



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 181229 - 2118437 - v2.0

20/07/2020

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

PRÉAMBULE

Ce rapport a été réalisé dans le cadre de la Convention de coopération -AFB/2019/110- relative au programme de travail 2019/2020 « 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 » 2019 entre l'AFB 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 équivalents 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 des Risques Chroniques

Rédaction : BRIGNON JEAN-MARC ; ANDRES SANDRINE

Vérification : THYBAUD ERIC ; GREAUD LAURIANE

Approbation : Document approuvé le 20/07/2020 par ROUIL LAURENCE

Correspondant OFB : Pierre-François STAUB

Liste des personnes ayant participé à l'étude : DULIO VALERIA (INERIS)

Table des matières

1	Introduction	6
2	Revue de schémas de priorisation de substances chimiques	7
2.1	Hiérarchisation pour la surveillance des milieux	7
2.2	Hiérarchisation pour la priorisation de risques émergents	10
2.3	Hiérarchisation pour la réduction des risques	12
3	Proposition d'un système de hiérarchisation	14
3.1	Proposition de critères	14
3.2	Proposition de systèmes de classement	15
3.2.1	Introduction	15
3.2.2	Score additif basé sur le risque et la faisabilité technico-économique (H1).....	16
3.2.3	Coût/efficacité des actions de réduction, intégrant le danger (H2)	17
3.2.4	Surclassement basé sur ELECTRE III (H3)	18
3.3	Préparation à la mise en œuvre	19
3.3.1	Proposition de procédure	19
3.3.2	Univers des substances	20
3.3.3	Identification, collecte et pré-traitement des données	20
3.3.4	Modalités de calcul et d'exploitation	20
4	Références	21
5	Annexe : ELECTRE III, Principes de surclassement et d'établissement de la hiérarchisation	23

Résumé

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. Elles 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.

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 des émissions, comme prévu dans le cadre de l'action 39 du plan micropolluants 2016-2021, qui est intitulée « 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 2019, qui consistent à définir les critères de priorisation, en reprenant et en complétant le référentiel de priorisation du Comité d'experts national pour la priorisation des micropolluants aquatiques (CEP)¹. La mise en œuvre à proprement parler sera réalisée en 2020 et fera l'objet d'un second rapport.

Une revue des schémas de priorisation des substances chimiques les plus marquants en France et dans l'Union Européenne montre de nombreux points communs dans les approches, qui sont majoritairement utilisées pour l'évaluation des risques et peu fréquemment pour hiérarchiser des actions de réduction des émissions. Cette revue permet de prendre en compte l'état de l'art dans la discussion et la proposition de critères pour la hiérarchisation. Trois systèmes de hiérarchisation différents sont proposés, avant d'améliorer la robustesse de la décision finale. Le premier est dans la continuité directe des travaux du CEP, en ajoutant des critères technico-économiques à ceux du CEP. Les deux autres systèmes sont d'inspiration différente, avec certains avantages (absence de pondération, de seuils, ...) et permettront d'évaluer la dépendance des résultats au système de hiérarchisation choisi. Plusieurs aspects pratiques, qui seront surtout l'objet de l'étude en 2020, sont aussi abordés : sélection de l'univers des substances, besoin en données, consultations.

¹ Dulio V., Andres S., Référentiel méthodologique pour la priorisation des micropolluants des milieux aquatiques établi par le comité d'experts national pour la priorisation des micropolluants aquatiques (CEP), AQUAREF/INERIS 2012.

Abstract

The Water Framework Directive (WFD), as well as its national transcription, organize the management of the risks posed by certain chemical substances that are hazardous for aquatic ecosystems. They impose, where necessary, the control, limitation or prohibition of the release of certain substances into the environment.

Deciding and implementing these measures requires a good knowledge of the hazards of chemical substances, but also of the technical and economic context in which they are used and then released.

This study aims to provide a method and to implement it to classify micropollutants according to the need and the feasibility of reducing emissions, as planned under action 39 of the micropollutants plan 2016-2021, which is entitled "Classify molecules according to the need and the feasibility of reducing emissions". The main objective of this action is to "Establish a methodology and apply it in order to classify molecules according to the necessity, relevance and feasibility of reducing emissions in aquatic environments". This action largely contributes to the third of the three main objectives of the plan, namely "To draw up lists of pollutants on which to act".

This report covers the work carried out in 2019, which consists in defining the prioritization criteria, by taking up and completing the prioritization framework of the National Expert Committee for the Prioritization of Aquatic Micropollutants (CEP). The actual implementation will be completed in 2020 and will be the subject of a second report.

A review of the most prominent chemical prioritization schemes in France and in the European Union shows many common points in the approaches, which are mainly used in a prioritization framework for risk assessment and infrequently to prioritize emission reduction actions. This review takes into account the state of the art in the discussion and the proposal of criteria for prioritization. Three different prioritization systems are proposed, to improve the robustness of the final decision. The first is a direct continuation of the work of the CEP, adding technical and economic criteria to that of the CEP. The other two systems are of different inspiration, with some advantages (absence of weighting, thresholds, etc.) and will make it possible to assess the dependence of the results on the chosen hierarchy system. Several practical aspects, which will mainly be the subject of the study in 2020, are also addressed: selection of the universe of substances, need for data, consultations.

Pour citer ce document :

Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, 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. Support à la réalisation de l'action 39 du plan micropolluants, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 181229 - 2118437 - v2.0, 19/11/2020.

Mots-clés :

Micropolluant, Emissions, Réduction, Priorisation

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. Elles 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.

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 des émissions, comme prévu dans le cadre de l'action 39 du plan micropolluants 2016-2021, qui est intitulée « 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 2019, qui consistent à définir les critères de priorisation, en reprenant et en complétant le référentiel de priorisation du Comité d'experts national pour la priorisation des micropolluants aquatiques (CEP)². La mise en œuvre à proprement parler sera réalisée en 2020 et fera l'objet d'un second rapport.

Dans le chapitre 2, on procède à une revue rapide des schémas de priorisation des substances chimiques les plus marquants en France et dans l'Union Européenne. Cette revue permet de prendre en compte l'état de l'art dans la discussion et la proposition de critères pour la hiérarchisation dans le cadre de l'action 39 du plan micropolluants, qui fait l'objet du chapitre 3. Enfin, dans le quatrième chapitre de ce rapport, on aborde les aspects pratiques du processus de hiérarchisation : sélection de l'univers des substances, besoin en données, consultations, pour préparer la mise en œuvre prévue en 2020.

² Dulio V., Andres S., Référentiel méthodologique pour la priorisation des micropolluants des milieux aquatiques établi par le comité d'experts national pour la priorisation des micropolluants aquatiques (CEP), AQUAREF/INERIS 2012.

2 Revue de schémas de priorisation de substances chimiques

De nombreux processus de hiérarchisation de substances chimiques ont été proposés et conduits en France et à l'étranger, pour répondre à des besoins variés : choisir les substances devant faire l'objet d'une surveillance dans l'environnement, ou d'évaluation de risques approfondies, ou encore d'actions de réduction des émissions ou des expositions.

Nous en proposons un aperçu ci-après, afin de fonder le schéma qui sera proposé pour l'action 39 du plan micropolluants sur l'état de l'art et les retours d'expérience disponibles. Certains travaux de recherche seront cités, mais la littérature est trop vaste, et nous souhaitons nous concentrer sur des démarches ayant été mises en œuvre de façon opérationnelle pour une politique publique.

Avant de décrire des travaux spécifiques, on mettra en exergue quelques points généraux identifiés par l'OCDE lors d'une enquête réalisée en 2019 (OECD, 2019) :

- Un nombre égal de systèmes recensés ont pour but d'une part la priorisation des activités réglementaires d'évaluation de risques de substances chimiques et d'autre part la priorisation de mesures de gestion des risques
- Des facteurs de danger, d'exposition et de risque forment la base la plus courante pour l'établissement des priorités. Le danger est rarement mais parfois utilisé seul, mais l'exposition n'est jamais utilisée seule
- Près de la moitié des programmes de priorisation utilisent un système de notation quantitative pour identifier les priorités. Un système couramment utilisé consiste à produire des scores de danger et d'exposition distincts qui sont ensuite combinés à l'aide d'une matrice de notation
- Dans l'ensemble, les systèmes de priorisation doivent privilégier la simplicité, l'efficacité, la flexibilité et la transparence dans leurs plans de priorisation. L'avis d'experts extérieurs est en général recherché.

