

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

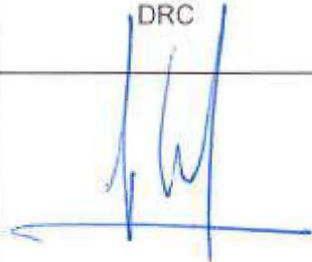
Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

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	Déléguée 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 scodé 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.

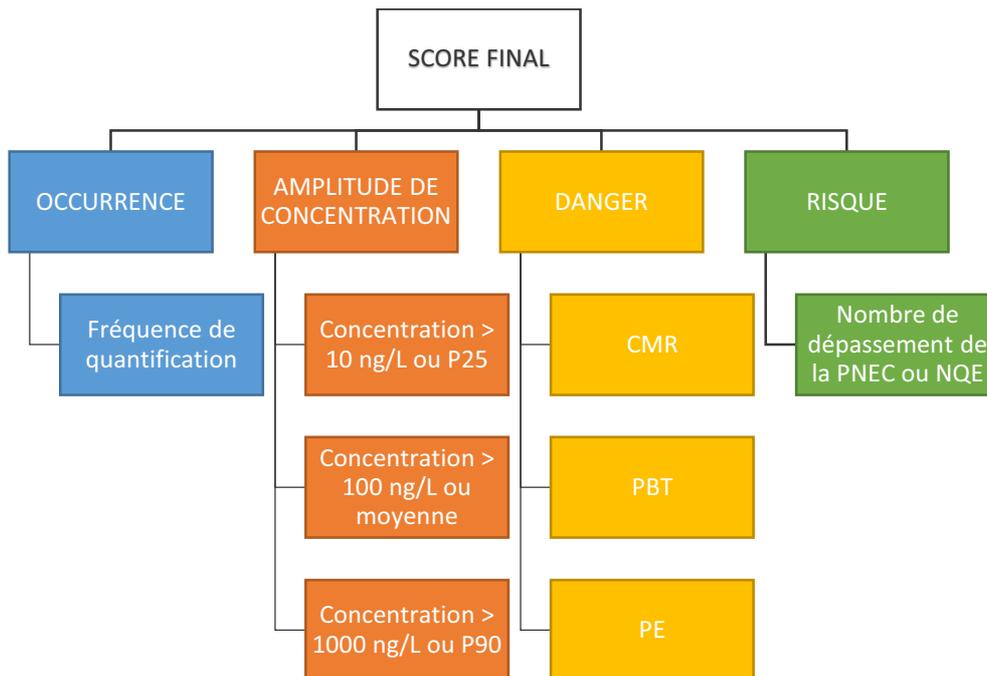


Figure 1 : Les différents scores et critères utilisés afin de prioriser les substances de REGARD.

- 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.

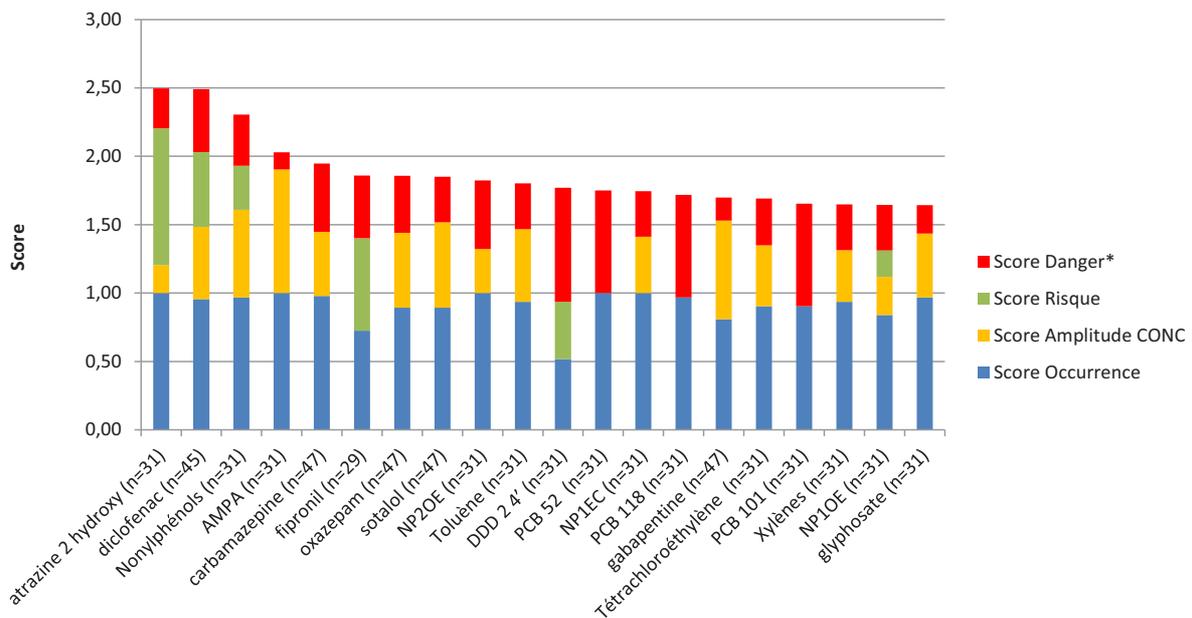


Figure 2 : Répartition des scores parmi le « TOP 20 » des substances priorisées.

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.

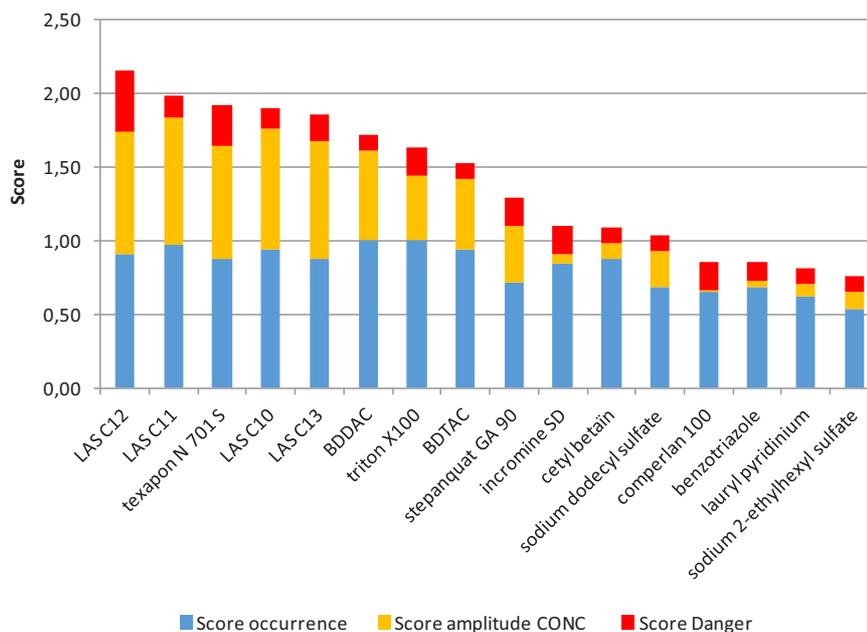


Figure 3 : Résultats de la priorisation des détergents.

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.

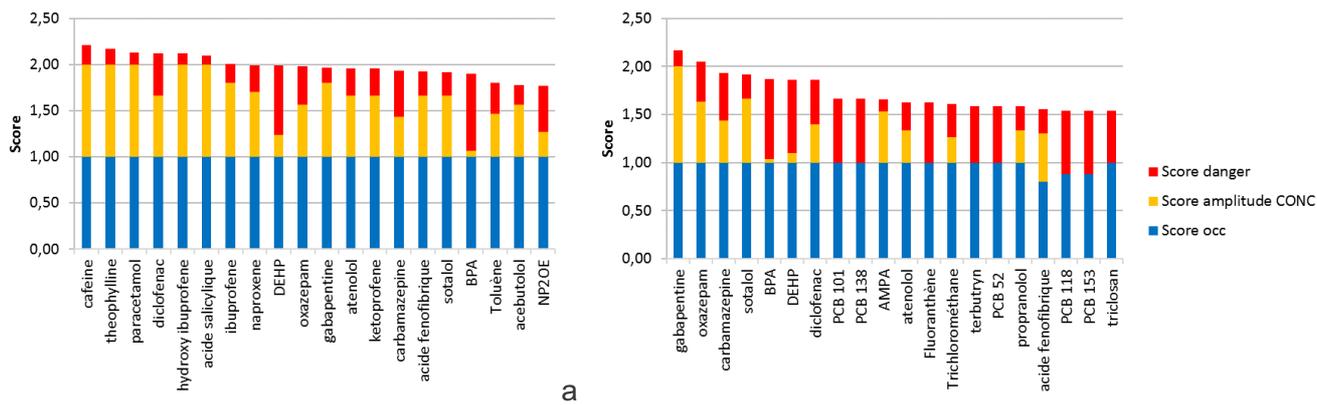


Figure 4 : Résultats de la priorisation des substances organiques mesurées en entrée (a) et sortie de STEU (b).

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.

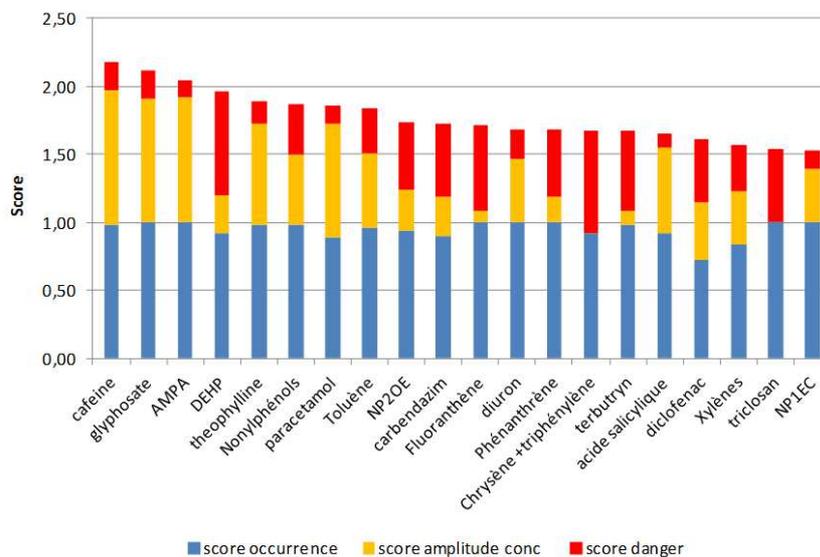


Figure 5 : Résultats de la priorisation des substances organiques mesurées dans les eaux pluviales.

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

Subst	Score final EU STEU (entrée)	Subst	Score final EU STEU (sortie)*	Subst	Score final EU domestiques	Subst	Score final EU CHU	Subst	Score final EP
caféine	2,21	<i>gabapentine</i>	2,17	hydroxy ibuprofène	2,17	caféine	2,20	caféine	2,18
paracétamol	2,13	<i>oxazépam</i>	2,05	caféine	2,10	paracétamol	2,13	glyphosate	2,11
diclofénac	2,13	<i>carbamazépine</i>	1,93	paracétamol	2,11	hydroxy ibuprofène	2,07	AMPA	2,04
hydroxy ibuprofène	2,13	<i>sotalol</i>	1,92	acide salicylique	2,03	acide salicylique	2,06	paracétamol	1,86
acide salicylique	2,10	<i>diclofénac</i>	1,86	kétoprofène	1,90	ibuprofène	1,96	carbendazime	1,73
ibuprofène	2,01	AMPA	1,66	oxazépam	1,86	kétoprofène	1,93	Fluoranthène	1,72
oxazépam	1,98	<i>Fluoranthène</i>	1,63	ibuprofène	1,80	<i>carbamazépine</i>	1,77	diuron	1,69
<i>gabapentine</i>	1,97	<i>terbutryne</i>	1,58	diclofénac	1,69	oxazépam	1,72	Phénanthrène	1,69
kétoprofène	1,96	<i>glyphosate</i>	1,54	<i>cétirizine</i>	1,48	diclofénac	1,71	Chrysène +triphénylène	1,68
<i>carbamazépine</i>	1,93	<i>carbendazime</i>	1,54	sotalol	1,66	<i>gabapentine</i>	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.

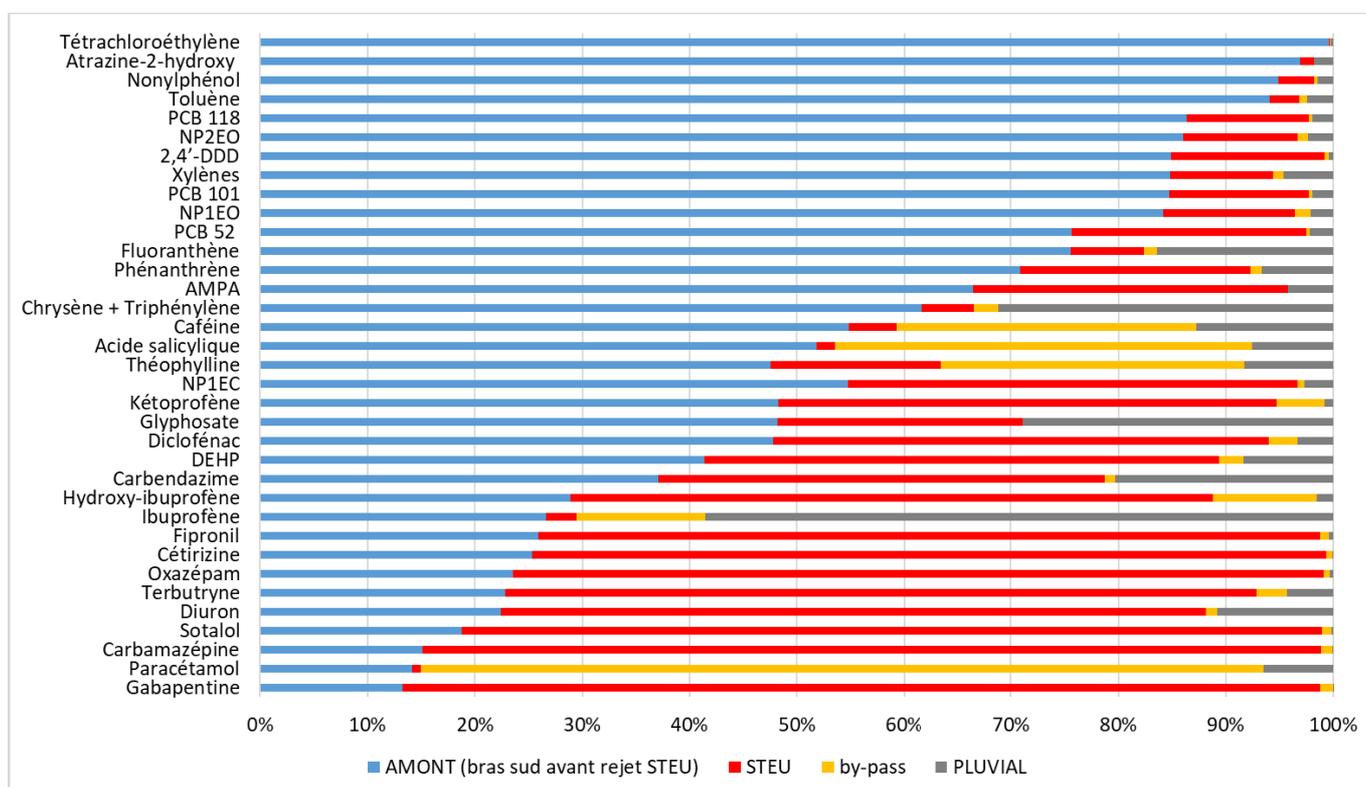


Figure 6 : Empreinte environnementale des substances à enjeux sur le BV de la Jalle.

