

Appel à Projet « Innovation et changements de pratiques : micropolluants des eaux urbaines »
avec le soutien de :



REGARD

RÉduction et Gestion des micropolluants sur la métropole bordelaise

LOT 2 : DIAGNOSTIC ET PRIORISATION DES RISQUES
A L'ECHELLE DU TERRITOIRE

TACHE 2.1 CARACTERISATION ET HIERARCHISATION DES RISQUES

Livrables n°211, 212 et 213 : Hiérarchisation des risques, priorisation des substances et sélection des substances sentinelles à suivre dans les différents compartiments

Version finale
Octobre 2019

Auteurs : Fabrizio Botta, Lauriane Gréaud, Marion-Justine Capdeville



PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Fabrizio Botta	Lauriane Greaud	Marc Durif
Qualité	Ingénieur études & recherche en qualité de l'eau CIME/CARA/DRC	Déleguée expertise et appui aux politiques publiques DRCG	Responsable du Pôle CARA DRC
Visa			

SOMMAIRE

SYNTHESE OPERATIONNELLE.....	7
1) CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	7
2) METHODOLOGIE.....	7
3) LES PRINCIPAUX RESULTATS.....	10
a) <i>les substances non pertinentes a étudier</i>	10
b) <i>Les substances à enjeux pour le milieu</i>	11
c) <i>Les substances ubiquistes et traceur de sources</i>	13
d) <i>L’empreinte environnementale des substances organiques à enjeux</i>	16
4) CONCLUSION.....	17
GLOSSAIRE	21
1 INTRODUCTION ET OBJECTIFS DE L’ETUDE	23
2 BIBLIOGRAPHIE.....	25
2.1 DIFFERENTS EXERCICES DE PRIORISATION	25
2.2 EVALUATION DU RISQUE : PRIORISATION DE MICROPOLLUANTS POTENTIELLEMENT SPECIFIQUES DE BASSINS VERSANTS .	25
2.3 PRIORISATION DE SUBSTANCES PHARMACEUTIQUES BASE SUR LE QUOTIENT DE RISQUE	25
2.4 PRIORISATION DE SUBSTANCES PHARMACEUTIQUES VIA LE POTENTIEL DE BIOACCUMULATION	26
2.5 CATEGORISATION DE MICROPOLLUANTS A PARTIR DE LEUR PERSISTANCE DANS L’EAU.....	26
2.6 PRIORISATION DE SUBSTANCES PHARMACEUTIQUES VETERINAIRES.....	27
2.7 PRIORISATION DES SUBSTANCES PAR CATEGORIE D’ACTION ET MODELE NORMAN	27
3 MATERIEL ET METHODE.....	30
3.1 METHODOLOGIE	30
3.2 LISTE DE DEPART.....	31
3.2.1 <i>Priorisation classique des substances organiques</i>	31
3.2.2 <i>Priorisation spécifique aux métaux</i>	32
3.2.3 <i>Priorisation « beta-test » sur les détergents (rejets EU et EP, et cours d’eau)</i>	33
3.2.4 <i>Priorisation des polluants par source (EU domestiques, EU Hôpital, EU STEU et EP).</i>	34
3.3 CALCUL DU SCORE OCCURRENCE	35
3.4 CALCUL DU SCORE AMPLITUDE DE CONCENTRATION	36
3.5 CALCUL DU SCORE DANGER.....	36
3.5.1 <i>Indicateur CMR</i>	37
3.5.2 <i>Indicateur PE</i>	37
3.5.3 <i>Indicateur PBT/vPvB</i>	39
3.6 CALCUL DU SCORE RISQUE	40
4 RESULTATS.....	42
4.1 RESULTATS DU TRAVAIL DE L’INERIS D’AMELIORATION DU SCORE PE (UTILISATION DES TRAVAUX « BIOESSAIS »)	42
4.2 SUBSTANCES NON-PRIORITAIRES.....	45
4.3 SUBSTANCES PERTINENTES DANS LES MILIEUX.....	46
4.4 SUBSTANCE A SURVEILLER DANS L’AVENIR.....	49
4.5 PRIORISATION « GENERALE » POUR LES DETERGENTS.....	49
4.6 PRIORISATION DES SUBSTANCES PAR SOURCE	51
4.6.1 <i>Comparaison inter-sources des priorisations</i>	51
4.6.2 <i>Les STEU</i>	54
4.6.3 <i>Les EAUX PLUVIALES</i>	55
4.6.4 <i>Le CHU</i>	58
4.7 EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DES SUBSTANCES ORGANIQUES PRIORISEES	58
4.8 PRIORISATION DES METAUX	60
5 CONCLUSIONS.....	63
6 BIBLIOGRAPHIE.....	66

Liste des Figures

Figure 1 : Les différents scores et critères utilisés afin de prioriser les substances de REGARD.....	8
Figure 2 : Répartition des scores parmi le « TOP 20 » des substances priorisées.	11
Figure 3 : Résultats de la priorisation des détergents.	13
Figure 4 : Résultats de la priorisation des substances organiques mesurées en entrée (a) et sortie de STEU (b).....	14
Figure 5 : Résultats de la priorisation des substances organiques mesurées dans les eaux pluviales.	14
Figure 6 : Empreinte environnementale des substances à enjeux sur le BV de la Jalle	16
Figure 7: Les différents paramètres utilisés afin de prioriser les substances de la liste de REGARD..	31
Figure 8 : Répartition des scores parmi les « top 20 » substances priorisées.....	47
Figure 9 : Scoring des substances "détergents"	50
Figure 10 : Scoring des substances mesurées en entrée de STEU	54
Figure 11 : Scoring des substances mesurées en sortie de STEU.....	55
Figure 12 : Résultats de la priorisation dans les eaux pluviales	56
Figure 13 : Substances jamais quantifiées dans les eaux usées mais quantifiées dans les eaux pluviales	57
Figure 14 : top 20 substances dans les rejets hospitaliers (CHU)	58
Figure 15 : Empreinte environnementale des substances à enjeux sur le BV de la Jalle	59

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Liste des substances jamais quantifiées dans le milieu naturel (phase dissoute des échantillons).....	10
Tableau 2 : Résultats de la priorisation des métaux.....	12
Tableau 3 : TOP 10 des substances pour chaque source : uniquement pour les 48 composés sélectionnés pour la comparaison.....	15
Tableau 4 : Actions proposées pour les substances identifiées à enjeux par l'exercice de priorisation	19
Tableau 5 : Actions envisagées mais non réalisées pour les substances identifiées à enjeux par l'exercice de priorisation.....	20
Tableau 5 : Récapitulatif de différentes méthodologies de priorisation des substances	29
Tableau 6 : liste des familles ayant fait l'objet du travail de priorisation « milieu »	32
Tableau 7 : liste des substances ayant fait l'objet du travail de priorisation « métaux »	33
Tableau 8 : liste des familles ayant fait l'objet du travail de priorisation « détergents »	34
Tableau 9 : liste des 48 molécules communes aux différentes sources, par famille	35
Tableau 10 : listes des familles et du nombre de molécules par famille recherchées dans chaque source	35
Tableau 11 : Classification du sous-score CMR (score danger).....	37
Tableau 12 : Classification du sous-score PE (score danger)	38
Tableau 13 : Classification du sous-score PBT/vPvB (score danger)	40
Tableau 14 : Résultats du travail bibliographique sur à partir des données issues du site http://actor.epa.gov/edsp21/	43
Tableau 15 : Résultats du travail bibliographique sur à partir des données issues du site http://actor.epa.gov/edsp21/	44
Tableau 16 : liste des substances jamais quantifiées dans le projet REGARD ou dans le plan micropolluants Bordeaux Métropole (les substances présentent un danger intrinsèque et ont été scolaré de la valeur la plus forte à la valeur la plus faible).	45
Tableau 17 : TOP 50 des substances priorisées dans le milieu naturel	48
Tableau 18 : Substance sans valeurs de PNEC robuste en 2016.....	49
Tableau 19 : TOP 10 substances pour chaque source (OCCURRENCE + DANGER + AMPLITUDE CONC ; pas de score risque) : Uniquement pour les 48 composés sélectionnés pour la comparaison	53
Tableau 20 : Résultats de la priorisation des métaux	60
Tableau 21 : Familles présentes dans le TOP 50 de la priorisation "organiques/milieu"	64
Tableau 22 : Situation actuelle d'utilisation de ces substances sur le territoire de Bordeaux Métropole	64

SYNTHESE OPERATIONNELLE

1) CONTEXTE ET OBJECTIFS

Depuis plusieurs années, il y a une prise de conscience générale des problèmes liés à la pollution de l'Environnement. Des milliers de composés aux propriétés physico-chimiques diverses sont déversés dans les écosystèmes.

Plusieurs classes de contaminants comme les métaux, les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) ou les PCB (PolyChloroBiphényles), ont déjà fait l'objet d'études approfondies sur leurs sources, leurs impacts ou encore leurs devenir dans l'environnement. Cependant de nombreux autres contaminants dits « émergents », sont moins documentés et suscitent un intérêt croissant.

Les avancées en chimie analytique ont montré que les substances recherchées et réglementées ne sont qu'une infime partie de celles qui sont présentes dans l'environnement. De plus, pour des raisons de faisabilité (analytique mais aussi en termes de coût de surveillance), il existe un besoin d'identifier les substances les plus préoccupantes à rechercher en priorité dans les milieux aquatiques. C'est pourquoi, les méthodologies de priorisation des substances s'avèrent être un outil d'aide à la décision utile dans l'élaboration des listes de substances pertinentes à surveiller.

Actuellement, la réglementation¹ impose aux gestionnaires de l'eau la surveillance de listes finies de substances dans les milieux aquatiques. Cependant, une hétérogénéité entre les différents territoires a été mise en évidence. En effet, parmi les substances suivies, certaines ne sont potentiellement pas pertinentes à suivre dans les eaux de l'ensemble des territoires. A l'inverse, pour d'autres substances qui semblent à enjeu, leur suivi n'est pas réglementé.

Le but de la tâche « caractérisation et hiérarchisation des risques » consiste à mettre en œuvre une méthodologie de priorisation des polluants afin de définir une liste de substances prioritaires pour la mise en place de mesures de gestion à l'échelle de la métropole, à la vue des connaissances actuelles. Ce travail s'effectue à l'aide de la méthodologie de priorisation retenue à l'échelle nationale par le Comité d'Experts Priorisation² (CEP) et adaptée, et sur la base de données de surveillance du milieu et des rejets acquises spécifiquement sur la métropole dans le cadre du Plan Micropolluants Bordeaux Métropole et du projet REGARD. L'objectif de ce travail consiste également à évaluer l'intérêt et la pertinence de l'application de ces méthodologies de priorisation à des échelles plus locales.

2) METHODOLOGIE

Au cours de ces dernières années, plusieurs études ont été publiées sur les différentes méthodologies de priorisation. La méthodologie retenue pour notre étude est celle du CEP car elle s'applique à tous les types de substances et combine différents critères, tout en intégrant de façon explicite dans le processus de priorisation, les substances pour lesquelles un critère ne peut être rempli faute d'informations suffisantes. Cette procédure globale de priorisation comprend 2 étapes successives :

1. La première étape permet d'orienter les substances candidates vers 5 catégories d'actions, chacune correspondant à un des 5 objectifs de priorisation identifiés ;

¹ Arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement

² Mis en place par le Plan Micropolluants 2016-2021

- La seconde étape consiste à hiérarchiser les substances au sein de chaque catégorie d'action en leur attribuant un « score final » calculé à partir de scores intermédiaires basés sur des critères tels que l'usage qui est fait de la substance et sa présence dans le milieu, les dangers toxiques et écotoxiques inhérents à la substance, la fréquence et le niveau de dépassement de la concentration prédite sans effet (PNEC), ce dernier critère permettant de pondérer l'importance d'une substance par rapport à une autre.

Au sein du groupe de travail du projet REGARD, il a été décidé d'adapter cette méthodologie aux besoins du projet. Elle a été simplifiée compte tenu du nombre limité de données à disposition et des objectifs différents (objectif de gestion et pas uniquement de surveillance). Ainsi, la première étape de la méthodologie nationale n'a pas été réalisée car seules les substances suffisamment et correctement recherchées (c'est-à-dire avec une limite de quantification suffisamment basse) ont été priorisées. Les scores intermédiaires de la deuxième étape ont été repris mais les critères de distribution spatiale ont été volontairement exclus compte tenu du faible nombre de sites et d'analyses. En revanche, un nouveau score « d'amplitude de concentrations » a spécifiquement été ajouté pour cette étude.

En conclusion, l'exercice de priorisation mené dans le cadre de REGARD s'est basé sur un « score final » calculé à partir de 4 scores intermédiaires : le score « occurrence », le score « amplitude de concentration », le score « danger » et le score « risque » (Figure 1). Les scores échelonnés de 0 à 1 permettent de donner un poids à chaque substance et ainsi de les classer et d'identifier celles qui présentent un enjeu pour l'environnement aquatique.

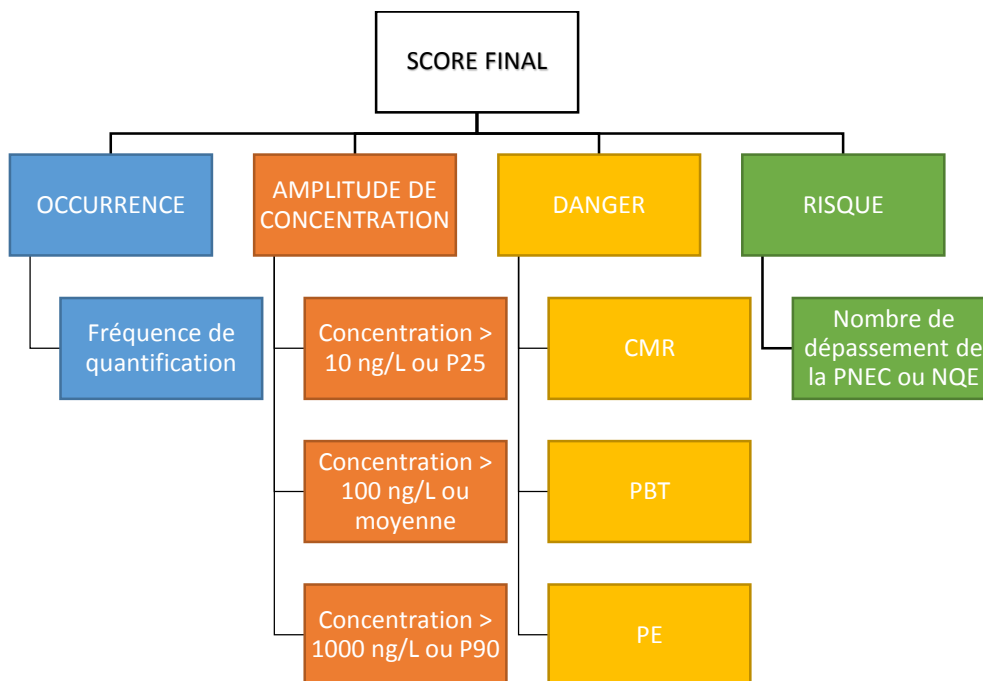


Figure 1 : Les différents scores et critères utilisés afin de prioriser les substances de REGARD.

- Le score « occurrence » permet d'avoir une information sur la présence du contaminant. Il correspond à la fréquence de quantification de la substance dans les différentes campagnes de prélèvement (total des échantillons). Il est calculé en faisant le rapport du nombre d'analyses quantifiées sur la somme des analyses quantifiées et non quantifiées. Ce paramètre dépend de la limite de quantification et peut donc varier en fonction de la technique analytique choisie.

$$\text{SCORE OCCURRENCE} = \frac{\text{Nombre d'analyses quantifiées}}{\text{Nombre d'analyses quantifiées} + \text{Nombre d'analyses non quantifiées}}$$

- Le score « amplitude de concentration » a spécifiquement été ajouté à la méthodologie de priorisation car certaines molécules peuvent être quantifiées peu de fois, mais à de fortes concentrations et à l'inverse, certaines molécules peuvent être mesurées très souvent mais à très faibles doses. Cette distinction n'était pas prise en compte avec le seul score d'occurrence. Le score amplitude de concentration prend en compte le nombre de fois où la concentration mesurée dépasse une valeur, fixée ici à 10, 100 et 1 000 ng/L pour les molécules organiques³ ou au percentile 25 (P25), la moyenne et au P90 pour les métaux. Pour chaque substance, le nombre d'échantillons où la concentration dépasse ces 3 seuils est reporté, exprimé en pourcentage du nombre total d'échantillons ayant une concentration supérieure au seuil le plus bas. Le score « amplitude des concentrations » calculé est la somme de ces 3 pourcentages divisée par 3.

$$\text{SCORE AMPLITUDE DE CONCENTRATION} = [(\text{Score Concentration} > 10 \text{ ng/L}) + (\text{Score Concentration} > 100 \text{ ng/L}) + (\text{Score Concentration} < 100 \text{ ng/L})] / 3.$$

- Le score « danger » prend en compte les propriétés intrinsèques de la substance, c'est-à-dire :
 - ses effets cancérigènes, mutagènes et reprotoxiques (CMR),
 - son potentiel perturbateur endocrinien (PE). Cet indicateur PE permet d'étudier si la molécule est capable d'interférer avec le système endocrinien et ainsi d'induire des effets délétères sur l'organisme ou les descendants. Spécifiquement pour cette étude, l'INERIS a effectué un travail d'amélioration de ce score, avec une étude des « *end points* » non pris en compte dans les groupes de travail européens. Ce travail s'est fait en 2 étapes : une première étude d'une base de données de l'EPA, complétée par un travail de bibliographie et d'expertise interne à l'INERIS.
 - son comportement dans l'environnement avec l'analyse de la persistance, de la bioaccumulation et de la toxicité (PBT). La persistance est basée sur l'étude du temps de demi-vie dans l'eau et les sédiments, la bioaccumulation sur le facteur de bioaccumulation BCF et la toxicité sur l'analyse de la PNEC. Le potentiel de la substance comme substance PBT et /ou vPvB (Substance très persistante et très bioaccumulable) est pris en compte selon les critères définis dans l'annexe XIII du règlement REACH

A chacun de ces paramètres est attribué un score allant de 0 à 1 et le score danger final est la moyenne de tous les scores :

$$\text{SCORE DANGER} = [(\text{Score CMR}) + (\text{Score PE}) + (\text{Score PBT})] / 3.$$

- Le score « risque » est basé sur le rapport entre les concentrations mesurées dans les eaux et la valeur de PNEC ou NQE de chaque substance. Le PNEC correspondant à la plus forte concentration sans risque pour l'environnement et est calculée à partir de la CE₅₀ (concentration d'effets pour 50% de la population) ou de la NOAEL (concentration sans effet observé) d'organismes aquatiques à différents niveaux trophiques, divisé par un facteur d'incertitude défini en fonction de la pertinence de l'étude. Plus la PNEC est faible, plus la substance présente un risque fort. La NQE est la norme de qualité environnementale définie par la réglementation.

Le score final de priorisation des substances est calculé de la manière suivante :

$$\text{SCORE FINAL} = \text{score (occurrence)} + \text{score (amplitude de concentration)} + \text{score (danger)} + \text{score (risque)}.$$

³ Pour la priorisation des substances organiques en fonction des sources d'émission, ce score a été modifié du fait de fortes concentrations dans les rejets. Les seuils d'amplitude de concentration ont été augmentés à 100, 1 000 et 10 000 ng/L.

Dans le cadre du projet REGARD, 4 types de priorisation ont été effectuées :

1. Une priorisation « classique » sur 200 substances organiques dans le milieu (cours d'eau) ;
2. Une priorisation spécifique aux métaux dans le milieu (cours d'eau) ;
3. Une priorisation « bêta-test » sur les détergents (rejets EU et EP et cours d'eau) ;
4. Une priorisation permettant d'identifier les polluants prioritaires en fonction des différentes sources (EU domestiques, EU CHU, EU STEU, EP). Pour cette priorisation, le score « risque » n'a pas été calculé car il s'agit uniquement des eaux de rejets.

Ces exercices de priorisation ont été effectués sur les données acquises sur la fraction dissoute des échantillons d'eau analysées.

3) LES PRINCIPAUX RESULTATS

Le premier résultat du groupe de travail « priorisation » de REGARD est l'amélioration de la méthode de priorisation avec la création et la prise en compte du score « amplitude de dépassement » et avec l'amélioration de l'indicateur Perturbateurs Endocriniens (PE) intégré au score « danger ». Ainsi, grâce au travail de l'INERIS, 19 substances ont eu un score PE amélioré. Le travail bibliographique et l'expertise des scientifiques de l'INERIS, travaillant dans le domaine et dans ce projet (Selim Ait Aissa), ont également permis de reclasser 15 autres substances en PE suspecté ou sans données.

Le deuxième résultat est l'application de cette méthode de priorisation afin :

- d'identifier les substances non pertinentes à étudier
- de hiérarchiser les substances prioritaires à suivre dans les milieux aquatiques (substances à enjeux)
- d'identifier les substances ubiquistes ou au contraire spécifiques (substances traceur de source) aux différentes sources (EU domestiques, EU CHU, EU STEU, EP)

a) LES SUBSTANCES NON PERTINENTES A ETUDIER

L'analyse des premiers résultats a permis d'identifier 58 substances, essentiellement des pesticides, qui n'ont jamais été quantifiées dans le milieu naturel (Jalle de Blanquefort). Il n'est donc pas pertinent de continuer à rechercher ces substances (Tableau 1) dans la phase dissoute des échantillons d'eau.

Tableau 1 : Liste des substances jamais quantifiées dans le milieu naturel (phase dissoute des échantillons).

Famille	Substance	Famille	Substance
OCP	Chlordécone	PESTICIDE	dichlorvos
OCP	DDD 44'	PESTICIDE	endosulfan
OCP	DDT 2 4'	PHARMACEUTIQUE	levetiracetam
UV SCREEN	4MBC	PHARMACEUTIQUE	nordiazepam
PESTICIDE	permethrine	PESTICIDE	chlorpyrifos-ethyl
OCP	Aldrine	PESTICIDE	isoproturon
PESTICIDE	trifluraline	PESTICIDE	acrinathrine
PESTICIDE	lambda-cyhalothrine	PESTICIDE	fenbuconazole
PESTICIDE	ométhoate	PESTICIDE	trifloxystrobine
COV	Tétrachlorure de carbone	PHARMACEUTIQUE	ranitidine
HAP	Indéno (1, 2, 3-cd) Pyrène	PARABEN	benzyl paraben
PBDE	BDE 47	PARABEN	butyl paraben
BIOCIDE	triclosan	PESTICIDE	tetraconazole
OCP	Mirex	COV	Dichlorométhane

Famille	Substance	Famille	Substance
PESTICIDE	tau-fluvalinate	PESTICIDE	esfenvalerate + fenvalerate
PESTICIDE	alachlore	PESTICIDE	flutriafol
PESTICIDE	bifenthrine	PESTICIDE	1(3,4 dichlorodiphenyl) uree
PESTICIDE	simazine	COV	Hexachlorobutadiène
OCP	Isodrine	PESTICIDE	spiroxamine
PBDE	BDE 100	PARABEN	isopropyl paraben
PBDE	BDE 153	PARABEN	pentyl paraben
PESTICIDE	chlorotoluron	PESTICIDE	1(2,4 dichlorodiphenyl) uree
PESTICIDE	terbutylazine desethyl	PBDE	BDE 99
PARABEN	isobutyl paraben	PESTICIDE	cyfluthrine
PESTICIDE	difenoconazole A B	PESTICIDE	epoxiconazole
PHARMACEUTIQUE	amitriptyline	PESTICIDE	flazasulfuron
PHARMACEUTIQUE	zidovudine	PESTICIDE	fluquinconazole
COV	1, 2 dichloroéthane	PESTICIDE	chlorfenvinphos
PESTICIDE	cypermethrine	PHARMACEUTIQUE	aspirine

b) LES SUBSTANCES A ENJEUX POUR LE MILIEU

Dans un second temps, l'analyse des résultats de la priorisation a permis d'établir le « TOP 20 » des substances organiques (Figure 2) identifiées comme pertinentes et donc à enjeux pour le milieu naturel.