2.1 Hiérarchisation pour la surveillance des milieux

Un des exercices de hiérarchisation les plus importants à l'échelle de l'Union Européenne sur le plan opérationnel est sans conteste celui qui a été élaboré pour la **détermination des substances prioritaires de la Directive- Cadre sur l'Eau**.

Il reposait sur une approche, combinant en parallèle le recours à des données d'observation d'occurrence dans les milieux (James A. et al., 2009), et une approche de modélisation (Dagginus K. et al., 2010), avec le support d'avis d'experts (cf. schéma général Figure 1).

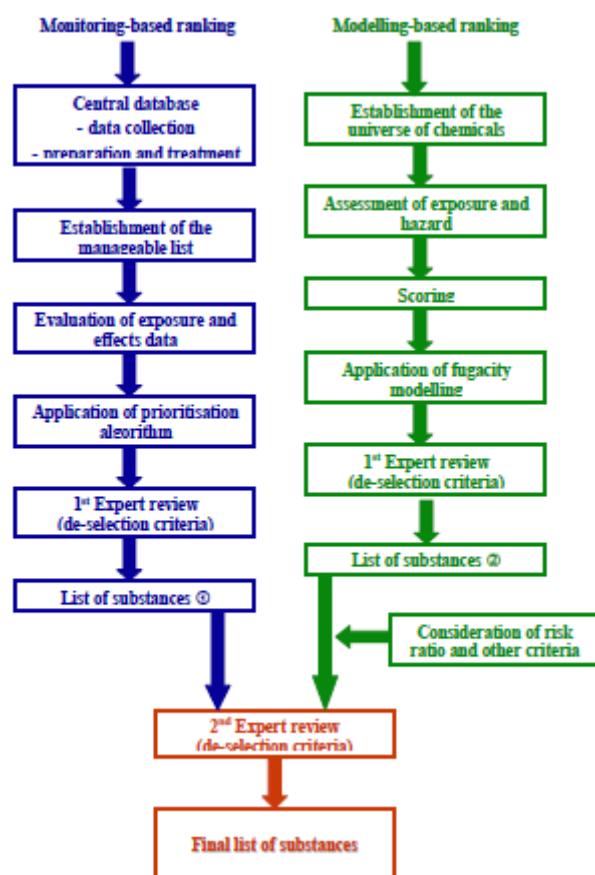


Figure 1 : Schéma général de la priorisation des substances chimiques pour la DCE

L'approche est (comme le demande la Directive-Cadre) fondée sur le risque et cherche notamment à classer les substances en fonction des ratios de risques pour les écosystèmes et la santé humaine liés à leur présence dans les milieux aquatiques. Cette démarche fait elle-même suite à une première approche similaire, dite « COMMPS³ », qui reposait déjà sur l'établissement de scores d'évaluation simplifiée des effets sur l'environnement et la santé.

Pour l'approche basée sur les données (« Monitoring-based ranking ») plusieurs options d'algorithmes de priorisation avaient été testées, pour finalement retenir une procédure fondée sur des ratios de risque de type PEC⁴/PNEC⁵ chacun spécifique à un milieu ou une matrice (Eau, Sédiment, Biote) et au type de substance (Inorganiques, Métaux) considéré. Certaines familles de substances dotées d'une problématique spécifique ont fait l'objet d'un traitement fondé sur les mêmes principes, mais particulier (cas des PCBs et des dioxines) (Bonnomet V. and Dulio, V. 2007). Des hiérarchisations par milieu ont été faites, et pour chaque substance le rang de priorité la plus élevée entre chacun des trois rangs obtenus pour chaque milieu (Eau, Sédiment, Biote) a été retenu. Les PEC utilisées dans cette procédure ont été de préférence estimées à l'aide de données mesurées.

En parallèle, une approche de modélisation (« Modelling-based ranking ») a été conduite (Dagginus K. et al., 2010) pour traiter le cas des substances peu ou mal suivies dans les milieux, et plus généralement pour traiter toutes les incertitudes liées à la mesure de la présence dans les milieux. Elle est fondée sur un premier score intégrant Danger et Exposition variant de 1 à 4.

Le score de danger est lui-même une combinaison de plusieurs scores : Score Persistance + score Bioaccumulation + score Toxicité + score Perturbation Endocrinienne. Le score d'exposition utilise les

³ COMMPS: combined monitoring-based and modeling-based priority setting

⁴ Predicted Environmental Concentration: concentration prévisible de la substance dans l'environnement

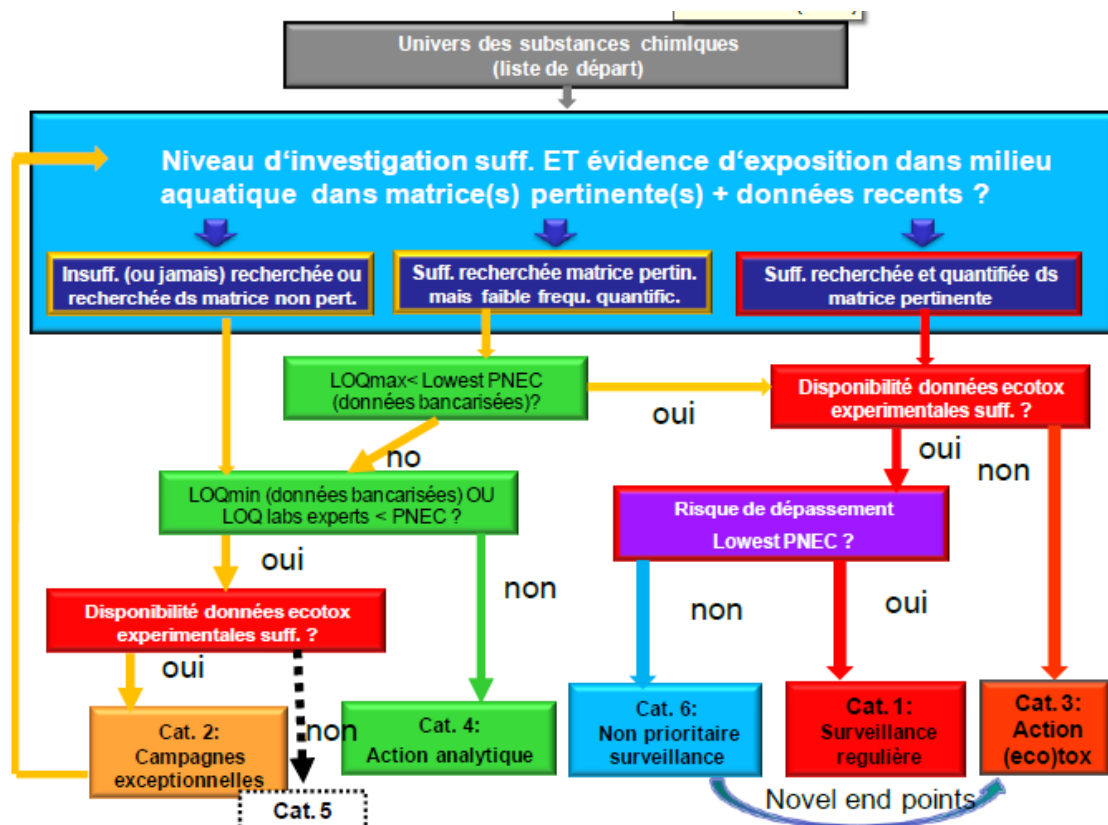
⁵ Predicted No Effect Concentrations : plus forte concentration de la substance sans risque pour l'environnement

données de production et d'usage fournies par la législation chimique de l'UE, et se compose d'un index lié au niveau de production et d'un index lié au type d'usage (selon sa propension à donner lieu à des rejets dans les milieux aquatiques). Puis une matrice de notation permet d'obtenir les scores finaux de 1 à 5. Les substances classées ex-aequo sont départagées par un score PEC/PNEC dans lequel la PEC est basée sur des modèles multimedia.