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 prioritées	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 jardinerie				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-violets

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 tamoxifen (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 cancérogènes, 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 répliqués.

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 qui 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).

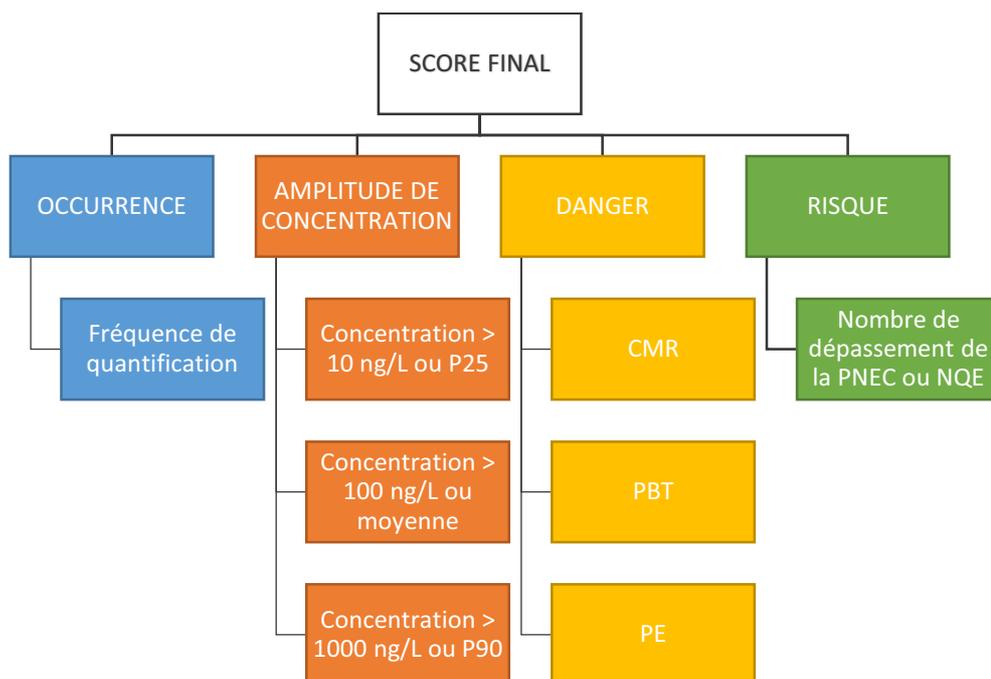


Figure 7: Les différents paramètres utilisés afin de prioriser les substances de la liste de REGARD

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, Oxazépan, 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

SCORE AMPLITUDE DE CONCENTRATION = [(Score Conc. > 10 ng/L) + (Score Conc. > 100 ng/L) + (Score Conc. > 1 000 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 Sévés, 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/>

Classe	Substances FR name	N° CAS	Effet androgénique				Effet estrogénique				Effet thyroïdien				Moyenne des scores AR ER ThR	SCORE PE FINAL NOUVEAU ()	Ancien score PE	NOUVEAU SCORE PE
			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				
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	terbutylazine	5915-41-3	inactive	inactive		0	3,3105	inactive	1,96	8	inactive	inactive		0	2,6667	4	0	0,5
pesticides	terbutylazine-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

INERIS-DRC-17-145595-11853B

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 aromatase
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 Steroidogènese - 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 // Perturbation 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	Inactif 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.

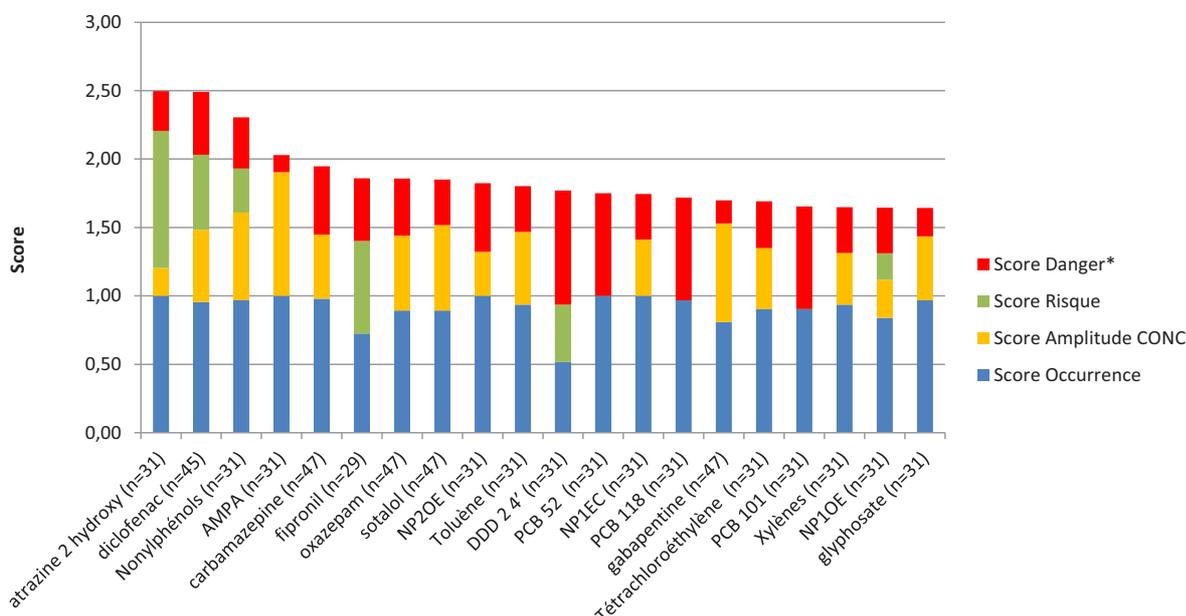


Figure 8 : Répartition des scores parmi les « top 20 » substances priorisées

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	caféine	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.

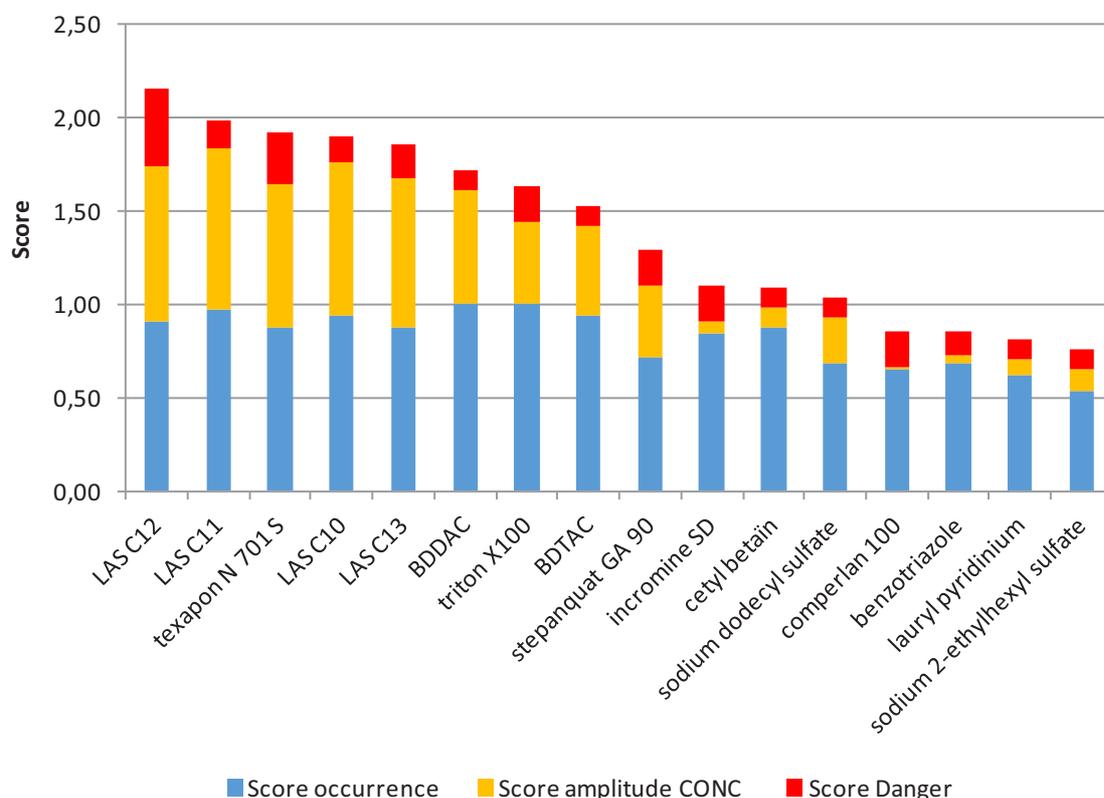


Figure 9 : Scoring des substances "détergents"

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)	Subst	Score final EU STEU (sortie)*	Subst	Score final EU domestiques	Subst	Score final EU CHU	Subst	Score final EP
caféine	2,21	<i>gabapentine</i>	2,17	hydroxy ibuprofène	2,17	caféine	2,20	caféine	2,18
paracétamol	2,13	<i>oxazépam</i>	2,05	caféine	2,10	paracétamol	2,13	glyphosate	2,11
diclofénac	2,13	<i>carbamazépine</i>	1,93	paracétamol	2,11	hydroxy ibuprofène	2,07	AMPA	2,04
hydroxy ibuprofène	2,13	<i>sotalol</i>	1,92	acide salicylique	2,03	acide salicylique	2,06	paracétamol	1,86
acide salicylique	2,10	<i>diclofénac</i>	1,86	kétoprofène	1,90	ibuprofène	1,96	carbendazime	1,73
ibuprofène	2,01	AMPA	1,66	oxazépam	1,86	kétoprofène	1,93	Fluoranthène	1,72
oxazépam	1,98	<i>Fluoranthène</i>	1,63	ibuprofène	1,80	carbamazépine	1,77	diuron	1,69
gabapentine	1,97	<i>terbutryne</i>	1,58	diclofénac	1,69	oxazépam	1,72	Phénanthrène	1,69
kétoprofène	1,96	<i>glyphosate</i>	1,54	cétirizine	1,48	diclofénac	1,71	Chrysène +triphénylène	1,68
carbamazépine	1,93	<i>carbendazime</i>	1,54	sotalol	1,66	gabapentine	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.

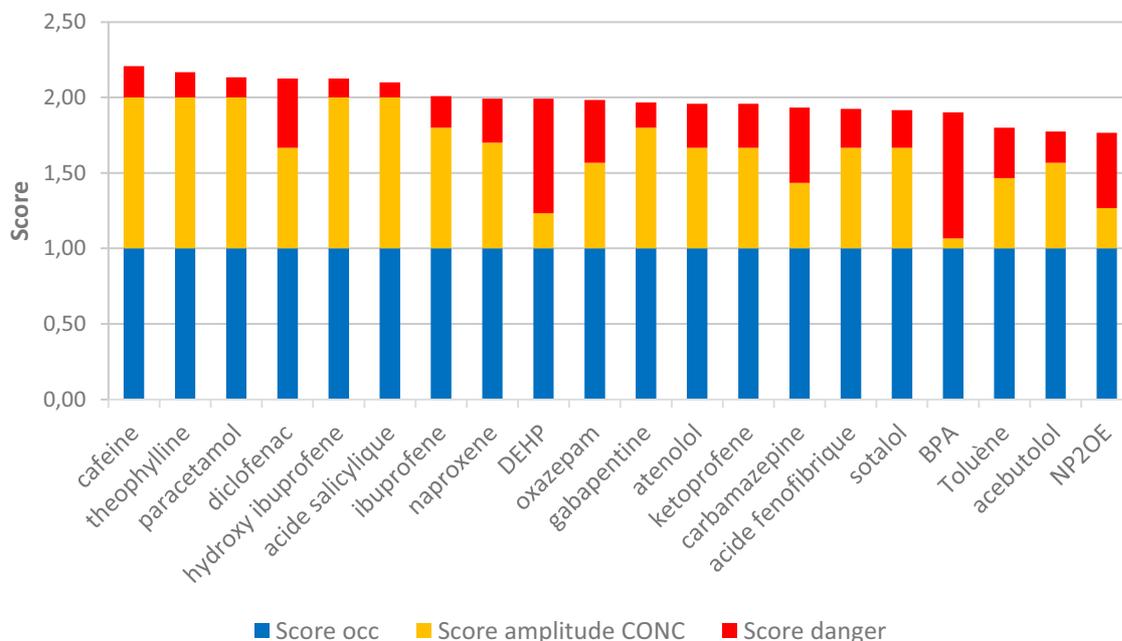


Figure 10 : Scoring des substances mesurées en entrée de STEU

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.