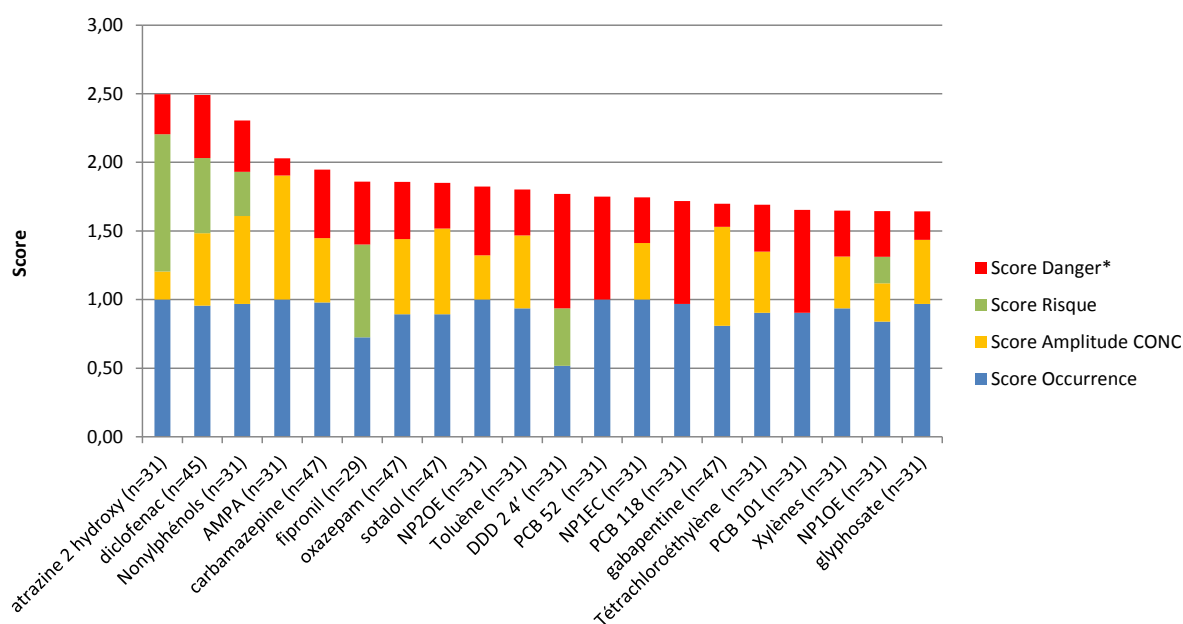


Figure 2 : Répartition des scores parmi le « TOP 20 » des substances priorisées.

Il est important de souligner que le score final de ce « TOP 20 » est dans la majorité des cas influencé par le « score occurrence », lié à la fréquence de quantification de la substance, puis par le « score danger », lié aux propriétés intrinsèques des substances (CMR, PE, PBT). Parmi ces 20 substances, 6 présentent un risque de dépassement des PNEC ou NQE « score risque » et 4, un métabolite (AMPA) et trois médicaments (gabapentine, oxazepam, sotalol), présentent un « score amplitude de concentration » important.

Initialement, le BPA et l'EHMC apparaissaient dans ce top 20 car ils avaient un score final supérieur à 1,5 mais ils en ont été volontairement exclus car le nombre d'analyses était trop faible par rapport aux autres substances (8 analyses contre ~30). Le DEHP a aussi été exclu en raison de possibles problèmes de contamination des échantillons.

Si on étend le principe du « TOP 20 » à un « TOP 50 », alors on retrouve essentiellement des pharmaceutiques et des pesticides. Parmi les pharmaceutiques, ressortent comme prioritaires (par ordre décroissant d'importance) : le diclofenac, la carbamazépine, l'oxazepam, le sotalol, la gabapentine, l'acide fénofibrique, le bézafibrate et le cyclophosphamide. Parmi les pesticides, les substances pour lesquelles des mesures de gestion pourraient être envisagées sont notamment : le glyphosate, son produit de dégradation l'AMPA (aussi métabolite des phosphonates), le fipronil, le diuron, la terbutryne et l'imidaclopride.

Certaines substances, 3 médicaments et 3 métabolites de pesticides, ne ressortent pas comme prioritaires car leur score final a été biaisé par le manque d'informations sur la PNEC, empêchant ainsi le calcul du « score risque ». De même, des lacunes sont à signaler pour le calcul du « score danger » de certaines de ces substances. Par conséquent, elles ne sont pas prioritaires mais ont néanmoins été catégorisées comme substances à surveiller dans l'avenir.

Pour les métaux, un score final a pu être établi pour tous sauf pour le thorium (Tableau 2). Les 4 métaux pour lesquels des mesures de gestion sont prioritaires sur ce territoire et qui se démarquent vraiment des autres sont : le cuivre, le cobalt, le chrome et le zinc. Parmi ces 4 métaux, la maîtrise du zinc et du cuivre semble particulièrement importante.

Tableau 2 : Résultats de la priorisation des métaux.

Substances FR name	NQE µg/L	score occurrence	score amplitude de concentrations	score risque	score FINAL
Cuivre (Cu)	1,40	1,00	0,81	0,46	2,27
Cobalt (Co)	0,30	1,00	0,97	0,27	2,24
Chrome (Cr)	3,40	1,00	0,99	0,00	1,99
Zinc (Zn)	7,80	1,00	0,58	0,18	1,76
Etain (Sn)	1,50	1,00	0,54	0,00	1,54
Baryum (Ba)	60,00	1,00	0,44	0,00	1,44
Thorium (Th)	NO DATA	1,00	0,38	0,00	1,38
Strontium (Sr)	210,00	1,00	0,31	0,04	1,35
Nickel (Ni)	20,00	1,00	0,35	0,00	1,35
Antimoine	20,00	1,00	0,32	0,00	1,32
Vanadium (V)	2,50	1,00	0,29	0,00	1,29
Molybdenum (Mo)	6,70	1,00	0,27	0,02	1,29
Uranium (U)	0,30	1,00	0,01	0,18	1,19
Cadmium (Cd)	0,15	1,00	0,13	0,04	1,17
Plomb (Pb)	7,20	1,00	0,14	0,00	1,14
Arsenic (As)	4,20	1,00	0,09	0,00	1,09
Argent (Ag)	0,05	0,61	0,25	0,00	0,86

En ce qui concerne la priorisation « bêta-test » des détergents, les résultats sont présentés Figure 3. Il est important d'avoir en tête que le nombre de données analytiques et la robustesse des connaissances sur le danger/risque de ces substances sont trop limités pour conclure sur des substances à inclure dans des mesures de gestion. Cependant des pistes se dégagent et parmi tous les détergents étudiés, les LAS (alkylbenzène sulfonates linéaires) semblent être le groupe de substances le plus préoccupant.

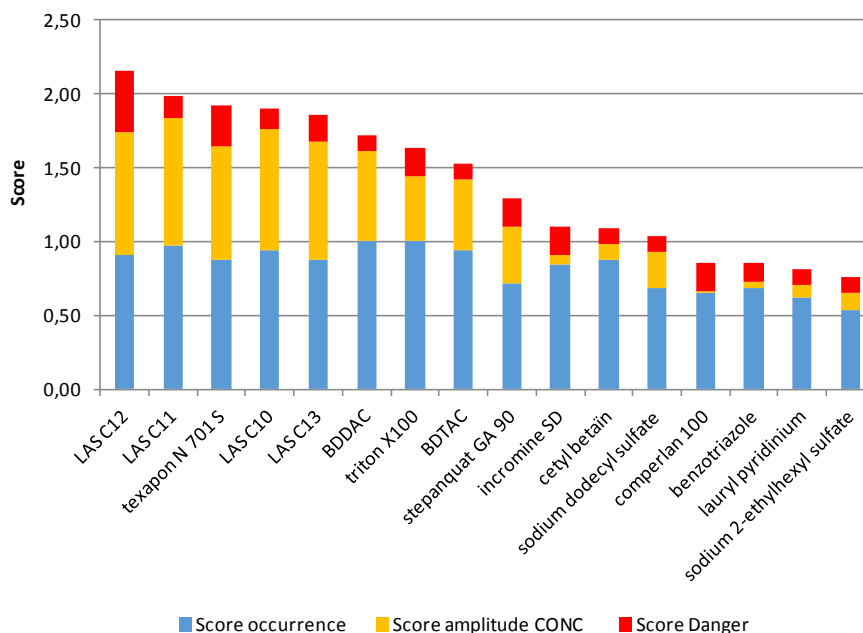


Figure 3 : Résultats de la priorisation des détergents.

c) LES SUBSTANCES UBIQUISTES ET TRACEUR DE SOURCES

Concernant la priorisation par source, le Tableau 3 permet de comparer le « TOP 10 » des priorisations pour les 48 substances communes aux sources étudiées (eaux usées en entrée et sortie de STEU, eaux usées domestiques, eaux usées issues du CHU et eaux pluviales). Deux substances sont communes à ces « TOP 10 » (hors EU en sortie de STEU) : la caféine et le paracétamol. Le DEHP et la théophylline n'ont pas été recherchés dans tous les échantillons d'eaux pluviales mais ils ont été cherchés et retrouvés dans les EP des exutoires pluviaux, ainsi que dans tous les échantillons d'EU. Si ces molécules avaient été prises en compte dans ces priorisations, les critères d'occurrence et d'amplitude de dépassement les auraient fait apparaître dans ces « TOP 10 ». Il est de ce fait possible de les considérer comme des molécules communes à l'ensemble de ces priorisations.

La priorisation en entrée de STEU permet d'identifier les substances présentes dans les eaux usées en tant que source alors que la priorisation en sortie de STEU permet d'identifier les substances ayant un impact potentiel sur le milieu naturel.

Le « TOP 20 » des substances mesurées en entrée de STEU (Figure 4a) est guidé par le « score occurrence » puis par le « score amplitude de concentration ». Les molécules qui arrivent en tête de cette priorisation sont principalement des pharmaceutiques : caféine, théophylline, paracétamol et diclofénac. En sortie de STEU (Figure 4b), le « TOP 20 » est principalement guidé par le « score occurrence » puis par le « score danger ». Les molécules qui arrivent en tête de cette priorisation sont des pharmaceutiques (gabapentine, oxazépam, carbamazépine et sotalol), le BPA et le DEHP.

Une comparaison entre les scores de la priorisation des eaux d'entrée et de sortie de la STEU montre que certaines substances semblent éliminées ou réduites lors du passage en STEU. Il est toutefois difficile de conclure à une efficacité du traitement sans mener de plus amples investigations.

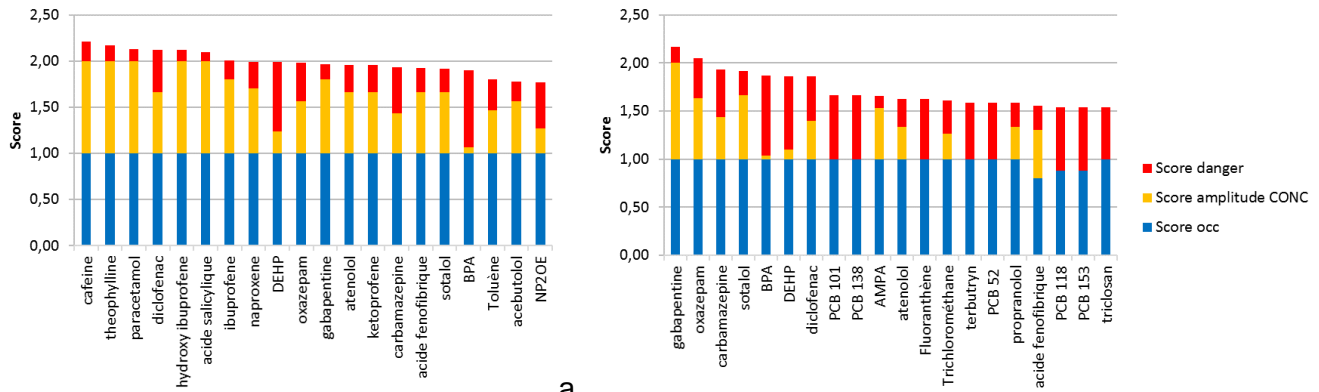


Figure 4 : Résultats de la priorisation des substances organiques mesurées en entrée (a) et sortie de STEU (b).

Mis à part la caféine qui est retrouvée dans le top 3 des rejets EU domestiques, EU entrée STEU et EU CHU, le « TOP 20 » des substances priorisées dans les EP (Figure 5) fait apparaitre des substances avec des forts scores spécifiques aux eaux pluviales : glyphosate, AMPA, toluène, carbendazime et diuron.

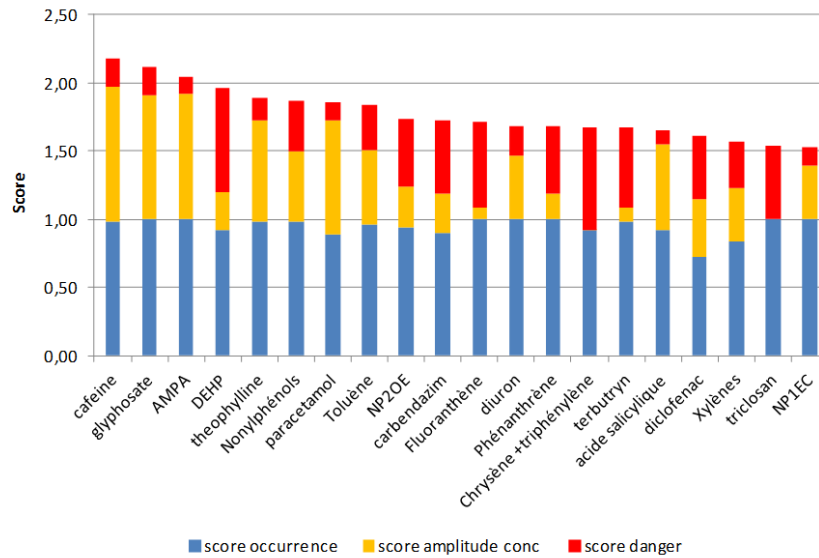


Figure 5 : Résultats de la priorisation des substances organiques mesurées dans les eaux pluviales.

Tableau 3 : TOP 10 des substances pour chaque source : uniquement pour les 48 composés sélectionnés pour la comparaison.

Subst	Score final EU STEU (entrée)
caféine	2,21
paracétamol	2,13
diclofénac	2,13
hydroxy ibuprofène	2,13
acide salicylique	2,10
ibuprofène	2,01
oxazépam	1,98
gabapentine	1,97
kétoprofène	1,96
carbamazépine	1,93

Subst	Score final EU STEU (sortie)*
gabapentine	2,17
oxazépam	2,05
carbamazépine	1,93
sotalol	1,92
diclofénac	1,86
AMPA	1,66
Fluoranthène	1,63
terbutryne	1,58
glyphosate	1,54
carbendazime	1,54

Subst	Score final EU domestiques
hydroxy ibuprofène	2,17
caféine	2,10
paracétamol	2,11
acide salicylique	2,03
kétoprofène	1,90
oxazépam	1,86
ibuprofène	1,80
diclofénac	1,69
cétirizine	1,48
sotalol	1,66

Subst	Score final EU CHU
caféine	2,20
paracétamol	2,13
hydroxy ibuprofène	2,07
acide salicylique	2,06
ibuprofène	1,96
kétoprofène	1,93
carbamazépine	1,77
oxazépam	1,72
diclofénac	1,71
gabapentine	1,68

Subst	Score final EP
caféine	2,18
glyphosate	2,11
AMPA	2,04
paracétamol	1,86
carbendazime	1,73
Fluoranthène	1,72
diuron	1,69
Phénanthrène	1,69
Chrysène +triphénylène	1,68
terbutryne	1,67

* Les eaux de sortie STEU sont présentées dans le tableau mais ne sont pas directement comparables aux autres sources

Légende :

Substances présentes en sortie de STEU et dans les eaux pluviales
Substance spécifique à une source
Substance commune aux 4 sources
Substances pharmaceutiques communes aux EU entrée de STEU, EU CHU et EU domestiques

d) L'EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE DES SUBSTANCES ORGANIQUES A ENJEUX

A l'échelle du bassin versant (BV) de la Jalle de Blanquefort⁴, un abaque permettant de présenter l'empreinte environnementale de chaque substance identifiée comme à enjeux a été proposé. Ce type d'outil à destination des gestionnaires doit permettre d'identifier rapidement où faire porter les mesures de gestion à engager.

Dans la Figure 15 les flux de substances annuels estimés en aval de la Jalle à attribuer à chaque source (amont du bassin, rejets de la STEU après ou sans traitement (by-pass) et rejets d'eaux pluviales) sont présentés, pour une liste de 35 substances sur lesquelles agir en priorité (Top 20 des substances priorisées pour le milieu (cf Figure 8) et le Top 10 des substances par source (Tableau 20)).

Pour les substances d'origine urbaine (pharmaceutiques en particulier, caféine, théophylline) et ubiquiste (DEHP), il est envisageable de considérer cet abaque comme transposable à un autre BV. En revanche, certaines substances « industrielles » et « agricoles » principalement présentes dans les eaux du BV en amont de la STEU, sont caractéristiques de l'activité sur le territoire.

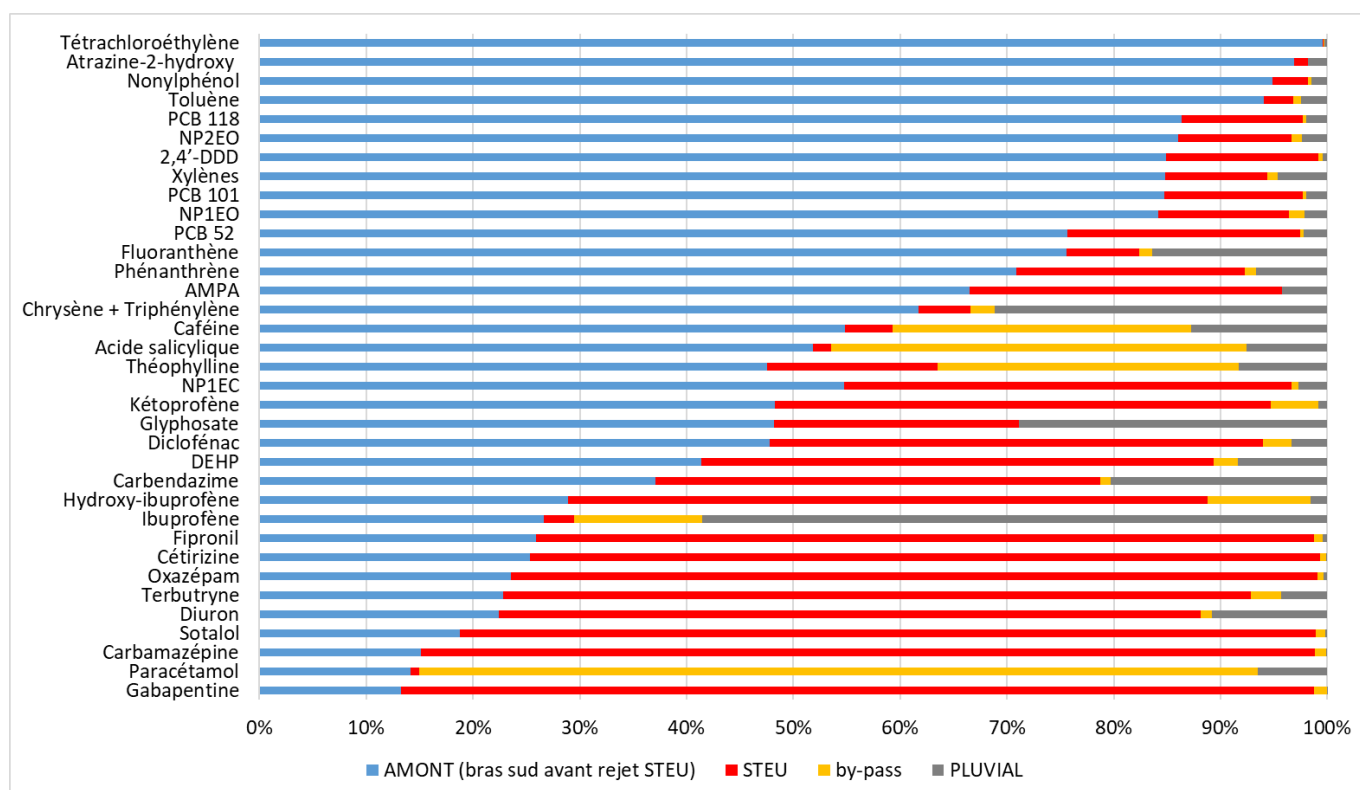


Figure 6 : Empreinte environnementale des substances à enjeux sur le BV de la Jalle.

⁴ Le bassin versant de la Jalle de Blanquefort, un petit cours d'eau situé au nord-ouest de l'agglomération, qui permet d'étudier les sources de pollution domestiques, industrielles et pluviales. (Livrable n°11 : Description des sites d'étude et des protocoles d'expérimentation)

4) CONCLUSION

La méthodologie nationale de priorisation des micropolluants dans l'eau, jusqu'à ce jour utilisée uniquement pour la surveillance des milieux aquatiques, a été adaptée et déployée dans le cadre du projet REGARD pour répondre à un objectif de gestion. Appliquée sur un site pilote, le but a été d'identifier les substances les plus préoccupantes et prioritaires sur lesquelles agir pour mettre en œuvre des mesures de réduction des rejets.

Ce travail a ainsi permis :

- D'améliorer le calcul du score final avec la création du score « amplitude de concentration » et l'amélioration de l'indicateur PE ;
- De hiérarchiser les substances prioritaires à suivre dans les milieux aquatiques (substances à enjeux) ;
- D'identifier les substances ubiquistes dans les différentes sources étudiées ;
- D'identifier des substances qui pourraient éventuellement être considérées comme représentative d'une source spécifique (substances traceur de source).

Les substances prioritaires identifiées sont potentiellement dangereuses pour le milieu aquatique et nécessitent des actions correctives. L'amélioration des traitements des eaux usées pourrait être une solution de réduction pour les résidus de médicaments par exemple. Le traitement des eaux pluviales, jusqu'ici considérée comme « non polluées » et donc non traitées avant rejet au milieu naturel, est aussi une piste intéressante à explorer pour les métaux, les HAP et les pesticides. Enfin, pour l'ensemble des substances, à l'exception des résidus médicamenteux, il peut être plus facile d'agir sur la source de contamination en réduisant par exemple les émissions ou en sensibilisant les utilisateurs sur leurs habitudes de consommation.