Cette méthode de priorisation a été ensuite mise à jour (Negrão Carvalho R. et al., 2016), dans le cadre de la seconde révision de la liste des substances prioritaires, qui est encore en cours. La nouvelle méthode mise au point par le JRC, dite « STE » pour « Spatial, Temporal and Extent of PNEC exceedances », est utilisée pour les substances pour lesquelles on dispose de beaucoup de données de monitoring. Pour les autres substances, l'approche précédente basée sur la modélisation, continue d'être utilisée. **La méthode STE** est basée sur (Carsten von der Ohe P. et al., 2011) qui est également à la base des travaux du réseau NORMAN et de ceux du CEP en France (cf ci-après). Le score de priorisation STE est la somme de trois scores de dépassement, qui représentent respectivement l'étendue spatiale, la fréquence temporelle, et l'importance quantitative (en termes de concentrations) des dépassements de PNEC.

Le système élaboré par le **Comité d'Experts pour la Priorisation de la surveillance dans le cadre du Plan Micropolluants** (Dulio V. et Andres S, 2012) fait référence pour le plan micropolluants. Il s'agit d'une adaptation française de travaux similaires réalisés à l'échelle européenne dans le cadre du projet NORMAN (Carsten von der Ohe P. et al., 2011) qui opère dans le cadre de la priorisation de la surveillance de risques émergents (Early Warning System).

Il répond au besoin de prioriser pour la surveillance des milieux. De façon générale, son approche est fondée sur deux composantes principales, les « propriétés intrinsèques » de la substance et son « risque de dépassement » des seuils d'effets. Il permet en premier lieu de classer les substances en 6 classes en fonction du type de surveillance ou d'acquisition de connaissance à accomplir : surveillance régulière /exceptionnelle, besoin de recherche de données de danger, Son algorithme de décision est basé sur les résultats du monitoring réalisé, et des indicateurs (physico-chimiques, d'écotoxicité et de toxicité) de chaque substance et également sur l'existence d'un risque apprécié par un ratio de type Limite quantification / PNEC.



Dans un second temps, les substances sont hiérarchisées au sein des 6 catégories d'actions avec des scores. Les deux composantes du score final sont le « risque » et les « propriétés intrinsèques » de la substance, définis selon les deux formules suivantes :

1. Score risque = [score (fréquence de dépassem. PNEC) + score (degré de dépassem. PNEC)]/2

2. Score propriétés = [score(usage) + score(écotox) + score (tox. humaine) + score (subst. « préoccupantes »)]/4

Dans ce second score, le fait d'être une « Substances préoccupantes (= PBT/vPvB ou PE), constitue un facteur aggravant)

Pour les catégories 1, 3, et 6, le score final est la somme des deux scores de propriété et de risque.

Pour les catégories 2, 4 et 5, le score final est le seul score de propriété car dans ce cas par définition les données d'occurrence ne sont pas disponibles

2.2 Hiérarchisation pour la priorisation de risques émergents

Les systèmes de ce type sont nombreux et assez systématiques chez les organismes chargés de gérer les risques liés aux substances chimiques, car ils ont en commun le besoin de prioriser les risques potentiellement posés par des substances avant de les évaluer précisément, puis éventuellement de décider d'actions de gestion/réduction des risques.

L'Agence Européenne de la Sécurité de l'Alimentation (EFSA) a élaboré un tel système pour prioriser les risques émergents dans son domaine de compétence.

La hiérarchisation est basée sur 4 scores de base exploités selon 2 pondérations différentes pour accroître robustesse des prédictions (Oltmanns J. et al., 2019).

Les scores de base sont basés sur les notions de risque d'une présence dans l'environnement (A, B) et d'une accumulation dans la chaîne alimentaire (C) et sont complétés par un score de toxicité pour l'homme prenant en compte le caractère CMR, et la toxicité par dose répétée.

Les deux scores alternatifs sont les suivants :

Total Score 1 = Score A * Score B + (Score C)² + (Score Toxicité)²

Total Score 2 = ((Score A * Score B + (Score C)²) / 20) * Score Toxicité

Des critères permettent aussi de décider quelles sont les substances méritant d'être classées, par exemple :

(Score A > 5 OR Score B > 5) AND Score C > 5 AND Toxicity Score = 10.

La hiérarchisation a été réalisée sur environ 2 000 substances enregistrées dans REACH, et a conduit à en retenir 10%, qui devront faire l'objet d'une évaluation approfondie par l'EFSA.

La gestion des risques chimiques dans le domaine alimentaire a suscité de nombreux systèmes de priorisation, qu'il n'est pas dans notre propos de décrire ici.

Priorisation en vue de gestion des risques, par l'Agence Européenne des Produits Chimiques (ECHA)

Dans le cadre du règlement européen Reach, l'ECHA doit déterminer les substances « Very High Concern », qui devront faire l'objet d'un retrait progressif du marché (selon un régime d'autorisations dérogatoires transitoires). La priorisation est basée sur trois caractéristiques (ECHA, 2014) que sont les propriétés de toxicité, l'importance en termes de volumes en jeu, et le type d'usage (plus ou moins susceptible de générer des expositions et des rejets dans l'environnement : usage « industriels », usage

« professionnels », usage « consommateurs »). En termes de propriétés de toxicité, sont en pris en considération : caractère C, M, et/ou R, PBT, vPvB, ou toute autre propriété donnant lieu à des effets sur la santé humaine ou l'environnement d'un niveau de gravité équivalent aux précédents (par exemple caractère perturbateur endocrinien). Le score de toxicité s'échelonne ainsi de 1 à 15.

Également dans le but d'identifier et prioriser les substances les plus préoccupantes en termes de santé publique, l'**INERIS** a publié en 2013 (Karr G. et al., 2013) une méthode générique combinant :

- Une méthode multicritère prenant en compte les préférences des acteurs sociétaux
- Des indicateurs de risques représentant une approche d'experts, similaires à ceux mis en œuvre par l'ECHA

Cette procédure a été appliquée au cas du PNSE3, et a permis de mettre en évidence des substances préoccupantes à la fois selon une approche d'experts ou en adoptant les points de vue des acteurs, et d'autres qui sont plus propres à un point de vue particulier.

Projet Européen HBM4EU (Human BioMonitoring for EU, projet H2020 2017-2021)

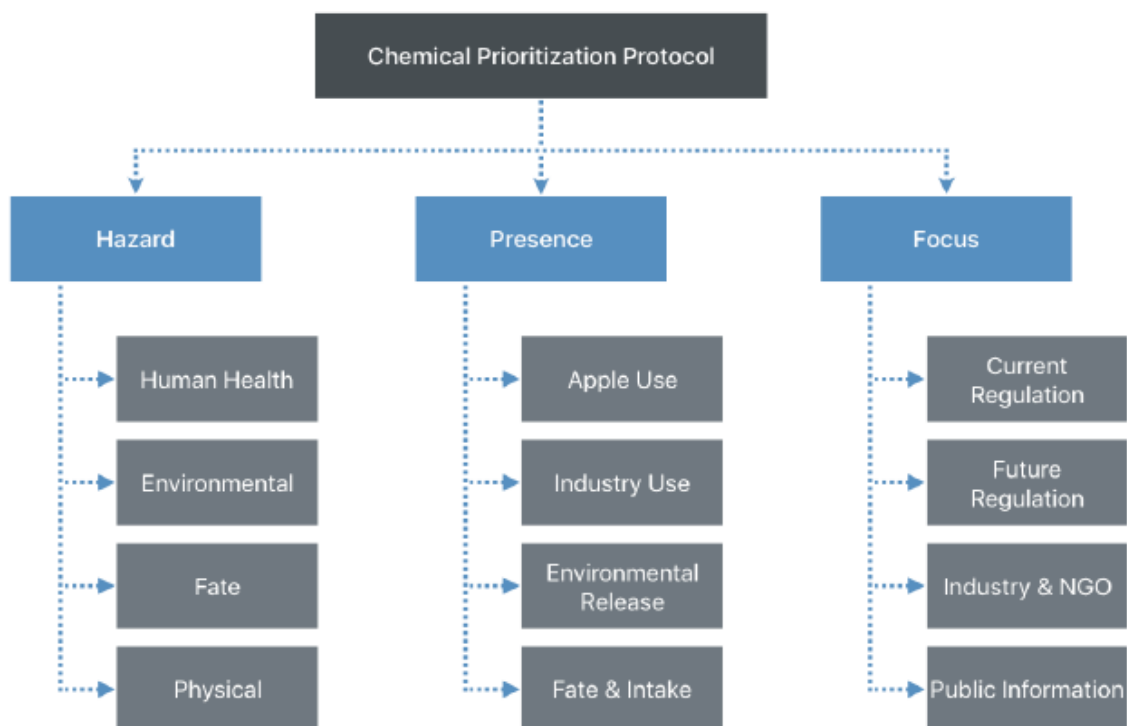
Ce projet a pour objectif de prioriser les substances chimiques pour un suivi de l'exposition humaine par biomonitoring de long terme dans l'UE.