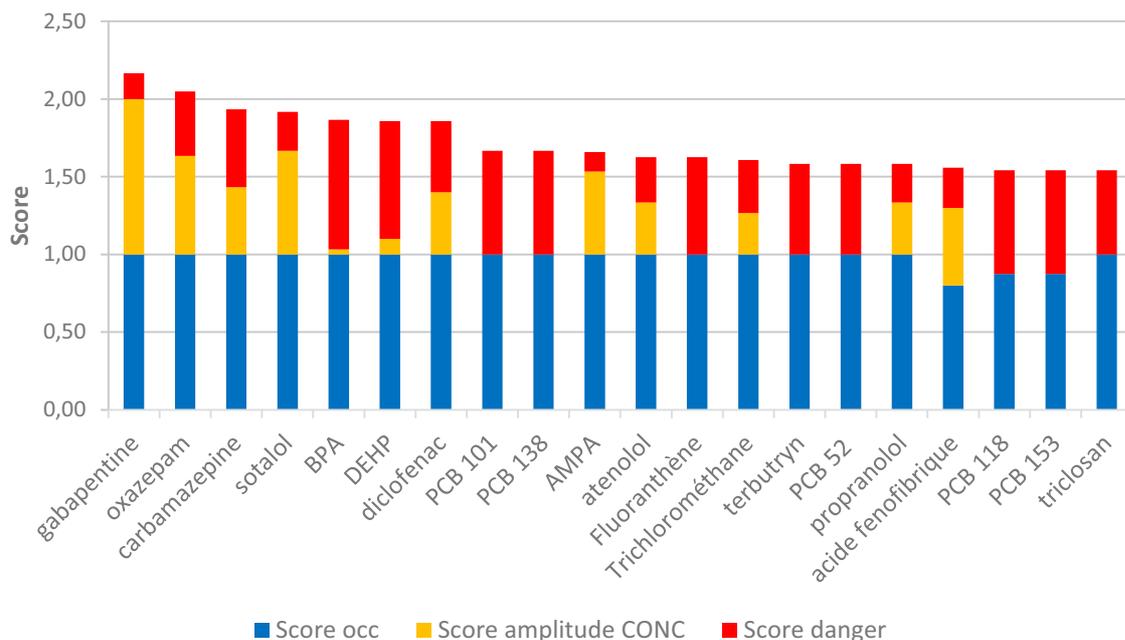


Figure 11 : Scoring des substances mesurées en sortie de STEU

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).

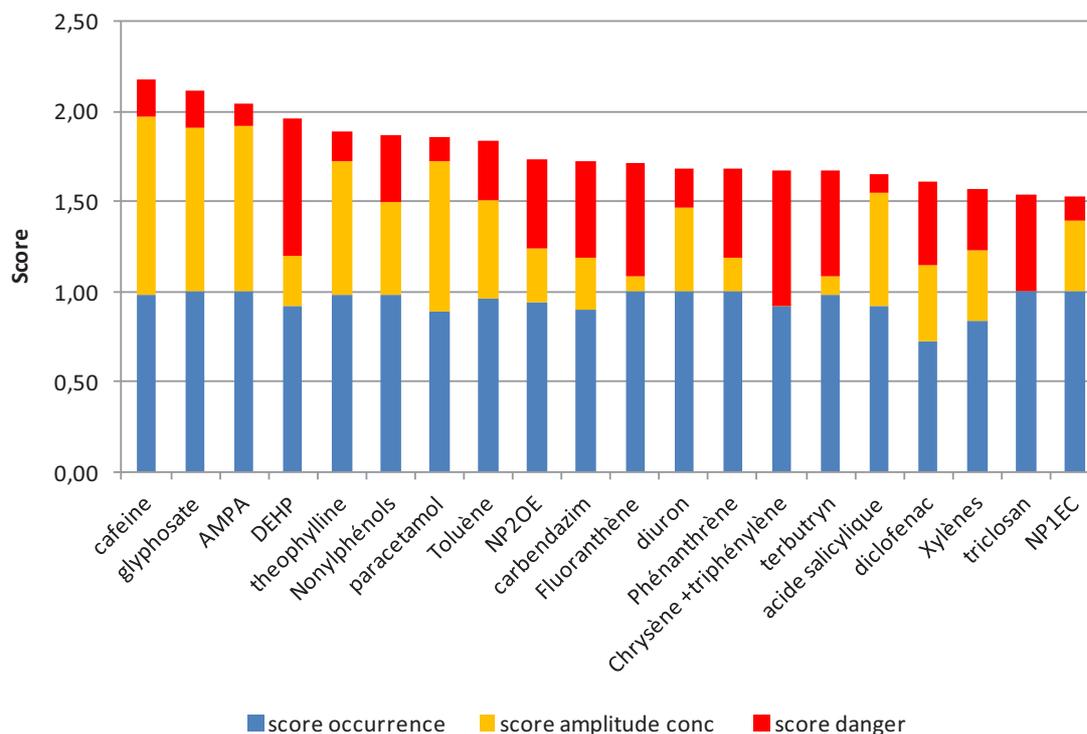


Figure 12 : Résultats de la priorisation dans les eaux pluviales

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).

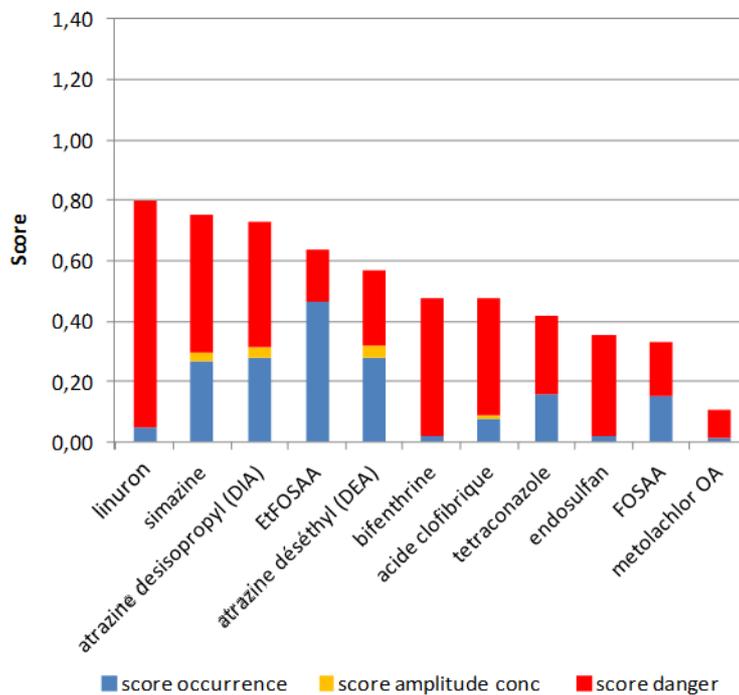


Figure 13 : Substances jamais quantifiées dans les eaux usées mais quantifiées dans les eaux pluviales

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).

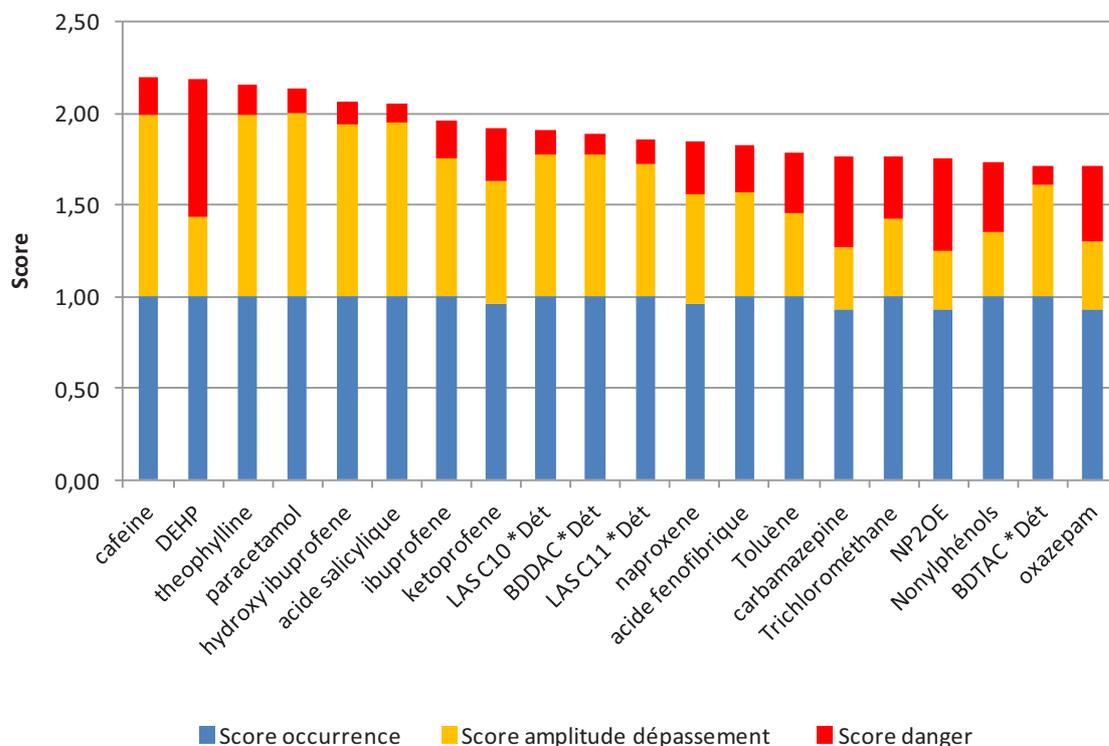


Figure 14 : top 20 substances dans les rejets hospitaliers (CHU)

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 fénofibrate 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 fénofibrate 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.

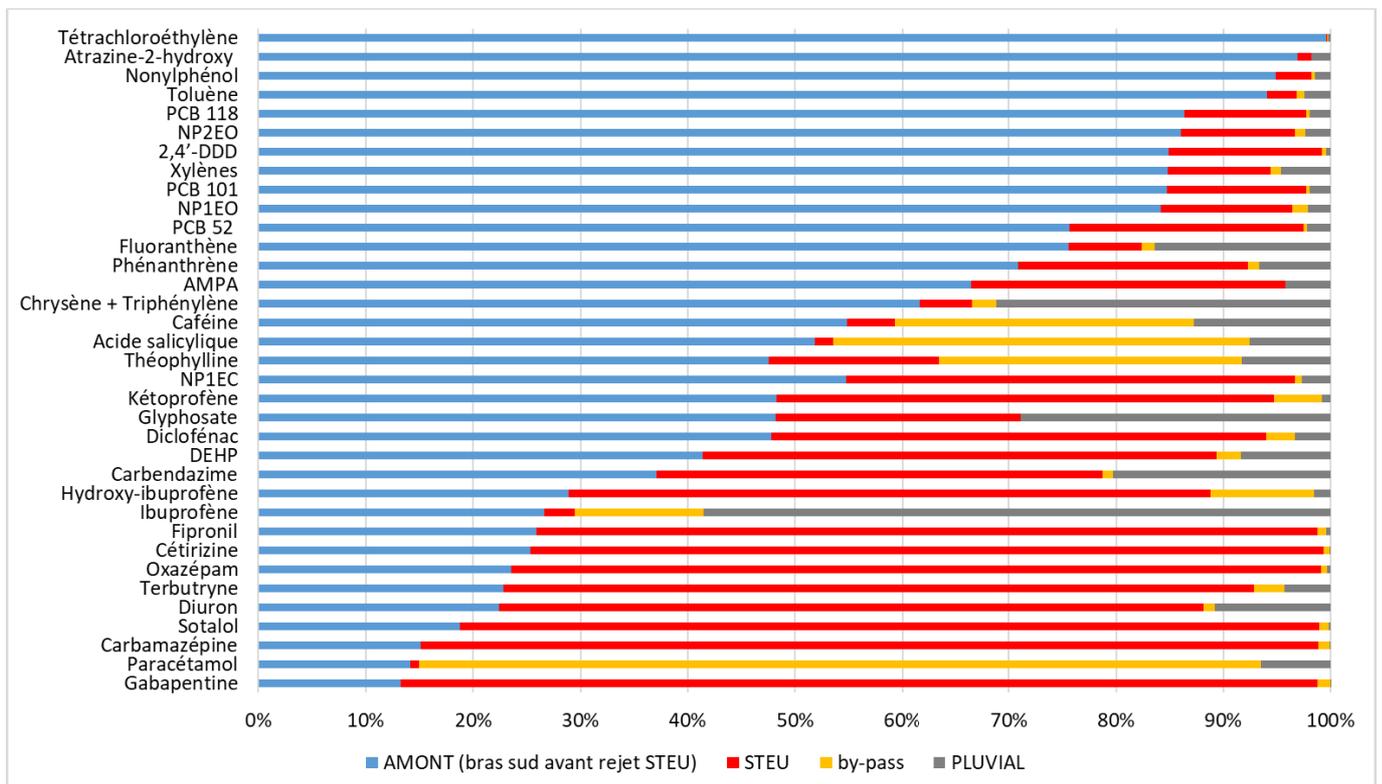


Figure 15 : Empreinte environnementale des substances à enjeux sur le BV de la Jalle

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 renvoi 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 pentadecafluorooctanoic 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

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

**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT



REGARD

RÉduction et Gestion des micropolluants sur la métropole bordelaise

LOT 2 : DIAGNOSTIC ET PRIORISATION DES RISQUES
À L'ÉCHELLE DU TERRITOIRE

TACHE 2.1 CARACTÉRISATION ET HIÉRARCHISATION DES RISQUES

**Livrable n°214 : Méthodologie reproductible de diagnostic pour une stratégie
de réduction équilibrée à l'échelle d'un autre territoire urbain**