Un premier travail de recensement des différentes actions pertinentes à mettre en œuvre a été réalisé. Il s'est traduit par la production de fiches action (Tâche 2.2) classées selon 4 catégories :

1. Eduquer et sensibiliser
2. Substituer, réduire à la source
3. Réglementer
4. Traiter après usage

Il s'agit principalement d'actions génériques qui peuvent être utilisées pour réduire tout type de pollution, ou visent des grandes familles d'usages (médicament, pesticides et biocides, détergents, cosmétiques i.e filtres UV) ou chimiques (COV, HAP, métaux, alkylphénols) auxquelles les substances prioritaires appartiennent. La substitution ou l'interdiction de mise sur le marché auront quant à elles un impact direct sur des substances spécifiques.

Le 3^{ème} volet du projet REGARD a pour objectif d'identifier et de tester/mettre en œuvre des solutions pratiques pour la réduction des émissions de ces substances.

A l'exception de quelques substances à usage très spécifique comme le fipronil (priorisé dans le TOP 20 des substances à enjeu pour le milieu) qui font l'objet d'action dédiée, les autres actions proposées pour répondre à cet objectif sont génériques : communication grand public, sensibilisation des travailleurs (personnel hospitalier, de laboratoire, restauration...), suivi des pratiques des ménages, évaluation de techniques de traitement des eaux pluviales. Elles permettent de contribuer à l'objectif recherché en embrassant un large panel de substances et en s'adressant à des publics différents.

Le Tableau 4 croise les différents types d'action proposées et les familles et substances prioritaires pour lesquelles une efficacité est attendue. Elles sont classées selon les rubriques suivantes :

- Actions sur la source domestique, exemple de ménages témoins (Famille Eau Défi) ;
- Actions sur la source hospitalière exemple du CHU ;
- Actions sur la source collectivité, exemple terrain de sport, cimetière et réseau d'assainissement ;

- Actions sur la source industrielle, exemple des laboratoires de recherches et des restaurants universitaires ;
- Actions sur la source pluviale, exemple de gestion à la source des eaux avec les techniques alternatives ou un traitement à échelle pilote ;
- Actions sur l'ensemble des sources via de la communication grand public.

Les Tableau 4 et Tableau 5 distinguent par ailleurs les actions qui ont pu être réalisées dans le cadre du projet, de celles qui ne l'ont pas été.

Dans la famille des médicaments, outre les différentes actions menées, il a été identifié une particularité liée au mode de prise du diclofénac et kétoprofène : ces substances sont largement utilisées en pommade avec une perte de produit sur les mains et la périphérie des parties à soigner. Le lavage des mains, la douche, le lavage des vêtements et draps, etc. peuvent contribuer à un rejet direct de la substance dans le réseau, sans aucune métabolisation. Une autre action pertinente pour la réduction des rejets de substances pharmaceutiques à enjeu serait de rechercher et prescrire des substances actives moins toxiques pour l'environnement. Il s'agit d'une action qui doit être conduite à une échelle (supra)-nationale.

En ce qui concerne les pesticides, des actions de sensibilisation, de suivi des pratiques des ménages en hiver et de changement de pratique des collectivités sur les cimetières et terrains de sport ont été proposées et menées. Celles-ci pourraient être complétées par une intervention auprès des jardinerie et un suivi sur toute l'année des pratiques des particuliers.

Certaines substances priorisées comme les PCB, ne font pas l'objet de proposition d'actions. En effet, s'agissant de composés interdits depuis 1975 aucune action de réduction/substitution n'est attendue contre cette pollution historique⁵.

En ce qui concerne la famille des métaux, les métaux priorisés cuivre, zinc sont ubiquistes et peuvent être réduits au travers d'actions génériques de traitement menées sur les eaux pluviales, les eaux usées, les effluents industriels. Toutefois, la valorisation des métaux à forte valeur ajoutée a été identifiée comme action pertinente. La tâche 3.3 du projet a ainsi étudié la possibilité de valorisation du cuivre, chrome, lithium et argent.

⁵ <https://substances.ineris.fr/> , fiche technico-économique PCB

Tableau 4 : Actions proposées pour les substances identifiées à enjeux par l'exercice de priorisation.

Substances priorisées	Actions REGARD proposées et réalisées par type de source					
	Domestique : « Famille Eau Défi »	Hospitalière	Collectivités	Industrielle	Pluviale	Toutes sources
Médicaments						
Diclofenac	Suivi pratiques d'utilisation médicaments 'classiques' d'auto-médication	Entretiens/ sensibilisation médecins, laborantins, pharmaciens			Observatoire sur des TA existantes	Exposition Cap Sciences, Regard Citoyen, BD, Vlog
Carbamazepine						
Oxazepam						
Sotalol						
Gabapentine						
Biocide						
Fipronil	Suivi des pratiques				Observatoire sur des TA existantes	Exposition Cap Sciences, Regard Citoyen
Détergents						
Nonylphénols (NP2OE, NP1EC, NP1OE)	Suivi des pratiques d'entretien	Sensibilisation du personnel d'entretien et médecins (doses)		Sensibilisation du personnel des laboratoires et restaurants de l'université de Bordeaux (action menée avec la SGAC sur les rejets au réseau d'eaux usées)		Exposition Cap Sciences, Regard Citoyen, BD, Vlog
Pesticides						
Atrazine	Suivi des pratiques mais action menée en hiver		Changement des pratiques dans les cimetières et terrains de sports		Observatoire sur des TA existantes. Pilote de traitement des eaux pluviales	Exposition Cap Sciences, Regard Citoyen
AMPA						
Glyphosate						
DD 2,4						
BTEX						
Toluène				Action de sensibilisation du personnel des laboratoires et restaurants de l'université		Exposition Cap Sciences, Regard Citoyen
Xylène						
Tétrachloroéthylène						
Métaux						
Cuivre, Zinc, Cobalt, Chrome	Suivi des pratiques d'utilisation			Etude de solution de traitement et de valorisation (Cu, Cr mais aussi Li) Action de sensibilisation du personnel des labo et resto de l'université	Observatoire sur des TA existantes. Pilote de traitement des eaux pluviales	Exposition Cap Sciences, Regard Citoyen

Tableau 5 : Actions envisagées mais non réalisées pour les substances identifiées à enjeux par l'exercice de priorisation.

Substances priorisées	Actions envisagées après la priorisation par type de source (non réalisées)				
	Domestique : « Famille Eau Défi »	Hospitalière	Collectivités	Industrielle	Pluviale
Diclofenac	Suivi de la pratique d'utilisation des anti inflammatoires en pommade	Recherche de substituts avec laboratoires/ pharmaciens			Suivi sur une TA expérimentale instrumenté pour évaluer rigoureusement l'efficacité
Carbamazepine					
Oxazepam					
Sotalol					
Gabapentine					
Biocide					
Fipronil					Suivi sur une TA expérimentale instrumenté pour évaluer rigoureusement l'efficacité
Détergents					
Nonylphénols (NP2OE, NP1EC, NP1OE)			Clauses dans les marchés publics		Suivi sur une TA expérimentale instrumenté pour évaluer rigoureusement l'efficacité
Pesticides					
Atrazine	Suivi des pratiques en été, et action de sensibilisation locale auprès des jardinerias				Suivi sur une TA expérimentale instrumenté pour évaluer rigoureusement l'efficacité
AMPA					
Glyphosate					
DD 2,4					
BTEX					
Toluène				Identification des contributeurs spécifiques	Suivi sur une TA expérimentale instrumenté pour évaluer rigoureusement l'efficacité
Xylène					
Tétrachloroéthylène					
Métaux					
Cuivre, Zinc, Cobalt, Chrome					

GLOSSAIRE

- AFB : Agence Française pour la Biodiversité
- ATMP : Aminotris (acide méthylènéphosphonique)
- BCF : Facteur de Bioconcentration
- BG-1 : Lignée cellulaire BG1 (Homme, cancer ovaire)
- CEP : Comité d'Expert Priorisation
- CUB : Communauté urbaine de bordeaux
- CHU : Centre hospitalier universitaire
- CMR : Effets cancérigènes, mutagènes, reprotoxiques
- DCE : Directive Cadre Eau
- DTPMP : Acide diéthylènetriamine-pentaméthylènéphosphonique
- EC50 : Half maximal effective concentration
- EDTMP : Acide éthylènediaminetétraméthylène phosphonique
- EINECS : European INventory of Existing Commercial chemical Substances
- EP : Eaux pluviales
- EU : Eaux usées
- GH-3 : Lignée cellulaire pituitaire de rat
- GT Priorisation : Groupe de travail
- HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
- IEDUB : Institut d'Etude Démographiques de l'Université de Bordeaux
- INERIS : Institut national de l'environnement et des risques industriels
- ISA : Institut des sciences analytiques
- LAS : Linear Alkylate Sulfonates
- LC50 : Lethal concentration pour 50% des organismes
- LPTC : Laboratoire de Physico- et Toxic-Chimie de l'environnement

INERIS-DRC-17-145595-11853B

MDA-kb2 : Lignée cellulaire MDA-Kb2 pour déterminer le potentiel androgénique ou anti-androgénique d'un échantillon

NORMAN : Réseau européen des contaminants émergents

NQE : Norme de qualité environnementale

OCP : Organo Chlorine Pesticides

PBDE : Polybromodiphényléthers

PBT/vPvB : Persistance, bioaccumulation, toxicité

PCB : PolyChloroBiphényles

PE : Effets perturbateurs endocriniens

PEC : Predicted Environmental Concentration

PNEC : Predicted No Effect Concentration

RCS : Réseau de Contrôle de Surveillance

REACH : Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals

RI : Ranking Index

RSDE : Action nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans l'eau par les stations de traitement des eaux usées urbaine

QSAR : Relation quantitative structure à activité (en anglais : Quantitative structure-activity relationship)

SIN : Substitute It Now!

SPAS : Substances pertinentes à surveiller

STEP : Station d'épuration

STEU : Station de traitement des eaux usées

SVHC : Liste des substances extrêmement préoccupantes (REACH)

SUEZ (Lyre) : Lyonnaise Recherche centre R&D Suez

UE : Union Européenne

US-EPA : United States Environmental Protection Agency

UV screen : Filtres ultra-violet

WATCH LIST : Liste de vigilance européenne (Directive 2013/39/UE)

1 Introduction et objectifs de l'étude

Depuis plusieurs années, on note une prise de conscience générale des problèmes liés à la pollution de l'environnement. Des milliers de composés aux propriétés physico-chimiques diverses sont déversés dans les écosystèmes, tant sur le plan des usages industriels que domestiques ou agricoles (ils y suivent un cycle biogéochimique souvent méconnu et complexe).

D'après l'EINECS (European INventory of Existing Commercial chemical Substances), il est estimé que le nombre de substance chimiques existants est de plus de 14 millions, dont 100 000 sont produites à une échelle industrielle et sont sur le marché Européen [1]. Parmi celles-ci, une majeure partie présente peu d'informations concernant leur dangerosité. Environ 30 000 seraient utilisées, importées ou produites à plus d'une tonne par an [2]. Depuis juin 2007, la réglementation REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals) est appliquée dans l'UE (Union Européenne). Son rôle est, entre autres, d'améliorer la protection de la santé humaine et de l'environnement en ayant un champ d'action sur tous les produits chimiques et sur leur circulation dans l'UE (cette réglementation donne la responsabilité aux industries d'assurer l'évaluation et la gestion des risques associés aux produits chimiques utilisés). Il est donc avéré que des substances actives sont retrouvées dans de multiples compartiments environnementaux et peuvent engendrer des impacts néfastes, à faible concentration, sur les espèces animales et végétales : on parle de micropolluants.

Les premières actions pour restaurer la qualité des eaux de surface et la vie piscicole, ont été engagées localement, dès les années 1950. Elles portaient sur la réduction des flux de polluants organiques et ont été complétées, à partir des années 1970, par la réduction des rejets de substances toxiques. Les plans d'action s'intègrent maintenant dans une démarche globale de protection des masses d'eau. La DCE (Directive Cadre Eau du 2000/60/CE du 23 octobre 2000 modifiée en 2013), a établi un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Elle fixait pour l'horizon 2015, l'objectif d'un retour au « bon état » des cours d'eau en Europe et pour 2021, une suppression totale des rejets en substances prioritaires dangereuses. Pour respecter ces objectifs, tout en préservant les activités économiques du territoire, de nombreuses études ont été initiées en vue de qualifier l'état actuel des cours d'eau.

Plusieurs classes de contaminants ont déjà fait l'objet d'études approfondies sur leurs sources, leurs impacts et leurs devenir dans l'environnement : comme les métaux, les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), les PCB (PolyChloroBiphényles) et les pesticides. A l'inverse, d'autres substances, dites « émergentes », sont moins documentées et suscitent un intérêt croissant. Les substances pharmaceutiques, les détergents ou encore les produits de soins corporels peuvent, par exemple, être cités. Il est impossible de définir le nombre de micropolluants présents dans les eaux, en raison de leurs trop grandes diversités.

Les avancées en chimie analytique ont montré que les substances recherchées et réglementées ne sont qu'une infime partie de celles qui sont présentes dans l'environnement [3]. De plus, pour des raisons de faisabilité (analytique mais aussi en termes de coût de surveillance), il existe un besoin d'identifier les substances les plus préoccupantes à rechercher en priorité dans les milieux aquatiques. C'est pourquoi, les méthodologies de priorisation des substances s'avèrent être un outil d'aide à la décision utile dans l'élaboration des listes de substances pertinentes à surveiller.

A l'heure actuelle, la réglementation impose aux gestionnaires de l'eau, une liste de 45 substances à suivre, dans le but de caractériser l'état chimique des masses d'eau (directive modifiant la DCE UE/2013/39). Cependant, les divers exercices de surveillance des milieux aquatiques français ont mis en évidence une hétérogénéité entre territoires. Parmi ces 45 substances suivies et réglementées, certaines ne sont potentiellement pas pertinentes à suivre dans les eaux de l'ensemble des territoires et à l'inverse, d'autres substances sont identifiées (dans le cadre de projets

de Recherche par exemple) et semble poser des problèmes mais ne sont pas suivies d'un point de vue réglementaire.

Il semble souhaitable de rationaliser les listes de surveillance afin de permettre le suivi optimal des substances posant réellement un problème sur un territoire donné, tout en s'appuyant sur l'ensemble des données (réglementaires ou non) disponibles à l'échelle d'un territoire.

La problématique de la contamination des eaux urbaines et de la gestion intégrée est un enjeu important à ce jour. Pour cela, l'AFB en 2013, a lancé un appel à projet national sur les moyens de lutter contre les micropolluants des eaux urbaines. 13 projets ont été finalement retenus au sein de la thématique « gestion intégrée dans le réseau collectif d'assainissement » dans laquelle on retrouve le projet REGARD. Ce projet combine un diagnostic technico-socio-économique des différentes sources de micropolluants à l'échelle de Bordeaux Métropole avec des mesures de gestion pour réduire la pollution des eaux urbaines.

Les enjeux sont d'autant plus importants que des travaux prospectifs, conduits par l'IEDUB (Institut d'Etude Démographiques de l'Université de Bordeaux), décrivent un scénario de forte croissance, où l'agglomération de Bordeaux atteint en 2035, une population d'environ 930 000 habitants. Cela équivaut à une augmentation de plus de 220 000 habitants (par rapport aux chiffres de 2008). Ainsi, c'est 32% du volume d'eaux usées à traiter qui seront déversées en plus dans la Garonne [21].

La démarche générale du projet permet, entre autres, l'étude globale et intégrée d'un ensemble de sources d'émissions de micropolluants (eaux pluviales, eaux usées : domestiques, industrielles et hospitalières), ce qui donne une vision générale de la hiérarchisation des risques à l'échelle de ce territoire.

Le projet de recherche REGARD débuté en mars 2015, a pour objectif général d'orienter les choix de gestion de Bordeaux Métropole afin de permettre la réduction des micropolluants sur son territoire. Il s'inscrit dans un projet plus vaste : le plan micropolluant national.

Le projet REGARD fait suite au projet « plan micropolluant Bordeaux Métropole », débuté en 2013, qui a pour but d'étudier les micropolluants dans le milieu naturel (rivière Jalle de Blanquefort) et de remonter jusqu'aux vecteurs et sources de micropolluants (les eaux pluviales, les rejets de STEU, les zones industrielles et le CHU de Pellegrin). Ce projet a permis de définir l'état des eaux sur le territoire de Bordeaux Métropole et plus particulièrement sur la Jalle de Blanquefort. Le projet REGARD va donc utiliser ces données et les compléter, avec l'analyse des rejets domestiques (eaux pluviales et STEU) et ceux des eaux pluviales de la rocade, pour mettre en place des opérations de réduction des rejets de micropolluants. Ces leviers seront d'ordre socio-économique, avec une action directement auprès des ménages, mais aussi avec des tests de projets pilotes, au niveau des exutoires pluviaux.

Le but de cette tâche consiste à mettre en œuvre des méthodologies afin de définir une liste de substances prioritaires pour des mesures de gestion au vu des connaissances actuelles. Ce travail s'effectue à l'aide de la méthodologie de priorisation retenue par le Comité d'Expert Priorisation (CEP) mis en place à l'échelle nationale dans le cadre du 1^{er} plan micropolluants pour identifier les substances à surveiller dans les milieux aquatiques. L'objectif de ce travail consiste également à évaluer l'intérêt et la pertinence de l'application de ces méthodologies de priorisation à des échelles plus locales.

2 Bibliographie

2.1 Différents exercices de priorisation

Depuis les cinq dernières années, un nombre conséquent d'études a été publié sur plusieurs méthodologies de priorisation en conséquence au besoin de sélection de substances sur lesquelles agir en priorité. Voici quelques exemples de méthodologies de priorisation.

2.2 Evaluation du risque : priorisation de micropolluants potentiellement spécifiques de bassins versants

Plusieurs études se sont déjà attachées à déterminer des polluants spécifiques de bassin versant. C'est le cas de l'étude de von der Ohe et al., (2011) qui a permis la priorisation de 500 substances organiques sur quatre rivières Européennes (Elbe, Danube, Scheldt et Llobregat) entre 2000 et 2008 [1]. Cette étude s'est focalisée spécifiquement sur l'analyse des polluants par bassin versant afin de définir ceux spécifiques à chaque rivière étudiée.

La méthodologie développée dans le cadre du réseau NORMAN et utilisée dans cette étude, est basée sur le tri des substances en six catégories différentes, en fonction du degré d'information exploitable. Le but étant de ne pas laisser de côté des substances peu renseignées. Puis des priorisations ont été effectuées au sein de chaque catégorie en se focalisant sur le dépassement de la plus faible PNEC (Predicted No Effect Concentration) prédite, aigue, chronique, par substance [1]. Il est rapporté que 73 substances sont classées comme potentiellement spécifiques de ces bassins versants. L'étude de von der Ohe et al., (2011) a permis de prioriser un large panel de micropolluants sur quatre bassins versants et donc d'obtenir une vision plus intégrée de la pollution.

Kuzmanovic et al., (2011) [3], quant à eux ont étudiés les micropolluants dans l'eau, les sédiments et le biote. Cette étude concerne la prospection de 200 micropolluants répartis sur quatre rivières espagnoles, représentatives des rivières « méditerranéennes », très vulnérables aux changements climatiques [4]. Afin de prioriser ces substances, une méthodologie se basant sur un RI (Ranking Index) est utilisée provenant de la méthode développée par von der Ohe et al. en 2011 [1] (légèrement modifiée notamment avec l'usage de CE50 ou CL50 à la place de PNEC). Le RI conclut que les pesticides représentent le groupe de substances qui montrent le plus grand risque pour les écosystèmes des rivières étudiées. Parmi toutes les substances de l'exercice de priorisations, dix ont été identifiées comme étant les plus problématiques (chlorpyrifos, diazinon, chlorfenvinphos, dichlofenthion, prochloraz, ethion, carbofuran, nonylphenol, octylphenol et diuron). L'étude a permis de mettre à jour les listes de substances problématiques par bassin versant et de définir lesquelles sont les plus pertinentes à surveiller par bassin.

L'étude des micropolluants dans différentes matrices a permis de prendre en compte à la fois les substances hydrophiles de la phase dissoute, celles hydrophobes dans le sédiment et celles bioaccumulables dans le biote. La limite de cette étude reste le manque systématique des données d'écotoxicité [3].

2.3 Priorisation de substances pharmaceutiques basé sur le quotient de risque

L'étude de Besse et al., (2008) [5] présente une méthodologie de priorisation des substances pharmaceutiques (120 substances actives et 30 métabolites) appliquée aux eaux de surface françaises. Cette méthodologie est basée sur un quotient de risque et se compose de trois étapes. Tout d'abord, une première classification basée sur l'exposition est établie grâce aux PEC (Predicted Environmental Concentration). Puis, cette classification préliminaire est révisée substance par substance aux dires d'expert, en considérant les effets potentiels sur l'environnement via des données écotoxicologiques, pharmacologiques, toxicologiques sur mammifère, et physicochimiques. Enfin, une dernière sélection est effectuée dans le but de d'identifier les

substances prioritaires et de les trier en fonction de leur ressemblance pharmacologique et de leur classe chimique (structure chimique et mécanisme d'action).

La liste finale de substances candidates prioritaire est composé de 40 substances actives (dont 12 antibiotiques, 2 inhibiteurs de la β -lactamase, 1 antifongique, 1 glucocorticoïde, 3 lipides-régulateurs, 2 inhibiteur de sérotonine et 19 substances non classées) ainsi que de 14 métabolites. Une des conclusions de cette étude reste le manque de données écotoxicologiques, c'est pourquoi, d'autres données sur les propriétés des substances ont été utilisées.

2.4 Priorisation de substances pharmaceutiques via le potentiel de bioaccumulation

Il est présenté dans l'étude de Jean et al., (2012) une méthode de sélection des produits pharmaceutiques relargués par les effluents d'un hôpital et impactant le plus les écosystèmes aquatiques.

Au sein de cette étude, 960 substances pharmaceutiques, utilisées par le centre hospitalier de Lyon en 2007, ont été investiguées [6]. Tout d'abord, la première étape : le « screening », permet d'identifier les substances potentiellement bioaccumulables. Après cette sélection, 70 substances sont considérées en tant que tel. La seconde étape permet la collecte plus en détail de données (quantité consommées, facteur d'excrétion, données d'écotoxicité, BCF (Facteur de Bioconcentration)). Parmi les 70 substances, 14 ont été sélectionnées comme étant des substances à risque, parmi lesquelles, on retrouve par exemple le tamoxifène (antinéoplasique), le ritonavir (antiviral) ou encore l'amitriptyline (antidépresseur) [6].

Cette méthode est très discriminative puisqu'elle n'a sélectionné que 7% des substances étudiées, ce qui est peu par rapport aux composés potentiellement bioaccumulables proposés par la classification environnementale Suédoise (Environmentally classified pharmaceuticals [<http://www.janusinfo.se>]). Les autres méthodes existantes de priorisation de ces substances pharmaceutiques se basent principalement sur le tonnage, a contrario de celle-ci qui se base sur le BCF.

2.5 Catégorisation de micropolluants à partir de leur persistance dans l'eau

Une étude de Götz et al., (2010) s'est attachée à catégoriser les micropolluants, à partir de leurs propriétés de persistance dans la matrice eaux. Lors de cette étude, 250 substances ont été catégorisées dans les eaux Suisse, afin de faire évoluer les listes de substances à surveiller et d'améliorer la qualité de l'eau [7].

