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

Innovations & changements de pratiques
Lutte contre les micropolluants des eaux urbaines

AGENCE DE L'EAU ADOUR-GARONNE
ETABLISSEMENT PUBLIC DU MINISTERE DU DEVELOPPEMENT DURABLE

REGARD

REduction et Gestion des micropolluAnts sur la métropole borDelaise

SYNTHÈSE OPÉRATIONNELLE PRÉSENTANT LE BILAN DU DIAGNOSTIC TERRITORIAL MENÉ SUR LE TERRITOIRE DE BORDEAUX MÉTROPOLE

- caractérisation des substances et des impacts
- priorisation des risques à l'échelle du territoire

Novembre 2018

BORDEAUX MÉTROPOLE

suez le lyre

université de BORDEAUX

cnrs

Université BORDEAUX MONTAIGNE

suez

INERIS

irstea

CAP SCIENCES

Sommaire

Sommaire **3**

Contexte **7**

Chapitre 1. Description des sites d'étude et des protocoles d'expérimentation. **9**

Contexte et objectifs 9

Les sites d'études et les points d'échantillonnage 9

Les protocoles d'échantillonnage 12

Les analyses pratiquées 13

Chapitre 2. Mapping des substances organiques, flux et sources à l'échelle de la métropole, et listes des substances traceurs de sources. **14**

Contexte et objectifs 14

Méthodologie 14

Résultats 20

1. Les Eaux Usées (EU) 20

2. Les Eaux Pluviales (EP) 23

3. Le milieu naturel 26

Conclusion 27

Chapitre 3. Mapping des substances inorganiques, flux et sources à l'échelle de la métropole **30**

Contexte et objectifs 30

Méthodologie 30

Résultats par type de source 31

1. Le milieu naturel (MN) 31

2. Les stations de traitements des eaux usées (STEU) 32

3. Les eaux pluviales (EP) 32

4. Les eaux usées (EU) 34

Conclusion 35

Chapitre 4. Diagnostic de l'état de santé des organismes transplantés dans la Jalle de Blanquefort et étude du transcriptome

de *C. fluminea* (séquençage haut débit et réponses comparatives). 37

Contexte et objectifs 37

Méthodologie 37

1. Sites et périodes des transplantations 37

2. Paramètres suivis 38

Résultats 39

1. Périodes de transplantation de 1 mois (Juillet-Septembre 2015) 39

2. Périodes de transplantation de 3 mois (hiver 2015 à l'automne 2016) 41

Conclusion 43

Chapitre 5. Détection de composés perturbateurs endocriniens et dioxin-like à l'aide de bioessais in vitro dans les eaux usées, pluviales et naturelles. 45

Contexte et objectifs 45

Méthodologie 45

Résultats 46

1. Profils globaux d'activités *in vitro* 46

2. Evaluation des activités pour chaque source et milieu 47

Conclusion 47

Chapitre 6. Hiérarchisation des risques, priorisation des substances et sélection des substances sentinelles à suivre dans les différents compartiments 48

Contexte et Objectifs 48

Méthodologie 48

Les principaux résultats 51

1. Les substances non pertinentes à étudier 51

2. Les substances à enjeux 52

3. Les substances ubiquistes et traceur de sources 54

Conclusion 56

Chapitre 7. Résultats présentant l'approche multi-sources sur un territoire donné et les résultats de l'analyse ainsi que les leviers d'action par source. 58

Partie1. Introduction 58

1. Contexte 58
2. L'étude des sources dans le cadre du projet REGARD 58
3. Les méthodes et outils utilisés 59
Partie 2. Synthèse concernant la source domestique 64
1. Bilan méthodologique au regard des objectifs visés 64
2. Pistes d'actions pour réduire les émissions de micropolluants 65
3. Leviers d'action préconisés 76
Partie 3. Synthèse concernant la source pluviale 78
1. Introduction 78
2. Sources des micropolluants dans les eaux pluviales 78
3. Origine des micropolluants sur le territoire de Bordeaux Métropole 82
4. Leviers d'action de réduction à la source 85
Partie 4. Synthèse concernant la source Collectivités 88
1. Les services urbains potentiellement émetteurs de micropolluants 88
2. Les activités potentiellement émettrices 88
3. Prise en compte des micropolluants au sein de Bordeaux Métropole et des communes 90
4. Focus sur les émissions dans les eaux usées 91
5. Focus sur les émissions dans les eaux pluviales 95
Partie 5. Synthèse concernant la source industrielle 100
1. Introduction 100
2. Sources des micropolluants dans les eaux industrielles 100
3. Leviers d'action de réduction à la source 106
Partie 6. Synthèse concernant la source hospitalière 109
1. La contamination de l'eau par les médicaments et les biocides : un risque environnemental émergent 109
2. Matériels et méthodes 111
3. Mise à l'agenda et processus d'écologisation : les acteurs hospitaliers face à la contamination des effluents 112
4. Conclusions et préconisations 117
Partie 7. Discussion générale 120
1. Le rôle de la science dans la problématique des micropolluants 120
2. Apports de l'interdisciplinarité 122
3. Réflexion sur les sources : la nécessité d'une approche systémique pour proposer des leviers d'action pertinents 124