Version finale
Novembre 2019

Auteurs : MJ. Capdeville

université
de BORDEAUX



Université
BORDEAUX
MONTAIGNE

BORDEAUX
MÉTROPOLE

suez
le lyre

suez INERIS

irstea

CAP SCIENCES
Eau, Climat, Air, Pollution

Sommaire

SOMMAIRE	3
INTRODUCTION	4
1 RAPPEL SUR LE DIAGNOSTIC MENE DANS REGARD.....	5
2 ETAT DES LIEUX DU MILIEU NATUREL.....	6
2.1 LE MILIEU NATUREL	6
2.2 LES ANALYSES CHIMIQUES DE MICROPOLLUANTS	6
2.3 LES ANALYSES BIOLOGIQUES <i>IN VITRO</i>	8
2.4 LES ANALYSES BIOLOGIQUES <i>IN VIVO</i>	8
2.5 LES PARAMETRES ACCOMPAGNATEURS.....	9
3 HIERARCHISATION ET PRIORISATION DES MICROPOLLUANTS.....	11
4 ETUDE DES SOURCES DE MICROPOLLUANTS	13
4.1 CARACTERISATION CHIMIQUE.....	13
4.1.1 <i>Différencier les apports du réseau d'assainissement.....</i>	<i>13</i>
4.1.2 <i>Les eaux pluviales</i>	<i>14</i>
4.1.3 <i>Les STEU</i>	<i>15</i>
4.1.4 <i>Les eaux usées brutes.....</i>	<i>16</i>
4.1.5 <i>Bilan</i>	<i>17</i>
4.2 CARACTERISATION BIOLOGIQUE	18
4.3 DIAGNOSTIC SUR LES PRATIQUES.....	18
5 CONSEILS PRATIQUES ET POINTS D'ATTENTION.....	21
CONCLUSION.....	24

Introduction

Le programme de recherche REGARD (Réduction et Gestion des micropolluants sur la métropole bordelaise) avait pour objectif de réaliser, sur le territoire de la métropole bordelaise, un diagnostic intégré de la pollution des eaux urbaines (réseau d'assainissement et milieu naturel) par les micropolluants (MP) pour ensuite proposer des solutions de réduction adaptées aux risques en présence. Pour répondre à cet objectif, le projet a été découpé en 2 phases : une première phase de diagnostic territorial, global et intégré pour faire l'état des lieux de la pollution des eaux usées, pluviales et du milieu naturel ainsi que l'identification de solutions pour réduire cette pollution ; et une seconde phase de mise en œuvre d'actions de réduction pour les tester et les évaluer du point de vue environnemental (efficacité pour réduire la pollution), social (acceptabilité des solutions) et économiques (pour aider à l'orientation de l'action publique).

Ce livrable « Méthodologie reproductible de diagnostic » reprend les éléments mis en œuvre dans la phase de diagnostic de REGARD et y porte un œil critique. L'objectif est de présenter un retour d'expérience, afin que d'autres collectivités, qui souhaiteraient faire un diagnostic « micropolluants » de leur propre territoire, trouvent des éléments de réponse. Ainsi, en se basant sur l'expérience acquise, ce livrable propose un schéma générique que d'autres collectivités pourront se réapproprier.

Le premier chapitre du livrable passe brièvement en revue ce qui a été fait dans REGARD. Les chapitres suivants sont tous organisés de la même façon :

- i. « Dans REGARD » : détail ce qui a été fait dans le diagnostic de REGARD à titre d'exemple illustratif,
- ii. « Préconisations » : ce que nous conseillons de garder pour un autre diagnostic,
- iii. « Regrets » : ce qui a été fait mais qui n'a pas été utile ou qui n'a pas apporté de résultats satisfaisants,
- iv. « Pour aller plus loin » : ce qui peut être ajouté ou qui aurait pu être fait à la place,
- v. « Méthodologie » : conclusion méthodologique préconisant ce qui est à faire dans un cas générique.

Ainsi pour réaliser un diagnostic de base, les parties « Préconisations » (ii) et « Méthodologie » (v) sont à prendre en compte alors que si un diagnostic plus important et plus complet est souhaité, il faut également intégrer la partie « Pour aller plus loin » (iv). Tout ce qui a été fait dans REGARD n'est pas indispensable à la réalisation d'un diagnostic et il n'est pas concevable de développer un projet de recherche comme REGARD de plusieurs années sur chaque territoire. Pour aider les collectivités à orienter leur choix dans les outils, la conclusion synthétise sous forme schématique l'ensemble des informations nécessaires à la réalisation d'un diagnostic en fonction de l'importance que l'on souhaite lui accorder.

Le cinquième chapitre du livrable a une vocation un peu particulière et permet de répondre aux questions d'ordre technique sur la réalisation pratique d'un diagnostic. Il n'est pas exhaustif sur les protocoles et méthodes à mettre en œuvre mais attire l'attention sur certains points de vigilance.

1 Rappel sur le diagnostic mené dans REGARD

Nous avons fait un état des lieux de la contamination du milieu naturel en s'appuyant sur :

- des analyses chimiques ciblées pour identifier et quantifier des micropolluants sélectionnés *a priori*.
- des analyses biologiques *in vitro* pour mettre en évidence des effets perturbateurs endocriniens et *dioxin-like*.
- des analyses biologiques *in vivo* pour évaluer l'état de santé des organismes vivants *via* l'exposition d'organismes modèles.

A partir des résultats des analyses chimiques ciblées, nous avons mené une démarche de hiérarchisation des micropolluants, organiques d'un côté et métalliques de l'autre, afin d'identifier les micropolluants prioritaires sur lesquels mener des actions de réduction en premier sur le territoire.

Nous avons ensuite cherché à comprendre d'où provenaient ces micropolluants. Pour cela nous avons analysé chimiquement et biologiquement les sources supposées de ces micropolluants en remontant le réseau d'assainissement à contre-courant depuis les points de rejets jusqu'aux sources d'émission potentielles. En parallèle, nous avons mené une caractérisation sociologique de ces sources afin de comprendre les pratiques, les produits et les usages à l'origine des rejets de micropolluants et d'identifier des leviers d'action pour réduire ces rejets.

2 Etat des lieux du milieu naturel

2.1 Le milieu naturel

Dans REGARD : nous avons étudié la Jalle de Blanquefort, petit cours d'eau péri-urbain typique d'une métropole, qui reçoit une partie des effluents du réseau d'assainissement de Bordeaux Métropole. La Jalle de Blanquefort a été préférée à la Garonne car d'une part, elle n'est pas soumise aux phénomènes de marées et n'a pas de bouchon vaseux ce qui la rend moins complexe à étudier et d'autre part, elle est caractéristique de ces cours d'eau avec des enjeux de biodiversité et de restauration.

Préconisations : étudier un système représentatif (c.à.d. situé en zone urbaine et qui reçoit tout ou partie des effluents du réseau d'assainissement) mais plus simple (c.à.d. pas de phénomène de marée, faible teneur en MES, pas de variation de salinité, etc.). Cela permet de se soustraire d'aléas qu'il est difficile de prendre en compte et qui compliquent l'interprétation des résultats.

Regrets : ne pas connaître le bruit de fond géochimique local pour relativiser les résultats d'analyses sur les métaux.

Pour aller plus loin : étudier les sédiments car ils peuvent être considérés comme des réservoirs à micropolluants. En effet, certains MP de par leur propriété physico-chimique s'adsorbent sur les particules, sédimentent et sont piégés temporairement dans ce compartiment. Lors d'évènements tels que des crues, des actions de dragage du cours d'eau ou le piétinement du sol par des baigneurs, les sédiments peuvent être remobilisés. Les MP accrochés à ces particules sont alors remis en suspension et se retrouvent à nouveau dans la phase aqueuse.

Méthodologie : faire un bilan de la contamination d'un territoire par les MP revient à faire un état des lieux de leur présence dans tous les compartiments : air, terre et eau. C'est un travail colossal, très intéressant mais aussi très onéreux et complexe à mettre en œuvre. En partant du postulat que les milieux aquatiques sont le réceptacle ultime de l'ensemble de la contamination par le lessivage des sols lors des évènements pluvieux ou par les retombées atmosphériques, cet état des lieux peut être limité au compartiment « eau ». Pour la plupart des collectivités, ce milieu aquatique se réduit aux eaux urbaines c'est-à-dire les eaux naturelles de surface impactées par les ruissellements d'eaux pluviales ou par les déversements du réseau d'assainissement.

In fine, l'état des lieux doit porter sur le milieu aquatique dans lequel se déverse le réseau d'assainissement et qui est le réceptacle de tout ou partie de la pollution. Selon le territoire considéré, ce milieu peut être un cours d'eau de taille plus ou moins importante (fossé, ruisseau, rivière, fleuve), un estuaire, un lac ou un étang, une lagune ou une baie, la mer ou l'océan.

2.2 Les analyses chimiques de micropolluants

Dans REGARD : nous avons réalisé une première campagne d'analyses en ciblant plus de 300 micropolluants choisis à partir d'informations réglementaires (substances dangereuses et dangereuses prioritaires de la DCE¹), de données bibliographiques (résultats de projets de recherche nationaux sur les micropolluants comme AMPERES² ou ARMISTIQ³), de résultats

¹ Directive Cadre sur l'eau <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT00000330631&categorieLien=id> & <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:32001D2455>

² <https://projetamperes.cemagref.fr/>

³ <https://armistiq.irstea.fr/>

d'études locales antérieures (projets ETIAGE⁴, RESEAU), de la disponibilité des protocoles analytiques et du coût des analyses.

A l'issue de cette première campagne, la liste des MP a été restreinte pour des questions de faisabilité technique (ex. lourdeur des campagnes de prélèvement, volumes d'eaux à échantillonner, etc.) et de coût. De 300 MP, elle est passée à 180. Les MP non retrouvés lors de cette première campagne ou dont les analyses étaient trop onéreuses ou spécifiques ont été évincés.

Puis, au fur et à mesure de l'avancée du projet et des questions auxquelles nous cherchions à répondre, de nouveaux MP sont venus compléter la liste des MP analysés. Au final, ce sont 258 MP qui ont été recherchés et analysés.

Préconisations : faire une première campagne qui vise large pour ensuite réduire la liste des MP à analyser. Cela permet d'un côté de ne pas passer à côté de MP qui auraient un intérêt pour le territoire étudié et de l'autre, de limiter les coûts.

Regrets : avoir ajouté des MP en cours d'étude. Cela présente l'inconvénient d'avoir un nombre différent d'analyses et de résultats en fonction du MP considéré. Les MP analysés depuis le début ont des conclusions plus robustes que ceux ajoutés en cours d'étude et cette disparité engendre une difficulté pour traiter l'ensemble des résultats et les comparer (notamment pour la partie hiérarchisation et priorisation).

Pour aller plus loin : faire des analyses chimiques non ciblées. Ces analyses fournissent une vision plus globale de la contamination bien que toujours non exhaustives (certaines molécules nécessitent des approches spécifiques) mais en effet bien plus large en termes de spectre de molécules investiguées. Les MP à rechercher ne sont pas prédéfinis en amont contrairement aux analyses ciblées. Ces analyses permettent de détecter une grande partie des MP organiques présents, qu'ils soient connus ou inconnus (ex. produit de transformation), dans un échantillon et d'obtenir le profil chimique de l'échantillon. Les empreintes chimiques peuvent être comparées d'un échantillon à l'autre pour mettre en évidence les différences entre les échantillons et ainsi révéler la présence ou l'absence de composés. Ces informations sont intéressantes dans le cadre d'un suivi de la contamination le long d'un continuum. De plus, ces analyses peuvent être utilisées comme une première étape pour mettre en évidence des composés présents dans un échantillon et orienter les efforts analytiques futurs (analyses ciblées).

Méthodologie : pour établir la liste des MP à étudier pour réaliser un diagnostic, les critères suivants peuvent être pris en compte :

- les aspects réglementaires (MP réglementés ou non),
- la bibliographie et les résultats de projets de recherche similaires locaux, nationaux ou internationaux,
- la dangerosité des MP (propriétés intrinsèques des MP comme par exemple cancérigènes, persistants, etc.),
- les spécificités territoriales (ex. territoire plutôt industriel, résidentiel ou agricole),
- la disponibilité des protocoles analytiques,
- le coût des analyses.

Cette liste peut être complétée en :

- prenant en compte de nouveaux MP, en particulier des MP dits émergents, ceux pour lesquels il n'y a pas beaucoup de connaissances et qui ont fait l'objet de peu ou d'aucune étude (ex. terres rares, biocides, etc.),
- intégrant les produits de transformation des MP parents pouvant être générés soit par la métabolisation au sein de l'organisme, soit par des processus biotiques et abiotiques ayant lieu par exemple dans le réseau, en station de traitement des eaux usées (STEU) ou dans le milieu naturel.

⁴ <http://etiage.epoc.u-bordeaux1.fr/>

2.3 Les analyses biologiques *in vitro*

Dans REGARD : nous avons mis en œuvre des bioessais *in vitro* qui permettent d'établir un diagnostic sur la toxicité potentielle associée aux micropolluants organiques de type perturbateurs endocriniens (PE) et *dioxin-like* (DL). L'étude s'est appuyée sur des tests permettant de détecter spécifiquement des composés ayant des activités œstrogéniques (ER), androgéniques (AR), glucocorticoïdes (GR) en ce qui concerne l'effet PE, et des composés ayant des activités de type *HAP-like* et *dioxin-like* en ce qui concerne l'effet DL.

Préconisations : cette approche est très intéressante et parfaitement complémentaire des analyses chimiques réalisées. Elle est très pertinente pour dresser des profils d'activités caractéristiques des eaux usées et pluviales, identifier des sites particulièrement actifs au sein des réseaux et mettre en évidence des effets PE dans le milieu naturel étudié.

Regrets : RAS

Pour aller plus loin : mettre en œuvre d'autres bioessais ciblant d'autres modes d'action et permettant un diagnostic plus large des contaminants biologiquement actifs. Par exemple des bioessais impliquant le récepteur PXR, ce dernier réagissant aux xénobiotiques tels que les composés pharmaceutiques ou les pesticides (quantifiés dans la Jalle) ou le récepteur de la progestérone (PR) qui révèle des composés pharmaceutiques à activité hormonale actuellement non pris en compte.