Par contraste avec les schémas précédents très scientifiques et techniques, ce projet propose une forte dimension de prise en compte des priorités politiques et sociétales par des consultations (ORMSBY J.-N., 2017).

Un premier ensemble de critères a été élaboré, comprenant des aspects tels que la question de savoir si une substance est préoccupante pour la santé humaine, s'il existe des preuves d'une exposition humaine et/ou environnementale au niveau de l'UE et s'il existe des questions politiques ouvertes. La faisabilité financière et technique de la surveillance des substances était également un critère. Cinq groupes de critères de priorité ont été proposés dans le cadre de ce projet, à savoir :

1. Propriétés de danger ;
2. Caractéristiques d'exposition ;
3. Statut réglementaire ;
4. Préoccupation du public ; et
5. Faisabilité technique

De nombreuses **grandes entreprises**, dans des secteurs variés, ainsi que des **ONG** ont également développé des outils de priorisation basés parfois sur des scores multicritères, destinés à sélectionner les substances qu'ils souhaitent écarter des systèmes de production ou des produits. Ces systèmes sont souvent simples, et peuvent incorporer explicitement une mesure du niveau de préoccupation (réglementaire, sociétale). La figure ci-dessous donne, à titre d'exemple, celui utilisé par l'entreprise Apple (Apple, 2018), classiquement basé sur les concepts de danger, exposition, et préoccupation sociétale et réglementaire.



D'autres schémas de priorisation en grand nombre sont proposés et ne seront pas décrits ici, tel que, par exemple le schéma appliqué dans le domaine de la gestion des risques de la contamination par les produits chimiques pour la production d'eau potable (National Academies, 2001).

2.3 Hiérarchisation pour la réduction des risques

Les systèmes de priorisation concernent généralement, comme on l'a vu, des actions d'évaluation des risques. Leur usage pour hiérarchiser des substances en vue d'une action de réduction des risques (réduire/traiter des émissions, substituer) est globalement moins fréquent.

Toutefois, un précédent travail de l'Ineris a eu pour but de sélectionner des substances prioritaires pour la prise en compte dans les Programmes de Mesures de la DCE (Gouzy A. et al., 2014). Il était basé sur les critères suivants :

- Tendances réglementaires
- Tendances de marché ou d'utilisation ;
- Prise en compte des possibilités techniques et économiques de réduction des émissions et substitution
- Importance des sources d'émissions vers les milieux aquatiques et de la possibilité d'agir sur ces sources.

Ce travail, qui a été identifié comme une base potentielle de travail par le Plan Micropolluants, était fondé sur une méthode d'analyse à dire d'experts Ineris, et il conviendra dans le cadre du présent rapport, outre de revisiter les critères et la méthode de hiérarchisation, d'étendre le panel des experts et parties prenantes à inclure dans le processus.

Dans le cadre de la gestion de la substitution des substances chimiques, de très nombreuses ressources et nombreux guides pour la substitution existent (voir <https://substitution.ineris.fr/fr/documentation>), qui, s'ils n'élaborent pas de hiérarchisation de produits chimiques, proposent des critères de comparaison qui peuvent nourrir de tels systèmes. Les critères employés sont ceux déjà rencontrés dans les cadres précédemment exposés, mais s'élargissent à de nouveaux critères du fait que ces guides sont tournés vers des actions de gestion des risques. On y trouve ainsi la notion coût, disponibilité et risques des alternatives (ou des actions correctives telles que le traitement). Deux guides ont été récemment réalisés en France (Ministère de l'Ecologie, 2017) et (ANSES, 2017).

Lorsqu'il s'agit d'actions de réduction des risques, l'aspect économique devient important, et il est en effet intégré dans la plupart des guides sur la substitution. Le coût de la réduction des émissions ou de la substitution est également pris en compte dans les décisions instruites par l'ECHA. Là encore, il ne s'agit pas d'un système de priorisation, plutôt de décision binaire pour la décision de réduire/supprimer les risques (interdire un produit chimique et donc exiger la mise en œuvre d'une substitution, exiger des mesures de réduction des risques, ...). Mais les critères employés sont utiles à documenter dans cette étude, en ce qu'ils peuvent être utilisés dans un système de hiérarchisation d'actions de réduction des risques (émissions, substitution).

L'ECHA (et de nombreuses autres institutions en matière de gestion des risques) utilisent comme critère économique la mesure bénéfice/risque ou la mesure coût/efficacité. La première est attachée à une mesure particulière de réduction des risques et n'est donc pas pertinente ici, par contre la mesure coût/efficacité peut aussi être vue de façon plus générique et rattachée à une substance (Brignon J.M. et al., 2018)). Elle s'apparente à la notion de coût de référence qui est utilisée pour décider de l'opportunité de mesures de réduction des émissions pour plusieurs polluants atmosphériques en Europe et plusieurs pays de l'UE (dont la France) (EEA, 2014) (Schucht S., 2018), et, dans une moindre mesure, pour la gestion des rejets de substances chimiques dans les milieux aquatiques. Cette métrique est actuellement utilisée pour prioriser les actions de réduction des rejets de substances prioritaires à la fois dans le cadre du règlement REACH et de la Directive-Cadre Eau (ethoxylates de Nonylphénol et d'Octylphénol).

Une définition classique du coût/efficacité est la suivante,

$$\text{Coût-efficacité} = \frac{\text{Coût de réduction des émissions (€)}}{\text{Réductions d'émission (Kg)}}$$

dans laquelle l'indicateur d'efficacité peut être modulé pour rendre compte des caractéristiques, par exemple de danger, de la substance chimique :

$$\text{Coût-efficacité} = \frac{\text{Coût de réduction des émissions (€)}}{\text{Réductions d'émission (Kg) * **Indicateur de danger**}}$$

Des exemples d'indicateurs d'impacts variés ont été proposés, et eux-mêmes utilisés pour prioriser (indépendamment du ratio coût/efficacité) les substances chimiques et notamment les substances PBT (Rorije E. et al., 2011), (Brignon J.-M. et al., 2018) dans une optique de gestion des risques.

3 Proposition d'un système de hiérarchisation

3.1 Proposition de critères

Pour établir une proposition de système de hiérarchisation, nous partons de l'objectif tel qu'il est énoncé dans le Plan Micropolluants, en soulignant les termes principaux qui doivent selon nous guider cette proposition :

« 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**. »

Le Plan contient également des explications concernant ces termes-clé, et d'autres points à prendre en compte :

- **Faisabilité** : « Les mesures de réduction des émissions doivent être faisables d'un point de vue **technique** et **économique**. »
- **Pertinence** : « cibler des molécules causant des **risques**, cibler des **sources d'émission significatives**, ne pas cibler des secteurs ou des molécules déjà ciblés par des **mesures réglementaires** au niveau de l'UE ».

« Cette action devra s'attacher à synthétiser les perspectives au niveau UE concernant la réglementation et les **tendances de la substitution par les producteurs et les utilisateurs** des molécules concernées ».

Des précisions sont par ailleurs rencontrées à différents passages dans le plan :

- « [Le Plan doit permettre] l'identification des mesures de prévention les plus **pertinentes** d'un point de vue **coût/efficacité** et **bénéfice-risque** » : ainsi, au-delà de la notion de coût, l'efficacité des ressources financières employées (coût/efficacité) pourrait constituer un critère
- « **Un plan privilégiant la réduction des émissions à la source** » [préférence pour la substitution par rapport au traitement des effluents] : cette préférence est argumentée dans le plan en termes de coût/efficacité, donc renforce l'intérêt de ce critère dans le cadre du plan.