Chapitre 8. Bilan et plan d'action 130
Bibliographie 137
Chapitre 4 137
Chapitre 6 137
Chapitre 7 139
Liste des figures 142
Liste des tableaux 144

Contexte

La hausse de la population mondiale ainsi que l'évolution des modes de consommations entraînent aujourd'hui la présence sur le marché de produits toujours plus nombreux et contenant des substances de plus en plus diversifiées. A terme, ces « micropolluants » se retrouvent dans le milieu naturel et plus particulièrement dans les cours d'eaux via les eaux pluviales et usées. Cette pollution peut être à l'origine de perturbation des écosystèmes en ayant des effets indésirables sur les individus.

Des précédentes études menées sur le territoire de Bordeaux Métropole ont mis en évidence la présence de micropolluants dans le milieu naturel (ETIAGE, Plan Micropolluants Bordeaux Métropole…). Dans l'optique de réduire cette pollution, il est nécessaire de comprendre préalablement l'origine de ces micropolluants afin de pouvoir agir efficacement. C'est dans cet objectif que s'inscrit le projet REGARD (REduction et Gestion des micropolluAnts sur la métRopole borDelaise). C'est l'un des 13 projets lauréats de l'appel à projets « lutte contre les micropolluants dans les eaux urbaines » porté par l'Agence Française pour la Biodiversité (AFB) et les Agences de l'eau. Ce programme de recherche a pour objectif général d'étudier les micropolluants dans l'eau de l'agglomération bordelaise (système d'assainissement et milieu naturel). Il cherche à proposer une vision globale et intégrée des différents flux de micropolluants à l'échelle d'un territoire urbain en développement, la Métropole de Bordeaux. Le but est d'aider la collectivité à orienter ses choix et à déterminer la meilleure stratégie de lutte contre ces pollutions, lui permettant d'atteindre les objectifs de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE).

REGARD dure 4 ans et est découpé en 2 phases (Figure 1). La première phase consiste à identifier les sources, c'est à dire l'origine, des micropolluants dans le réseau d'assainissement (eaux usées et pluviales) et dans le milieu naturel. Pour cela, plus de 70 sites ont été sélectionnés afin de rechercher la présence de micropolluants organiques et inorganiques. Ces sites correspondent à différentes sources de ces micropolluants : eaux pluviales (quartier résidentiel, parkings, terrain de foot, rocade), eaux usées d'origine domestique, hospitalière et industrielle, eaux usées brutes, traitées et boues de station d'épuration, ou encore milieu naturel. Parallèlement à ces analyses chimiques, des analyses biologiques *in vitro* et *in vivo* ont également été menées afin d'étudier de possibles effets toxiques au niveau cellulaire, moléculaire ou de l'organisme entier. L'ensemble de ces analyses a permis d'identifier les micropolluants sur lesquels une action de réduction des émissions doit être menée en priorité à l'échelle de la métropole. En parallèle, des études sociologiques et des enquêtes d'usages ont permis d'identifier les leviers d'actions possibles à mettre en œuvre au niveau de chaque source pour réduire cette pollution.
La seconde phase du projet a pour but de stopper ou de réduire les apports de micropolluants en testant des solutions de réduction préventives (exemple : changement de pratiques) ou curatives (exemple : traitement des eaux pluviales) au niveau de chaque source. Ces solutions sont évaluées sur le plan environnemental (efficacité chimique et biologique), économique et sociétal pour être en mesure à termes de préconiser des solutions réellement efficaces et socialement acceptables.