Méthodologie : les analyses chimiques permettent d'identifier et de quantifier des micropolluants mais pas d'évaluer leurs effets. A l'inverse, les analyses biologiques *in vitro* permettent de mettre en évidence la présence de micropolluants ayant un type d'effet particulier et de les quantifier sous forme d'équivalents-toxique (TEQ) mais pas de dire quel micropolluant est en cause. Ces deux approches sont donc complémentaires et c'est pourquoi il est d'autant plus intéressant dans une démarche de diagnostic de les combiner.

Les bioessais *in vitro* utilisés dans REGARD sont des tests cellulaires pratiqués sur des cellules modifiées. Ces cellules possèdent un récepteur, spécifique d'un type de polluants, et un gène rapporteur lié à ce récepteur. Lorsqu'un ou des polluant(s) se fixe(nt) sur le récepteur, cela entraîne l'activation du gène qui produit alors une réponse visible, lumineuse ou fluorescente, et facilement détectable. L'intensité de la réponse étant proportionnelle à la quantité de polluants fixés sur le récepteur, par conséquent, plus il y a de polluants, plus la réponse est importante. Ces tests biologiques ou bioessais sont spécifiques d'un type d'effet par le récepteur utilisé. Ils permettent d'évaluer des effets de type :

- perturbateurs endocriniens (PE) en employant des récepteurs aux hormones œstrogéniques (ER), androgéniques (AR) ou encore glucocorticoïdes (GR) ;
- *dioxin-like* (DL) en employant un récepteur aux HAP ou aux dioxines (récepteur AhR).

2.4 Les analyses biologiques *in vivo*

Dans REGARD : nous avons mis en œuvre des bioessais *in vivo* en exposant des coquillages d'eau douce. Des bivalves filtreurs du genre *Corbicula fluminea* ont été prélevés sur un site de référence puis encagés et immergés en différents points du cours d'eau, le long d'un continuum amont-aval. La survie, la croissance, la bioaccumulation de 14 métaux, la production de métallothionéines (protéines de détoxification) et l'analyse de l'expression quantitative de gènes d'intérêts impliqués dans la détoxification, le métabolisme mitochondrial, la réparation de l'ADN, etc... sont les paramètres qui ont été suivis.

Préconisations : l'exposition d'organismes vivants pour une évaluation globale du milieu naturel.

Regrets : les résultats de cette étude se sont montrés décevants au regard de l'investissement humain, technique et financier pour plusieurs raisons :

- pas de site d'étude amont de référence, c'est-à-dire pas de site vierge de pollution même tout en amont du cours d'eau donc difficile de comparer les résultats obtenus au niveau des différents points en aval des rejets du réseau d'assainissement avec une référence Néanmoins, des comparaisons inter-sites, à partir de l'expression quantitative de gènes, ont permis de caractériser l'impact spécifique des rejets issus d'une STEU ou d'un exutoire pluvial⁵. Cette technique permet d'observer l'effet sur l'ensemble des fonctions métaboliques de l'organisme et nous a permis en particulier de caractériser par exemple l'impact sur les réponses immunitaires ;
- un bruit de fond géochimique relativement élevé en amont du cours d'eau pour certains éléments ce qui a eu pour conséquence de mettre en évidence un gradient de contamination métallique (bioaccumulation des métaux) plus fort à l'amont qu'à l'aval, empêchant ainsi de pouvoir mettre en évidence une bioaccumulation à l'aval des points de rejets en lien avec le déversement d'eaux usées ou pluviales ;
- un cours d'eau avec de forts niveaux d'hypoxie en été, qui ont pu être à l'origine d'un stress important voire d'une mortalité des organismes totalement indépendante de la présence de micropolluants (cependant dans un cadre plus large, cela permet de montrer que les conditions du cours d'eau ne sont pas favorables à la survie des animaux, et la présence de MP va *a fortiori* avoir un impact sévère sur les organismes) ;
- le dosage uniquement des composés métalliques bioaccumulés et pas des composés organiques empêchant l'interprétation complète de certains résultats.

Pour aller plus loin : réaliser le dosage de certains micropolluants organiques, tels que des pharmaceutiques, pesticides ou HAP, en plus des métaux pour évaluer leur bioaccumulation et comprendre certaines réactions (production des métallothionéines ou expression/répression de certains gènes).

Il est possible d'analyser les organismes autochtones et naturellement présents dans le milieu étudié pour connaître leur niveau de contamination.

Méthodologie : Contrairement aux bioessais *in vitro* qui sont pratiqués en laboratoire sur des cellules et à partir d'échantillons prélevés (eau, sédiments, etc.), les bioessais *in vivo* sont pratiqués sur des organismes vivants entiers et avec une exposition continue dans le milieu que l'on cherche à étudier. Les organismes vivants sont choisis en fonction du milieu étudié comme par exemple des huîtres pour le milieu marin, des gammarels ou des palourdes pour les eaux douces superficielles, des vers de terre pour les sols terrestres. Divers paramètres peuvent être regardés tels que la survie, la croissance, la motricité, la prédation, la reproduction mais aussi des paramètres plus internes comme la bioaccumulation de polluants, la production de protéines de détoxification ou encore la modification de la réponse génétique (expression des gènes).

2.5 Les paramètres accompagnateurs

Dans REGARD : en complément des analyses chimiques et biologiques, nous avons mesuré certains paramètres, dits paramètres accompagnateurs, qui sont indispensables à la compréhension et à l'interprétation des résultats. Il s'agit :

- du débit, mesuré en parallèle et durant le temps d'échantillonnage. Le débit permet de calculer le flux qui prend en compte la concentration en micropolluants et le volume d'eau passé durant le temps d'échantillonnage. Il permet ainsi de comparer des données pour un même pas de temps (ex. à l'échelle annuelle ou journalière),

⁵ Bertucci A., Pierron F., Gourves P.Y., Klopp C., Lagarde G., Gonzalez P. and Baudrimont M. (2018). Whole-transcriptome response to wastewater treatment plant and stormwater effluents in the Asian clam, *Corbicula fluminea*. *Chemosphere*, 165 :96-106. doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.090

- de la température, du pH, de la turbidité, de la conductivité et de l'oxygène dissous, mesurés en continu *via* une sonde. Ces paramètres permettent de s'assurer des conditions d'exposition des organismes vivants et la mesure en continu permet de connaître rapidement les variations subies par le milieu naturel,
- des matières en suspension (MES) pour convertir des données de concentrations de micropolluants dans des unités différentes et faire des calculs entre les différentes phases (dissoute ou particulaire), notamment pour les métaux,
- de la température (T°) et du pH mesurés dans les échantillons prélevés. La T° est un facteur de contrôle important pour certains éléments. Elle renseigne sur la bonne conservation des échantillons prélevés. Le pH influence la forme sous laquelle les métaux ou les MP organiques se trouvent,
- des paramètres DCO⁶, DBO₅⁷, NTK⁸, NH₄⁹, NO₃¹⁰, NO₂¹¹, Pt¹² et PO₄¹³ pour caractériser un échantillon et s'assurer qu'il est représentatif du compartiment étudié,
- du COD¹⁴ et COT¹⁵ pour renseigner sur la quantité de matière organique (MO) présente dans l'échantillon, ce paramètre influençant la répartition de certains MP entre la phase dissoute et la phase particulaire. En effet, plus un échantillon est riche en MO, et donc en carbone (COD), et plus les MP organiques pourront s'adsorber sur les particules. De même, ces paramètres renseignent sur la nature des sédiments, plus ou moins sableux ou vaseux, ce qui influence aussi la répartition des MP entre le sédiment et l'eau.

Préconisations : la mesure de l'O₂ dissous et de la turbidité en continu dans le cas où des organismes vivants sont exposés et la mesure des débits, MES, pH, T°, DCO, DBO₅, NTK et COD dans les échantillons prélevés dans le milieu naturel.

Regrets : la mesure du NH₄, des NO₃, des NO₂, du Pt et des PO₄ dans les échantillons collectés dans le milieu naturel car ces données n'ont pas été exploitées (attention ce n'est pas valable pour les échantillons prélevés dans le réseau d'assainissement où ces paramètres sont nécessaires pour interpréter les résultats).

Pour aller plus loin : RAS

Méthodologie : pour pouvoir interpréter, comprendre et comparer les résultats des analyses chimiques ou biologiques obtenus il est indispensable de mesurer certains paramètres accompagnateurs. Les mesures peuvent être effectuées directement dans le milieu naturel ou dans les échantillons prélevés, de façon continue ou ponctuelle.

⁶ Demande Chimique en Oxygène

⁷ Demande Biochimique en Oxygène (à 5 jours)

⁸ Azote totale selon Kejdahl

⁹ Ammonium

¹⁰ Nitrates

¹¹ Nitrites

¹² Phosphore total

¹³ Orthophosphates

¹⁴ Carbone organique dissous

¹⁵ Carbone organique total

3 Hiérarchisation et priorisation des micropolluants

Une fois le diagnostic réalisé, il est nécessaire d'identifier les micropolluants qui posent problème et qui sont responsables d'un dysfonctionnement de l'écosystème.

En effet, le seul fait que des MP aient été quantifiés ne suffit pas à les considérer comme problématiques car certains sont naturellement présents et leur présence ne représente pas nécessairement un danger ; et d'autres ne sont pas forcément responsables des dysfonctionnements observés. A l'inverse, dans le cas où des effets toxiques sont mis en évidence par les bioessais, *in vitro* ou *in vivo*, il faut alors identifier les MP responsables de ces effets.

Dans REGARD : nous avons réalisé une première identification des MP problématiques en comparant les concentrations moyennes individuelles avec les normes de qualité environnementales (NQE). La NQE est définie comme « la concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement » (DCE 2000/60/CE). Il existe des valeurs de NQE pour moins d'une centaine de MP. Elles sont indiquées dans l'arrêté du 27 juillet 2018 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface. Pour les MP qui ne possèdent pas de NQE, il est possible de prendre en compte la Concentration Prédite sans Effet (PNEC). La PNEC est définie comme étant la plus forte concentration de la molécule sans risque pour l'environnement. Au final, les MP dont les concentrations sont supérieures aux NQE ou aux PNEC sont considérés comme problématiques. Cette méthode a l'avantage d'être rapide mais tous les MP n'ont pas de NQE ou de PNEC et ceux dans ce cas ne sont pas pris en considération. Par ailleurs, cette méthode ne donne pas d'ordre de priorité entre les MP identifiés comme problématiques et on ne sait pas sur lesquels agir en premier.

Par conséquent, nous avons mis en œuvre une autre méthode afin d'identifier les micropolluants qui posent problème et établir un ordre de priorité. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur la méthodologie du CEP¹⁶ développée pour des mesures de surveillance et nous l'avons adaptée à des mesures de gestion. Les détails sont indiqués dans le livrable intitulé « Hiérarchisation des risques, priorisation des substances et sélection des substances sentinelles à suivre dans les différents compartiments ». En résumé, elle s'appuie sur les résultats des analyses chimiques ciblées du milieu naturel et prend en compte 4 critères :

- la présence du MP retranscrit *via* sa fréquence de quantification ;
- le niveau de présence du MP retranscrit *via* sa concentration ;
- la dangerosité intrinsèque du MP retranscrit *via* ses caractéristiques PBT¹⁷, CMR¹⁸ ou PE ;
- le risque que le MP représente si sa concentration dépasse les seuils de protection environnementale que sont les NQE et les PNEC.

Un score est attribué à chaque critère et l'addition des scores des 4 critères permet d'obtenir un classement des MP du plus problématique, avec le score le plus élevé, au moins problématique. Cette hiérarchisation permet d'identifier les micropolluants prioritaires pour lesquels il est nécessaire d'identifier les sources pour pouvoir agir et réduire leurs apports au milieu naturel.

Préconisations : utiliser la méthode de priorisation du CEP adaptée à des mesures de gestion.

Cette méthode présente l'avantage de hiérarchiser les micropolluants problématiques en plus de les identifier. Si un critère n'est pas rempli (ex. la fréquence de quantification pour les métaux

¹⁶ En 2010, l'AFB et L'INERIS ont désigné un Comité Experts Priorisation (CEP). Ce CEP a pour mission de développer et maintenir un référentiel méthodologique pour guider l'ensemble des exercices de priorisation des micropolluants aquatiques en France.

¹⁷ Persistant, Bioaccumulable, Toxique

¹⁸ Cancérogène, Mutagène, Reprotoxique

qui sont naturellement présents ou le seuil de qualité environnementale pour les composés émergents), un score peut être calculé avec les autres critères et tous les micropolluants sont pris en compte dans cette priorisation.

Regrets : la méthode basée uniquement sur les seuils de protection environnementaux, NQE et PNEC, car il n'y a pas de priorisation des MP.

Ne pas avoir pu intégrer les résultats des bioessais in vitro dans la démarche de priorisation.

Pour aller plus loin : nous avons utilisé une méthode de priorisation basée sur les résultats des analyses chimiques ciblées. Cette méthode est pertinente pour prioriser les micropolluants déjà identifiés comme dangereux. Toutefois elle se restreint à des substances connues et ne prend pas en compte la complexité des mélanges environnementaux, ni la présence de polluants toxiques non sélectionnés *a priori*. Une autre approche consiste donc à se baser sur les réponses de bioessais et identifier les échantillons présentant une toxicité particulière. L'application d'une démarche dite EDA (pour Effect-directed analysis ou analyse dirigée par l'effet), qui combine analyses chimiques et biologiques permet d'orienter les analyses chimiques vers l'identification des MP responsables des effets observés dans les bioessais. Ainsi l'effort de recherche des sources d'émission sera orienté sur les micropolluants à l'origine de l'effet observé, c'est à dire ceux qui sont problématiques. A l'inverse, si des échantillons ne répondent pas aux bioessais, même si des MP sont présents, ils ne sont pas considérés problématiques et il ne sera pas nécessaire de dépenser des moyens techniques et financiers pour identifier leur source. Cette méthode présente certains avantages et limites qui font d'elle une approche complémentaire à celle du CEP.