Le concept de nécessité ne fait pas l'objet de commentaires dans le plan, mais il semble qu'il se confonde avec la nécessité de réduire des émissions de polluants causant des risques, et il est donc pris en compte à travers la « pertinence ». Le texte de l'action 39 ne précise pas lui-même le terme « risque », mais on notera que l'action 33 porte sur « les risques environnementaux et sanitaires liés aux micropolluants dans les milieux aquatiques ». Le Plan mentionne également le risque de non-atteinte du bon état (RNOAE), mais la notion de « risque environnemental » prend déjà en compte cette définition, et le RNOAE fait l'objet d'une autre action spécifique (Action 38). Ainsi l'action 39 porte sur le « Risque environnemental/sanitaire » qui renvoie à la notion de PNEC et à la réduction des émissions par compartiment ou par objectif de protection, et que l'action 38 porte sur le « risque de non-atteinte du bon état » qui renvoie à celle de NQE et à la gestion globale du processus d'atteinte du bon état. Outre ce fait, l'inconvénient d'utiliser les NQE serait qu'elles ne sont disponibles que pour un nombre réduit de substances, par comparaison aux PNEC. Ce sont en effet généralement les PNEC qui sont utilisées dans les hiérarchisations que nous avons passées en revue au chapitre 2. Quant aux risques sanitaires, ils renvoient dans le Plan à la fois aux risques liés à la présence dans l'eau potable, et dans les produits de la pêche destinés à la consommation humaine, et pourront être intégrés dans la hiérarchisation à travers la notion de VTR. L'intérêt de maintenir à ce stade et dans un contexte de priorisation des valeurs distinctes par objectifs de protection (PNEC, VTR) plutôt qu'une valeur intégratrice de type NQE est de permettre une analyse plus fine des résultats ou encore une pondération différente des cibles à protéger.

Cet ensemble d'indications fournies par le Plan lui-même, ainsi que le précédent rapport Ineris (Gouzy A. et al., 2014) indiqué comme base possible par le Plan, et la littérature consultée (résumée dans le chapitre précédent), nous amènent à formuler la proposition suivante en termes de critères, qui seront à la base des systèmes de hiérarchisation.

Thème	Critère	Sous-critère	Indicateur	
Nécessité	Danger	Danger milieux aquatiques	PNEC	
			Caractère PE pour l'environnement aquatique	
				Caractère PBT/vBvP
			Dangers santé humaine	VTR
				Caractère CMR
			Caractère PE pour l'homme	
Pertinence	Exposition	Emissions vers les milieux aquatiques	Type d'émissions (locales/dispersives)	
			Quantités émises	
		Tendances des utilisations	Tendances industrielles /usages	Echelle qualitative
		Tendances règlementaires	Echelle qualitative	
Faisabilité	Technique	Faisabilité de la réduction des rejets	Echelle qualitative	
		Faisabilité de la substitution	Echelle qualitative	
	Economique	Coût de réduction/substitution	Coût de substitution ou de traitement	

Tableau 1 : Critères de hiérarchisation

Des critères supplémentaires pourraient être proposés, comme par exemple l'utilité de la substance, mais il semble difficile de trouver un indicateur suffisamment simple sur ce sujet (Karr G. et al., 2013). Des mesures de « l'utilité pour le consommateur » sont en théorie possibles, mais elles ne sont en général pas disponibles et complexes à évaluer.

Un critère sur les capacités de mesure dans l'environnement ne semble pas pertinent, car dans le contexte de l'action 39 il ne s'agit pas de surveillance mais d'action, et de plus les priorités pour l'action seront en nombre probablement limité, et les substances retenues seront connues et très probablement toutes mesurables. Dans le cas contraire, étant donné l'enjeu fort de ces substances, la mise au point d'une mesure pourrait apparaître comme justifiée.

3.2 Proposition de systèmes de classement

3.2.1 Introduction

Les systèmes de classements multicritères possibles sont très nombreux et de nature très variée, avec de nombreuses hybridations possibles, entre : choix d'experts, calculs de scores, méthodes de calcul d'utilité, méthodes de surclassement,

De nombreux travaux (Karr G. et al., 2004 ; Bonnomet V. and Dulio V., 2007 ; National Academies, 2011 ; Brignon J.-M. et al., 2018 ; Oltmanns, J. et al., 2019) mettent en évidence l'intérêt, pour accroître la représentativité et la robustesse de la hiérarchisation, de ne pas se limiter à un seul système, mais d'élaborer dans un premier temps plusieurs classements, qui seront ensuite combinés de façon « manuelle » avec l'intervention des experts.

L'OCDE met en avant l'importance de la simplicité, qui nous conduira à proposer au moins un système basé sur ce principe directeur.

Ainsi, on propose de travailler sur trois types de hiérarchisation, respectivement basés sur :

- H1 : Un **score de référence** reprenant le schéma de priorisation pour la surveillance du CEP, et l'étendant pour en faire un score de priorisation des substances pour la réduction des émissions.
Ce score présente l'intérêt évident d'une continuité avec les travaux antérieurs du CEP et donc d'assurer une cohérence entre surveillance et action.

- H2 : Un score centré sur la notion de « coût /efficacité » des actions de réduction, en proposant un indicateur d'efficacité prenant en compte les dangers des substances. Ce score reprend des travaux antérieurs coordonnés par l'Ineris (Brignon J.M. et al., 2019), et menés dans le but de développer des indicateurs d'aide à la décision simples et robustes, répondant en cela aux recommandations formulées dans le rapport (OECD, 2019), et aux conclusions d'un récent workshop de la Commission portant sur la gestion des substances à la fois prioritaires au sens de REACH et de la Directive Cadre-Eau. Il prend le parti de se baser sur le danger intrinsèque et l'optimisation économique, et donc ne priorisera pas nécessairement les micropolluants les plus significatifs en termes de quantités rejetées.
- H3 : Une méthode différente d'un score, basée sur le surclassement (méthode ELECTRE III), mais établie sur les mêmes critères que les deux méthodes de score précédentes. Cette méthode s'est révélée prometteuse dans des travaux réalisés antérieurement par l'Ineris. Tester, sur le même jeu de critères que H1 et H2, un système reposant sur une autre logique que celle de scores permettra de tester la robustesse des choix de priorité au système de classement utilisé, ce qui est également recommandé par plusieurs des travaux examinés. La méthode H3 de surclassement de synthèse, a pour but de hiérarchiser sans nécessairement calculer de score, et en reproduisant plus étroitement les processus de choix par comparaisons deux à deux des options, par critère. Ces méthodes rendent également possible une incomparabilité entre deux actions, fréquemment rencontrée dans les situations réelles pour des choix complexes.

Nous proposons également de réutiliser les résultats des travaux de (Gouzy A. et al., 2014), en tant qu'élément additionnel de comparaison.

3.2.2 Score additif basé sur le risque et la faisabilité technico-économique (H1)

Ce score est défini par :

Score (H1) = Score Propriétés CEP + Score Risques CEP + Score Pertinence + Score Faisabilité

Où chaque score est normalisé pour refléter l'importance équivalente de chaque composante.

Les scores de pertinence et de faisabilité sont basés sur les critères indiqués dans le Tableau 1 :

Score Pertinence = *Emissions* x *Tendances*

Les variables *Emissions*, et *Tendances*, seront vraisemblablement renseignées sur une échelle ordinale reflétant la connaissance le plus souvent qualitative et imprécise.

Pour les *Emissions*, il sera probablement impossible de trouver des données quantitatives, voire qualitatives sur les émissions dans les milieux aquatiques elles-mêmes pour la plupart des substances. Pour cette raison, il semble opportun de les approcher par $Emissions = Quantité\ utilisée \times Type\ d'usage$.