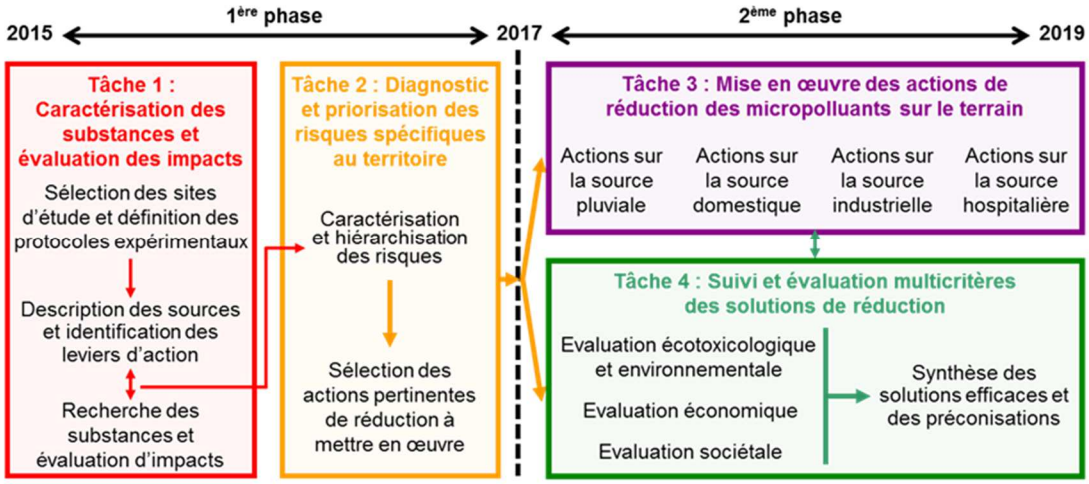


Figure 1 : Organigramme du programme REGARD.

Cette synthèse présente les résultats de la première phase du projet, à savoir (1) la description des sites d'étude et des protocoles d'expérimentation, (2) l'analyse des micropolluants organiques et (3) inorganiques dans les différentes sources et milieu étudiés, les effets biologiques (4) *in vivo* et (5) *in vitro* pouvant être induit par la présence de ces micropolluants, (6) la priorisation des substances et la sélection de celles à enjeux et des traceurs de source, et enfin (7) l'identification des usages, pratiques et produits à l'origine de ces micropolluants ainsi que les leviers d'action permettant de réduire les rejets.
Ce rapport regroupe ainsi plusieurs synthèses opérationnelles des différentes tâches menées dans le cadre du projet REGARD. Chacune d'elle correspond à un chapitre de ce rapport.
Enfin, la dernière partie présente en résumé le bilan de cette étude et les actions de réduction des émissions de micropolluants identifiées et le calendrier de leur mise en œuvre.

Chapitre 1. **Description des sites d'étude et des protocoles d'expérimentation.**

Tâche 1.1 – Livrable n°11.

Auteurs : MJ. Capdeville, D. Granger, C. Chauvin, R. Pico.

Contexte et objectifs

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents sites d'étude, les points d'échantillonnage, la stratégie et les protocoles d'échantillonnage ainsi que les paramètres chimiques et biologiques qui sont étudiés dans la première phase du projet. Les échantillons de l'action Familles EAU défi ou du pilote de traitement des eaux pluviales, prélevés dans la deuxième phase du projet REGARD, sont listés mais leurs sites d'étude et leurs protocoles de prélèvement ne sont pas détaillés (ils le seront dans les livrables spécifiques associés à ces actions).

Cette synthèse vise à regrouper l'ensemble des informations opérationnelles et des données terrain. Ces renseignements sont très utiles pour analyser, comprendre et interpréter les résultats obtenus dans les autres tâches du lot 1 du projet.

Une partie des actions d'échantillonnage mise en place dans REGARD s'appuie sur deux autres projets de recherche locaux : le « Plan Micropolluants Bordeaux Métropole » et RESEAU engagés respectivement en 2013 et 2014. Ces projets ont démarré avant REGARD. C'est pourquoi certains échantillons, prélevés dans le cadre de ces projets maintenant associés à REGARD, ont des dates de prélèvements en 2013.

Les sites d'études et les points d'échantillonnage

Si l'ensemble du territoire de Bordeaux Métropole est utilisé comme terrain d'étude, dans la première phase du projet, 2 sites ont plus particulièrement été étudiés :

- 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.
- Le Groupe Hospitalier Pellegrin du CHU de Bordeaux, le plus grand centre hospitalier de la région, qui permet d'étudier la source hospitalière.

Ces 2 sites d'étude ainsi que l'ensemble des points d'échantillonnage sur le territoire de Bordeaux Métropole sont visibles sur la Figure 2.