- 1^{er} avantage : elle se base sur une toxicité avérée pour orienter la recherche des sources des micropolluants et pas sur une toxicité supposée, calculée à partir du dépassement de seuils et de propriété de danger.
- 2^{ème} avantage : les effets cocktails sont pris en compte grâce à l'utilisation des bioessais.
- 3^{ème} avantage : cette méthode pousse à rechercher la source de composés qui ne sont pas pris en compte avec la méthode CEP car inconnus (ex. produit de transformation) ou non choisis *a priori* pour être étudiés.
- 1^{ère} limite : Cette démarche n'est pour le moment pas utilisable en routine puisqu'elle est assez lourde à mettre en œuvre et nécessite du temps, de gros volumes d'échantillons et des appareils analytiques très perfectionnés. Des développements sont actuellement effectués pour alléger cette approche (ex. automatisation).
- 2^{ème} limite : cette approche nécessite une étape de confirmation aussi bien chimique que biologique pour identifier la cause et donc nécessite de disposer de standard. Dans le cas de composés inconnus tels que les produits de transformation par exemple, les standards analytiques ne sont pas toujours disponibles et l'identification peut ne pas aboutir.

Méthodologie : la priorisation des micropolluants s'appuie sur la méthodologie du CEP adaptée à des mesures de gestion. Cette méthodologie est basée sur les résultats des analyses chimiques ciblées de MP dans le milieu naturel. Elle considère 4 critères : l'occurrence, l'amplitude de dépassement, le danger et le risque. Une valeur est attribuée à chacun de ces critères et un score global est calculé en additionnant les valeurs des 4 critères. Le classement des scores, du plus élevé au plus faible, permet de prioriser les MP, les MP ayant le plus gros score étant considérés comme les plus problématiques. Les MP organiques et métalliques ne se comportant pas de la même façon, un classement différent doit être réalisé pour chacune de ces 2 catégories de MP.

4 Etude des sources de micropolluants

Une fois les micropolluants problématiques identifiés, il convient d'investiguer et de remonter aux sources d'émission de ces MP.

Dans REGARD nous avons considéré 5 sources : la source domestique, la source hospitalière, la source industrielle, la source collectivité et la source pluviale. Chacune de ces sources a fait l'objet d'une caractérisation chimique afin de doser les micropolluants provenant de chacune d'elles, d'une caractérisation biologique afin d'évaluer les effets PE et DL au niveau de chaque source et enfin, d'une « caractérisation sociale » afin de comprendre les pratiques, les produits et les usages à l'origine des rejets de micropolluants.

Ces différentes caractérisations sont présentées dans les paragraphes suivants.

4.1 Caractérisation chimique

4.1.1 Différencier les apports du réseau d'assainissement

Dans REGARD : dans la Jalle, nous avons comparé les flux annuels provenant :

- de l'amont du cours d'eau et qui correspondent principalement à des ruissellements sur des terrains agricoles, forestiers et d'anciens sites industriels ;
- des rejets d'exutoires pluviaux qui correspondent à des rejets d'EP strictes après ruissellement sur des surfaces urbanisées ;
- des rejets d'une STEU qui correspondent à des rejets d'EU traitées par temps sec et des rejets d'un mélange d'EU brutes et d'EP par fortes pluies (by-pass de la STEU).

Cette comparaison nous a permis de définir l'origine la plus probable de certains MP (notamment ceux dont les concentrations dépassent les NQE ou les PNEC) : amont (ancienne pollution industrielle des sols ou pollution agricole des sols, ancienne et rémanente, ou récente), EP strictes, EU traitées ou mélange EU brutes/EP (by-pass).

Préconisations : ce premier niveau d'approche permet de distinguer ce qui vient du réseau d'assainissement, du système urbain, (rejets exutoires pluviaux ou STEU) du reste (pollution terrestre, aérienne)

Regrets : cette approche n'est pas suffisante car elle ne permet pas toujours d'identifier la source c'est-à-dire l'origine précise des MP sur laquelle agir pour réduire la pollution.

Pour aller plus loin : nous avons étudié les rejets des exutoires pluviaux qui déversent des eaux pluviales strictes afin d'identifier les micropolluants que les EP apportent au milieu naturel. Il n'y a pas de déversoirs d'orage (DO) sur la Jalle mais s'il y en avait eu, nous aurions aussi dû étudier les eaux pluviales mélangées aux eaux usées non traitées qui arrivent au niveau de ces DO afin d'évaluer la contribution de ces ouvrages à la pollution du milieu naturel.

Méthodologie : Les MP présents dans le milieu naturel peuvent provenir de retombées atmosphériques, du ruissellement des eaux pluviales et des déversements du réseau d'assainissement (eaux usées (EU), eaux pluviales (EP) ou mélange EU/EP). Remonter aux sources signifie dans un premier temps d'identifier de laquelle de ces 3 sources, les MP proviennent. Pour évaluer les MP provenant des retombées atmosphériques il est possible d'analyser les eaux de pluie. Pour les MP provenant du ruissellement, il faut analyser les eaux pluviales à proximité du milieu naturel étudié, avant infiltration ou interception par le réseau d'assainissement. Pour les MP provenant des déversements du réseau d'assainissement, il faut analyser les différents types d'eau (EU, EP, mélange EU/EP) au niveau des points de rejet. Ces points de rejet peuvent être les STEU avec des rejets d'EU traitées par temps sec et des rejets d'un mélange EU brutes/EP par temps de pluie, les exutoires pluviaux avec des rejets d'EP strictes ou les déversoirs d'orages (DO) avec des rejets d'un mélange EU brutes/EP.

Dans le cas où les déversements du réseau d'assainissement sont identifiés comme étant à l'origine des MP dans le milieu naturel, il faut alors poursuivre l'investigation et remonter en amont. En effet, les STEU, les exutoires pluviaux et les DO ne sont que les vecteurs des polluants qui proviennent des usages et pratiques domestiques, artisanales, industrielles, médicales, etc. et qui transitent *via* les eaux usées et les eaux pluviales. Remonter dans le réseau signifie réaliser des prélèvements d'EP et d'EU soit dans les canalisations en remontant du point de rejet jusqu'à l'origine de l'émission des MP, soit dans les ouvrages qui jalonnent le réseau soit au niveau des sources d'émission elles-mêmes qui correspondent à des typologies d'eaux bien précises.

4.1.2 Les eaux pluviales

Dans REGARD : pour analyser les eaux pluviales (EP strictes), nous avons effectué des prélèvements à l'échelle de :

- petits bassins de collecte, type quartiers résidentiels, afin d'être au plus près de la source ;
- bassins de collecte de taille moyenne récupérant les EP de sites urbains spécifiques tels que le parking d'un centre commercial, des terrains de sport, les parkings de l'aéroport ou encore un cimetière ;
- grands bassins de collecte récupérant les EP de zones urbaine, forestière, agricole et routière ;
- d'un collecteur particulier recueillant les EP des parkings de l'aéroport et des voiries de la rocade nord bordelaise (fort trafic routier).

L'objectif de l'ensemble de ces analyses était d'avoir une vision générique ou spécifique de la contamination des eaux pluviales de la métropole.

Préconisations : réaliser des prélèvements d'EP strictes à différentes échelles de bassin de collecte afin d'avoir des informations complémentaires quant à la pollution des EP par les MP. Les gros collecteurs apportent une vision générique et les autres sites permettent de préciser les particularités de la contamination en fonction de la typologie du bassin versant considéré.

Regrets : certains sites n'ont été échantillonnés qu'une seule fois et plusieurs campagnes de prélèvement auraient été nécessaires pour comprendre les résultats obtenus.

Par ailleurs, les prélèvements à l'échelle de petits bassins de collecte se révèlent compliqués à mettre en œuvre et il est plus difficile d'obtenir un échantillon représentatif pour ces sites que pour des gros bassins tels que ceux se déversant au niveau des exutoires pluviaux.

La difficulté pour réaliser des campagnes d'échantillonnage par temps de pluie et particulièrement quand on souhaite faire un échantillonnage asservi au débit. L'asservissement au débit suppose de connaître à l'avance : (i) l'horaire de début de la pluie pour programmer le démarrage du préleveur automatique et (ii) le volume des précipitations afin d'estimer le volume global de l'évènement ainsi régler les conditions d'échantillonnage du préleveur. Malgré la diversité des sites internet météorologiques, aucun n'est suffisamment fiable ou précis pour fournir ces informations ce qui rend le paramétrage et les conditions d'échantillonnage difficiles. De plus, il est préférable que la pluie tombe en semaine pendant les heures ouvrées que le week-end ou la nuit pour des questions de logistique (impossible d'échantillonner la nuit du samedi au dimanche par exemple car les échantillons ne peuvent être portés aux laboratoires d'analyse dans les 24h après prélèvement) et de sécurité (par temps de pluie, les débits peuvent augmenter de façon très importante et rendre les prélèvements dangereux à cause de la montée des eaux ou infaisable car le matériel est emporté par le courant).

La difficulté à échantillonner des EP d'une seule typologie (ex. quartier industriel, domestique, etc.). Généralement se sont des mélanges d'EP urbaines c'est-à-dire que les bassins de collecte sont à la fois industriels, artisanaux, domestiques, etc.

Pour aller plus loin : Les prélèvements ont été réalisés soit tout à l'amont des canalisations, dès interception des eaux par le système d'assainissement soit tout à l'aval, au niveau des points

de rejet dans le milieu naturel. Nous aurions aussi pu réaliser des prélèvements dans les ouvrages qui jalonnent le réseau tels que les bassins (enterrés ou à ciel ouvert). Les caractéristiques de stockage de ces ouvrages présentent l'intérêt, par rapport aux canalisations, de garder l'eau et donc d'avoir une sorte d'historique de la pollution sur tout un évènement pluvieux.

Pour aller plus loin, il est aussi possible d'étendre la caractérisation chimique en recherchant des composés dans des compartiments dans lesquels ils ne le sont pas habituellement (ex. médicaments dans les EP). Il est aussi possible de faire un screening avec des analyses chimiques non ciblées.

Enfin, il est possible d'analyser le sol et les eaux de nappe souterraine sous-jacente d'un bassin d'infiltration quand ces éléments sont en lien avec le milieu naturel étudié.

Méthodologie : la caractérisation chimique des eaux pluviales peut être réalisée en pratiquant des analyses soit en fonction de la dimension du bassin de collecte soit en fonction de sa typologie, les 2 dimensions se recoupant régulièrement. Les typologies de bassin de collecte sont :

- verte comme par exemple les zones forestières, parcs, jardins publics, etc. ;
- agricole pour des zones de culture ou d'élevage ;
- urbaine comme par exemple une zone résidentielle, industrielle, artisanale, d'activités économiques ou le parking d'un centre commercial, un cimetière ;
- routière allant d'un trafic faible (ex. quartier résidentiel) à intense (autoroute, périphérique ou rocade).

4.1.3 Les STEU

Dans REGARD : nous avons analysé par temps sec les EU brutes en entrée et les EU traitées en sortie, et par temps pluie, les EU brutes en entrée et les eaux by-passées (mélange EU brutes non traitées et EP) d'une STEU se rejetant dans la Jalle. Nous avons aussi analysé les boues liquides et déshydratées, respectivement prélevées en entrée et sortie de la filière de traitement des boues et nous avons calculé les rendements d'élimination des MP par les filières de traitement des eaux et de traitement des boues. L'objectif de l'ensemble de ces études était de bien comprendre ce qui se passe au niveau des STEU car ces ouvrages présentent l'intérêt de traiter une partie des MP. Ainsi la composition des eaux n'est pas la même entre l'entrée et la sortie.

Préconisations : réaliser des prélèvements en entrée et sortie de STEU. Les analyses des EU traitées en sortie permettent de faire le lien entre les MP identifiés dans le milieu naturel et ceux présents dans les effluents déversés par la STEU. Les analyses des EU brutes en entrée renseignent sur la composition des eaux usées, toute source d'émission confondue, et donnent ainsi un aperçu générique de leur contamination, à l'instar de ce qui est fait avec les gros collecteurs d'EP strictes.

Regrets : dans l'objectif de comprendre ce qui arrive au milieu naturel, il aurait été souhaitable d'augmenter le nombre de prélèvements par temps de pluie afin d'avoir une meilleure représentativité des résultats par temps de pluie.

Pour aller plus loin : nous avons réalisé des analyses de boue en sortie de STEU. Dans une première approche, ces analyses ne sont pas indispensables pour comprendre l'origine des MP présents dans le milieu naturel étudié, à moins que les boues ne soient épandues à proximité immédiate de ce milieu. En revanche, ces analyses peuvent se révéler pertinentes et nécessaires pour avoir une idée de la contamination globale d'un environnement.

Méthodologie : les STEU traitent une partie des MP. Ce traitement implique un changement de la composition des eaux entre les EU brutes en entrée et les EU traitées en sortie. La première étape consiste à réaliser à la fois des prélèvements en entrée d'EU brutes et en sortie d'EU

traitées. Les données d'entrée donnent une information sur la composition de l'ensemble des eaux usées brutes avant traitement, toute source d'émission confondue, tandis que la connaissance des eaux usées traitées permet d'évaluer ce qui arrive au milieu naturel. Quand l'objectif est d'identifier les polluants présents dans les eaux usées en tant que source alors c'est principalement l'entrée qu'il faut étudier, l'efficacité du traitement introduisant un biais. En STEU, la totalité des paramètres accompagnateurs doit être analysée afin de vérifier le bon fonctionnement de cette dernière.

4.1.4 Les eaux usées brutes

Dans REGARD : nous avons effectué des prélèvements à l'échelle de maisons individuelles, d'habitats collectifs (immeubles) et de quartiers pour étudier la source domestique, à l'échelle de zones industrielles pour étudier la source industrielle et à l'échelle de bâtiments ou ensemble de bâtiments d'un CHU pour étudier la source hospitalière.

Préconisations : les différents prélèvements pour la source domestique se sont révélés complémentaires et pertinents. L'avantage de réaliser des prélèvements à la sortie d'une maison individuelle est qu'il est possible de faire le lien entre le nombre de personnes habitant dans la maison, les produits utilisés et les MP retrouvés dans les EU. Néanmoins, ces prélèvements ne peuvent pas être réalisés partout car ils nécessitent la présence d'un regard et d'un regard de taille suffisante pour accueillir et dissimuler le préleveur automatique.