La méthodologie de catégorisation est basée sur les propriétés physico-chimiques des substances, sur les informations sur leur dégradation et sur leur dynamique. Aucune donnée de toxicité n'a été utilisée afin de minimiser le nombre de substances inclassables (manque général de données d'écotoxicité). Les substances sont ensuite classées dans 7 différentes catégories d'exposition, représentant le degré de présence potentiel de la substance dans l'eau. Ainsi il est possible d'estimer qualitativement le potentiel d'occurrence des substances en fonction de leur catégorie. Par exemple, certains produits pharmaceutiques sont classés en catégorie 1 comme ayant un potentiel d'occurrence très haut, dû à leur forte persistance et à leur rejet continu dans l'environnement [7].

Cette méthodologie qui ne s'appuie sur aucune donnée de toxicité permet de classer un vaste nombre de substances ayant des usages différents.

2.6 Priorisation de substances pharmaceutiques vétérinaires

Depuis quelques années, les substances pharmaceutiques à usage vétérinaire sont reconnues comme étant des contaminants émergents car ils sont retrouvés dans de nombreux compartiments environnementaux [8].

Di Nica et al., (2015) se sont basées sur la méthodologie « RANKVET », utilisant un système de score, pour hiérarchiser les risques que font peser ces substances sur les organismes aquatiques et terrestres [8]. Cette méthodologie est structurée en deux parties. Tout d'abord, la première phase consiste à calculer la PEC et la PNEC. La seconde représente la phase d'application du score. 48 substances pharmaceutiques à usage vétérinaire largement utilisées en Italie, ont été priorisées avec cette méthode [9]. Parmi celles-ci, on constate que 6 substances dont 4 antibiotiques (gentamicin, neomycin, chlortetracycline, streptomycin) et 2 endoparasitocides (ivermectin et fenbendazole) sont classés « importante » et « très importante » dans le scoring du logiciel RANKVET. Parmi ces substances, certaines sont aussi utilisées en tant que substances pharmaceutiques chez les humains, il est donc intéressant de prendre en compte cette double utilisation lors de l'élaboration du score « usage ».

Le manque généralisé de donnée de toxicité est une lacune dans la méthodologie. Particulièrement celles concernant la toxicité chronique, très importante pour le calcul d'une PNEC. C'est pourquoi, un score par défaut a été appliqué aux molécules ne présentant pas de données de toxicité, ce qui constitue la limite principale de cette méthodologie (Tableau 6).

2.7 Priorisation des substances par catégorie d'action et modèle NORMAN

En 2010 l'INERIS et l'AFB ont conclu la mise en œuvre d'une action spécifique, dans le cadre de leur convention partenariale, pour constituer une structure d'expertise nationale pour la hiérarchisation des enjeux liés aux micropolluants aquatiques. Il s'agit d'une structure pérenne mise en place par le 1^{er} plan national micropolluants, désignée « Comité Experts Priorisation » ou CEP, dont le rôle central est le développement et la maintenance à long terme d'un référentiel méthodologique pour guider l'ensemble des exercices de priorisation des micropolluants aquatiques en France. Le CEP travaille en collaboration avec le Working Group on Prioritisation of Emerging Substances du réseau européen NORMAN (www.norman-network.net).

Les différentes étapes du référentiel méthodologique adopté par le CEP permettent de répondre à différents objectifs de hiérarchisation des substances :

1. Identification des substances prioritaires pour lesquelles un risque a été documenté et pour lesquelles des mesures de gestion et la poursuite des programmes de surveillance est nécessaire ;
2. Identification des substances prioritaires à inscrire dans le cadre d'études prospectives et substances pour lesquelles des mesures sur d'autres matrices sont nécessaires ;
3. Sélection des substances pour lesquelles des données d'impact, d'effets (eco)toxicologiques sont manquantes ou pour lesquelles des études complémentaires sont nécessaires ;
4. Identification des substances pour lesquelles le développement ou l'amélioration des méthodes analytiques sont prioritaires ;
5. Identification des substances pour lesquelles il existe suffisamment d'information pour décider qu'elles ne sont pas prioritaires pour la surveillance et qui pourraient être éliminées des listes existantes de substances surveillées (ou être surveillées à une fréquence réduite).

Ces objectifs correspondent aux actions prioritaires à mettre en œuvre en ligne avec les recommandations du Plan Micropolluants ainsi qu'aux manques d'information ou de connaissances identifiés à ce jour. La procédure globale de priorisation comprend deux étapes successives.

La première étape est celle qui permet d'orienter les substances candidates vers les 5 catégories d'action, chacune correspondant à un des 5 objectifs de priorisation identifiés.

La deuxième étape est celle qui consiste à hiérarchiser les substances au sein de chaque catégorie d'action sur la base des critères / indicateurs identifiés pour chaque catégorie. Au sein de chaque catégorie, un deuxième exercice de hiérarchisation a été réalisé sur la base de trois types d'indicateurs : l'usage qui est fait de la substance ; les dangers toxiques et écotoxiques inhérents à la substance (persistance, bioaccumulation, toxicité –PBT/vPvB ; effets cancérigènes, mutagènes, reprotoxiques – CMR ; effets perturbateurs endocriniens – PE) ; fréquence et niveau de dépassement de la PNEC (Predictive No Effect Concentration), critère qui permet de pondérer l'importance d'une substance par rapport à une autre dans la priorisation.

Le Tableau 6 récapitule les avantages et inconvénients des différentes méthodologies de priorisation recensées ici.

La dernière méthodologie présentée a été retenue pour cette étude car elle s'applique à tous types de substances et combine différents critères, tout en intégrant de façon explicite dans le processus de priorisation les situations dans lesquelles un critère ne peut être rempli faute d'informations suffisantes.

Elle a toutefois été simplifiée compte tenu des objectifs différents (notre étude n'a pas pour objectif d'établir des listes de composées à surveiller mais elle a pour objectif d'identifier des substances pour lesquelles des mesures de gestion sont prioritaires) et aussi du jeu de données disponible. Les différences par rapport à la méthodologie nationale concernent essentiellement les critères occurrence et risque : dans cette étude la dimension spatiale de la pollution n'est pas prise en compte (nombre limité de sites).

Tableau 6 : Récapitulatif de différentes méthodologies de priorisation des substances

Méthodologies	Publication	Année	Avantages	Inconvénients
Priorisation micropolluants spécifique bassins versants (Europe)	von der Ohe <i>et al.</i> ,	2011	<ul style="list-style-type: none"> • Priorisation différentes catégories substances • Echelle bassin versant • Grand nombre de substances priorisées 	<ul style="list-style-type: none"> • Une seule matrice investiguée
Priorisation micropolluants spécifiques bassins versants (Espagne)	Kuzmanovic <i>et al.</i> ,	2011	<ul style="list-style-type: none"> • Priorisation différentes catégories substances • Echelle bassin versant • Différentes matrices investiguées 	<ul style="list-style-type: none"> • Lacunes en données écotoxicologiques certaines substances
Priorisation substances pharmaceutiques basé sur quotient de risque (France)	Besse <i>et al.</i> ,	2008	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de données variées • Mise en avant des substances pharmaceutiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Lacunes en données écotoxicologiques
Priorisation substances pharmaceutiques via potentiel bioaccumulation	Jean <i>et al.</i> ,	2012	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation du BCF en plus des données de tonnage 	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode très discriminative
Catégorisation des micropolluants à partir de leur persistance dans l'eau	Götz <i>et al.</i> ,	2010	<ul style="list-style-type: none"> • Aucunes données de toxicité utilisée • Priorisation différentes catégories substances 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en place complexe
Priorisation substances pharmaceutiques vétérinaires (RANKVET)	Di Nica <i>et al.</i> ,	2015	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en avant des substances pharmaceutiques à usage vétérinaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Lacunes en données toxicité certaines substances → utilisation d'un score par défaut
NORMAN/CEP	<i>NORMAN Association</i>	2012	<ul style="list-style-type: none"> • 2 étapes : catégorisation et hiérarchisation • Utilisation de nombreux critères • Tout type de substance et de matrice 	<ul style="list-style-type: none"> • Lacunes en données écotoxicologiques

3 Matériel et méthode

La méthodologie de priorisation du CEP a été utilisée comme base de départ pour réaliser le travail de priorisation des substances à inclure dans des mesures de gestion telles que proposées dans le cadre du projet REGARD.

Cette méthodologie nationale (Dulio et Andres, 2012) a été simplifiée compte tenu du nombre limité des données à disposition dans le cadre de cette étude. Des critères de distribution spatiale du critère d'occurrence ou d'amplitude de dépassement de la PNEC ont été volontairement exclus compte tenu du nombre faible de sites et de réplicats.

L'exercice de priorisation des micropolluants mené dans le cadre de cette étude est basé sur 4 scores : i) l'occurrence, ii) le nombre d'échantillon dont la concentration dépasse 10, 100 et 1 000 ng/L pour les molécules organiques ou P25, moyenne et P90 pour les métaux, iii) le danger et iv) le risque. Les scores échelonnés de 0 à 1 permettent de donner un poids à chaque substance, et ainsi de classer les molécules et d'identifier celles qui présentent un risque et qui sont souvent retrouvées dans l'environnement aquatique.

4 types de priorisation ont été effectués :

- *Une priorisation « classique » sur 200 substances organiques dans le milieu (cours d'eau) ;*
- *Une priorisation spécifique aux métaux dans le milieu (cours d'eau) ;*
- *Une priorisation « beta-test » sur les détergents (rejets EU et EP, et cours d'eau) ;*
- *Une priorisation permettant d'identifier les polluants prioritaires en fonction des sources (EU domestiques, EU Hôpital, EU STEU, EP). Pour cette priorisation, le score « risque » n'a pas été calculé car il s'agit uniquement des eaux des rejets (EU et EP)*

Il est important de rappeler que la totalité de ces exercices de priorisation a été effectuée sur des données acquises sur la fraction dissoute des échantillons d'eau analysés.

3.1 Méthodologie

Au sein du groupe de travail du projet REGARD, il a été décidé d'appliquer la méthodologie de priorisation nationale en l'adaptant aux besoins de gestion propre à ce projet.

A ce jour, l'algorithme de priorisation pour la surveillance des milieux aquatiques prend en compte 3 scores : l'occurrence définie par la fréquence de quantification, le danger (défini par les propriétés CMR, PBT et PE des substances) et le risque (défini par le nombre d'échantillons dont la concentration dépasse la PNEC ou la NQE).

La méthodologie de priorisation adaptée ici s'appuie sur les 3 précédents scores complétés par un nouveau score. Un score « amplitude des concentrations » a été ajouté par rapport au modèle de priorisation du CEP classique validé au niveau national en 2013. Il s'agit d'un score que permet d'estimer le nombre d'échantillon dont la concentration mesurée est supérieure à 10, 100 ou 1 000 ng/L pour les molécules organiques et à P25, moyenne et P90 pour les métaux.

Les règles d'attribution du scoring pour chaque paramètre sont décrites ci-dessous (Figure 7).

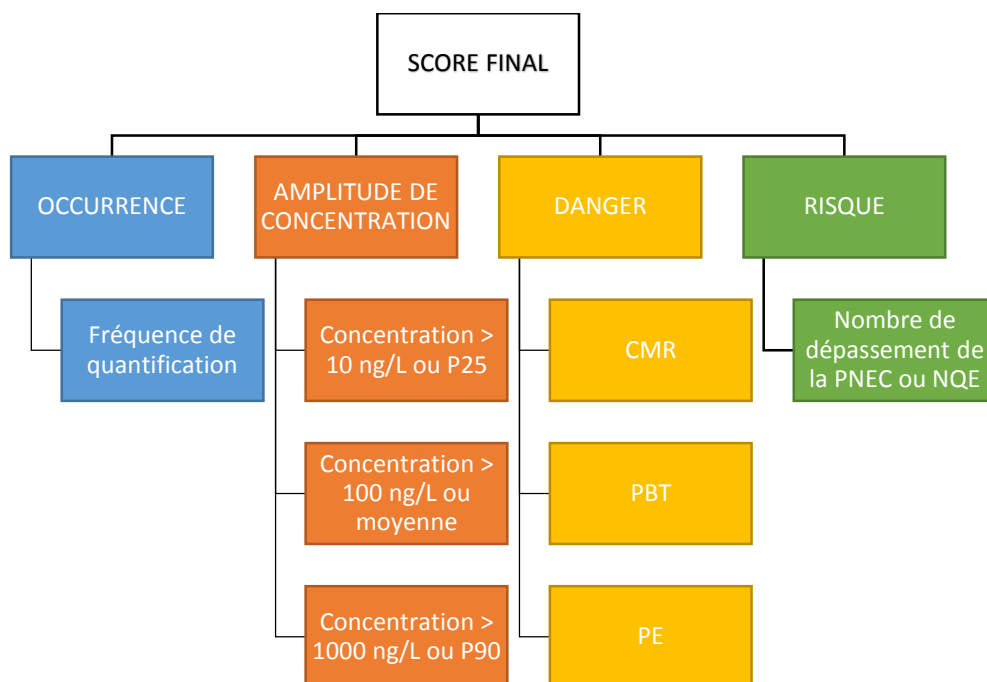


Figure 7: Les différents paramètres utilisés afin de prioriser les substances de la liste de REGARD

Le score final est calculé de la manière suivante :

$$\text{SCORE FINAL} = \text{score (occurrence)} + \text{score (amplitude de concentration)} + \text{score (danger)} + \text{score (risque)}$$

Équation 1: Calcul du score final de priorisation des substances de REGARD

3.2 Liste de départ

Dans tous les exercices de priorisation, la liste de départ doit être suffisamment large pour éviter « d'oublier » des substances potentiellement pertinentes au regard des objectifs de l'exercice de priorisation. Le référentiel en lui-même n'est pas contraignant dans la mesure où il est possible d'y entrer n'importe quelle substance, sous réserve que son identité chimique soit raisonnablement précisée. En pratique, seules les molécules individuelles, et non les familles de molécules, sont renseignées dans la liste de départ (les « mélanges commerciaux » devraient être exclus de la liste de départ).

3.2.1 Priorisation classique des substances organiques

L'exercice de priorisation a porté sur l'ensemble des substances organiques analysées dans REGARD, à l'exception de quelques molécules pharmaceutiques recherchées uniquement dans les eaux usées du CHU. La liste des substances à analyser avait été choisie en couplant deux types d'information : la liste des substances déjà suivies dans le milieu dans le cadre de la DCE et retrouvées dans les bassins (polluants de l'état chimique, état écologique, substances de la liste de vigilance européenne, substances pertinentes à surveiller ou SPAS⁶) et les substances pour lesquelles les laboratoires de recherche du consortium ont les capacités analytiques pour les doser. Le nombre de substances analysées par famille chimique est résumé dans le Tableau 7.

⁶ Substances pertinentes à surveiller, Arrêté du 7 août 2005

Tableau 7 : liste des familles ayant fait l'objet du travail de priorisation « milieu »

Famille	Nombre de substances par famille
AKP	7
BIOCIDE	1
BTEX	4
COV	8
<i>DETERGENTS</i>	<u>16</u>
HAP	14
OCP	14
PARABEN	8
PBDE	4
PCB	8
PESTICIDE	62
PHARMACEUTIQUE	46
PHTHALATES	1
PLASTIFIANTS	1
Filtres UV	6
Total général	200

3.2.2 Priorisation spécifique aux métaux

Les données utilisées pour la priorisation des métaux ont été produites par l'équipe TGM de l'UMR 5805 EPOC. Les mesures, effectuées sur des échantillons d'eau filtrée et prélevées en 2015 et 2016 (56 mesures) dans la Jalle de Blanquefort, concernent 17 polluants (liste dans le Tableau 8).

Cette priorisation a été adaptée à cette typologie de polluants. A la différence des substances organiques, il n'est pas possible pour les composés inorganiques d'établir un score danger (PBT, PE, etc.).

Tableau 8 : liste des substances ayant fait l'objet du travail de priorisation « métaux »

Substances	N° CAS
Argent (Ag)	7440-22-4
Arsenic (As)	7440-38-2
Barium (Ba)	7440-39-32
Cadmium (Cd)	7440-43-9
Cobalt (Co)	7440-48-4
Chrome (Cr)	7440-47-3
Cuivre (Cu)	7440-50-8
Molybdène (Mo)	7439-98-7
Nickel (Ni)	7440-02-0
Plomb (Pb)	7439-92-1
Antimoine (Sb)	7440-36-0
Etain (Sn)	7440-31-5
Strontium (Sr)	7440-24-6
Thorium (Th)	7440-29-1
Uranium (U)	7440-61-1
Vanadium (V)	7440-62-2
Zinc (Zn)	7440-66-6

3.2.3 Priorisation « beta-test » sur les détergents (rejets EU et EP, et cours d'eau)

Cette priorisation a porté sur une liste restreinte de substances appartenant à la famille des détergents. Les analyses ont été effectuées par le laboratoire ISA de Lyon sur des échantillons prélevés en 2015 et 2016 sur le territoire de Bordeaux Métropole. Les données pour la priorisation proviennent des EU domestiques, des EU CHU (maternité, CFXM et tripode), du milieu naturel par temps sec en amont et en aval du rejet d'une STEU, des eaux en entrée et sortie de la STEU et du Collecteur rocade. Les auteurs du rapport tiennent à souligner que cette priorisation n'est pas très robuste (30 données tous échantillons confondus) et vise uniquement à pré-identifier des substances à enjeu potentiel (pour lesquelles des mesures ciblées doivent être mises en œuvre). La liste de substances étudiées est présentée dans le Tableau 9. Cette priorisation a été réalisée afin d'avoir une première idée des polluants sur lesquels augmenter les efforts de suivi dans l'avenir.

Tableau 9 : liste des familles ayant fait l'objet du travail de priorisation « détergents »

Substances	N° CAS
BDDAC	139-07-1
BDTAC	139-08-2
benzotriazole	95-14-7
cetyl betaïn	693-33-4
comperlan 100	68140-00-1
incromine SD	7651-02-7
LAS C10	1322-98-1
LAS C11	27636-75-5
LAS C12	25155-30-0
LAS C13	26248-24-8
lauryl pyridinium	104-74-5
sodium 2-ethylhexyl sulfate	126-92-1
sodium dodecyl sulfate	151-21-3
stepanquat GA 90	157905-74-3
texapon N 701 S	9004-82-4
triton X100	9002-93-1

3.2.4 Priorisation des polluants par source (EU domestiques, EU Hôpital, EU STEU et EP).

Différents polluants organiques ont été mesurés dans les principales sources (eaux usées domestiques, eaux usées hospitalières, eaux usées STEU et eaux pluviales). Ces données sont issues des mesures effectuées dans le cadre du plan micropolluants Bordeaux Métropole (2013-2015) et aussi dans le cadre du projet REGARD 2015-2016.

Sur l'ensemble des substances recherchées, 48, communes aux 4 sources et recherchées dans tous les échantillons du projet REGARD (Tableau 10), ont été sélectionnées pour faire l'objet d'une priorisation au sein de chaque source et ainsi permettre une comparaison des résultats de ces priorisations entre sources.

Puis, une priorisation au sein de chaque source, sans objectif de comparaison, a été effectuée en considérant toutes les substances recherchées dans la source en question (Tableau 11).

Tableau 10 : liste des 48 molécules communes aux différentes sources, par famille

Famille	Substances par famille
HAP (11)	Anthracène, Benz(A)Anthracène, Benzo (A) Pyrène, Benzo(B+J+K)Fluoranthène, Benzo(G, H, I)Pérylène, Chrysène + Triphénylène, Fluoranthène, Naphtalène, Indéno(1, 2, 3-Cd)Pyrène, Phénanthrène, Pyrène
PESTICIDE (24)	Acétochlore ESA, Atrazine, Atrazine-2-Hydroxy, Carbendazime, Azoxystrobine, DCPMU, Diflufenican, Diuron, DMSA, Fipronil, Fipronil Desulfinyl, Fipronil Sulfide, Fipronil Sulfone, Hydroxysimazine, Imidaclopride, Métolachlore, Métolachlore ESA, Métolachlore OA, Propiconazole, Simazine, Terbutryn, Terbutylazine, Glyphosate, AMPA
PHARMACEUTIQUE (13)	Bisoprolol, Caféine, Carbamazépine, Cétirizine, Diclofénac, Gabapentine, Hydroxy-Ibuprofène, Ibuprofène, Sotalol, Kétoprofène, Oxazépam, Paracétamol, Acide Salicylique

Tableau 11 : listes des familles et du nombre de molécules par famille recherchées dans chaque source

classe	EU STEU	EU CHU	EU Domestiques	EP			TA
				Exutoires Pluviaux	Collecteur rocade	Zones Urbaines	
Médicaments	43	71	36	43	13	13	13
Pesticides	62	62	31	62	24	24	24
AkP	7	7	2	7	2	0	0
BTEX	4	4	4	4	0	0	0
COV	8	8	0	8	0	0	0
OCP	15	15	0	15	0	0	0
PCB	8	8	8	8	0	0	0
PBDE	4	4	0	4	0	0	0
HAP	11	11	15	11	15	15	15
Phtalates	1	1	1	1	0	0	0
Plastifiants	1	0	1	0	0	0	0
Filtres UV	6	0	6	0	0	0	0
Parabènes	8	0	8	0	0	0	0
PFAS	17	0	17	0	17	17	17
Biocides	2	2	2	0	0	0	0
Détergents	16	16	16	0	0	0	0

3.3 Calcul du score occurrence

Le score occurrence permet d'avoir une information sur la distribution spatiale du contaminant. Il correspond à la fréquence de quantification de la substance sur les différentes campagnes de prélèvement (total des échantillons). Il est calculé en faisant le rapport du nombre d'analyses quantifiées sur la somme des analyses quantifiées et non quantifiées. Ce paramètre dépend de la limite de quantification, et peut donc varier en fonction de la technique analytique choisie.

$$\text{SCORE OCCURRENCE} = \frac{\text{Nombre d'analyses quantifiées}}{(\text{Nombre d'analyses quantifiées} + \text{Nombre d'analyses non quantifiées})}$$

Équation 2: Description du score occurrence

3.4 Calcul du score amplitude de concentration

Certaines molécules peuvent être quantifiées peu de fois, mais à forte concentration ; et de la même manière une substance peut être mesurée très souvent dans l'environnement, mais à très faible dose. Afin de prendre en compte les deux types d'exposition, un 4^{ème} paramètre a été ajouté à la méthodologie de priorisation. Ce score prend en compte le nombre de fois où la concentration mesurée dépasse 10, 100 et 1 000 ng/L pour les molécules organiques ou la P25, la moyenne et la P90 pour les métaux. Pour chaque substance, le nombre d'échantillon où la concentration dépasse un des seuils est reporté. Ensuite un pourcentage est calculé en rapportant le nombre d'échantillons présentant une concentration supérieure aux seuils sur le nombre maximal d'échantillon ayant une concentration supérieure aux seuils pour une substance.