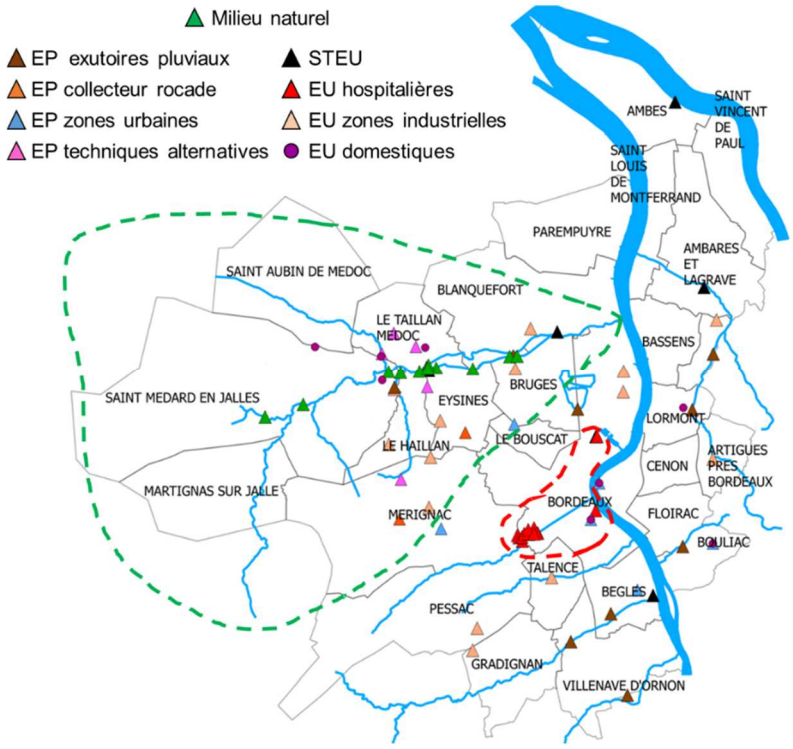


Figure 2** : **Localisation des 2 sites d'étude et des points d'échantillonnage sur le territoire de Bordeaux Métropole. La ligne en pointillés verts correspond au site d'étude du bassin versant de la Jalle de Blanquefort et celle en pointillés rouges au site d'étude pour la source hospitalière.

Au total pour l'ensemble du projet il y a 79 points d'échantillonnage répartis de la manière suivante :

- 11 pour le milieu naturel (Mn),
- 10 pour les eaux pluviales des exutoires pluviaux (EP Ex. Pluv.),
- 3 pour les eaux pluviales du collecteur rocade (EP rocade),
- 6 pour les eaux pluviales des zones urbaines (EP zones urbaines),
- 5 pour les eaux pluviales des techniques alternatives (EP TA),
- 8 pour les eaux usées domestiques (EU domestiques),
- 15 pour les eaux usées des zones industrielles (EU ZI),
- 15 pour les eaux usées Groupe Hospitalier Pellegrin du CHU (EU CHU),
- 6 pour les eaux usées et les boues des stations de traitement des eaux usées (EU STEU ou boues STEU).

Si pour certains points d'échantillonnage, un point correspond à un prélèvement d'un seul échantillon d'eau (par exemple : les EU domestiques), pour d'autres en revanche, un point peut correspondre aux prélèvements de 2 ou 3 échantillons d'eau, liquides ou solides, (par exemple les STEU avec des prélèvements d'eau en entrée, au milieu et en sortie de traitement, ainsi que des prélèvements de boues en entrée et sortie de traitement). Un point d'échantillonnage peut également correspondre à une exposition d'échantillonneurs passifs, triplicat de POCIS (*Polar Organic Chemical Integrative Samplers*, par exemple : Eu ZI), ou à une exposition d'organismes vivants encagés (2 cages de 20 *Corbicula fluminea,* par exemple : Mn). De plus, certains points ont fait l'objet d'une seule et unique campagne de mesures alors que d'autres ont fait l'objet de plusieurs campagnes, plusieurs fois par an et/ou sur plusieurs années. Pour mieux comprendre, les correspondances entre les points d'échantillonnage et le type ou le nombre d'échantillons sont présentées dans le Tableau 1.
Au total, à mi-2018, 492 échantillons d'eau et de boue ont été prélevés**,** 198 échantillonneurs passifs (POCIS) et 1200 *Corbicula fluminea* ont été exposés.

Tableau 1 : Nombre de sites de prélèvement, de campagnes et d'échantillons.

SOURCES ou MILIEU NATUREL	Réalisation des campagnes				
	Années	Nb sites	Nb pts/site	Nb campagnes	Total
Milieu naturel	2013	1	4	2	8
	2014	1	6	2	12
	2015	1	6	2	12
	2016	1	9	2	18
	2017	1	9	2	18
	2018	1	9	1	9
Milieu naturel haute fréquence	2016	1	1		
	2017	1	1		
EU ZI	2013	5	1	2	10
	2014	5	1	2	10
	2015	4	1	2	8
	2016	1	1	2	2
EU CHU	2014	1	15	1	15
	2015	1	15	1	15
	2016	1	3	1	3
EU CHU haute fréquence	2016	1	1	24	24
EU domestique	2015	8	1	2	16
	2017	4	1	1	4
	2017	5	1	2	10
EU STEU Cantinolle	2015	1	2	1	2
	2016	1	2	2	4
	2017	1	2	2	4
	2018	1	2	2	4
Evaluation filière EAU	2014	1	3	3	9
	2015	2	3	2	12
Evaluation filière BOUE	2014	1	2	3	6
	2015	2	2	2	8
BOUES STEU	2013	5	1	2	10
	2014	5	1	1	5
	2014	4	1	1	4
	2015	5	1	1	5
	2015	3	1	1	3
	2017	5	1	2	10
	2018	5	1	2	10
EP exutoires pluviaux	2013	10	1	2	20
	2014	10	1	2	20
	2015	10	1	2	20
	2016	10	1	2	20
	2017	10	1	2	20
	2018	10	1	1	10
EP zones urbaines	2016	6	1	1	6
EP collecteur rocade Bois Gramond	2015	1	1	2	2
	2016	1	1	4	4
	2017	2	1	1	2
EP collecteur rocade Continuum	2016	1	3	1	3
EP collecteur rocade haute fréquence	2016	1	1	15	15
EP collecteur rocade aéroport	2016	1	1	1	1
EP collecteur rocade pilote traitement	2018	1	2	6	12
EP collecteur rocade bassin autoroutier	2018	1	2		
EP TA eaux pluviales	2016	1	1	1	1
	2016	1	2	1	2
	2017	1	1	2	2
	2017	2	2	2	8
	2018	1	1	2	2
	2018	1	2	2	4
	2018	3	1	1	3
	2018				0