Les *quantités utilisées* seront codées selon un nombre réduit classes de bandes de tonnage (les bandes de tonnage utilisées dans la base de données Substance Information de l'ECHA⁶ pourront être reprises). La base de l'ECHA sera la source d'information privilégiée. Concernant, les *types d'usage*, on distinguera selon la dispersivité des usages. Une catégorisation analogue à celle qui a été proposée dans (Bonnomet V. et al., 2007) pourrait être reprise, avec quatre catégories : Usage en système clos, Usage résultant dans l'inclusion dans une matrice, autre usage non-dispersif, usage largement dispersif.

Les *tendances* seront décomposées en *tendances réglementaires* et *tendances industrielles*. Certes les deux tendances sont corrélées, une interdiction ou une restriction dans la sphère réglementaire allant de pair avec une substitution et un abandon de la substance dans la sphère industrielle. Toutefois, cela n'a rien de systématique, car l'évolution de la technologie ou de la demande du marché peut commander fréquemment des évolutions dans l'usage des substances, sans lien avec la réglementation. Ces deux paramètres seront appréciés sur des échelles qualitatives (qui seront transformées en échelles ordinales), cf Tableau 2.

⁶ <https://echa.europa.eu/fr/substance-information/-/substanceinfo>

Tendances réglementaires	Tendances industrielles
Aucune mesure à l'étude	Usage en expansion
Mesures à l'étude (liste prioritaire, ...)	Usage dans évolution notable
Mesures d'interdiction partielle en cours/prévues	Usage en régression
Mesures d'interdiction totale en cours/prévues	Usage en cours d'abandon

Tableau 2 : Notation des tendances

Score Faisabilité = *Faisabilité technique* x *Faisabilité Economique*

Faisabilité technique et économique sont souvent très liées, le coût élevé étant le plus souvent une conséquence directe d'une complexité technique. Par conséquent ces deux paramètres ne seront distingués qu'au cas par cas et si cela apparaît utile pour noter la faisabilité.

A notre connaissance, 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 devrait donc être appréciée par des dire d'experts sur la base d'une synthèse de documentation. Les principales sources d'information mobilisables sont les suivantes :

- Etudes réalisées par les consultants de la Commission Européenne dans le cadre de la DCE,
- Projets financés par l'AFB 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 mes Etats Membres (substances soumises à restriction)
- Fiches Technico-Economiques et Sites Substitution de l'INERIS
- Ouvrages de référence, sites recensés notamment par l'OCDE (Substitution Toolbox)
- (...)

La notation de ce critère supposera un important travail de compilation et de synthèse d'information, pour préparer des propositions de notations argumentées, qui pourraient être soumises à des réunions d'experts technico-économiques de la sphère publique et de l'industrie.

3.2.3 Coût/efficacité des actions de réduction, intégrant le danger (H2)

Ce score H2 est défini en reprenant la définition générale du coût/efficacité (voir section 2.3) dans laquelle on introduit un score de danger H2 élaboré selon le principe énoncé en introduction de ce chapitre (3.2.1).

Ainsi,

$$\text{Score H2} = \frac{\text{Coût de réduction des émissions (€)}}{\text{Réductions d'émission (Kg)} * \text{Indicateur de danger H2}}$$

Le coût considéré sera celui qui serait effectivement à affecter à des actions dans le cadre du plan micropolluants : ainsi pour des substances déjà visées par des actions réglementaires autres (par exemple dans le cadre de règlements chimiques européens), le coût sera considéré comme faible.

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

$$\text{Indicateur de Danger H2} = \frac{H \times BCF \times PE}{PNEC \times VTR}$$

Avec : H : persistance dans les milieux aquatiques (par ex. représentée par une demi-vie)

BCF : Facteur de bioconcentration/bioaccumulation

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

PNEC : Predicted Non Effect Concentration, indicateur de la toxicité pour les milieux aquatiques

VTR : Valeur Toxicologique de Référence, indicateur de la toxicité pour la santé humaine

Cet indicateur présente l'avantage de ne pas comporter de seuil ni de pondération. Un autre avantage est qu'il n'est pas normalisé au regard de critères « réglementaires » de définition des seuils P, B ou T, et donc que la question de la robustesse par rapport aux paramètres de cette définition ne se posera pas. En outre, elle semble plus proche de la notion d'impact des substances chimiques, qu'on peut raisonnablement supposer proportionnel à la durée de l'exposition (représentée par H), à l'exposition du vivant (représentée par le BCF), et proportionnel à la toxicité et à l'écotoxicité (donc inversement proportionnel à la PNEC et à la VTR), Cet indicateur est multiplicatif, ce qui le distingue de ceux qui sont fondés sur l'addition des « effets », en ce qu'il prend en compte les interactions et effets d'amplification mutuelle du risque entre persistance, bioaccumulation, et toxicité. On peut donc espérer d'une telle formulation qu'elle représente plus complètement l'impact global des substances chimiques.

Un paramètre multiplicatif aggravant pour les effets PE sur l'environnement et/ou la santé est prévu, si cela est jugé pertinent, un paramètre analogue pour les effets CMR pourrait être ajouté.

3.2.4 Surclassement basé sur ELECTRE III (H3)

Dans ce cas, les variables définissant les systèmes H1 et H2 sont inchangées mais elles sont traitées différemment.

La famille des méthodes Electre appartient à celle dite « du surclassement de synthèse », qui présente des caractéristiques intéressantes dans un contexte d'aide à la décision participative, et elle a été employée pour des problèmes d'environnement par l'INERIS à plusieurs reprises (Karr G. et al., 2013 ; Le Gall A.C. et al., 2014 ; Brignon J.M., 2018, Brignon J.M. et al., 2018), et par d'autres institutions (par exemple Martin C, 2005 ; Macary F., 2014).

Cette approche trouve son origine dans les travaux réalisés sous la direction de Bernard Roy au sein de la société de conseils en recherche opérationnelle SEMA-METRA dans les années 1960, puis du LAMSADE, laboratoire de l'Université Paris-Dauphine, dès les années 1970.

Cette approche se distingue par son algorithme d'agrégation, qui se compose de deux phases :

- Comparaison de toutes les paires d'actions (A, B), en utilisant les évaluations et les pondérations, pour tester l'hypothèse selon laquelle l'action A est au moins aussi bonne que B.
- Sur la base de l'ensemble de ces comparaisons, établissement du résultat souhaité, par exemple un classement.

Cette manière de procéder, permet notamment de prendre plus facilement en compte la nature ordinaire ou qualitative de l'expression de certains critères. Les résultats prennent également en compte l'incomparabilité.

Les méthodes Electre sont présentées dans le Tableau 3 ci-après. Les premières versions (I, II) ont fait l'objet d'une généralisation, notamment en remplaçant la notion de vrai-critère par celle de pseudo-critère⁸.

⁷ L'hypothèse est validée si une majorité pondérée de critères est en faveur de A (test de concordance) et si B n'est pas nettement meilleure que A sur un ou plusieurs critères (test de non-discordance).

⁸ Un pseudo-critère intègre l'idée que deux actions potentielles puissent être indifférentes même si elles ne sont pas égales et que la préférence d'une action sur l'autre puisse évoluer en fonction de l'écart de performances. Cette logique floue généralise ainsi la logique nette qui prévalait jusque-là.

(Source : [Maystre, Pictet, Simos, 1994], p. 165)

		Problématique		
		α	β	γ
Surclassement	Critère	Sélection	Affectation	Classement
Net	Vrai-critère	I	–	II
Flou	Pseudo-critère	I S	Tri	III, IV

Tableau 3 : Principales caractéristiques des méthodes Electre

Electre III comprend deux phases. La première consiste à comparer toutes les paires de cellules pour déterminer si la cellule A surclasse (« est au moins aussi bien classée que ») la cellule B. La deuxième consiste à établir un classement.

Le principe de la méthode ELECTRE III (Fig. 1) repose donc sur la construction d'une hypothèse de préférence, appelée « surclassement » entre les cellules. Les cellules sont comparées par paires, et toutes les paires de cellules sont caractérisées par une relation de surclassement. L'hypothèse de surclassement n'est pas entièrement acceptée ou rejetée, mais on évalue son degré de crédibilité à travers deux indices : l'indice de concordance et l'indice de discordance.