Score Conc > 10 ng/L = Nb. d'échantillon dont la concentration est supérieure à 10 ng/L / Subs avec nb mesures >10 ng/L max
 Score Conc > 100 ng/L = Nb. d'échantillon dont la concentration est supérieure à 100 ng/L / Subs avec nb mesures >10 ng/L max
 Score Conc > 1 000 ng/L = Nb. d'échantillon dont la concentration est supérieure à 1000 ng/L / Subs avec nb mesures >10 ng/L max

$$\text{SCORE AMPLITUDE DE CONCENTRATION} = [(\text{Score Conc.} > 10 \text{ ng/L}) + (\text{Score Conc.} > 100 \text{ ng/L}) + (\text{Score Conc.} > 1\,000 \text{ ng/L})] / 3$$

Équation 3: Calcul du score amplitude de concentration

Pour la priorisation des sources (qui concerne que les molécules organiques), ce score a été modifié du fait de fortes concentrations dans les rejets. Les seuils d'amplitude de concentration ont été augmentés à 100, 1000 et 10000 ng/L.

Pour ce qui concerne les métaux, compte tenu de leur origine en partie naturelle et des fortes différences en termes de concentration, une méthodologie particulière a été appliquée. A partir des données collectées par l'Agence de l'Eau au cours des années 2014 et 2015 et des données collectées par l'Université de Bordeaux (équipe TGM) dans la Garonne, des valeurs de percentile 25, des valeurs de moyennes et de percentile 90 ont été calculé (les LQ étant équivalente car les mesures sont effectuées par le même laboratoire). Les valeurs issues du projet REGARD ont été ensuite comparées à ces valeurs pour établir le nombre des dépassements.

- Chaque substance a donc une valeur définie de P25, moyenne et P90 ;
- Ensuite, il a été calculé, à partir des données acquises dans le cadre du projet REGARD, le nombre de dépassement de ces trois valeurs pour chaque substance ;
- Ces trois indicateurs de l'amplitude des concentrations ont été ensuite normalisés au nb total d'analyse : cela a permis d'avoir une valeur entre 0 et 1 ;
- La somme de trois indicateurs (P25, moyenne et P90) a été ensuite divisée par 3 ;
- Le score amplitude des concentrations a donc un poids égal aux autres scores (occurrence et risque, c'est-à-dire 1, pas de score danger pour les métaux).

3.5 Calcul du score danger

Le troisième score pris en compte dans le calcul du score final concerne les propriétés intrinsèques de la substance, c'est-à-dire les effets cancérigène, mutagène, reprotoxique, le potentiel perturbateur endocrinien et son comportement dans l'environnement avec l'analyse de la

persistance, bioaccumulation et toxicité. A chaque paramètre est attribué un score allant de 0 à 1, et le score danger final est la moyenne de tous les scores.

Ce score n'est calculable que pour les micropolluants organiques (y compris détergents) mais pas pour les métaux.

$$\text{SCORE DANGER} = [\text{score (CMR)} + \text{score (PE)} + \text{score (PBT)}] / 3$$

Équation 4: Calcul du score danger

3.5.1 Indicateur CMR

Certaines substances chimiques peuvent, à moyen ou long terme, provoquer l'apparition d'un cancer, induire des mutations au niveau de la molécule d'ADN ou être toxique pour la reproduction, c'est-à-dire altérer la fertilité de l'homme et/ou le développement de l'enfant à naître. Les effets cancérigène, mutagène et reprotoxique sont classés dans 6 catégories.

La classification du sous-score CMR est présentée dans Tableau 12.

Tableau 12 : Classification du sous-score CMR (score danger)

Catégorie 1	→ Effet avéré (basé sur une preuve humaine)	→ 1
Catégorie 2	→ Effet présumé (basé sur une preuve animale)	→ 0,75
Catégorie 3	→ Effet suspecté	→ 0,5
Non classable	→ Examiné mais données insuffisantes	→ 0,25
Non examiné	→ Non étudié	→ 0,25
Non CMR	→ Aucun effet	→ 0

Pour chaque molécule, les trois effets sont recherchés, c'est-à-dire si la molécule est cancérigène, mutagène et/ou reprotoxique. Le score CMR correspond à la valeur maximale des 3 effets.

La classification de la substance selon ses propriétés CMR (cancérogénicité, mutagénicité et reprotoxicité) est prise en compte telle que définie dans le règlement n°1272/2008 (règlement CLP) et / ou dans les rapports IARC (<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/PDFs/index.php>) sur les substances cancérigènes.

3.5.2 Indicateur PE

Le score PE va permettre d'étudier si la molécule est capable d'interférer avec le système endocrinien et induire ainsi des effets délétères sur l'organisme ou sur les descendants.

Dans le cadre des travaux nationaux du CEP, le score PE est déterminé à partir de plusieurs listes définies par des groupes d'experts. Ces sources sont les suivantes :

- Listes européennes :
 - COM(2001) 262 final ;
 - UE/SEC(2004)1372 ;
 - SEC(2007)1635.

- Liste "SIN (Substitute It Now!) database" <http://www.sinlist.org/>
- A compilation of published lists. MRC Institute for Environment and Health, Leicester, UK, IEH Web Report W20 <http://www.lec.ac.uk/ieh/>

Cet indicateur est intégré au score DANGER et constitue 1/3 de son poids. En dehors des expositions à forte dose (distilbène, accidents comme celui de Sévésco, ou expositions professionnelles), l'exposition aux PE existe à très faibles doses, ce qui rend l'estimation de l'exposition complexe. Dans la plupart des cas, les PNEC ne prennent pas en compte le caractère perturbateur endocrinien. Compte tenu de leur présence dans plusieurs compartiments de l'environnement (air, eau, sol) et de la nature chronique de l'exposition, c'est donc un effet à long terme qu'il faut tenter d'évaluer. Dans le cadre du schéma de priorisation, on a donc essayé d'intégrer cet effet (ne disposant pas de valeur seuils d'effet PE) dans le score DANGER, en considérant (pire cas) le caractère PE comme une propriété intrinsèque à la substance.

Ces listes ont donc permis de scorer les substances dans le cadre de la priorisation réalisée en 2013 pour identifier les substances pertinentes à surveiller réglementairement dans les bassins ou SPAS (arrêté surveillance du 7 août 2015) (INERIS 2013) et d'autre part dans le cadre de la priorisation NORMAN (2016) effectuée pour appuyer la commission pour la révision des SP (substances prioritaires). Le score était donc classé de la manière suivante (Tableau 13) :

Tableau 13 : Classification du sous-score PE (score danger)

Critères sélectionnés	Mesure des critères
<p>Effet perturbateur endocrinien</p> <p>Sources :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Listes européennes : <ul style="list-style-type: none"> - COM(2001) 262 final ; - UE/SEC(2004)1372 ; - SEC(2007)1635. • Liste "SIN (Substitute It Now!) database" http://www.sinlist.org/ • A compilation of published lists. MRC Institute for Environment and Health, Leicester, UK, IEH Web Report W20 http://www.lec.ac.uk/ieh/ • Autre littérature publiée 	<p>Score compris entre 0 et 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Effet de perturbateur endocrinien avéré : 1 - Effet de perturbateur endocrinien suspecté : 0,5 - Effet de perturbateur endocrinien non avéré ou substance non examinée : 0

Ces listes ont toutefois des nombreuses limites : elles ne sont pas exhaustives et elles ne sont pas mises à jour régulièrement ; cela implique donc un manque d'information ou des informations incomplètes pour des nombreux polluants émergents.

Pour pallier ce manque d'information, les partenaires du consortium REGARD ont demandé à l'INERIS d'améliorer ce score avec des données plus récentes et en prenant également en compte les résultats obtenus sur les tests cellulaires *in vitro* et *in vivo* réalisés par le laboratoire d'écotoxicologie de l'INERIS.

Un travail bibliographique a été réalisé afin de compléter ces données Ce travail a été effectué à partir des données disponibles dans L'Endocrine Disruptor Screening Program of century 21 (2016) de l'US-EPA. Ceci est un programme de screening de plusieurs molécules pour rechercher des effets perturbateurs endocriniens de nature androgénique, oestrogénique et thyroïdien.

Les données mises à disposition sont issues de tests effectués sur les 3 modèles cellulaires suivants : les MDA-kb2, exprimant les récepteurs aux androgènes et aux glucocorticoïdes, les cellules BG-1, présentant à leur surface des récepteurs aux œstrogènes et les cellules GH-3 pour les effets thyroïdiens. Ces cellules tumorales ont intégré de manière stable le gène de luciférase. Le gène est positionné en amont du promoteur, et sa protéine produite lors de la traduction, en présence de luciférine, induit une luminescence. La luminescence traduit une fixation agoniste d'une molécule sur le récepteur de la cellule.

Pour chacun des 3 modèles cellulaires, l'INERIS a donc collecté les données sur le potentiel agoniste ou antagoniste de la molécule testée.

Le résultat correspond à l'activité de la substance et est exprimé en AC50, c'est-à-dire soit la CE50, la dose de la molécule où 50 % de l'effet maximal est observé (pour les tests agonistes), soit la CI50, la dose de la molécule qui inhibe 50% de l'effet maximal (pour les tests antagonistes). Plus l'activité est faible, plus la molécule a un fort potentiel perturbateur endocrinien. Les molécules présentant une activité supérieure à 100 µM ne sont pas considérées comme PE. Un test de cytotoxicité est également effectué, en parallèle des essais. Dans de nombreux cas, la dose menant à une cytotoxicité est inférieure à l'AC50, ce qui peut entraîner une mauvaise interprétation de l'activité car le nombre de cellules sera réduit et la luminescence mesurée ne sera pas représentative de l'effet de la molécule. Il a été décidé d'accorder un score de 0,5 (PE suspecté) pour ces molécules.

En plus de ça, un travail bibliographique a été effectué. Le travail final et le score final a ensuite fait l'objet d'une expertise par un expert du domaine (Selim Ait Aissa, INERIS).

3.5.3 Indicateur PBT/vPvB

Le score PBT prend en compte 3 paramètres : la persistance P, basé sur l'étude du temps de demi-vie dans l'eau et les sédiments ; la bioaccumulation B, via le facteur de bioaccumulation BCF et la toxicité par l'analyse de la PNEC (Tableau 14).

Tableau 14 : Classification du sous-score PBT/vPvB (score danger)
Description des scores appliqués en fonction des différents paramètres P B et T
Le score final PBT correspond à la somme de scores individuels P, B et T ainsi que le score P+B+T, l'ensemble étant divisé par quatre.

Indicateurs	Valeurs seuils	Score
Persistance	VeryP : T1/2 (eau) > 60 jours OU T1/2 (sédiment) > 180 jours	1
	P : T1/2 (eau) > 40 jours OU T1/2 (sédiment) > 120 jours	1
	Suspect P : T1/2 (eau) > 20 jours OU T1/2 (sédiment) > 60 jours	0,5
	Pas de données	0,1
	Non persistant	0
Bioaccumulation	VeryB : BCF > 5000	1
	B : BCF > 2000	1
	Suspect B : BCF > 500	0,5
	Pas de données	0,1
	Pas de bioaccumulation	0
Toxicité	Toxique + : la plus petite PNEC << 0,01 µg/L	1
	Toxique : la plus petite PNEC < 0,1 µg/L	1
	Potentiellement toxique : la plus petite PNEC < 1 µg/L	0,5
	Présumé Non toxique : la plus petite PNEC < 10 µg/L	0,1
	Non soluble	0,1
	Pas de données	0,1
	Non toxique : la plus petite PNEC > 10 µg/L	0
P+B+T	Si score (P) = 1 ; score (B) = 1 et score (T) = 1	1
	Si au moins un score vaut 0	0

Le potentiel de la substance comme substance PBT et /ou vPvB (Substances persistantes, bioaccumulatives et toxiques ou Substances très persistantes et très bio-accumulatives) est pris en compte selon les critères définis dans l'annexe XIII du règlement REACH.

3.6 Calcul du score risque

Le score risque est basé sur le rapport entre les concentrations mesurées dans les eaux et les NQE ou les PNEC de chaque substance. La PNEC correspond à la plus forte concentration sans risque pour l'environnement. Elle est calculée à partir la CE50 ou la NOAEL d'organismes aquatiques à différents niveaux trophiques, divisé par un facteur d'incertitude défini en fonction de la pertinence de l'étude. Plus la PNEC est basse, plus la molécule présente un risque.

Sur l'ensemble des échantillons des différentes campagnes, le nombre de fois où la concentration d'une substance est supérieure à la PNEC ou la NQE associé à cette substance est quantifié, et le pourcentage de dépassement de la PNEC/NQE est calculé comme ci-dessous.

$$\text{SCORE RISQUE} = \text{Nombre d'échantillons dont la concentration dépasse la PNEC-NQE} / \text{nb échantillon}$$

Équation 5: Calcul du score risque

Cependant il est important de souligner que le score « Risque » ainsi obtenu ne fournit qu'une information indicative au niveau du risque associé. En effet les valeurs des PNECs utilisés pour cette étude sont des valeurs guide estimées.

Selon la méthodologie générale expliquée dans le référentiel de priorisation du CEP (Dulio & Andres, 2013), une valeur de « Lowest PNEC » a été déterminée pour chacune des substances candidates sur la base des meilleures données d'(éco)toxicité disponibles et dans une perspective de pire cas. Les effets sur la santé humaine, quand les données sont disponibles, sont ici pris en compte pour la définition des valeurs guide finales. A noter que, pour un nombre significatif de substances il

manque actuellement de données expérimentales d'écotoxicité et par conséquent des PNEC calculées via des modèles QSAR ont été utilisées.

Ce score n'a pas pu être calculé pour un certain nombre de substance.

Parmi les substances inorganiques, aucun score risque a pu être calculé pour le thorium (absence d'une valeur PNEC eau).

Parmi les substances organiques, le choix a été fait de retenir la norme de qualité environnementale ou NQE eau réglementaire si la substance fait déjà partie des listes PSEE (polluants spécifiques de l'état écologique) et PS (substances prioritaires de l'état chimique). Si la valeur de NQE eau n'était pas disponible, le choix a été fait d'utiliser les valeurs de PNEC utilisées par les experts de NORMAN dans le cadre de la priorisation 2016 pour proposer des nouvelles substances pour l'état chimique. A défaut d'information, l'INERIS a récupéré les données utilisées en interne pour établir la liste des SPAS.

Toutefois, sur la liste finale, la recherche bibliographique n'a pas permis d'établir des valeurs des PNEC eau pour les substances suivantes :

- disopyramide
- DMSA
- ODPABA
- DCPMU
- avobenzone
- DMST
- ritonavir
- nevirapine
- zidovudine
- benzyl paraben
- butyl paraben
- isopropyl paraben
- pentyl paraben
- 1(2,4 dichlorodiphenyl) uree

Ces substances ne présentent donc pas un score « risque ».

Parmi les détergents, aucun score « risque » n'a pu être calculé pour 14 substances (sur 16 recherchées). La valeur de PNEC était disponible uniquement pour 2 substances, le LAS C12 et le benzotriazole (expertise UBA/NORMAN< 2017).

4 Résultats

4.1 Résultats du travail de l'INERIS d'amélioration du score PE (utilisation des travaux « bioessais »)

Grace au travail de l'INERIS sur l'amélioration du score PE, 19 substances ont donc eu un score PERTURBATEUR ENDOCRINIEN amélioré grâce à ce premier travail d'expertise sur ces 3 *end points* (Tableau 15).

En plus de ça, un travail bibliographique a été effectué pour ne pas sous-estimer le problème et le nombre limité d'end points. Le travail final et le score final a ensuite fait l'objet d'une expertise par un expert du domaine (Selim Ait Aissa, INERIS). Cela a permis de reclasser en PE suspecté ou sans données 15 substances (Tableau 16).

Compte tenu du fait que l'expertise n'a pas fait l'objet d'un consensus au niveau national / européen (type groupe d'experts), même si des études montrent l'effet PE, l'INERIS a proposé au plus haut un classement de 0.5 (c'est-à-dire suspecté).

Tableau 15 : Résultats du travail bibliographique sur à partir des données issues du site <http://actor.epa.gov/edsp21/>

SCORE (<1 : 10; 1-5 : 8; 5-20 : 6; 20-50 : 4; 50-100 : 2; ≥100 = 0)			Effet androgénique				Effet estrogénique				Effet thyroïdien							
<i>Classe</i>	<i>Substances FR name</i>	<i>N° CAS</i>	Agoniste AR (AC50 μM)	Antagoniste AR (AC50 μM)	Cytotox	SCORE AR	Agoniste ER (AC50 μM)	Antagoniste ER (AC50 μM)	Cytotox	SCORE ER	Agoniste ThR (AC50 μM)	Antagoniste ThR (AC50 μM)	Cytotox	SCORE ThR	Moyenne des scores AR ER ThR	SCORE PE FINAL NOUVEAU ()	Ancien score PE	NOUVEAU SCORE PE
pesticides	azoxystrobine	131860-33-8	inactive	8,3093	1,75	6	inactive	17,2405	1,75	6	inactive	0,8323	1,75	10	7,3333	8	0,25	0,5
pesticides	famoxadone	131807-57-3	inactive	5,3516	3,35	6	inactive	18,4406	3,35	6	inactive	4,3951	3,35	8	6,6667	8	0	0,5
pesticides	trifloxystrobine	141517-21-7	inactive	2,4999	0,72	8	inactive	5,2878	0,72	6	inactive	0,6125	0,72	10	8,0000	8	0	0,5
pesticides	fipronil	120068-37-3	inactive	20,7885	3,83	4	inactive	19,9964	3,83	6	inactive	20,6113	3,83	4	4,6667	6	0,25	0,5
pesticides	difénoconazole A B	119446-68-3	inactive	12,7206	3,63	6	inactive	13,3617	3,63	6	inactive	24,7184	3,63	4	5,3333	6	0	0,5
pesticides	bifenthrine	82657-04-3	inactive	inactive		0	inactive	67,196	1,68	2	inactive	17,1911	1,68	6	2,6667	4	0,25	0,5
médicaments	fluorouracile	51-21-8	inactive	inactive		0	inactive	inactive		0	inactive	3,0781	1,38	8	2,6667	4	0	0,5
pesticides	terbuthylazine	5915-41-3	inactive	inactive		0	3,3105	inactive	1,96	8	inactive	inactive		0	2,6667	4	0	0,5
pesticides	terbuthylazine-déséthyl	30125-63-4	inactive	inactive		0	3,3105	inactive	1,96	8	inactive	inactive		0	2,6667	4	0	0,5
pesticides	tétraconazole	112281-77-3	inactive	33,9936	3,04	4	inactive	67,2998	3,04	2	inactive	77,1743	3,04	2	2,6667	4	0	0,5
pesticides	tebuconazole	107534-96-3	inactive	inactive		0	inactive	inactive		0	inactive	75,105	9,05	2	0,6667	2	0,25	0,5
pesticides	atrazine-déisopropyl (DIA)	1007-28-9	inactive	inactive		0	inactive	inactive		0	62,963	inactive	161,93	4	1,3333	2	0	0,5
médicaments	diclofénac	15307-86-5	inactive	inactive		0	inactive	inactive		0	inactive	74,1314	3,19	2	0,6667	2	0	0,5
PFAS	FOSA	754-91-6	inactive	inactive		0	inactive	63,9354	5,33	2	inactive	44,4331	5,33	4	2,0000	2	0	0,5
Détergents	LAS C12	25155-30-0	inactive	inactive		0	inactive	inactive		0	inactive	45,3277	6,47	4	1,3333	2	0	0,5
médicaments	méthadone chlorhydrate	947-19-3	inactive	inactive		0	inactive	inactive		0	inactive	40,0566	3,25	4	1,3333	2	0	0,5
médicaments	ranitidine	66357-35-5	inactive	inactive		0	64,2892	inactive	161,93	2	inactive	inactive		0	0,6667	2	0	0,5
médicaments	simvastatine	79902-63-9	inactive	inactive		0	inactive	inactive		0	inactive	63,7882	2,87	2	0,6667	2	0	0,5
BTEX	Xylènes	1330-20-7	no tested	no tested		nd	inactive	active (very weak)		2	no tested	no tested		nd	0,6667	2	0	0,5

Tableau 16 : Résultats du travail bibliographique sur à partir des données issues du site <http://actor.epa.gov/edsp21/>

Famille	Substance	CAS Number	PE indicateur classique CEP	PE Révu par INERIS équipe bioessais	Bibliographie	Expertise ECOT (INERIS)
PHARMACEUTIQUE	acide fenofibrique	42017-89-0	0	0,5		Ligand PXR
PESTICIDE	atrazine 2 hydroxy	2163-68-0	0	0,25		Atrazine Modulateur aromatasase
HAP	Benzo (b+j+k) Fluoranthène	205-82-3	0,25	0,5	BbF: etude de la progéniture de souris gestantes exposé à de faibles doses de BbF: dérèglement de la qualité du sperme + dérèglement de l'axe AhR et ER alpha	
PHARMACEUTIQUE	bezafibrate	41859-67-0	0	0,5		Positive PXR Creusot 2010, PPAR confirmed
PESTICIDE	diuron	330-54-1	0	0,5	antagonized androgen receptors and altered the synthesis, secretion, and/or metabolism of testosterone	Anti Androgenique in vitro Ait Aissa 2010
PESTICIDE	imidaclopride	138261-41-3	0	0,5		Chemosphere, Pandey 2015 p227 - perturbation axe tyroïdien
PESTICIDE	metolachlor	51218-45-2	0	0,5		Ligand PXR Lemaire 2006
AKP	NP1OE	104-35-8	0	0,5	ER-calux assays : EFF=ratio entre EC50 (17beta estradiol) et EC50 (NP1EO) = 3,8.10-6	Confirmed
PCB	PCB 101	37680-73-2	0,25	0,5	bio essai sur levure - glucocorticoïde : GR antagoniste très puissant	PXR actif Creusot
PCB	PCB 118	31508-00-6	0,25	0,5	PCBs appear able to interfere with the production, transportation, and metabolism of thyroid hormones // Test sur Fischer rat thyroid cell line-5: montre mécanims des PCB pour perturber la thyroïde	PXR - Creusot et al. 2015 Steroidogène - Tremoen et al.2014
PCB	PCB 138	35065-28-2	0,25	0,5	PCBs appear able to interfere with the production, transportation, and metabolism of thyroid hormones	Activ PXR Creusot et al.2010
PCB	PCB 153	35065-27-1	0,25	0,5	PCBs appear able to interfere with the production, transportation, and metabolism of thyroid hormones // Pertubation de l'axe hypothalamo hypophysaire donc diminution de la sécrétion de TSH	Activ PXR Creusot et al.2010
PCB	PCB 180	35065-29-3	0,25	0,5	PCBs appear able to interfere with the production, transportation, and metabolism of thyroid hormones	Ligand PXR
PCB	PCB 52	35693-99-3	0	0,5	PCBs appear able to interfere with the production, transportation, and metabolism of thyroid hormones // Test sur Fischer rat thyroid cell line-5: montre mécanims des PCB pour perturber la thyroïde	Inactiv sur PXR - Creusot ; moderately active Felton et al 2015 endocrinology
PHARMACEUTIQUE	sotalol	3930-20-9	0	0,25	besoin de plus de tests pour démontrer que beta-bloqueurs sont PE	

4.2 Substances non-prioritaires

L'analyse des premiers résultats des analyses et en particulier le résultat du scoring de l'indicateur occurrence permettent déjà d'établir une liste de substances non-pertinentes pour des éventuelles mesures de gestion sur le territoire de Bordeaux Métropole.