SOURCES ou MILIEU NATUREL	Réalisation des campagnes				
	Années	Nb sites	Nb pts/site	Nb campagnes	Total
EP TA eau de nappe	2017	2	1	1	2
	2018	2	1	2	4
EP TA sol	2017	1	9	1	9
EP TA plantes aérien	2017	1	3	1	3
EP TA plantes racines	2017	1	3	1	3
Blanc préleveur	2017	1	4	1	4

Les protocoles d'échantillonnage

Les prélèvements d'eau sont des prélèvements moyens asservis au temps ou au débit, hormis ceux pour les exutoires pluviaux qui sont ponctuels et asservis à la hauteur d'eau ou ceux des eaux de nappes qui sont ponctuels. La totalité des prélèvements d'eau est réalisée à l'aide de préleveurs automatiques équipés d'une unique bombonne en verre et de tuyaux en téflons neufs, changés avant le début de chaque campagne de prélèvements. Une fois l'échantillon moyen collecté, celui-ci est homogénéisé puis réparti entre les flacons des différents laboratoires d'analyses. Ces flacons sont en verre ou en plastique selon les micropolluants recherchés. Les modalités de prélèvement de chaque type d'échantillon sont décrites dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Modalités de prélèvement des échantillons d'eau.

Source ou milieu	Type de prélèvement	Durée du prélèvement
Milieu naturel	Moyen, asservi au temps	24 heures
EP Ex. Pluv.	Ponctuel, asservi à la hauteur d'eau	Moins de 5 minutes
EP TA	Moyen, asservi au débit pour les EP	Durée de la pluie
Eaux de nappes TA	Ponctuel	Plusieurs minutes
EP zones urbaines	Moyen, asservi au débit	Durée de la pluie
EP rocade	Moyen, asservi au temps (temps sec) ou Moyen, asservi au débit (temps pluvieux)	24 heures (temps sec) ou Durée de la pluie (temps pluvieux)
EU ZI	Moyen, asservi au débit	24 heures
EU domestiques	Moyen, asservi au temps	24 heures
EU STEU	Moyen, asservi au débit	24 heures
EU CHU	Moyen, asservi au temps (réseau) ou au débit (sortie des bâtiments)	24 heures

A l'exception du milieu naturel et des eaux de nappes, des débitmètres sont systématiquement installés en parallèle des préleveurs automatiques afin de mesurer le débit et ainsi permettre de remonter au flux de micropolluants.

Les prélèvements de boues de STEU sont des prélèvements moyens sur 2 heures. Les boues liquides (avant traitement) sont prélevées à l'aide d'un seau en inox et sont mélangées dans une bombonne en verre (34 litres) avant d'être réparties entre les flacons des différents laboratoires d'analyses. Les boues solides (après traitement) sont prélevées à l'aide d'une tige de prélèvement métallique, sont déposées en tas sur une feuille de papier kraft puis sont homogénéisées à l'aide de la méthode des quarts avant d'être réparties dans les contenants des différents laboratoires d'analyses.
Les POCIS sont les échantillonneurs passifs utilisés dans REGARD. Ils sont exposés en triplicat pendant 15 jours dans le milieu naturel et pendant maximum 7 jours dans le réseau d'assainissement (EU Zi, EU CHU).

Les organismes vivants encagés et exposés dans le milieu naturel sont des bivalves filtreurs, des palourdes d'eau douce (*Corbicula fluminea*). Au niveau de chaque point d'échantillonnage, 2 cages contenant chacune 20 palourdes sont exposées soit un total de 40 organismes exposés par point. Les durées d'exposition sont variables : 1 mois en été (répété 3 fois) et 3 mois le reste de l'année.

Les analyses pratiquées

Pour chaque type de source et de milieu étudié, les classes de micropolluants et le nombre de micropolluants analysés varient. De plus, selon les propriétés physico-chimiques des micropolluants, ces derniers sont recherchés dans la phase dissoute des échantillons d'eau mais aussi dans la phase particulaire, ou encore dans les échantillons de boues. Le Tableau 3 indique ces informations par source ou milieu étudié.