Regrets : les prélèvements à l'échelle des zones industrielles se sont révélés non pertinents. En effet, il n'a pas été possible de démêler l'origine strictement industrielle, liée à un processus de traitement ou de fabrication par exemple, de l'origine plus générale des EU liée aux douches, sanitaires et autres usages de l'eau qui peuvent être faits dans des bâtiments administratifs, sièges sociaux ou habitations également situés dans les zones industrielles étudiées. Il en ressort que pour pouvoir faire le lien entre une activité industrielle et la présence de micropolluants dans les EU il est plus pertinent de faire des prélèvements à la sortie d'un site industriel spécifique ou d'un bâtiment en particulier.

Au niveau du CHU, si les prélèvements réalisés à la sortie des différents bâtiments ont permis d'identifier des bâtiments plus contributeurs que d'autres à la contamination, en revanche, ils n'ont pas permis de cibler un service ou une activité en particulier et donc de faire un lien entre une activité et la présence de MP dans les EU.

Pour aller plus loin : il est possible d'analyser les sédiments et les dépôts dans le réseau.

Méthodologie : En ce qui concerne les eaux usées, plusieurs sources d'émission de micropolluants peuvent être étudiées :

- la source domestique : les prélèvements peuvent être réalisés à l'échelle d'un quartier exclusivement occupé par des habitations (pas de commerces, de centres de soin (cabinet médicaux ou vétérinaires), d'ateliers, etc.), d'un habitat collectif (ex. lotissement, immeuble ou résidence) ou d'une maison individuelle ;
- la source artisanale : les prélèvements peuvent être réalisés à l'échelle d'une zone d'activités artisanales (ZAC) sans habitation, d'un atelier ou d'un commerce (ex. garage automobile, coiffeur, salon de toilettage pour animaux domestiques, etc.) ;
- la source industrielle : les prélèvements peuvent être réalisés à l'échelle d'un site industriel, d'une entreprise ou d'un bâtiment ;
- la source liée aux centres de soin tels que les hôpitaux, cliniques, maisons de santé, maisons de retraite, EPHAD, crèches, cabinets médicaux, cabinets vétérinaires, etc. : les prélèvements peuvent être réalisés à l'échelle d'un complexe médical en intégrant l'ensemble des bâtiments et services, à l'échelle d'un seul bâtiment intégrant un ou plusieurs services ou à l'échelle d'un seul service.

Il est aussi possible de réaliser des prélèvements au niveau de certains nœuds/carrefours du réseau afin de permettre d'identifier géographiquement l'origine des MP en remontant à contre-courant depuis le point de rejet (STEU) jusqu'à l'émetteur. Cette méthodologie permet petit-à-petit de réduire la taille du bassin de collecte étudié jusqu'à identifier un quartier puis une rue et enfin, le point de rejet précis et donc l'émetteur des MP problématiques. Cependant, cette méthode ne donne pas toujours satisfaction car elle suppose que la pollution est continue dans le temps puisqu'elle nécessite d'avoir les résultats d'analyse de l'étape précédente avant de pouvoir passer à l'étape suivante.

4.1.5 Bilan

Dans REGARD : initialement, nous avions l'ambition d'identifier des traceurs de sources c'est-à-dire des MP dont l'origine serait exclusivement liée à une source d'émission. Ainsi, d'une part on aurait pu obtenir des liens directs et exclusifs entre un MP et sa source d'émission et ceci étant valable aussi bien pour notre territoire d'étude que pour d'autres ; et d'autre part, la présence de ce MP signifierait la présence de tel type d'eau (EU domestique, EU industrielle, EP urbaine, EP agricole, etc.) ce qui permettrait d'identifier l'origine des autres MP présents mais dont on ne connaîtrait pas la source d'émission. Malheureusement, aucun MP ne provient d'une seule et unique source. Et nous n'avons pas pu déterminer de façon exclusive des traceurs de sources. En revanche, nous avons pu identifier des contributions et nous sommes en mesure de dire si tel ou tel MP provient plutôt d'EU brutes, d'EU traitées ou d'EP (cf. livrable n°132 mapping des substances organiques). De plus, l'association de certains MP ou le rapport de leur concentration permet de renforcer les conclusions sur les contributions. Ainsi la quantification de tel ensemble de MP permet de dire si le milieu naturel est plutôt contaminé par des EU brutes, des EU traitées ou des EP et le rapport des concentrations entre MP permet, dans certains cas, de préciser si la source est proche ou lointaine, si l'origine est plutôt urbaine ou agricole.

Préconisations : identifier un type d'eau à partir de la présence d'un ensemble de MP et non pas à partir de la présence d'un seul MP uniquement. Il est préférable d'utiliser des empreintes/des profils de MP plutôt qu'un MP seul pour identifier une source de contamination.

Regrets : tous les MP ont été retrouvés dans un peu tous les types d'eaux analysés. Les MP ont des sources multiples et il n'est pas évident de faire un lien entre un MP et sa source d'émission. Ceci est d'autant plus vrai que le MP considéré est utilisé dans de nombreux produits ou pour différentes pratiques, ce qui tend à être le cas pour de plus en plus de molécules.

Pour aller plus loin : RAS

Méthodologie : A titre illustratif, on peut considérer que le milieu naturel est plutôt contaminé par :

- des EU brutes si on retrouve une plus forte proportion de composés pharmaceutiques tels que le paracétamol, l'ibuprofène, l'hydroxy-ibuprofène, l'acide salicylique, la caféine et la théophylline ;
- des EU traitées si on retrouve une plus forte proportion de composés pharmaceutiques tels que le diclofénac, l'oxazépam, le sotalol, la carbamazépine et la gabapentine ;
- des EP si on retrouve des pesticides et notamment du glyphosate en plus forte proportion que l'AMPA et si ces 2 MP sont associés à du diuron, de la carbendazime, de la terbutryne et du propiconazole.

4.2 Caractérisation biologique

Dans REGARD : nous avons effectué des bioessais *in vitro* sur les différents échantillons d'EP et EU listés dans le paragraphe 4.1. L'objectif était de faire un bilan des activités PE et DL dans le réseau d'assainissement. Cette approche a ainsi permis de caractériser les sources domestique, industrielle, hospitalière et pluviale par rapport aux activités estrogéniques, androgéniques, glucocorticoïdes, dioxin-like et HAP-like.

Préconisations : ce type d'étude est conseillée quand on souhaite connaître l'origine d'un type de MP par rapport aux effets qu'il provoque comme par exemple quand on cherche à identifier la source de composés PE. Ce sont des outils performants pour cartographier un réseau vis-à-vis de micropolluants d'intérêt (éco)toxicologique et identifier les sources de ces MP ou évaluer les performances de traitement en STEU, complémentaires de la chimie ciblée voire une alternative, en premier criblage, pour certaines familles de molécules comme les hormones.

Regrets : RAS

Pour aller plus loin : Il est possible d'appliquer la démarche EDA (expliquée dans le paragraphe 0

Hiérarchisation et priorisation des micropolluants) à certains des échantillons ayant mis en évidence une activité particulière ou intense afin d'identifier les MP responsables de cette activité.

Méthodologie : à l'instar de ce qui a été mis en œuvre dans REGARD et dans le projet Micropolis¹⁹, le diagnostic du réseau d'assainissement peut se baser à la fois sur des bioessais *in vitro* et sur des analyses chimiques pour une vision complémentaire et une approche plus globale. En combinant plusieurs tests il est possible d'évaluer toute une batterie d'effets couvrant différents types d'activités ou d'effets biologiques pour la recherche de sources de micropolluants problématiques dans le réseau de collecte des eaux usées

4.3 Diagnostic sur les pratiques

Dans REGARD : Afin de proposer *in fine* des changements de comportement adaptés, nous avons d'abord cherché à comprendre et connaître :

- les connaissances sur le cycle de l'eau et les pollutions de l'eau ; les représentations sur les micropolluants et les risques associés ;
- les pratiques des habitants de la métropole, des soignants, administratifs et agents d'entretien de l'hôpital, des administratifs, techniciens et gestionnaires des collectivités et des artisans ayant des activités pouvant impacter les eaux usées et les eaux pluviales ;
- les usages des produits contenant des MP, pour l'hygiène corporelle (ex. savon, shampoing, etc.), l'entretien de la maison ou du jardin (ex. lessive, vaisselle, ménage, jardinage, traitement des animaux domestiques, etc.), le nettoyage des locaux administratifs ou médicaux (ex. détergents, détergents-désinfectants, etc.), l'entretien des espaces public, cimetières et terrains de sport (ex. produits phytosanitaires, insecticides, anti-mousse, etc.), l'entretien des réseaux (ex. raticide en assainissement, désherbant pour les réseaux de train ou tram, etc.), l'entretien extérieur des bâtiments (ex. ravalement, désherbants, anti-mousse, etc.).

Pour cela, nous avons réalisé des entretiens, des questionnaires et un atelier participatif. Les outils employés et les personnes interrogées sont répertoriés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable**.tableau ci-après.

Outils	Cibles
Entretiens	- Responsables d'agenda 21 des communes de la métropole - Responsables de services techniques de collectivités - Certains membres du personnel du groupe hospitalier Pellegrin du CHU de Bordeaux
Interviews	Passants dans la rue
Questionnaires en ligne (internet) ou sur papier	Grand public
Questionnaires téléphoniques	Revendeurs et artisans appliquant des produits pour le traitement des toitures ou l'entretien des façades
Atelier participatif (living lab)	Grand public Scolaires

¹⁹ [https://professionnels.afbiodiversite.fr/node/15/Résultats et actualités/livrables/Micropolluants et effluents urbains/projet Micropolis Indicateurs](https://professionnels.afbiodiversite.fr/node/15/Résultats%20et%20actualités/livrables/Micropolluants%20et%20effluents%20urbains/projet%20Micropolis%20Indicateurs)
[https://professionnels.afbiodiversite.fr/sites/default/files/2019-09/Micropolis%20Indicateurs Livrable%202018.pdf](https://professionnels.afbiodiversite.fr/sites/default/files/2019-09/Micropolis%20Indicateurs%20Livraison%202018.pdf)

Préconisations : adapter le moyen d'enquête au public visé. Un questionnaire en ligne sur internet est plus adapté pour le grand public car il sera facilement diffusable *via* les réseaux sociaux ou les e-mails. A l'inverse, un entretien, téléphonique ou en face à face, est plus adéquat pour les professionnels car l'échange permet de mieux comprendre leur quotidien, leurs contraintes et les freins à une écologisation des pratiques. De plus, l'entretien oblige le professionnel à prendre le temps de répondre à notre enquête, contrairement à un questionnaire papier ou numérique qui pourra être laissé de côté sans réponse en raison du manque de temps. (*Remarque : les conclusions obtenues grâce au questionnaire en ligne sont transposables à d'autres territoires et il n'est par conséquent pas nécessaire de faire ce questionnaire ailleurs dans l'immédiat*). Interroger les représentations sociales, en sus des pratiques concrètes permet de replacer ces dernières dans l'univers de sens, de valeurs, de connaissances de l'individu et donc de mieux les appréhender et les comprendre pour proposer des solutions de réduction des MP qui puissent être adaptées, comprises et appropriées à ces différents acteurs. Les enquêtes sociologiques ne doivent en aucun cas transmettre un jugement de valeur sur l'enquêté et ses pratiques.

Regrets : le manque de diversité des répondants dans l'enquête en ligne. En effet, le mode de diffusion du questionnaire (mails et réseaux sociaux) a fait que les personnes contactées font généralement partie de la même sphère sociale. La diversité des catégories socio-professionnelles et du niveau d'étude des répondants n'est alors pas toujours respectée ni représentative du territoire. Pour pallier à ce biais, il est possible de passer par un panéliste.

Pour aller plus loin : on aurait aussi pu réaliser des focus-groups. Ces entretiens collectifs présentent les avantages de :

- pouvoir ressentir les émotions des participants vis-à-vis d'une question (s'ils sont plus ou moins à l'aise, ce qui les dérange dans la question, etc.), ce qui n'est pas visible avec un questionnaire en ligne ;
- voir les participants échanger entre eux, ce qui rend les réponses plus riches et permet parfois d'ouvrir le débat ;
- limiter le temps alloué à l'exercice par rapport à des entretiens individuels qui demandent un temps de réalisation puis de traitement des résultats très conséquent.

En revanche, par peur du regard des autres, en groupe, les personnes interrogées peuvent se censurer dans leurs réponses. De plus, les participants volontaires à ce style d'exercice ne sont pas toujours représentatifs de la population en général.

Méthodologie : Quel que soit le public visé par le diagnostic des pratiques et en gardant à l'esprit que l'objectif final est de trouver les freins et les leviers qui permettront de réduire voire de stopper les pratiques et usages émetteurs de micropolluants dans un milieu aquatique donné, mener une étude sociologique sérieuse peut s'avérer indispensable. Elle n'a pas forcément vocation à être d'ampleur comparable à celles menées dans REGARD mais elle doit permettre de bien connaître le cadre, l'environnement social, organisationnel, réglementaire (1) dans lequel sont présents les acteurs (2) dont les pratiques et usages de produits impactent l'environnement (3). S'agissant des acteurs, appréhender leurs connaissances, leur niveau de préoccupation environnementale, leurs motivations et capacités à agir au sein de leur périmètre (foyer, entreprise, service d'une collectivité...) est essentiel. Cela peut passer, selon le temps et le budget disponibles et selon la cible, par une enquête par questionnaire, quelques entretiens bien ciblés auprès de personnes ressources, des observations de terrain ou encore, une revue documentaire sérieuse et diversifiée. Les ressources pour accompagner ce type de démarche sont aujourd'hui nombreuses (sociologues indépendants ou en bureau d'étude ou étudiants en sciences humaines et sociales dans les universités locales) ; il faut s'y appuyer car les compétences qu'elle mobilise sont spécifiques.

5 Conseils pratiques et points d'attention

1. Le type de réseau d'assainissement

Le réseau d'assainissement peut être unitaire avec une canalisation unique servant à transporter à la fois les EU et les EP, ou séparatif avec deux canalisations, une pour les EU et une autre pour les EP. On parle de réseau mixte, quand se rejoignent en un point certains tronçons séparatifs et d'autres unitaires.