Au total, on constate que 58 substances n'ont jamais été quantifiées dans le milieu. Il s'agit de différents composés appartenant à 6 grandes familles (avec essentiellement des pesticides). La liste des substances est présentée dans le -dessous (Tableau 17).

Tableau 17 : liste des substances jamais quantifiées dans le projet REGARD ou dans le plan micropolluants Bordeaux Métropole (les substances présentent un danger intrinsèque et ont été scoré de la valeur la plus forte à la valeur la plus faible).

Famille	Substance	Score Danger	Substances avec moins de données (analysées que dans REGARD)
OCP	Chlordécone	0,92	
OCP	DDD 44'	0,75	
OCP	DDT 2 4'	0,75	
UV SCREEN	4MBC	0,75	OUI
PESTICIDE	permethrine	0,71	
OCP	Aldrine	0,67	
PESTICIDE	trifluraline	0,67	
PESTICIDE	lambda-cyhalothrine	0,63	
PESTICIDE	ométhoate	0,63	
COV	Tétrachlorure de carbone	0,58	
HAP	Indéno (1, 2, 3-cd) Pyrène	0,58	
PBDE	BDE 47	0,58	
BIOCIDE	triclosan	0,54	OUI
OCP	Mirex	0,50	
PESTICIDE	tau-fluvalinate	0,50	
PESTICIDE	alachlore	0,46	
PESTICIDE	bifenthrine	0,46	
PESTICIDE	simazine	0,46	
OCP	Isodrine	0,42	
PBDE	BDE 100	0,42	
PBDE	BDE 153	0,42	
PESTICIDE	chlorotoluron	0,42	
PESTICIDE	terbutylazine desethyl	0,42	
PARABEN	isobutyl paraben	0,38	OUI
PESTICIDE	difenoconazole A B	0,38	
PHARMACEUTIQUE	amitriptyline	0,38	
PHARMACEUTIQUE	zidovudine	0,35	
COV	1, 2 dichloroéthane	0,34	
PESTICIDE	cypermethrine	0,33	

Famille	Substance	Score Danger	Substances avec moins de données (analysées que dans REGARD)
PESTICIDE	dichlorvos	0,33	
PESTICIDE	endosulfan	0,33	
PHARMACEUTIQUE	levetiracetam	0,33	
PHARMACEUTIQUE	nordiazepam	0,33	
PESTICIDE	chlorpyrifos-ethyl	0,30	
PESTICIDE	isoproturon	0,30	
PESTICIDE	acrinathrine	0,29	
PESTICIDE	fenbuconazole	0,29	
PESTICIDE	trifloxystrobine	0,29	
PHARMACEUTIQUE	ranitidine	0,29	
PARABEN	benzyl paraben	0,27	OUI
PARABEN	butyl paraben	0,26	OUI
PESTICIDE	tetraconazole	0,26	
COV	Dichlorométhane	0,25	
PESTICIDE	esfenvalerate + fenvalerate	0,25	
PESTICIDE	flutriafol	0,25	
PESTICIDE	1(3,4 dichlorodiphenyl) uree	0,23	
COV	Hexachlorobutadiène	0,21	
PESTICIDE	spiroxamine	0,21	
PARABEN	isopropyl paraben	0,19	OUI
PARABEN	pentyl paraben	0,19	OUI
PESTICIDE	1(2,4 dichlorodiphenyl) uree	0,19	
PBDE	BDE 99	0,18	
PESTICIDE	cyfluthrine	0,18	
PESTICIDE	epoxiconazole	0,17	
PESTICIDE	flazasulfuron	0,17	
PESTICIDE	fluquinconazole	0,17	
PESTICIDE	chlorfenvinphos	0,09	
PHARMACEUTIQUE	aspirine	0,08	

4.3 Substances pertinentes dans les milieux

Les résultats de cette priorisation sont présentés en figure 2 ci-dessous pour le « top 20 » des substances identifiées comme pertinentes dans les milieux.

Dans le score final, le score occurrence est dans la plupart des cas le plus haut. Il permet de donner un poids aux molécules retrouvées dans l'environnement, en fonction de leur fréquence de quantification. Ces données sont issues des 6 campagnes d'échantillonnage, réalisé sur 161 substances. Pour chaque molécule est quantifié le nombre de fois où elle a été mesurée dans le milieu. Le score occurrence correspond à la fréquence de quantification, rapporté à 1.

Si on regarde plus en détail la répartition des scores pour le « top 20 », on constate que 6 substances parmi celles du top 20 présentent un risque de dépassement des PNEC (score Risque) : l'atrazine 2 hydroxy, le diclofenac, le nonylphenols, le fipronil, le DDD 2 4' et le NP1EO.

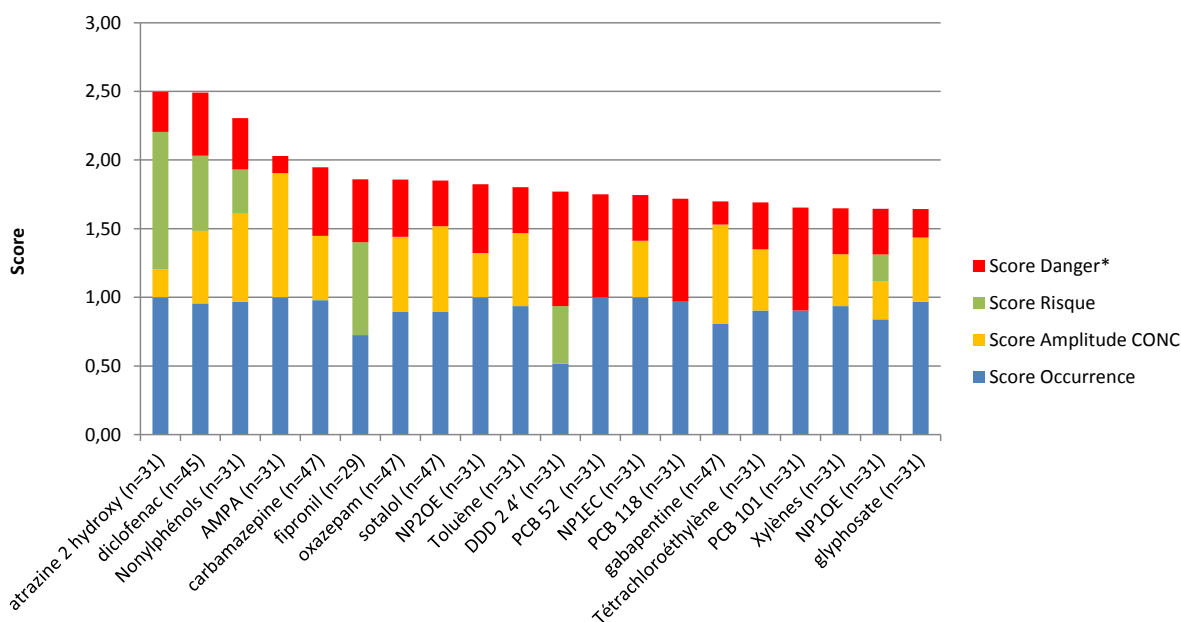


Figure 8 : Répartition des scores parmi les « top 20 » substances priorisées

Pour les autres, le score est principalement « guidé » par le score occurrence et par le score danger.

Parmi le top 20, le score amplitude des concentrations occupe une place importante pour un métabolite de pesticide (l'AMPA, aussi produit de dégradation des phosphonates) et 3 médicaments (la gabapentine, l'oxazepam et le sotalol). En dehors de ces substances, une place importante est recouverte par le toluène.

Initialement, le BPA et l'EHMC apparaissaient dans ce top 20 car ils avaient un score final supérieur à 1,5 mais ils en ont été volontairement exclus car le nombre d'analyses était trop faible par rapport aux autres substances (8 analyses contre ~30).

De plus, parmi les substances priorisées, seule la méthode d'analyse de l'EHMC est considérée comme moyennement robuste. Le résultat pour cette substance n'est donc pas suffisamment robuste pour la suggérer comme substances à inclure parmi celles pour lesquelles des mesures de gestion doivent être menées au sein du projet REGARD.

Le DEHP, qui figurait aussi dans le classement des top 20, a été exclu compte tenu des problèmes possibles de contamination des échantillons*.

**Dans ce type d'exercice et compte tenu du caractère relativement émergent des substances recherchées, l'impact de certaines pratiques, liées à l'échantillonnage notamment, n'est pas encore suffisamment connu et des risques de contamination lors de ces opérations existent. Les risques de contamination à l'échantillonnage les plus sensibles identifiés à l'heure actuelle concernent les phtalates (DEHP), le bisphénol A et la caféine [10]. Il sera donc important dans l'avenir, d'accroître la réalisation, dans la mesure du possible, de contrôles qualité réguliers destinés à montrer la fiabilité des résultats sur des substances particulièrement délicates d'un point de vue des opérations d'échantillonnage et d'analyse.*

Tableau 18 : TOP 50 des substances priorisées dans le milieu naturel

Famille	Substance	Robustesse analytique → si robuste, score OK	Substances avec moins de données (analysées que dans REGARD)
PESTICIDE	atrazine 2 hydroxy	robuste	
PHARMACEUTIQUE	diclofenac	robuste	
AKP	Nonylphénols	robuste	
PLASTIFIANTS	BPA	robuste	OUI
PESTICIDE	AMPA	robuste	
PHARMACEUTIQUE	carbamazepine	robuste	
UV SCREEN	EHMC	Moyennement robuste	OUI
PESTICIDE	fipronil	robuste	
PHARMACEUTIQUE	oxazepam	robuste	
PHARMACEUTIQUE	sotalol	robuste	
AKP	NP2OE	robuste	
BTEX	Toluène	robuste	
PHTHALATES	DEHP	robuste	
OCP	DDD 2 4' (+CB 154)	robuste	
PCB	PCB 52	robuste	
AKP	NP1EC	robuste	
PCB	PCB 118	robuste	
PHARMACEUTIQUE	gabapentine	robuste	
COV	Tétrachloroéthylène	robuste	
PCB	PCB 101	robuste	
BTEX	Xylènes	robuste	
AKP	NP1OE	robuste	
PESTICIDE	glyphosate	robuste	
HAP	Fluoranthène	robuste	
DETERGENTS	LAS C12	robuste	OUI
PCB	PCB 153	robuste	
BTEX	Ethylbenzène	robuste	
PCB	PCB 138	robuste	
PHARMACEUTIQUE	acide fenofibrique	robuste	
PHARMACEUTIQUE	bezafibrate	robuste	
HAP	Phénanthrène	robuste	
PHARMACEUTIQUE	cyclophosphamide	robuste	OUI
PESTICIDE	diuron	robuste	
COV	Trichloroéthylène	robuste	
PHARMACEUTIQUE	acide clofibrique	robuste	
PESTICIDE	terbutryn	robuste	
PESTICIDE	metolachlor OA	robuste	
PHARMACEUTIQUE	meprobamate	robuste	
PHARMACEUTIQUE	naproxene	robuste	
PHARMACEUTIQUE	hydroxy ibuprofene	robuste	

Famille	Substance	Robustesse analytique → si robuste, score OK	Substances avec moins de données (analysées que dans REGARD)
HAP	Pyrène	robuste	
PHARMACEUTIQUE	acebutolol	robuste	
PHARMACEUTIQUE	cafeine	robuste	
PESTICIDE	metolachlor ESA	robuste	
PESTICIDE	imidaclopride	robuste	
PHARMACEUTIQUE	disopyramide	robuste	
PHARMACEUTIQUE	acide salicylique	robuste	
PHARMACEUTIQUE	cetirizine	robuste	
PHARMACEUTIQUE	atenolol	robuste	
PHARMACEUTIQUE	propranolol	Robuste	

4.4 Substance à surveiller dans l'avenir

Ces substances ne ressortent pas parmi les substances prioritaires car leur score final a été biaisé par le manque d'information sur la PNEC (robuste) et par conséquent le score risque n'a pas pu être calculé. Il est à signaler également une lacune importante pour le score danger (manque d'information). Il s'agit de six substances : 3 médicaments (nevirapine, ritonavir et disopyramide) et 3 métabolites de pesticides DSMT, DCPMU, DMSA) (Tableau 19).

Tableau 19 : Substance sans valeurs de PNEC robuste en 2016

Famille	Substance	CAS Number	LQ (ng/L)	Nb analyses non quantifiées	Nb quantifiées
PHARMACEUTIQUE	nevirapine	129618-40-2	3	25	6
PHARMACEUTIQUE	ritonavir	155213-67-5	3	24	7
PESTICIDE	DMST	66840-71-9	1	21	10
PESTICIDE	DCPMU	3567-62-2	2	16	15
PESTICIDE	DMSA	4710-17-2	1	3	28
PHARMACEUTIQUE	disopyramide	3737-09-5	3	2	29

L'INERIS, dans le cadre du processus de priorisation des substances émergentes à rechercher dans les milieux, prévu pour 2017 (travaux nationaux), sera amené à mettre à jour des valeurs de PNEC et des informations concernant le danger des substances. Il serait judicieux de pouvoir recalculer le score de ces six substances lorsque des nouvelles valeurs seront disponibles.

4.5 Priorisation « générale » pour les détergents

Les détergents correspondent à des mélanges de plusieurs agents tensio-actifs combinés à des substances organiques ou inorganiques destinées à augmenter les performances de lavage. Ces molécules comportent un groupement polaire hydrophile capable d'assurer la solubilisation des tensio-actifs dans l'eau et un radical constitué d'une chaîne carbonée de caractère lipophile, c'est-à-dire hydrophobe. Ces structures particulières permettent de modifier certaines propriétés physiques au niveau des contacts solides-liquides en abaissant les tensions superficielles. De ce

fait, elles remettent en suspension les particules solides adsorbées par les fibres des tissus, émulsionnent les graisses et forment des mousses. Elles sont donc des substances à fort enjeu et pour lesquelles des travaux de priorisation sont également en cours au niveau de la surveillance des milieux DCE.

Le résultat de cette priorisation est présenté en Figure 9.

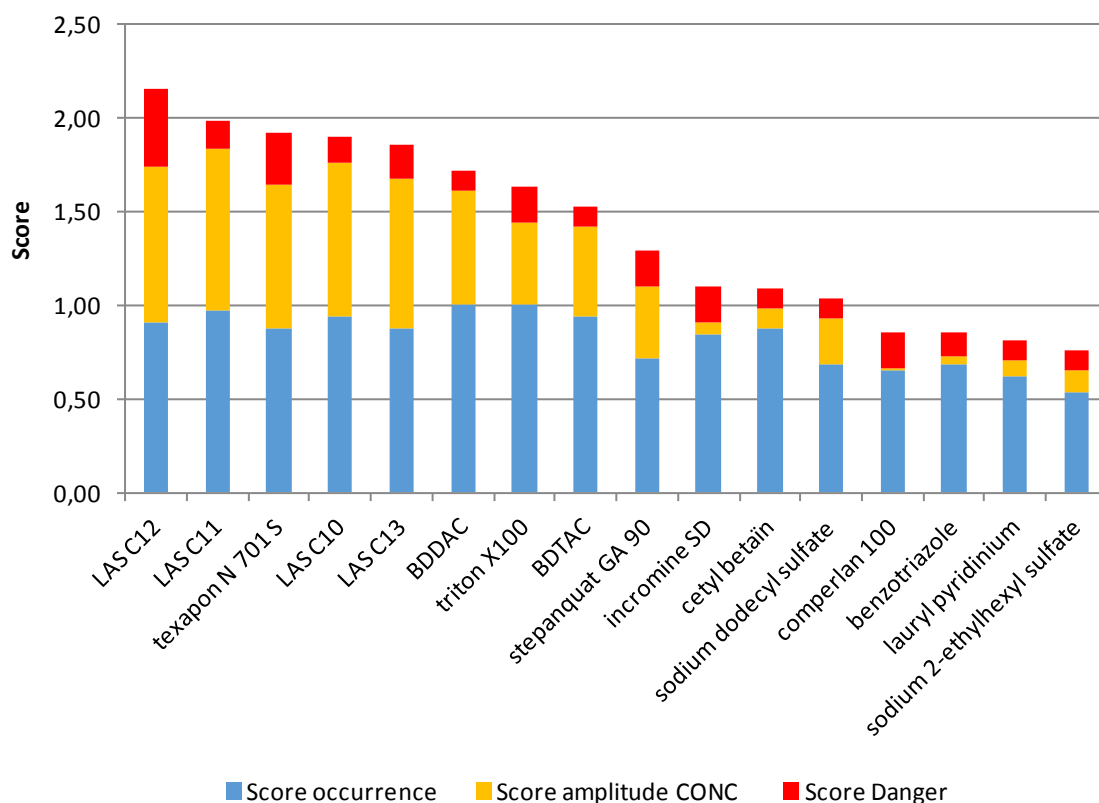


Figure 9 : Scoring des substances "détergents"

Les alkylbenzènesulfonates linéaires (LAS) sont les tensio-actifs les plus utilisés et ceci en raison de leurs bonnes performances techniques et leur coût de fabrication relativement faible. Ils sont tout particulièrement employés dans les lessives ainsi que dans les produits pour vaisselle. Les LAS sont des composés comprenant une chaîne alkyle linéaire sur laquelle est branchée un cycle benzénique possédant un groupement SO₃. Les LAS sont des composés largement utilisés et sont donc susceptibles d'être diffusés en grande quantité dans les milieux aquatiques où ils peuvent avoir des effets nuisibles sur les organismes vivants. Toutefois, compte tenu du manque de valeurs de PNEC, le score « risque » n'a pas été prise en compte. La forte toxicité de ces substances pourrait toutefois encore augmenter le score de ces substances.

Même si toutes les substances ont un score occurrence assez important (> 0.50), seulement deux substances sont quantifiées partout et ont un score de 1 : il s'agit du BDDAC (Benzyldimethyldodecylammonium chloride) et du triton X100.

Compte tenu des résultats de la priorisation et des critères de danger, les deux substances le plus préoccupantes semblent être LAS C12 et texapon N 701 S, car non seulement elles sont très présentes et à des fortes concentrations, mais elles sont les seules deux substances à être identifiées perturbateurs endocriniens suspectés.

En conclusion, le jeu de données disponible ne semble pas suffisant pour pouvoir conclure sur la pertinence de suivre ces substances. De plus, le manque de valeurs d'« écotoxicologie » pour la majorité des substances ne permet pas de conclure quant à leur toxicité.

En revanche, ces résultats semblent indiquer qu'il serait pertinent de poursuivre les recherches sur les LAS, sur le BDDAC (Benzyldimethyldodecylammonium chloride), sur le triton X100 et le texapon N 701.

4.6 Priorisation des substances par source

La priorisation par source a été effectuée sur 4 types de matrices/sources : EU domestiques, EU du CHU, EU STEU (en entrée et en sortie) et eaux pluviales⁷ (EP). Un résumé des principaux résultats est présenté dans les paragraphes suivants.

4.6.1 Comparaison inter-sources des priorisations

Le Tableau 20 permet de comparer le TOP 10 des priorisations pour chacune de ces sources parmi les 48 substances communes et listées en 3.2.4.

Le top 10 des substances dans les EU en entrée de STEU et en sortie de CHU sont similaires. Le top 10 des substances dans les EU domestiques l'est également à l'exception de 2 substances. Les eaux pluviales présentent des profils de substances différents avec la présence de pesticides (diuron, glyphosate, terbutryne, carbendazime) et de HAP (fluorathène, phénanthrène). Certaines substances, comme le glyphosate, l'AMPA ou le fluoranthène, sont communes avec les EU en sortie de STEU.

Certaines substances comme le diuron, la terbutryne et la carbendazime sont caractéristiques des EP car elles sont utilisées pour leurs propriétés biocides dans des produits tels que des peintures de façade qui peuvent être lessivés par les eaux de pluie.

Enfin, on observe 2 substances dans le TOP 10 communes à l'ensemble des sources (hors EU en sortie STEU) : la caféine et le paracétamol.

- **Caféine** : cette substance est omniprésente dans le TOP score des différentes sources grâce aux forts scores occurrence et amplitude de concentrations. Pour se dégrader dans l'environnement, la caféine prend de quelques semaines à deux ou trois mois et sa consommation est très répandue. La présence de caféine est également un indicateur certain de contamination des collecteurs par l'humain, puisque les activités agricoles et industrielles n'ont pas tendance à libérer de caféine dans l'environnement. Par ailleurs, des chercheurs du Département de chimie de l'Université de Montréal ont découvert que les traces de caféine sont un indicateur utile de la contamination de cours d'eau par les égouts. Leur équipe de terrain a également noté que les données indiquent que les égouts domestiques contaminent les collecteurs pluviaux de façon importante (présence de by pass) ;
- **Paracétamol** : il se positionne aussi assez haut dans le classement des 4 sources (EU entrée STEU, EU CHU, EU domestiques et EP). Le paracétamol est l'analgésique le plus vendu en France. Il n'est donc pas surprenant de le voir apparaître en tête du classement pour ce qui concerne la famille des médicaments. En ce qui concerne les données en sortie

⁷ Les eaux pluviales considérées ici sont les EP des exutoires pluviaux, les EP du collecteur Rocade Nord, les EP des zones urbaines et les EP des techniques alternatives.

de STEU, l'occurrence est relativement plus faible. Le devenir des molécules médicamenteuses dans les STEU dépend à la fois de leurs propriétés physico-chimiques mais aussi des techniques d'épuration utilisées dans les stations. Certains procédés (boues activées par exemple) permettent d'éliminer totalement certaines molécules telles que le paracétamol.

Comme le paracétamol, le produit de dégradation de l'ibuprofène (anti-inflammatoire qui soulage la douleur et la fièvre également disponible en accès libre en pharmacie), l'hydroxy-ibuprofène, sort très haut dans les trois sources eaux usées (EU CHU, EU entrée STEU et EU domestiques). En revanche, il est très peu retrouvé dans les eaux pluviales (Tableau 20).

Le DEHP et la théophylline n'ont pas été recherchés dans tous les échantillons d'eaux pluviales. Néanmoins ils ont été cherchés et retrouvés dans les EP des exutoires pluviaux et dans tous les échantillons d'EU. Si ces molécules avaient été prises en compte, les critères d'occurrence et d'amplitude de dépassement les auraient probablement faites apparaître dans ces TOP10. On peut donc les considérer comme des molécules communes à l'ensemble des sources.

Théophylline : cette substance est omniprésente dans les 4 types de sources et se positionne comme la substance la plus pertinente derrière la caféine dans les échantillons « entrée STEU » et dans les rejets hospitaliers et domestiques. Elle est aussi bien scorée dans les eaux pluviales. Elle est donc un excellent traceur d'impact anthropique mais elle ne permet pas d'identifier une source spécifique. La théophylline est un alcaloïde du type méthylxanthine. Il s'agit de la 1,3-diméthyl xanthine. C'est, avec d'autres alcaloïdes comme la caféine ou la théobromine, l'une des principales substances actives des feuilles de thé, d'où elle tire son nom. Elle est également présente entre autres dans le café, le chocolat, le maté et la guarana. Elle agit comme diurétique, comme psychostimulant, comme bronchodilatateur et comme agent lipolytique. Compte tenu de ce large spectre d'utilisation, ce n'est donc pas surprenant de voir son caractère ubiquiste ;

- **DEHP** : cette substance a été quantifiée à un fort taux de quantification et à des fortes concentrations. Contrairement aux composés listés ci-dessus, le positionnement de la substance en tête de liste est dû en particulier à un fort score danger. Il s'agit par ailleurs d'une substance prioritaire (Etat chimique DCE). Des risques de contamination des échantillons lors des étapes d'échantillonnage notamment peuvent exister si le matériel n'est pas adapté (cf chapitre 4.3).