Tableau 3 Nombre de molécules par classe recherchées dans les différentes sources et milieux étudiés, et nature de la matrice dans lesquelles elles sont recherchées (pour la phase particulaire* cela dépendra de la quantité de particules et des développements analytiques).

Classe	Matrice	Milieu naturel	Exutoire pluviaux	STEU	EU CHU	EU Zi	EU domestique	EP zone urbaine	EP TA	EP collecteur rocade
Métaux	EAU (dissous - particulaire) - BOUE	20	18	20	20	18	19	19	19	19
Médicaments	EAU (dissous) - BOUE	46	43	43	71	43	36	13	13	13
Pesticides	EAU (dissous)	62	62	62	62	60	31	24	24	24
AkP	EAU (dissous - particulaire) - BOUE	7	7	7	7	7	2	0	0	2
BTEX	EAU (dissous)	4	4	4	4	4	4	0	0	0
COV	EAU (dissous)	8	8	8	8	8	0	0	0	0
OCP	EAU (dissous) ou EAU (dissous - particulaire)	15	15	15	15	15	0	0	0	0
PCB	EAU (dissous - particulaire) - BOUE	8	8	8	8	8	8	0	0	0
PBDE	EAU (dissous)	4	4	4	4	4	0	0	0	0
HAP	EAU (dissous - particulaire) - BOUE	15	12	12	12	12	15	15	15	15
Phtalates	EAU (dissous - particulaire) - BOUE	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Plastifiants	EAU (dissous – particulaire*)	1	0	1	0	0	1	0	0	0
Filtres UV	EAU (dissous – particulaire*)	6	0	6	0	0	6	0	0	0
Parabènes	EAU (dissous – particulaire*)	8	0	8	0	0	8	0	0	0
PFAS	EAU (dissous – particulaire*)	17	0	17	0	0	17	17	17	17
Biocides	EAU (dissous – particulaire*)	1	0	1	1	0	1	0	0	0
Détergents	EAU (dissous - particulaire)	16	0	16	16	0	16	0	0	0
Total		**239**	**182**	**233**	**229**	**180**	**165**	**88**	**88**	**90**

Les pesticides et les médicaments sont également recherchés dans les POCIS tandis que les métaux sont recherchés dans les *Corbicula fluminea*. Les analyses biologiques *in vitro* vont permettre d'étudier les effets œstrogéniques, androgéniques, glucocorticoïdes ou de type dioxines des échantillons d'eau. Les analyses biologiques *in vivo* quant à elles, vont permettre d'étudier les impacts physiologiques et génétiques d'une exposition dans un milieu naturel.

Chapitre 2. **Mapping des substances organiques, flux et sources à l'échelle de la métropole, et listes des substances traceurs de sources.**

Tâche 1.3 – Sous-tâche 1.3.1 – Livrables n°132 et n°135.

Auteurs : C. Chollet, J. Cruz, V. Dufour, C. Simonnet-Laprade, P. Labadie, M.H. Devier, H. Budzinski, MJ. Capdeville, D. Granger, R. Pico.

Contexte et objectifs

Ce chapitre présente les résultats du diagnostic chimique pour les micropolluants organiques. Ces derniers ont ainsi été recherchés dans le milieu naturel (la Jalle de Blanquefort), les stations de traitement des eaux usées (STEU) (eaux usées brutes et traitées, boues), et dans 4 sources majeures d'émission (eaux pluviales et eaux usées d'origines industrielle, domestique et hospitalière). Ce bilan a permis d'identifier des traceurs ou « substances sentinelles marqueurs de source ».

Méthodologie

Deux cent trente-neuf micropolluants (MP) organiques, répartis en quatorze familles, ont été recherchés. Le Tableau 4 présente la liste des MP organiques étudiés ainsi que leur famille respective. En fonction de leurs propriétés physico-chimiques, ils ont été analysés dans la phase dissoute ou dans les phases dissoute et particulaire des échantillons d'eau et dans les boues de STEU. Compte tenu également des usages et modes d'utilisation des produits, les MP recherchés dans chaque source et milieu sont variables. Le Tableau 4 résume les différentes sources et matrices dans lesquelles les différents composés ont été recherchés, les méthodes d'extraction et d'analyse employées ainsi que les limites de quantification (LQ) correspondantes.

