient du site EUROSTAT (https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=aei_fm_salpest09&lang=en) et est fonction du type de pesticide (fongicide ou bactéricide, herbicide, insecticide ou acaricide, molluscicide, régulateur de croissance, autre)

[39] TP7 - Conservateur pour pellicules / TP9 - Conservateur pour fibres, cuir, caoutchouc et matériaux polymérisés / TP10 - Conservateur pour matériaux de construction

[40] TP 1 - Hygiène humaine / TP2 - Désinfectants et algicides non destinés à être appliqués directement sur les humains ou les animaux / TP7 - Conservateur pour films / TP9 - Conservateur pour fibres, cuir, caoutchouc et matériaux polymérisés

[41] Substances concernées : méthylphénol-4 (n°CAS 106-44-5), méthylphénol-2 (n°CAS 95-48-7), épichlorohydrine (n°CAS 106-89-8), chlorure de vinyle (n°CAS 75-01-4), trichlorométhane (chloroforme) (n°CAS 67-66-3)

Etant donné les volumes de polymères en jeu (résines époxy et polycarbonates), nous avons estimé que la notation du bisphénol A pouvait être réhaussée à 1

- Nous avons affecté une notation égale à 0 à un certain nombre de substances[42] sans bande de tonnage REACH en nous appuyant sur notre expertise. Il s'agit de substances qui ne sont plus employées et qui ne semblent pas non plus être émises comme impuretés indésirables.
- Substances sans bande de tonnage (Acide perfluoro-n-hexanoique Bromure de méthyle Nitrobenzène Anthracène Fluoranthène Hydrocarbures aromatiques polycycliques Trichlorobenzène Acide perfluorooctanesulfonique et ses dérivés (perfluoro-octanesulfonate PFOS) Dioxines et composés de type dioxine).

[42] Acide perfluoro-octanoïque, diphényléthers bromés, chloroalcanes, C10-13, hexachlorobenzène, hexachlorobutadiène, pentachlorobenzène, pentachlorophénol, composés du tributylétain

Annexe 5 – Ensemble des fichiers XL contenant l'ensemble des notes des critères, les feuilles de calculs (H1 et H2) et résultats de hiérarchisation (pour H1, H2 et H3).

Institut national de l'environnement industriel et des risques
Parc technologique Alata • BP 2 • F-60550 Verneuil-en-Halatte
03 44 55 66 77 • ineris@ineris.fr • www.ineris.fr

INERIS

maîtriser le risque
pour un développement durable