Les résultats de la priorisation globale sur l'ensemble des substances recherchées par source sont présentés dans les sections 4.6.1 à 4.6.3.

Tableau 20 : TOP 10 substances pour chaque source (OCCURRENCE + DANGER + AMPLITUDE CONC ; pas de score risque) : Uniquement pour les 48 composés sélectionnés pour la comparaison

Subst	Score final EU STEU (entrée)
caféine	2,21
paracétamol	2,13
diclofénac	2,13
hydroxy ibuprofène	2,13
acide salicylique	2,10
ibuprofène	2,01
oxazépam	1,98
gabapentine	1,97
kétoprofène	1,96
carbamazépine	1,93

Subst	Score final EU STEU (sortie)*
gabapentine	2,17
oxazépam	2,05
carbamazépine	1,93
sotalol	1,92
diclofénac	1,86
AMPA	1,66
Fluoranthène	1,63
terbutryne	1,58
glyphosate	1,54
carbendazime	1,54

Subst	Score final EU domestiques
hydroxy ibuprofène	2,17
caféine	2,10
paracétamol	2,11
acide salicylique	2,03
kétoprofène	1,90
oxazépam	1,86
ibuprofène	1,80
diclofénac	1,69
cétirizine	1,48
sotalol	1,66

Subst	Score final EU CHU
caféine	2,20
paracétamol	2,13
hydroxy ibuprofène	2,07
acide salicylique	2,06
ibuprofène	1,96
kétoprofène	1,93
carbamazépine	1,77
oxazépam	1,72
diclofénac	1,71
gabapentine	1,68

Subst	Score final EP
caféine	2,18
glyphosate	2,11
AMPA	2,04
paracétamol	1,86
carbendazime	1,73
Fluoranthène	1,72
diuron	1,69
Phénanthrène	1,69
Chrysène +triphénylène	1,68
terbutryne	1,67

* Les eaux de sortie STEU sont présentées dans le tableau mais ne sont pas directement comparables aux autres sources

Légende :

Substances présentes en sortie de STEU et dans les eaux pluviales
Substance spécifique à une source
Substance commune aux 4 sources
Substances pharmaceutiques communes aux EU entrée de STEU, EU CHU et EU domestiques

4.6.2 Les STEU

Pour la priorisation des substances mesurées dans la station d'épuration les données en entrée et en sortie ont été considérées séparément. Les données d'entrée donnent une information sur la composition de l'ensemble des eaux usées brutes avant traitement tandis que la connaissance des eaux usées traitées permet de pouvoir évaluer un impact sur le milieu naturel. Si l'objectif de la priorisation est d'identifier les polluants présents dans les eaux usées en tant que source alors c'est principalement l'entrée qui nous intéresse, l'efficacité du traitement introduisant un biais. En revanche, si on s'intéresse à l'impact potentiel sur le milieu naturel, on regardera les eaux de sortie.

En ce qui concerne les eaux brutes en entrée de STEU, on constate que dans le top 20 toutes les substances ont un score occurrence égal à 1 (Figure 10). Pour la majorité de substances, le score final est sous-tendu par l'« amplitude des concentrations ». Il s'agit principalement de composés pharmaceutiques avec la caféine, la théophylline, le paracétamol et le diclofénac en top 4 du classement.

A l'inverse, le DEHP et le BPA, pour lesquels les risques de contamination des échantillons lors du prélèvement ont été décrits précédemment (paragraphe 4.3), sont tirés par le score danger.

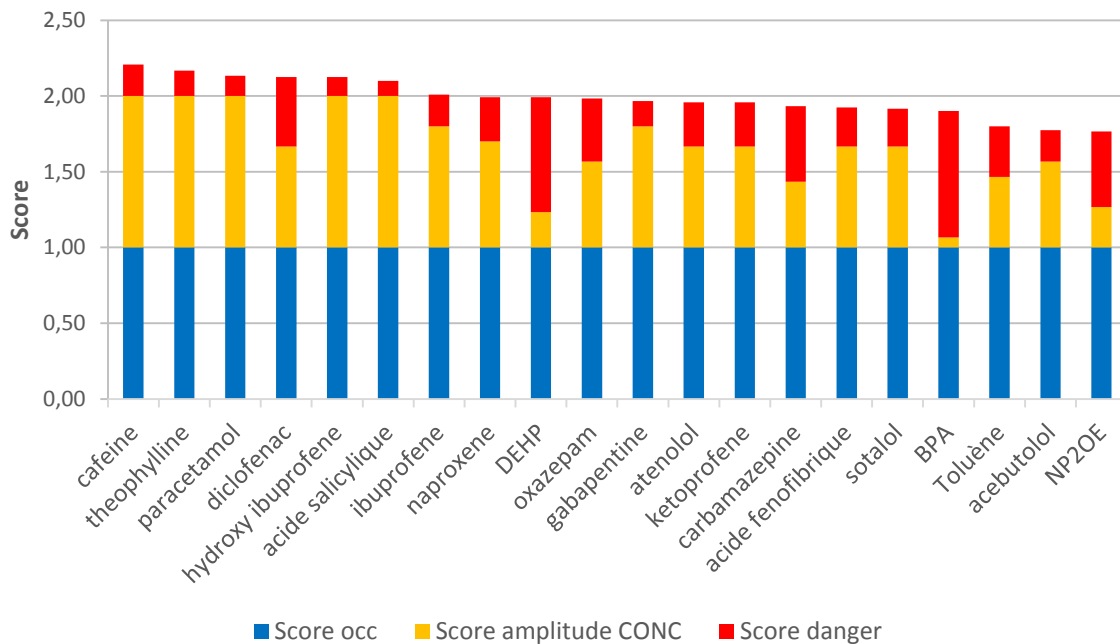


Figure 10 : Scoring des substances mesurées en entrée de STEU

Pour les eaux en sortie de STEU, les résultats sont sensiblement différents (Figure 11) : la caféine et la théophylline ne figurent plus dans le top 20 alors que le BPA et le DEHP ont une position plus élevée. On retrouve par ailleurs dans ce top 20 des HAP et PCB ainsi que le triclosan, tirés par le score danger, le score dépassement des concentrations étant égal à 0.

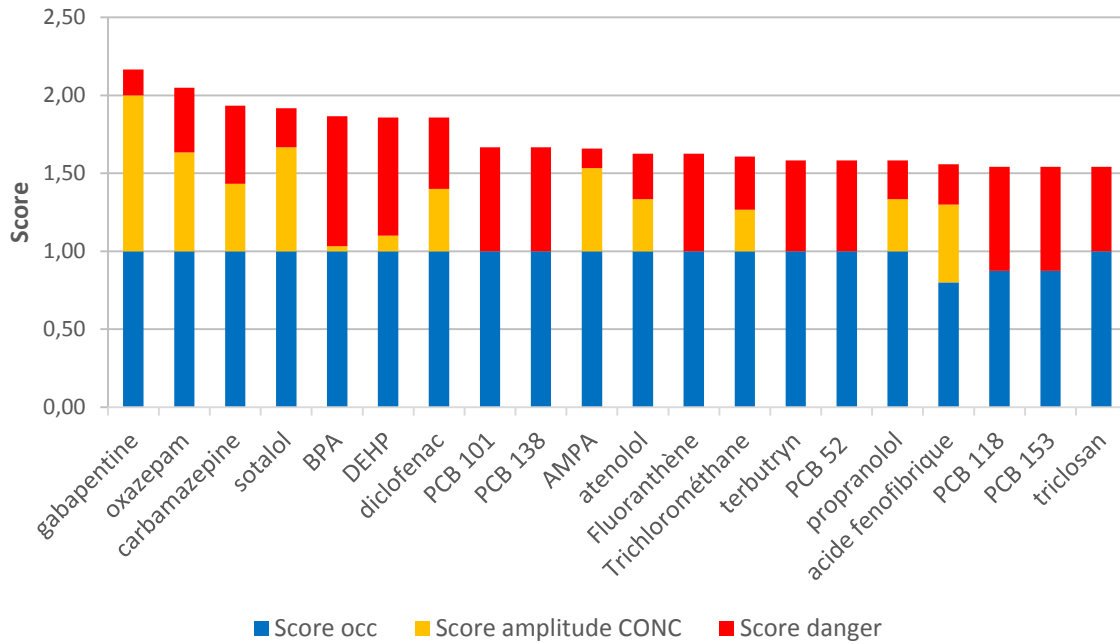


Figure 11 : Scoring des substances mesurées en sortie de STEU

Une comparaison entre les scores de la priorisation des eaux d'entrée et de sortie de la STEU montre que certaines substances semblent éliminées ou réduites lors du passage en STEU. Il est toutefois difficile de conclure à une efficacité du traitement sans mener de plus amples investigations.

4.6.3 Les EAUX PLUVIALES

A la différence des autres sources et compte tenu des caractéristiques intrinsèques de ce type de matrice, pour les eaux pluviales on observe que dans le top 20 seulement une substance a un score « amplitude des concentrations » égal à 0 (les HAP chrysène+triphénylène). Toutes les substances scorées très haut ont non seulement une occurrence souvent proche de 100%, mais aussi des concentrations très importantes (Figure 12).

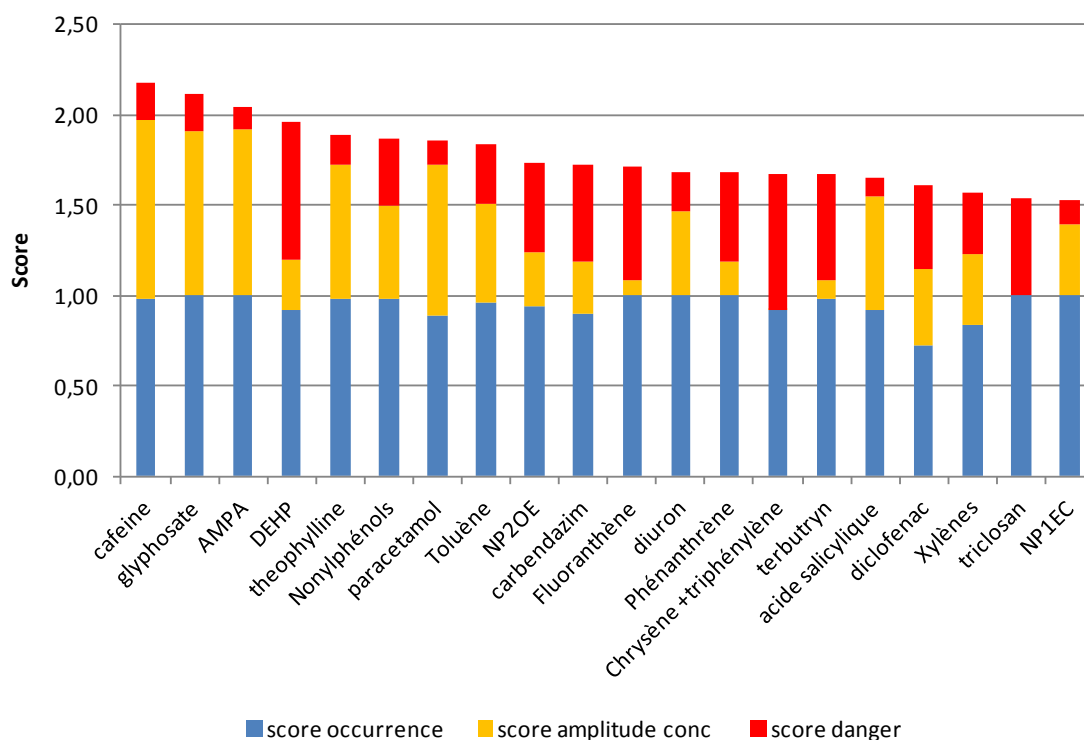


Figure 12 : Résultats de la priorisation dans les eaux pluviales

Mis à part la caféine qu'on retrouve aussi dans le top 3 des rejets EU domestiques, EU entrée STEU et CHU, on observe ici des substances avec des forts scores spécifiques aux eaux pluviales, notamment le glyphosate, l'AMPA, le toluène, le carbendazime et le diuron.

Pour le glyphosate, les principales sources de rejet de cette substance sont donc liées à son emploi en tant qu'herbicide. Pour l'AMPA, aucune source naturelle n'a été identifiée. Les sources de rejets se limitent donc à la dégradation de produits phytosanitaires ainsi qu'aux éventuels usages de cette substance ou de ses précurseurs comme détergent. Selon Delabays et Bohren (2007) [11] « Les résidus retrouvés dans les eaux peuvent donc avoir également une origine autre que l'herbicide. Sa présence souvent associée au glyphosate, de même que sa détection dans des bassins versants peu urbanisés, ne permettent cependant pas d'exclure la responsabilité de l'agriculture ».

Selon Jarowska et al. (2002) [12], l'AMPA est un métabolite de certains phosphonates présents dans les lessives : ATMP, EDTMP et DTPMP. Selon (RIVM, 2004) [13], l'ATMP peut être employé dans des liquides de refroidissement et des détergents industriels, l'EDTMP dans des détergents industriels et domestiques, et le DTPMP dans des détergents domestiques. Toujours selon cette dernière source, le glyphosate serait aux Pays-Bas une source d'AMPA dans les eaux de surface dix fois plus importante que les phosphonates.

Pour le toluène, sa présence dans les eaux pluviales est liée à la forte présence de toluène dans les essences (INERIS, 2011) [14]. Dans ce cas, le toluène est émis soit directement lors de la vaporisation des essences (station essence, transport et stockage des carburants...), soit dans les gaz d'échappements des véhicules à essences (imbrûlés, volatilisation...). Les autres émissions proviennent des vapeurs de toluène utilisé comme solvant, des rejets de production et des rejets d'incinération (Commission Européenne, 2003) [15]. D'après une évaluation internationale (Commission Européenne, 2000) [16], au début des années 2000, les émissions dans l'environnement se répartissaient selon les pourcentages suivant : trafic routier : 65 % ; solvant : 34 % ; rejets de production et de transformation : 2 %.

Pour ce qui concerne le diuron, cette substance a été interdite en tant que pesticide agricole. Il est toutefois encore utilisé comme biocide pour le démaussage des toitures. La présence de ces biocides n'est souvent pas nécessaire car toutes les façades des bâtiments ne sont pas susceptibles de laisser pousser des moisissures, des algues ou des mousses.

Ce lessivage des biocides par les précipitations qui tombent sur les façades est d'autant plus important lorsque les travaux viennent d'être terminés, car ces substances se trouvent alors à plus forte concentration dans les peintures, crépis, vernis et autres produits étendus sur les bâtiments. Le problème des biocides s'est accentué avec le développement des isolations de façades par l'extérieur, lorsque l'isolant est directement recouvert d'un enduit.

La terbutyne (types de produits 7,9,10 de la directive biocide) est un fongicide, algicide des peintures vernis et revêtements en phase aqueuse.

Globalement, il y a une liste restreinte de substances jamais retrouvée dans les rejets d'eau usées (CHU, domestique, STEU,), mais quantifiées dans les eaux pluviales (Figure 13).

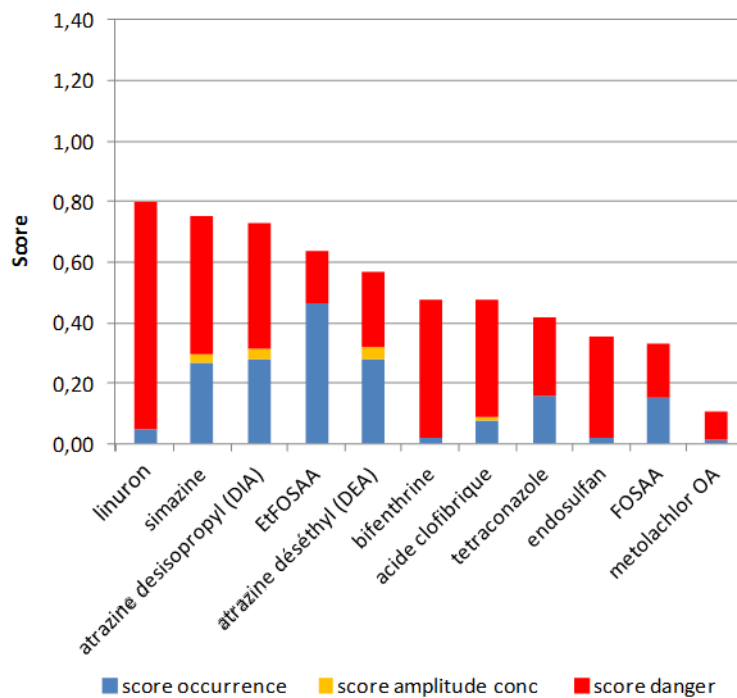


Figure 13 : Substances jamais quantifiées dans les eaux usées mais quantifiées dans les eaux pluviales

Pour ce qui concerne la simazine et les deux métabolites de l'atrazine, on sait que pour la France ces substances actives ne sont pas autorisées dans la composition de préparations bénéficiant d'une autorisation de mise sur le marché : leur interdiction a été décidée en 2001, les dates limites de distribution et d'utilisation étant fixées respectivement au 30 septembre 2002 et au 30 septembre 2003. Les origines de ces composés dans les eaux pluviales sont donc inconnues et difficiles à identifier correctement : il pourrait s'agir d'une contamination résiduelle des collecteurs d'eaux pluviales mais aussi, éventuellement, d'importation illégale de ces substances depuis l'étranger (Espagne ou achat sur internet).

4.6.4 Le CHU

Les données issues des différents rejets du CHU ont été priorisées avec trois critères : occurrence, amplitude des concentrations et danger. Dans le TOP 20 on retrouve essentiellement des substances médicamenteuses (logiquement) même si aucune ne figure dans le top 3 (fort score pour le DEHP, conditionné par le fort score danger) (Figure 14).

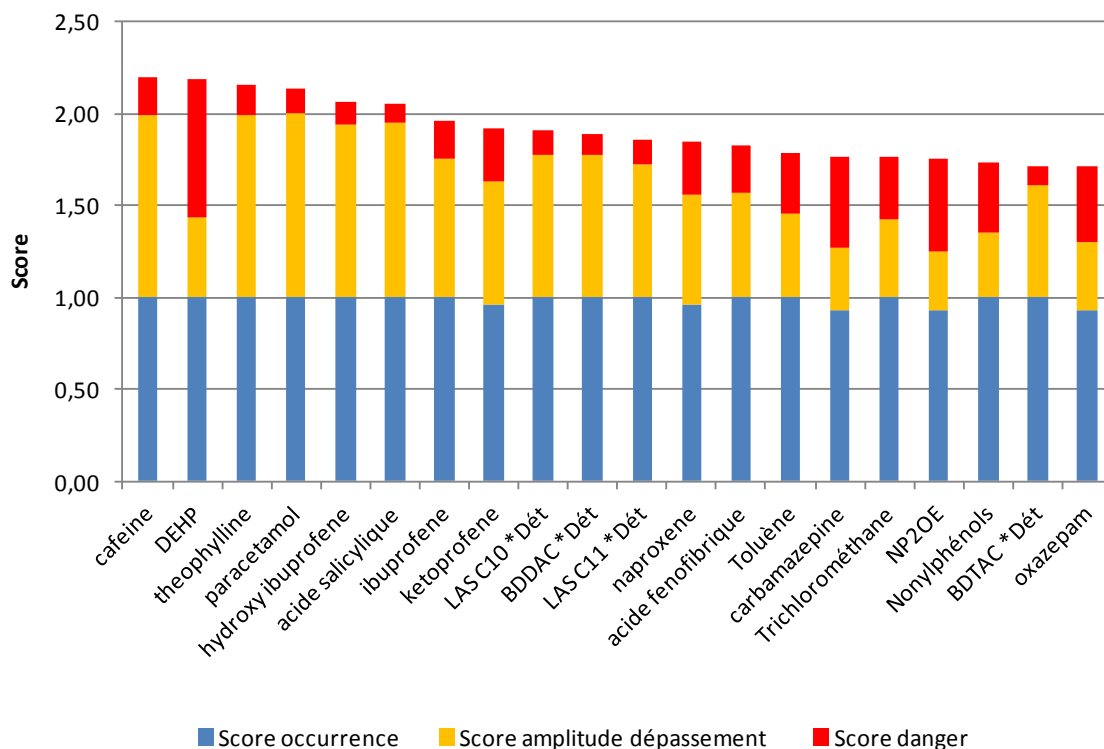


Figure 14 : top 20 substances dans les rejets hospitaliers (CHU)

La seule substance pharmaceutique qui semble sortir en haut de la priorisation de cette source et pas dans les autres est l'acide fénofibrique (métabolite du fenofibrate), un régulateur des lipides. Après administration orale, le fenofibrate est rapidement hydrolysé par les estérases en acide fénofibrique, le métabolite actif. Le médicament est excrété essentiellement par voie urinaire. L'élimination du médicament est quasi complète en 6 jours. Le fenofibrate est principalement excrété sous forme d'acide fénofibrique et de son dérivé glucuroconjugué. Ce résultat est surprenant si on compare aux faibles tonnages d'utilisation déclarés par le CHU en 2014.

4.7 Empreinte environnementale des substances organiques priorisées

En croisant les résultats des différentes priorisations et les données de surveillance acquises sur le bassin versant (BV) de la Jalle de Blanquefort⁸ (amont du bassin, rejets de la STEU après ou sans traitement (by-pass) et rejets d'eaux pluviales), il est proposé de construire un abaque permettant de présenter l'empreinte environnementale de chaque substance identifiée comme à enjeux.

⁸ Le bassin versant de la Jalle de Blanquefort, un petit cours d'eau situé au nord-ouest de l'agglomération, qui permet d'étudier les sources de pollution domestiques, industrielles et pluviales. (Livrable n°11 : Description des sites d'étude et des protocoles d'expérimentation)

Il s'agit plus précisément de représenter, de manière synthétique et visuelle, l'origine principale des flux de ces substances transitant par la Jalle. Ce type d'outil à destination des gestionnaires doit permettre d'identifier rapidement où faire porter les mesures de gestion à engager.

Les étapes de construction de cet abaque sont les suivantes :

- 1) Les résultats de la priorisation des substances à enjeux pour le milieu et des substances à enjeux par type de source (traceur) permettent de consolider une liste de 35 substances sur lesquelles agir. Dans le cas précis de la Jalle, il s'agit des substances identifiées dans le Top 20 des substances priorisées pour le milieu (cf Figure 8) et le Top 10 des substances par source (Tableau 20).
- 2) Les résultats issus de la surveillance de l'amont du bassin versant de la Jalle et des rejets urbains qui s'y déversent, permettent quant à eux de calculer les flux de substances annuels en aval de la Jalle à attribuer à chaque source. Dans ce cas concret, les flux annuels en sortie de STEU après traitement et les flux rejetés avant traitement lors d'épisodes pluvieux (by-pass) ont pu être estimés, de manière à intégrer la variabilité annuelle.