Lorsque la logistique le permet, les échantillons sont filtrés puis congelés dès leur réception au laboratoire, sinon ils sont immédiatement congelés à -18°C afin de les conserver dans des conditions optimales. La séparation entre phases dissoute et particulaire est effectuée par filtration, avant congélation ou après décongélation des échantillons, sur des filtres en fibre de verre de porosité 0,7 µm. Les filtrats sont congelés à -18°C avant analyses, tandis que les gâteaux de filtration sont lyophilisés. Cette étape de congélation peut entraîner des pertes pour certains composés qui restent cependant minimes et ne remettent pas en cause cette étape de traitement. C'est notamment le cas pour les pharmaceutiques où une perte comprise entre 10 et 30% est observée après congélation. En revanche, le positionnement de l'étape de filtration avant ou après congélation de l'échantillon n'a pas d'influence sur les résultats.

Dans un souci d'assurance qualité des résultats, des contrôles sont opérés à différents niveaux. Ainsi, avant chaque série d'analyses, les performances instrumentales sont mesurées afin de vérifier que l'instrument analytique réponde bien aux exigences de qualité requises pour l'analyse d'échantillons faiblement contaminés. La justesse de quantification et les LQ instrumentales sont vérifiées via l'injection d'une solution de référence de concentration connue. Les performances globales de la manipulation sont également déterminées : pour chaque série d'échantillons traitée, des matrices de référence (eau minérale ou dé-ionisée, enrichie artificiellement en composés d'intérêt en concentration connue) sont préparées, extraites et analysées, afin de déterminer la justesse de quantification et la LQ de manipulation. Certains MP sont plus problématiques que d'autres car omniprésents dans notre environnement, comme par exemple les HAP, les alkylphénols, le bisphénol A ou encore les

phtalates. Afin de s'assurer de la validité des données, les sources de contamination potentielles (quand il y a lieu) sont recherchées et minimisées. Des blancs de manipulation sont également réalisés lors de chaque série d'extraction et permettent de quantifier une éventuelle contamination extérieure. Les analyses sont validées si les blancs sont suffisamment reproductibles et seules les valeurs supérieures à 3 fois la quantité de composé obtenue dans le blanc sont validées. Les quantités présentes dans les blancs sont alors soustraites aux quantités présentes dans les échantillons.

Globalement, les performances obtenues pour la phase dissoute sont très bonnes et sont compatibles avec l'analyse de ces composés dans des matrices potentiellement faiblement contaminées. Les justesses de quantification pour la phase solide sont bonnes, bien que les limites de quantification soient variables car dépendantes à la fois de la quantité de particules obtenues et d'effets matriciels variables. Sur l'ensemble des analyses, la justesse de quantification est assurée par la mise en œuvre de l'étalonnage interne par dilution isotopique. Elle est systématiquement contrôlée pour chaque série d'extraction à l'aide des matrices de référence.

Le descriptif des points de prélèvements et des protocoles d'échantillonnage est présenté dans le livrable 1.1.

Tableau 4. Micropolluants recherchés et méthodes analytiques.

Famille de substances	Substances	Recherché dans	Matrice	Préparation /extraction	Techniques analytiques	Limites de quantification				Méthode développée spécifiquement
						Milieu Naturel	Eaux Usées	Eaux Pluviales	Boues	
Pharmaceutiques (71)	fluoxétine, lévétiracétam[@], nordazépam, pravastatine, ranitidine, zidovudine, aspirine	MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI	EAU phase dissoute	SPE	LC/MS/MS (ESI+ et ESI-)	3,3-42,9 ng/L 153 ng/L[@]	11,5-143 ng/L 581 ng/L[@]	6,2-44,2 ng/L 239 ng/L[@]		Non
			BOUES	MO + SPE	LC/MS/MS (ESI+ et ESI-)				3,9-108 ng/g	Non
	Abacavir, acide 4-chlorobenzoïque, acébutolol, acide clofibrique, acide fénofibrique, amitriptyline, aténolol, atorvastatine, bézafibrate, clopidogrel, disopyramide, gemfibrozil, lamivudine, lorazépam, losartan, méprobamate, métoprolol, naproxène, névirapine, primidone, propranolol, ritonavir, théophylline	MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI, EU-DOM	EAU phase dissoute	SPE	LC/MS/MS (ESI+ et ESI-)	2,5-31,5 ng/L	5,8-109 ng/L	3,2-46,7 ng/L		Non
		MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI, EU-DOM	BOUES	MO + SPE	LC/MS/MS (ESI+ et ESI-)				2,1-127 ng/g	Non
	bisoprolol, caféine, carbamazépine, cétirizine, diclofénac, gabapentine, hydroxy-ibuprofène, ibuprofène, kétoprofène, oxazépam, paracétamol, sotalol, acide salicylique (1)	MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI, EU-DOM, EP-ZU, EP-TA, EP-ROC	EAU phase dissoute	SPE	LC/MS/MS (ESI+ et ESI-)	2,7-42,4 ng/L	5,5-65,3 ng/L	3,8-44,6 ng/L		Non
			BOUES	MO + SPE	LC/MS/MS (ESI+ et ESI-)				2,2-162 ng/g	Non
	acide niflumique, amisulpride, bromazépam, clarithromycine, clorazépate, cloxacilline, cyamémazine, diazépam, duloxétine, hydroxyzine, lamotrigine, malathion, méthadone chlorhydrate, norofloxacine, paroxétine, prazépam, salbutamol, saquinavir, sildénafil, sulfaméthoxazole, triméthoprime, valpromide, venlafaxine, zolpidem, zopiclone	EU CHU	EAU phase dissoute	SPE	LC/MS/MS (ESI+ et ESI-)		0,5-137 ng/L			Non
	Cyclophosphamide anhydre, Ciprofloxacine, ofloxacine	MN, EU CHU	EAU phase dissoute	-	LC/MS/MS (ESI+ et ESI-)		2,2-65,9 ng/L			Oui
Pesticides (64)	1-(2,4-dichlorodiphényl)urée, 1-(3,4-dichlorodiphényl)urée, acrinathrine, alachlore, bifenthrine, chlorfenvinphos, chlorotoluron, chlorpyrifos-éthyl, cyfluthrine, cyperméthrine, dichlorvos, difénoconazole A B, dimétachlore, endosulfan, époxiconazole, esfenvalérate + fenvalérate, fenbuconazole, flazasulfuron, fluquinconazole, flutriafol, isoproturon, lambda-cyhalothrine, linuron, ométhoate, perméthrine, spiroxamine, tau-fluvalinate, tébuconazole, terbuthylazine-déséthyle, tétraconazole, trifloxystrobine, trifluraline, mancozèbe[(2)]	MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI	EAU phase dissoute	SPE ou SBSE	LC/MS/MS (ESI+) ou GC/MS/MS IE	0,8-11,8 ng/L	0,9-54,9 ng/L	0,9-21,8 ng/L		Non
	atrazine-déséthyl (DEA), atrazine-déisopropyl (DIA), diazinon, DMST (diméthyl-tolylsulfamide), famoxadone, hexazinone	MN, ExPluv, STEU, EU-	EAU phase dissoute	SPE ou SBSE	LC/MS/MS (ESI+) ou	1-4,5 ng/L	1-28,3 ng/L	1-7,9 ng/L		Non