Les relations de concordance et de discordance sont paramétrées par des seuils d' « indifférence », de « préférence » et de « veto » qui doivent être choisis pour chaque critère. Deux préclassements complets sont ensuite construits par le biais de deux procédures de « distillations » antagonistes (« ascendante » et « descendante »). Le croisement de ces deux préclassements aboutit à un classement final. Une analyse de sensibilité est ensuite généralement réalisée pour juger de la stabilité des résultats suite à des variations de valeurs des paramètres du modèle. Des détails sur le processus de surclassement et la construction de la hiérarchisation finale sont fournis en Annexe.

Les choix des pondérations de critère utilisées pour les indices de concordance et discordance (voir Annexe) pourront faire l'objet d'une procédure de révélation des préférences, qui pourrait être menée au sein du CEP, en employant a priori « la méthode des cartes » (Pictet J. et al., 2008).

3.3 Préparation à la mise en œuvre

Dans cette section, on fournit quelques premières indications sur le cadrage, les besoins en données, qui seront à préciser dans la suite de l'étude lors de la phase de mise en œuvre de la méthode.

3.3.1 Proposition de procédure

Le Plan Micropolluants identifie les partenaires possibles de cette action : DEB, DGPR, DGS, DGPE, DGAL, OFB, Agences de l'eau, Membres du CEP, et Acteurs économiques (le CEP rassemblant déjà certains de ces acteurs).

Afin de les associer, nous proposons donc le processus suivant :

- Consultation du CEP et des acteurs économiques pertinents sur l'architecture et les jeux de critères de chacun des trois systèmes de hiérarchisation, et pour fixer les poids des critères du système H3 lors d'un exercice collectif.
- Validation des acteurs après prise en compte de leurs commentaires
- Production de la hiérarchisation par l'Ineris
- Restitution des résultats, et d'une proposition d'une liste hiérarchisée de substances prioritaires pour l'action
- Prise en compte des discussions et commentaires du CEP, et proposition d'une liste hiérarchisée finale de substances prioritaires pour l'action aux Ministères concernés, et aux Agences de l'Eau.

3.3.2 Univers des substances

Les micropolluants sur lesquels devra porter l'exercice de hiérarchisation sont les « SPAS », les Substances Pertinentes A Surveiller.

3.3.3 Identification, collecte et pré-traitement des données

Les bases de données déjà employées par le CEP (bases Ineris, dont le Portail Substances Chimiques, Norman) pour les propriétés des substances seront réutilisées.

Pour les données techniques et économiques seront employés : les précédents travaux de l'Ineris pour l'OFB, d'autres projets de l'OFB sur la réduction des émissions de micropolluants, les données des Agences de l'Eau, et celles provenant des systèmes de gestion des risques des produits chimiques dans l'Union Européenne,

De façon générale, la disponibilité et la qualité des données sont signalées par l'OCDE comme une des difficultés majeures rencontrées dans ce type d'exercice. Le principe de traitement des données manquantes peut avoir un fort impact sur les résultats de hiérarchisation. Ses modalités (remplacement par une estimation « pire cas », ou « moyenne », ou appel à une estimation QSAR, ...) feront l'objet de propositions et de validation par le CEP.

3.3.4 Modalités de calcul et d'exploitation

La hiérarchisation portera au niveau national, toutefois si les Agences de l'Eau disposent de façon significative de données spécifiques à leur territoire, des classements par grands bassins pourraient éventuellement être réalisés à terme.

Les modalités d'exploitation des résultats devront être définis en lien avec le CEP et les services administratifs nationaux et déconcentrés destinataires de la méthode. En particulier il semblera indispensable que les priorités établies ne soient pas utilisées sans l'établissement d'un plan d'action spécifique pour chaque substance choisie sur la base de la priorisation. Elaborer un plan d'action sera l'occasion de valider dans le détail la pertinence de la priorisation, et de vérifier que d'autres aspects comme les impacts environnementaux des traitements, ou les risques des alternatives en cas de substitution, sont pris en compte.

4 Références

Andres S., Dulio V., « Référentiel méthodologique pour la priorisation des micropolluants des milieux aquatiques établi par le comité d'experts national pour la priorisation des micropolluants aquatiques (CEP) », 2012, Rapport Ineris pour Onema/MTES.

ANSES, 2017, « Document méthodologique de comparaisons des alternatives à une substance dangereuse », Rapport d'expertise collective

Apple, 2018, "A Protocol for Prioritizing Chemicals of Concern in the Electronics Industry"

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

Brignon J.M. et al., 2018 ; « Evaluation économique de Risques Chimiques Complexes et incertains : cas de perturbateurs endocriniens et de substances PBT/vPvB (ERICC) » , Rapport ANSES N° EST-2015/1/178

Brignon J.M., 2018, « Aide au choix de zones propices au renouvellement des eaux de ballast en Méditerranée entre la région PACA et la Corse », Rapport Ineris pour MTES/DEB n° DRC -18-168889-03854A

Carsten von der Ohe P. et al., 2011, "A new risk assessment approach for the prioritization of 500 classical and emerging organic microcontaminants as potential river basin specific pollutants under the European Water Framework Directive", Science of the Total Environment 409 (2011) 2064–2077

Dagginus K. et al., 2010, "Modelling approach for the prioritisation of chemicals under the water framework directive", Report by the European Commission - Joint Research Centre, Italy; and Environment Agency, UK

ECHA, 2014, Prioritisation of substances of very high concern (SVHCs) for inclusion in the Authorisation List (Annex XIV)

EEA, 2014, Costs of air pollution from European industrial facilities 2008–2012 - an updated assessment, EEA Technical Report No 20/2014, European Environment Agency, Copenhagen

Gouzy A. et al., 2014, "Classification des substances et programmes de mesure (PDM) Eléments d'aide à la décision », Rapport Ineris DRC-14-136882-01394A

Karr G, Boudet C, Le-Gall AC, Brignon JM, Rouil L, Ramel M., 2014 « Aide au choix de substances prioritaires en Santé environnementale : un processus associant un avis d'expert et une analyse multicritère participative. » Environ Risque Santé 2014 ; 13 : 135-43. doi : 10.1684/ers.2014.0686

James A. et al., 2009, « Prioritisation process: Monitoring-based ranking », International Office for Water and INERIS

Le Gall A.C. et al., 2014 « Programme APPRIOS-Eau - Analyse multicritère, Rapport Ineris n° DRC-14-138341-11739B pour l'ANDRA

Macary F., 2013, « Évaluation des risques de contamination des eaux de surface sur des bassins versants agricoles. Approches multiscalaires par modélisation spatiale et analyse multicritère pour l'aide à la décision », Thèse de doctorat de l'INP Toulouse

Martin C., 2005, « La méthode multicritère ELECTRE III Définitions, principe et exemple d'application à la gestion des eaux pluviales en milieu urbain », Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées - 258-259, octobre-novembre-décembre 2005 - réf. 4568 - pp. 29-46

Ministère de l'Écologie, 2017, Guide méthodologique pratique d'évaluation de solutions de substitution, GT animé par MEDEF/INERIS.

National Academies, 2011, "Classifying Drinking Water Contaminants for Regulatory Consideration", National Academy Press,

Negrão Carvalho R. et al., 2016, "Monitoring-based Exercise: Second Review of the Priority Substances List under the Water Framework Directive" JRC Science for Policy Report

OECD, 2019, "International Best Practices for Identification of Priorities within Chemicals Management Systems - Series on Testing and Assessment No. 314", ENV/JM/MONO(2019)34

Oltmanns, J. et al., 2019 "Final Report: Applying a tested procedure for the identification of potential emerging chemical risks in the food chain to the substances registered under REACH –REACH 2" External scientific report. OC/EFSA/SCER/2016/01-CT1, EFSA Journal, March 2019

Ormsby J.-N., 2017, "Prioritisation strategy and criteria", Deliverable Report D 4.3 HORIZON2020 Programme Contract No. 733032 HBM4EU

Pictet J., Bollinger D., 2008, "Extended use of the cards procedure as a simple elicitation technique for MAVT. Application to public procurement in Switzerland", European Journal of Operational Research 185: 1300–1307

Rorije E. et al., 2011; Identifying potential POP and PBT substances Development of a new Persistence/Bioaccumulation score, RIVM Report Report 601356001/2011

Schucht S., 2018, "Etude exploratoire pour définir des coûts de référence pour la réduction des émissions des NOx en France", Rapport Ineris N° - DRC-18-171901-01694A

5 Annexe : ELECTRE III, Principes de surclassement et d'établissement de la hiérarchisation

Hypothèse de surclassement

Pour vérifier l'hypothèse du surclassement de A sur B, Electre III réalise deux tests :

- Concordance : A doit avoir une évaluation plus grande ou égale à celle de B sur une majorité de critères.
- Non-discordance : A ne doit pas avoir d'évaluation nettement moins bonne que celle de B sur aucun critère.