La Figure 15 présente les résultats pour ces 35 substances : pour les substances d'origine urbaine (pharmaceutiques en particulier, caféine, théophylline) et ubiquiste (DEHP), il est envisageable de considérer cet abaque comme transposable à un autre BV. En revanche, certaines substances « industrielles » et « agricoles » principalement présentes dans les eaux du BV en amont de la STEU, peuvent être caractéristiques de l'activité sur le territoire.

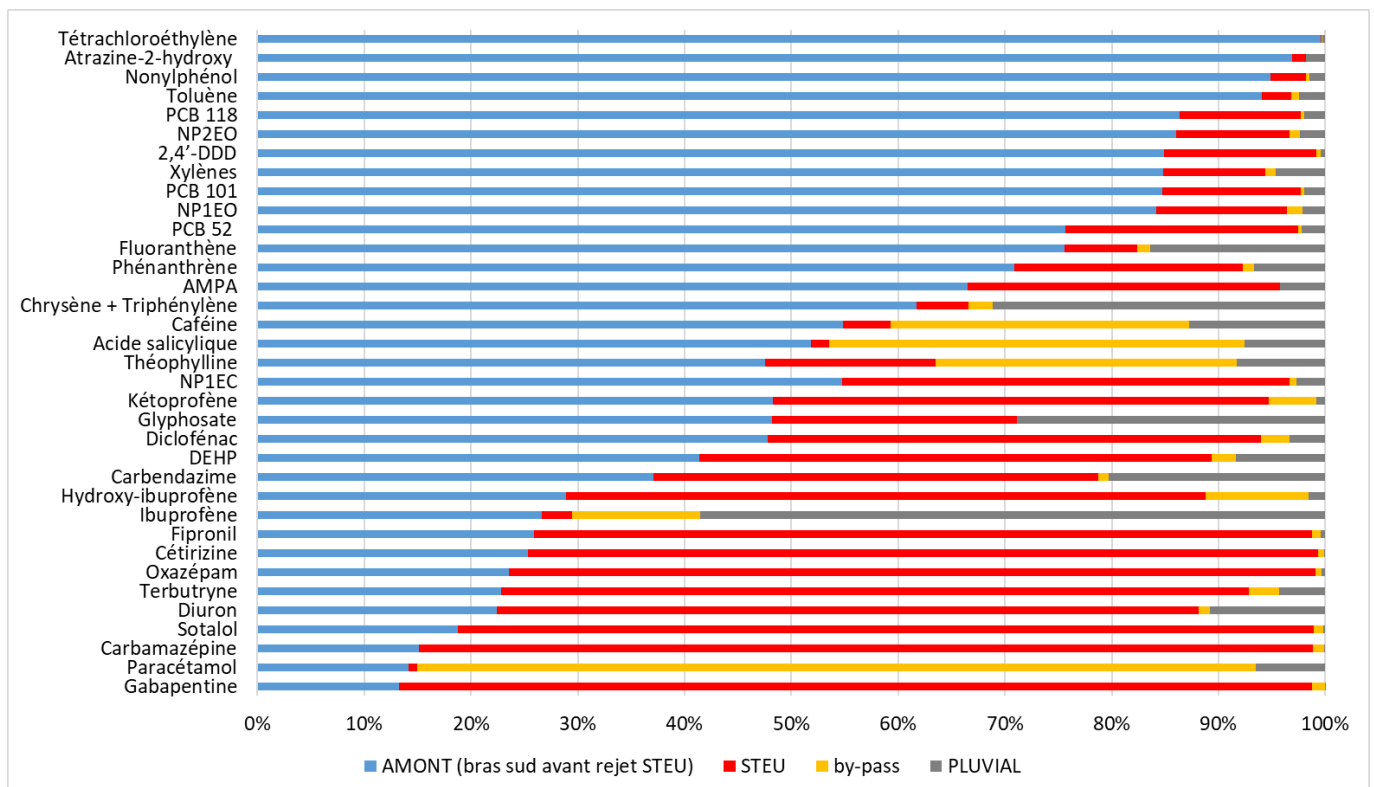


Figure 15 : Empreinte environnementale des substances à enjeux sur le BV de la Jalle

4.8 Priorisation des métaux

La méthodologie de priorisation a été adaptée pour le cas spécifique des métaux. En particulier, pour le score « amplitude des concentrations », les membres du GT Priorisation du projet REGARD n'ont pas souhaité appliquer la même méthodologie que pour les organiques (comme décrit précédemment). En particulier, compte tenu des différents niveaux de concentrations des métaux dans l'environnement, il a été proposé de suivre une approche différente.

Le score risque a pu être établi pour toutes les substances sauf pour le thorium. Aucune valeur de PNEC ou NQE n'a été retrouvée pour cette substance. Pour le chrome et pour le zinc, la valeur de NQE a été calculée par rapport à la valeur de dureté mesurée dans la Jalle de Blanquefort lors d'une étude de Suez de 2011. Les résultats sont présentés dans le Tableau 21).

Tableau 21 : Résultats de la priorisation des métaux

Substances FR name	N° CAS	NQE µg/L	score occurrence	score amplitude des concentrations	score risque	score FINAL
Cuivre (Cu)	7440-50-8	1,40	1,00	0,81	0,46	2,27
Cobalt (Co)	7440-48-4	0,30	1,00	0,97	0,27	2,24
Chrome (Cr)	7440-47-3	3,40	1,00	0,99	0,00	1,99
Zinc (Zn)	7440-66-6	7,80	1,00	0,58	0,18	1,76
Etain (Sn)	7440-31-5	1,50	1,00	0,54	0,00	1,54
Baryum (Ba)	7440-39-32	60,00	1,00	0,44	0,00	1,44
Thorium (Th)	7440-29-1	NO DATA	1,00	0,38	0,00	1,38
Strontium (Sr)	7440-24-6	210,00	1,00	0,31	0,04	1,35
Nickel (Ni)	7440-02-0	20,00	1,00	0,35	0,00	1,35
Antimoine	7440-36-0	20,00	1,00	0,32	0,00	1,32
Vanadium (V)	7440-62-2	2,50	1,00	0,29	0,00	1,29
Molybdenum (Mo)	7439-98-7	6,70	1,00	0,27	0,02	1,29
Uranium (U)	7440-61-1	0,30	1,00	0,01	0,18	1,19
Cadmium (Cd)	7440-43-9	0,15	1,00	0,13	0,04	1,17
Plomb (Pb)	7439-92-1	7,20	1,00	0,14	0,00	1,14
Arsenic (As)	7440-38-2	4,20	1,00	0,09	0,00	1,09
Argent (Ag)	7440-22-4	0,05	0,61	0,25	0,00	0,86

Il est important de noter que le score occurrence n'est pas du tout discriminant car, mise à part l'argent, tous les autres métaux sont quantifiés dans 100% des échantillons d'eau filtré (LQ très basses).

Les substances qui ressortent comme prioritaires et se démarquent vraiment des autres sont 4 : le cuivre, le cobalt, le chrome et le zinc. Par contre, des substances assez problématiques au niveau national comme le plomb ou l'arsenic, ne semblent pas prioritaires sur ce territoire spécifique.

Parmi les 4 substances avec les scores les plus élevés, deux ont été aussi définies comme substances à enjeux dans le cadre du programme national RSDE : il s'agit du zinc et du cuivre (INERIS, 2016) [19].

Le cuivre, d'après le travail effectué par l'INERIS sur les inventaires et comme documenté dans le rapport RSDE, est présent dans de très nombreux domaines d'utilisation :

- applications électriques et électroniques, communications etc.
- industrie, métallurgie, traitement de surface, travail mécanique des métaux, secteur de la construction, des transports (fabrication des véhicules...), des biens de consommation (entretien des piscines...), des équipements industriels (canalisation, cuves,...)...
- traitement du bois

D'autres usages ou sources d'émissions agricoles sont également possibles :

- Fongicide dans le secteur agricole (ex. : « bouillie bordelaise » pour fruitiers et la vigne).
- Alimentation animale (complément alimentaire : bovins, porcins, volailles...).

D'autres émissions diffuses de cuivre existent, telles que la corrosion des canalisations aux niveaux industriel et urbain (adduction d'eau potable, chauffage...) ou la corrosion des équipements industriels.

La diversité des cadres réglementaires applicables au cuivre est à l'image du nombre d'applications de la substance. On trouve notamment des réglementations sur les usages dans le secteur agricole (fongicide et alimentation animale). Il est par ailleurs une substance interdite dans les biocides (Substance inscrite dans la liste de non inclusion à l'Annexe I ou IA de la Directive 98/8/EC qui autorise l'utilisation de substances dans les produits biocides).

Pour le zinc, autre substance prioritaire RSDE et ressortant dans la priorisation sur le territoire de Bordeaux Métropole, des nombreux domaines d'utilisation ont été également recensé par l'INERIS [19] :

- traitement de surface : galvanisation de l'acier (dépôt d'une mince couche de zinc en surface de l'acier afin de le protéger de la corrosion) : consomme 47 % du zinc exploité dans le monde ; utilisation du zinc dans certains procédés, rejets de zinc via les décapages de certaines pièces
- métallurgie : fabrication du laiton – alliage de cuivre et de zinc – et du bronze – alliage de cuivre et d'étain, auquel on ajoute parfois du zinc : consomment 22 % du zinc exploité dans le monde...
- construction : toiture et bardages (façade) - automobile, électroménager, biens de consommation, équipements industriels
- industrie chimique (catalyseurs...), peintures, caoutchoucs, plastiques, teintures, produits de conservation du bois, produits pharmaceutiques et cosmétiques
- zinc contenu dans certains produits chimiques utilisés dans les traitements dans les tours aéroréfrigérantes ou autres équipements (produits anticorrosifs notamment),

Le zinc est une substance « ubiquiste », retrouvée dans les rejets tant canalisés que diffus (urbain, agricole, ...). Seuls 2 composés de Zn sont autorisés pour un usage phytosanitaire (rodenticide et fongicide). Le zinc est aussi utilisé dans l'alimentation animale et dans les engrais. D'autres émissions diffuses ont été également recensées comme la corrosion des toitures (gouttières, canalisations), la corrosion des équipements industriels (canalisation, cuves...) et le trafic routier (usure des pneumatiques).

Au niveau réglementaire, peu d'actions sont attendues sur les composés du zinc dans le cadre de REACH dans un avenir prévisible (peu de composés du zinc ont été classés SVHC⁹).

Pour ce qui concerne le cobalt, les principales sources anthropiques sont [source portail substance INERIS (<http://www.ineris.fr/substances/fr/>)] :

- les fumées des centrales thermiques et des incinérateurs ;
- les échappements des véhicules à moteur thermique ;
- les activités industrielles liées à l'extraction du minerai et aux processus d'élaboration du cobalt et de ses composés.

La contamination des eaux et des sols résulte du dépôt des particules atmosphériques provenant des diverses sources. Le lessivage produit par les eaux de pluie lorsqu'elles traversent les sols ou les roches contenant du cobalt est également responsable de la contamination des eaux résurgentes.

Pour le chrome, les sources peuvent être multiples et le composé peut se présenter sous différentes formes. On renvoie donc directement à la fiche INERIS pour plus d'information (INERIS, 2014. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Chrome et ses composés, DRC-14-136881-07003A, 104 p. (<http://www.ineris.fr/rsde/> ou <http://www.ineris.fr/substances/fr/>).

Il est important de noter que certaines de ces substances telle que le cobalt, l'étain et le baryum, ont été inscrites comme substances pertinentes à surveiller dans l'arrêté ministériel du 7 août 2015. L'Agence de l'eau mesurera donc ces polluants entre 2016 et 2021 sur 33% des sites du réseau de contrôle de surveillance (RCS) du bassin AG. Il sera donc intéressant de voir si sur des stations de surveillance sur le territoire de REGARD, des données confirment ces premiers résultats et si, sur ces substances, des mesures de gestion doivent effectivement être mises en place.

⁹ Substance of Very High Concern : Liste des substances extrêmement préoccupantes (REACH)

5 Conclusions

La méthodologie nationale de hiérarchisation des micropolluants dans l'eau, jusqu'à ce jour utilisée uniquement pour la surveillance des milieux aquatiques dans un but de rapportage DCE, a été déployée sur un site pilote afin d'identifier les substances les plus préoccupantes et prioritaires sur lesquelles agir pour mettre en œuvre des mesures de réductions des rejets (domestiques, pluviaux, hospitaliers) vers le milieu aquatique à l'échelle de la métropole de Bordeaux.

Ce travail fait partie de la suite du travail réalisé en 2015 par l'INERIS et Suez (Lyre). Ce premier travail avait permis, à partir d'une liste de 700 substances déjà mesurées sur le bassin Adour-Garonne et au niveau national par les Agences de l'Eau (RCS¹⁰), de définir une liste d'environ 300 substances candidates à faire partie des substances du projet REGARD. La liste a par la suite été réduite en fonction des capacités analytiques des laboratoires partenaires (LPTC Bordeaux) et du budget alloué aux analyses.

Ce travail a permis :

- D'améliorer la méthodologie de priorisation pour ce qui concerne la définition du score final, avec un sous score « amplitude de dépassement » et une implémentation du score PE (définition de substances perturbateurs endocriniens non seulement à travers des listes EU officielles mais aussi avec des résultats partiels de la littérature scientifique) ;
- De hiérarchiser les substances prioritaires à suivre dans les milieux aquatiques avec 4 types de score : occurrence, danger, risque et amplitude de dépassement ;
- D'identifier les substances ubiquistes dans les différentes sources (domestique, hospitalière, pluviale et station d'épuration) ;
- D'identifier des substances qui pourraient éventuellement être considérées comme sentinelle d'une source spécifique.

Ces substances sont donc potentiellement dangereuses pour le milieu aquatique et nécessitent des actions correctives. L'amélioration des traitements des eaux pourraient être une solution de réduction des résidus de médicaments. Pour les autres substances, il est plus facile d'agir sur la source de contamination comme par exemple réduire l'émission ou sensibiliser les utilisateurs sur leurs habitudes de consommation.

Pour ce qui concerne les substances priorisées dans les milieux aquatiques, dans la liste des substances « TOP 50 » on retrouve essentiellement des pharmaceutiques et des pesticides (Tableau 22).

Au sein de ces familles, certaines substances sont prioritaires sur le territoire compte tenu également de leurs utilisations. Parmi les pesticides, les substances pour lesquelles des mesures de gestion pourraient être envisagées sont notamment le glyphosate, son produit de dégradation l'AMPA (aussi métabolite des phosphonates), le diuron, le fipronil, l'imidaclopride et la terbutryne. Certaines parmi ces substances sont aussi autorisées comme biocides et potentiellement utilisés par des particuliers (Tableau 23).

¹⁰ réseau de contrôle de surveillance

Tableau 22 : Familles présentes dans le TOP 50 de la priorisation "organiques/milieu"

Famille	Substance
PHARMACEUTIQUE	19
PESTICIDE	9
PCB	5
AKP	4
BTEX	3
HAP	3
COV	2
DETERGENTS	1
OCP	1
PHTHALATES	1
PLASTIFIANTS	1
UV SCREEN	1

Tableau 23 : Situation actuelle d'utilisation de ces substances sur le territoire de Bordeaux Métropole

Substance	Pharmaceutique		Biocides		Pesticides		2012 ventes Dpt 33 - BNVD Kg/an	Date of approval	Expiration of approval
	Mode thérapeutique Pharma	Tonnage CHU hospital Bordeaux (kg/an) d'après enquête	Taux excretion	biocide in review program for PT (June 2016)	biocide approved for PT (June 2016)	Commentaire usage			
diclofenac	anti inflammatoire non steroïdien	0,00	0-20						
hydroxy ibuprofene	anti inflammatoire non steroïdien	34,54	80-100						
ibuprofene	anti inflammatoire non steroïdien	34,54	0-20						
carbamazepine	anticonvulsivant	2,48	0-20						
gabapentine	anticonvulsivant + antalgique	24,15	80-100						
sotalol	beta bloquant	0,00	80-100						
AMPA						Dégradation gly + lessives		01/07/2002	31/12/2017
diuron				7,10				01/10/2008	30/09/2018
fipronil					18	Acaricide et insecticide		01/10/2007	30/09/2017
glyphosate							20579	01/07/2002	31/12/2017
imidaclopride					18	Plantes d'intérieur et balcons	68	01/08/2009	31/07/2019

Parmi les pharmaceutiques, ressortent comme prioritaires la carbamazépine, le diclofenac, la disopyramide, la gabapentine, l'hydroxy ibuprofène et le sotalol.

Pour comparaison, certaines de ces substances sont des substances largement employées par le CHU (ibuprofène ou gabapentine) comme il ressort de l'enquête effectuée par SUEZ en 2014. Par ailleurs, certaines substances, comme le sotalol ou la gabapentine, montrent des taux d'excrétion très importants.

Pour ce qui concerne les métaux, les substances pour lesquelles des mesures de gestion sont prioritaires sur ce territoire et se démarquent vraiment des autres sont 4 :

- le cobalt
- le chrome
- le zinc
- le cuivre

Parmi ces 4 substances, la maîtrise du zinc et du cuivre est particulièrement importante. Elles ont été identifiées comme substances à enjeux dans le cadre du programme national « RSDE » de recherche des substances dangereuses dans les rejets (INERIS, 2016) [19] bien qu'elles ne fassent pas parties des substances pour lesquelles des diagnostics amont doivent être débutés dès 2017.

Pour ce qui concerne les détergents, le nombre des données analytiques et la robustesse des connaissances sur le danger/risque de ces substances sont trop limités pour conclure sur des substances à inclure dans des mesures de gestion. Cependant, des pistes se dégagent : parmi tous les détergents étudiés, les LAS semblent le groupe de substances les plus préoccupantes, et en particulier ce travail met en avant la contamination du territoire par le LAS C12. Introduits à partir des années 50, le LAS (alkylbenzène sulfonates linéaires) sont plus biodégradables du fait de la linéarité de la chaîne, ne produisant pas de mousses persistantes lors de leur élimination des eaux usées, sans affecter leur qualité de détergents. Ces LAS ont une longueur de chaîne variable. Les LAS de sodium en C9-C12 s'utilisent comme agents mouillants, ceux en C12-C13 comme détergents (détergence industrielle et en milieu organique) et les LAS en C15-C18 sont employés comme émulsifiants (émulsification de peintures polyvinyliques par exemple).

La priorisation par source a été effectuée sur 4 types de matrices/sources : eaux pluviales, eaux usées issues du CHU, eaux usées en entrée et sortie de STEU et eaux usées domestiques. On observe 2 substances dans le TOP 10 de l'ensemble de ces sources : la caféine et le paracétamol.

Globalement, il y a une liste restreinte de substances jamais retrouvée dans les rejets d'eau usées (CHU, domestique, STEU), mais quantifiées dans les eaux pluviales.

6 Bibliographie

- [1] von der Ohe PC, Dulio V, Slobodnik J, De Deckere E, Kühne R, Ebert R-U, Ginebreda A, De Cooman W, Schüürmann G, Brack W. 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
- [2] Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer. Plan micropolluants 2010-2013 – Un plan national pour lutter contre la pollution des milieux aquatiques. 2010
- [3] Kuzmanovic M, Ginebreda A, Petrovic M, Barcelo D. Risk assessment based prioritization of organic micropollutants in 4 Iberian rivers. *Science of the Total Environment* 503-504 (2015) 289-299
- [4] Gasith A, Resh VH. Streams in Mediterranean climate regions: abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. *Annu Rev Ecol Syst* 1999; 30:51-81.
- [5] Besse JP, Garric J. Human pharmaceuticals in surface waters- Implementation of a prioritization methodology and application to the French situation. *Toxicology Letters* 176 (2008) 104-123
- [6] Jean J, Perrodin Y, Pivot C, Trepo D, Perraud M, Droguet J, Tissot-Guerraz F, Locher F. Identification and prioritization of bioaccumulable pharmaceutical substances discharged in hospital effluents. *Journal of Environmental Management* 103 (2012) 113-12.
- [7] Götz CW, Stamm C, Fenner K, Singer H, Schärer M, Hollender J. Targeting aquatic microcontaminants for monitoring : exposure categorization and application to the Swiss situation *Environ Sci Pollut Res* (2010) 17:341–354
- [8] Brooks BW, Maul J, Belder J. Emerging contaminants: antibiotics in aquatic and terrestrial ecosystems. In: Jorgensen, S.E. (Ed.), *Encyclopedia of Ecology*. Elsevier Press, London, UK. 2007
- [9] Di Nica V, Menaballi L, Azimonti G, Finizio A. RANKVET: A new ranking method for comparing and prioritizing the environmental risk of veterinary pharmaceuticals. *Ecological Indicators* 52 (2015) 270-276
- [10] Focazio M.F., Kolpin D.W., Barnes K.K., Furlong E.T., Meyer M.T., Zaugg S.D., Barber L.B., Thurman M.E. (2008) - A national reconnaissance for pharmaceuticals and other organic wastewater contaminants in the United States – II) Untreated drinking water sources. *Science of the Total Environment*, vol. 402, pp. 201-216.
- [11] Delabays et Bohren, 2007. Le glyphosate: bilan de la situation mondiale et analyse de quelques conséquences malherbologiques pour la Suisse. *Revue suisse Vitic. Arboric. Hortic.* Vol. 39 (5): 333-339.
- [12] Jaworska, J., van Genderen-takken, H., Hanstveit, A., van de Plasche, E., Feijtel, T. Environmental risk assessment of phosphonates, used in domestic laundry and cleaning agents in the Netherlands. *Chemosphere* 2002; 47:655-65.
- [13] RIVM, Environmental risk limits for aminomethylphosphonic acid (AMPA) RIVM report 601501018/2003, 2004 FREDON Auvergne, 2005. Bulletin PHYT'EAU JAURON n°12 - 12 août 2005, 4 p.
- [14] INERIS, 2011. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : toluène, 43 p. (<http://rsde.ineris.fr/> ou <http://www.ineris.fr/substances/fr/>)
- [15] Commission Européenne (2003c). "RAR- Risk Assessment - Toluène."
- [16] Commission Européenne (2000). IUCLID Dataset - Toluene, European Chemicals Bureau.
- [17] Member state committee support document for identification of perfluorooctanoic acid (PFOA) as a substance of very high concern because of its CMR and PBT properties" ECHA (2015a) Annex XV Restriction Report, Proposal for a Restriction : Substance Name: Perfluorooctanoic Acid (PFOA), PFOA Salts and PFOA-Related Substances ECHA (2015b), Committee for Socio-economic Analysis (SEAC), Opinion on an Annex XV dossier proposing restrictions on Perfluorooctanoic acid (PFOA), its salts and PFOA-related substances, draft September 2014"
- [18] Filipovic M., 2015, "Mass Balance of Perfluorinated Alkyl Acids in a Pristine Boreal Catchment", *Environ. Sci. Technol.* 2015, 49, 12127–12135 Flexcon, non date, "Understanding Photovoltaic Backsheet Options", <https://www.flexcon.com/ResourceCenter/~media/Files/PDFs/flexflash/UnderstandingPhotovoltaicBacksheetOptions.ashx>.
- [19] INERIS - LES SUBSTANCES DANGEREUSES POUR LE MILIEU AQUATIQUE DANS LES REJETS DES STATIONS DE TRAITEMENT DES EAUX USEES URBAINES. Action nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans l'eau par les stations de traitement des eaux usées urbaines (RSDE) – Synthèse des résultats de surveillance initiale VERSION PUBLIQUE Mars 2016 DRC-15-136871-11867^E