- si on cherche à caractériser les sources/l'origine des MP dans le réseau d'assainissement, il est préférable de faire les prélèvements dans le réseau séparatif de façon à pouvoir faire la part entre les micropolluants issus des EU et ceux issus des EP en effectuant des prélèvements dans chacune des deux conduites.

Dans le cas d'un réseau unitaire, les prélèvements doivent être réalisés par temps sec et au minimum 3 jours après une pluie (sous réserve qu'il n'y ait pas de rejet d'EP stockée en amont) pour caractériser les EU. Les EP ne peuvent être étudiées que si le même point est échantillonné au minimum 2 fois, une fois par temps sec et une fois par temps de pluie. Si le micropolluant provient majoritairement des EU alors, sa concentration sera diluée par temps de pluie et sera plus faible que par temps sec alors que s'il provient majoritairement des eaux pluviales, sa concentration sera plus élevée par temps de pluie.

- si on cherche à évaluer ce qui arrive au milieu naturel alors les prélèvements seront effectués à l'exutoire des réseaux, qu'ils soient séparatifs ou unitaires.

Dans les 2 cas, il faut tenir compte de la période de l'année et du niveau de la nappe (haute ou basse) qui aura une influence sur la présence plus ou moins importante d'eaux claires parasites permanentes.

2. Les matrices analysées

Selon les propriétés physico-chimiques des micropolluants recherchés et selon la charge particulière de l'échantillon (estimée via la concentration des MES), il peut être nécessaire d'analyser à la fois la phase dissoute des échantillons d'eau et la phase particulaire ou la phase totale. Pour les échantillons d'eaux usées brutes ou d'eaux pluviales très chargées en particules, il est fortement recommandé d'analyser les 2 phases : dissoute et particulaire pour les MP organiques, en particulier les hydrophobes ; et dissoute et totale pour les métaux.

3. Les différentes méthodes d'échantillonnage des eaux

Différentes méthodes sont possibles pour échantillonner les eaux urbaines. Les avantages, inconvénients et domaines d'application de chacune sont indiqués dans le tableau ci-après.

Type de prélèvement	Avantages	Inconvénients	Applications possibles et commentaires
Ponctuel	Rapide, facile à mettre en œuvre	Sous-estimer ou surestimer la pollution	Milieu naturel, STEU, EU, EP. A l'échelle d'une journée, les variations étant moindre dans le milieu naturel, un échantillonnage ponctuel peut être suffisant. En revanche, l'échantillon sera peu représentatif dans le réseau et en STEU. A l'échelle de plusieurs jours, semaines ou mois, l'échantillon ponctuel sera peu représentatif même dans le milieu naturel en fonction des conditions météorologiques.

Type de prélèvement	Avantages	Inconvénients	Applications possibles et commentaires
Moyenné asservi - au temps - au débit - à la hauteur d'eau - à la présence d'eau	L'échantillon collecté est plus représentatif	Nécessite un préleveur automatique et un capteur pour asservir le préleveur (capteur de surverse, de hauteur d'eau ou débitmètre). Le préleveur et le capteur doivent être étalonnés et correctement entretenus.	- asservi au temps : milieu naturel et STEU car nécessite la présence d'eau en continue - asservi au débit : STEU, EU et EP. Plus compliqué à mettre en œuvre dans les petits réseaux car la mesure de débit n'est pas toujours fiable ou possible. Difficile pour les EP car nécessite de connaître à l'avance l'heure de début de la pluie, le temps de trajet pour que l'eau ruisselle jusqu'au point de prélèvement et la quantité de pluie prévue. - asservi à la hauteur d'eau : EP - asservi à la présence d'eau : EU et EP comme alternative à l'asservissement au débit pour les petites canalisations
Haute fréquence - pollutogramme - sur 24h - sur un mois	Caractérisation plus fine d'un événement ou de mettre en évidence des variations temporelles	Multiplie le nombre d'échantillons à traiter	Pollutogramme : EP sur 24h : EU, STEU sur un mois : milieu naturel
Echantillonneurs intégratifs - POCIS ²⁰ - mini-POCIS - SPMD ²¹ - DGT ²² - CFIS ²³	Donne la concentration moyenne sur la durée d'exposition et lisse les variations. Permet de concentrer les MP. Facile à mettre en œuvre.	Calibration nécessaire des outils pour chaque MP, si besoin de remonter à une concentration dans l'eau et selon les conditions d'exposition (débits, salinité, turbidité) + dans le réseau, problème d'encombrement et d'immersion des triplicats	POCIS et mini-POCIS : pour les MP organiques hydrophiles (ex. pesticides, pharmaceutiques) SPMD : MP organiques hydrophobes (ex. HAP, PCB) DGT : métaux CFIS : alkylphénols, HAP, PCB, PBDE, OCP, COV, pesticides Dans le milieu naturel les temps d'exposition des outils varient de 10 à 20 jours et en réseau d'assainissement de 3 à 7 jours.

4. Contrôles qualité des analyses

Pour réaliser des analyses chimiques ou biologiques en lien avec les micropolluants il est nécessaire de respecter certaines précautions sans lesquelles les résultats peuvent être faux ou inexploitable. Il s'agit :

- de faire des blancs de prélèvements et des blancs de manipulation en parallèle des étapes d'échantillonnage et d'analyse afin de vérifier qu'il n'y a pas eu de contamination de l'échantillon par les manipulations (éviter les faux-positifs et la contamination croisée) ;

²⁰ Polar Polar Organic Chemicals Integrative Sampler

²¹ Semi-Permeable Membrane Device

²² Diffusive Gradients in Thin films

²³ Continuous Flow Integrative Sampler

- d'analyser des matrices certifiées ou des échantillons dont la teneur en micropolluants est connue afin de vérifier qu'il n'y a pas de pertes des contaminants liées aux manipulations (éviter les faux-négatifs) ;
- d'utiliser du matériel adapté (flacons en verre ou en plastiques, tuyaux téflon, etc.) et nettoyé selon des procédures rigoureuses ;
- de conserver les échantillons au frais dans des glacières avec des blocs eutectiques (pains de glace) durant toute la durée du transport (entre le point de prélèvement et le laboratoire d'analyse) ;
- de conserver correctement les échantillons entre le moment où ils sont réceptionnés au laboratoire et le moment où ils sont analysés. Pour les métaux : prétraiter les échantillons d'eau (filtration, acidification) dans les 24 heures après prélèvement, puis les analyser ou les conserver au réfrigérateur. Pour les micropolluants organiques : prétraiter les échantillons (filtration) ou les placer au congélateur dans les 24 heures après prélèvement. Les échantillons de boues ou de sédiments doivent être conservés au congélateur avant lyophilisation.

5. Choix des laboratoires d'analyses

Selon l'objectif de l'étude, le choix des laboratoires réalisant les analyses biologiques et chimiques est un point crucial. Il est possible de travailler avec des laboratoires de recherche type laboratoires universitaires, unités mixtes de recherche Université-CNRS (ex. UMR EPOC, UMR ISA) ou EPST²⁴/EPIC²⁵ (ex. INERIS, Irstea) ou avec des laboratoires publics ou privés réalisant des prestations de service (ex. laboratoires départementaux, Eurofins, Carso).

Les avantages à travailler avec des laboratoires de recherche sont :

- la qualité des analyses,
- la fiabilité des résultats fournis,
- la possibilité de discuter et d'échanger autour des résultats et conclusions,
- la possibilité de faire vérifier les résultats et même, de refaire des analyses si les résultats sont surprenants.

Les avantages à travailler avec des laboratoires prestataires de services sont :

- l'accréditation COFRAC qui peut être demandée par la réglementation,
- la possibilité de réaliser également les prélèvements,
- des délais courts pour la livraison des résultats.

Dans tous les cas, nous préconisons de faire valider le cahier des charges suivant avant de faire réaliser des prélèvements ou des analyses par n'importe quel laboratoire :

- réalisation de blancs en parallèle des prélèvements et de chaque série d'analyse d'échantillons ;
- analyse de matrices certifiées ou ayant une contamination connue en parallèle de chaque série d'analyse d'échantillon ;
- présenter des limites de quantification (LQ) compatibles avec les niveaux de contamination attendus et au minimum $LQ < NQE/PNEC$. Pour cela se référer à l' « Avis relatif aux limites de quantification des couples « paramètre-matrice » de l'agrément des laboratoires effectuant des analyses dans le domaine de l'eau et des milieux aquatiques » paru au Journal Officiel de la République Française le 21 août 2019. Ce critère est particulièrement important pour les échantillons du milieu naturel où les concentrations sont théoriquement faibles ;
- vérifier l'adéquation du matériel utilisé avec les matrices et MP recherchés.

²⁴ Etablissement Public Scientifique et Technique

²⁵ Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial

Conclusion

Ce livrable présente tout ce qui a été réalisé dans REGARD pour le diagnostic de la contamination des eaux urbaines par les micropolluants. Il apporte un retour d'expérience sur ce qui a été fait afin que d'autres collectivités qui souhaiteraient réaliser un diagnostic de leur territoire ne reproduisent pas les mêmes erreurs ou à l'inverse, mettent en œuvre directement les actions qui donnent des résultats satisfaisants. Ce livrable apporte aussi des pistes pour en faire plus et aller plus loin ainsi que des conseils sur les aspects pratiques pour une bonne réussite globale du diagnostic.

Toutes les actions entreprises dans REGARD ne sont pas indispensables à la réalisation d'un diagnostic. Le graphique ci-après propose différents niveaux de diagnostic, du plus simple (et moins onéreux) à mettre en œuvre au plus complexe. Il est évident que le niveau d'information apporté par ces différents diagnostics n'est pas le même, néanmoins toutes les collectivités n'ont pas besoin de mettre en œuvre la totalité des outils pour se faire une idée sur le niveau de contamination de leurs eaux urbaines. De plus, certains résultats obtenus grâce à REGARD, comme ceux de l'enquête populationnelle sur internet concernant le grand public ou ceux de l'étude sociologique menée au CHU de Bordeaux, sont extrapolables à l'ensemble de la métropole française ou à la majorité des structures hospitalières en France pendant les 2-3 prochaines années au minimum (sauf dans le cas où une crise majeure ou une réglementation contraignante viendraient bousculer fortement le cadre dans lequel se situent les pratiques à étudier). Il n'est donc pas nécessaire de refaire cette enquête dans l'immédiat.

Enfin, le diagnostic a permis d'identifier des leviers d'action de réduction à appliquer pour réduire les rejets de micropolluants. La mise en œuvre de certains de ces leviers d'action et le retour d'expérience sur cette mise en œuvre sont présentés dans le livrable « synthèse finale, retour d'expérience des différentes solutions et stratégies de réduction à adopter ».

+ simple

+ complet

<p>analyses chimiques</p> <p>quelques MP ciblés</p> <p>phase dissoute des échantillons d'eau</p> <p>milieu naturel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - si cours d'eau : 1 point d'échantillonnage en amont du territoire et 1 autre en aval + 1 point en amont et 1 autre en aval de chaque point de rejets du réseau d'assainissement - si lac ou mer : 1 point d'échantillonnage au centre ou le plus éloigné possible des points de rejet et 1 ou 3 points en face des points de rejet du réseau d'assainissement. <p>identification des MP problématiques basée sur dépassement des NQE</p> <p>analyses des MP au niveau des points de rejet : STEU, DO et exutoires pluviaux</p>	<p>analyses chimiques</p> <p>nombreux MP ciblées dont métabolites et produits de transformation</p> <p>phase dissoute et particulaire ou total des échantillons d'eau</p> <p>milieu naturel : idem</p> <p>priorisation des MP problématiques avec la méthode du CEP</p> <p>analyses des MP au niveau des points de rejets (STEU, DO et exutoires pluviaux) et dans le réseau (entrée/sortie STEU), EU domestiques, centres de soin, industrielles, artisanales et EP strictes</p>	<p>analyses chimiques et biologiques <i>in vitro</i></p> <p>nombreux MP ciblées dont métabolites et produits de transformation + bioessais PE et DL</p> <p>phase dissoute et particulaire ou total des échantillons d'eau</p> <p>milieu naturel : idem</p> <p>priorisation des MP problématiques avec la méthode du CEP</p> <p>analyses des MP au niveau des points de rejets (STEU, DO et exutoires pluviaux) et dans le réseau (entrée/sortie STEU), EU domestiques, centres de soin, industrielles, artisanales et EP strictes + bioessais PE et DL dans tous ces échantillons</p>	<p>analyses chimiques et biologiques <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i></p> <p>nombreux MP ciblées dont métabolites et produits de transformation + bioessais PE et DL + bioessais <i>in vivo</i></p> <p>phase dissoute et particulaire ou total des échantillons d'eau</p> <p>milieu naturel : idem + exposition d'organismes vivants au niveau des points d'échantillonnage</p> <p>priorisation des MP problématiques avec la démarche EDA</p> <p>analyses des MP au niveau des points de rejets (STEU, DO et exutoires pluviaux) et dans le réseau (entrée/sortie STEU), EU domestiques, centres de soin, industrielles, artisanales et EP strictes + bioessais PE et DL dans tous ces échantillons</p>	<p>analyses chimiques et biologiques <i>in vitro</i> et <i>in vivo</i> et analyses sociales</p> <p>nombreux MP ciblées dont métabolites et produits de transformation + bioessais PE et DL + bioessais <i>in vivo</i></p> <p>phase dissoute et particulaire ou total des échantillons d'eau</p> <p>milieu naturel : idem + exposition d'organismes vivants au niveau des points d'échantillonnage</p> <p>priorisation des MP problématiques avec la démarche EDA</p> <p>analyses des MP au niveau des points de rejets (STEU, DO et exutoires pluviaux) et dans le réseau (entrée/sortie STEU), EU domestiques, centres de soin, industrielles, artisanales et EP strictes + bioessais PE et DL dans tous ces échantillons + entretiens avec les professionnels, questionnaires ou focus groupe avec le grand public</p>
--	---	---	---	--

Figure 1 Les éléments à incorporer pour la réalisation d'un diagnostic territorial du plus simple au plus élaboré.