Pour cela, la méthode utilise trois seuils définis pour chacun des critères :

- Indifférence (i) : ce seuil définit l'écart entre deux évaluations qui n'est pas jugé significatif.
- Préférence (p) : ce seuil définit l'écart entre deux évaluations qui indique qu'une des options est préférée à l'autre.
- Veto (v) : ce seuil définit l'écart entre deux évaluations qui indique que l'option ayant l'évaluation la plus basse ne peut être jugée globalement meilleure que l'autre, indépendamment de ce qui se passe sur les autres critères.

Concordance

Concordance par critère

Le test de concordance « A surclasse B sur le critère g_j » consiste à calculer pour chaque paire d'options (A, B) un indice de concordance par critère g_j (Figure 1) qui vaut :

- 1, tant que l'évaluation de A sur ce critère ($g_j(A)$) est meilleure que celle de B ($g_j(B)$), jusqu'à hauteur du seuil d'indifférence i .
- 0, dès que l'évaluation de A sur ce critère est moins bonne que celle de B avec un écart supérieur au seuil de préférence p .
- Une valeur comprise entre 0 et 1, proportionnellement à la position entre les seuils d'indifférence et de préférence.

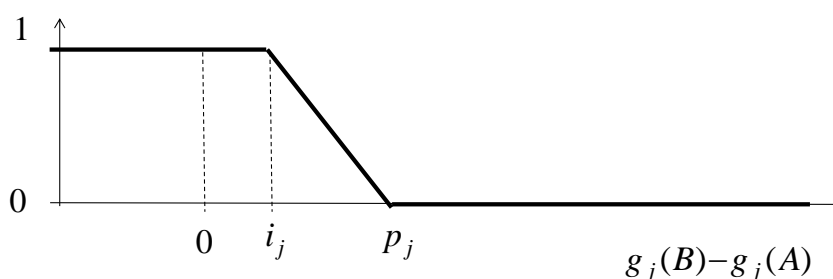


Figure 1. Calcul de l'indice de concordance par critère

Concordance globale

Les indices de concordance par critère d'une paire (A, B) sont agrégés en un indice de concordance globale en multipliant chacun d'entre eux par le poids du critère correspondant (moyenne pondérée).

Discordance

Le test de non-discordance consiste à calculer pour chaque paire d'options (A, B) un indice de discordance par critère g_j (Figure 2) qui vaut :

- 0, tant que l'évaluation de A ($g_j(A)$) sur ce critère est moins bonne que celle de B ($g_j(B)$) avec un écart inférieur au seuil de préférence p .
- 1, dès que l'évaluation de A ($g_j(A)$) sur ce critère est meilleure que celle de B ($g_j(B)$) avec un écart inférieur au seuil de veto v .
- Une valeur comprise entre 0 et 1, proportionnellement à la position entre les seuils de préférence et de veto.

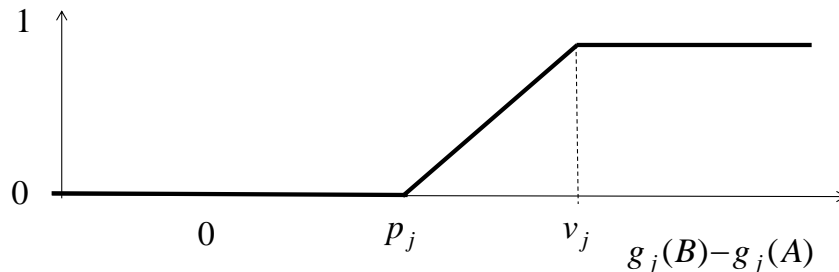


Figure 2. Calcul de l'indice de discordance par critère

Les indices de concordance et de discordance par critère se complètent (Figure 3), dans la mesure où le second (en rouge) caractérise ce qui se passe dès que le premier (en noir) est nul.

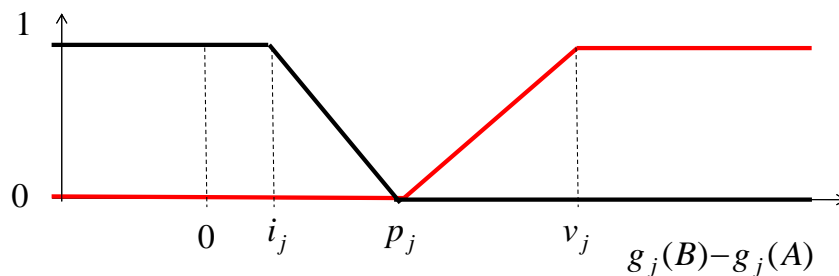


Figure 3. Complémentarité des indices de concordance et de discordance par critère

Crédibilité

Globalement, la crédibilité du surclassement de A sur B est obtenue en combinant l'indice de concordance globale avec les indices de discordance par critère, de manière à ce que cette crédibilité :

- Soit d'autant plus grande que A surclasse B sur un grand nombre de critères (concordance) et qu'elle n'est nettement surclassée sur aucun d'entre eux (non-discordance).
- Soit d'autant plus petite que A surclasse B sur un petit nombre de critères (non-concordance) ou qu'elle soit nettement surclassée sur au moins un d'entre eux (discordance).

Un degré de crédibilité par paire de substances (A, B), compris entre 0 et 1, synthétise tous ces calculs.

Pré-ordre partiels

Electre III établit un classement à partir des degrés de crédibilité. Ce classement, appelé préordre partiel, se distingue des classements habituels sur les points suivants :

- Préordre : il accepte les ex aequo, alors qu'un ordre complet ne les tolère pas.
- Partiel : il accepte que des substances ne soient pas comparables, alors qu'un préordre total ne le tolère pas.

Pour cela, Electre III procède tout d'abord à deux classements intermédiaires, appelés distillations descendante et ascendante.

A chaque itération, on sélectionne un sous-ensemble de d'options qui surclassent le plus nettement⁹ d'autres options. Parmi celles-ci, on cherche la ou les option(s) qui surclasse(nt) le plus les autres et sont (sont) le moins surclassée(s) par d'autres options de ce groupe. Pour cela, on décompte le nombre d'options surclassées et celui des options surclassantes. La différence entre ces deux nombres définit la qualification d'une option. Si plusieurs options obtiennent la qualification maximale, une analyse similaire est réalisée, mais seulement entre ces quelques options¹⁰. La ou les option(s) les mieux qualifiées sont retirées et une nouvelle itération est réalisée avec les options restantes.

Les itérations continuent jusqu'à ce que toutes les substances aient été mises de côté. L'itération à laquelle une option est mise de côté définit le rang de cette substance dans le classement descendant¹¹.

La distillation ascendante procède de manière similaire, mais inversée. Enfin, le croisement (par intersection au sens mathématique) des deux classements ascendant et descendant produit le classement final. Si les deux pré-ordres (distillations) sont complets, le pré-ordre final est éventuellement partiel, car certaines actions peuvent ne pas être comparables. Le pré-ordre partiel final est révélateur des comparaisons qu'il est raisonnable de considérer comme bien établies.

⁹ Un intervalle est calculé à chaque itération, en fonction du degré de crédibilité maximal de cette itération. Electre III définit cet intervalle au moyen d'un paramètre appelé seuil de coupe.

¹⁰ Si, parmi elles, une ou des option(s) obtienne(nt) une qualification supérieure aux autres, elle(s) est (sont) mise(s) de côté. Sinon, ce sont les ex aequo qui sont collectivement mis de côté.

¹¹ Electre III utilise le système olympique : s'il y a deux médailles d'or, il n'y a pas de médaille d'argent. Autrement dit, s'il y a trois substances au rang trois, la substance suivante obtient le rang 6. Cela facilite la comparaison des résultats.