Famille de substances	Substances	Recherché dans	Matrice	Préparation /extraction	Techniques analytiques	Limites de quantification				Méthode développée spécifiquement
						Milieu Naturel	Eaux Usées	Eaux Pluviales	Boues	
		CHU, EU-ZI, EU-DOM			GC/MS/MS IE					
	acétochlore ESA (acide sulfonique), atrazine, atrazine-2-hydroxy, azoxystrobine, carbendazime, DCPMU (1-(3,4-dichlorophényl)-3-méthyl-urée), diflufénican, diuron, DMSA (diméthyl-phénylsulfamide), hydroxy-simazine, imidaclopride, métolachlore, métolachlore ESA (acide sulfonique), métolachlore OXA (acide oxanilique), propiconazole, simazine, terbutryne, terbuthylazine	MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI, EU-DOM, EP-ZU, EP-TA, EP-ROC	EAU phase dissoute	SPE ou SBSE	LC/MS/MS (ESI+) ou GC/MS/MS IE	1-4,5 ng/L	1,7-15 ng/L	1-8,6 ng/L		Non
	glyphosate, AMPA (acide aminométhylphosphonique)	MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI, EU-DOM, EP-ZU, EP-TA, EP-ROC	EAU phase dissoute	SPE	LC/MS/MS (ESI+)	14,8-41,5 ng/L	14,9-43,4 ng/L	13,4-26,5 ng/L		Non
	fipronil, fipronil-désulfinyl, fipronil-sulfide, fipronil-sulfone	MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI, EU-DOM, EP-ZU, EP-TA, EP-ROC	EAU phase dissoute	SPME	GC/MS/MS IE	0,4-0,8 ng/L	0,5-1,7 ng/L	0,5-1,2 ng/L		Non
Alkylphénols (7)	Octylphénol monoéthoxylate (OP1EO), octylphénol diéthoxylate (OP2EO), nonylphénol monoéthoxylate (NP1EO), nonylphénol diéthoxylate (NP2EO), acide nonylphénoxyacétique (NP1EC)	MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI	EAU phase dissoute	SPE	GC/MS/MS	2-8,4 ng/L	2,5-27 ng/L	3-7,8 ng/L		Non
			EAU phase particulaire	MO + SPE	LC/MS/MS (ESI-)	43,7-1184 ng/g	17,6-22,5 ng/g	17,3-501 ng/g		Non
			BOUES	MO + SPE	LC/MS/MS (ESI-)				12,9-102 ng/g	Non
	Octylphénol (OP), nonylphénol (NP)	MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI EU-DOM, EPROC	EAU phase dissoute	SPE	GC/MS/MS	4,6-22,7 ng/L	6,5-23,6 ng/L	5,5-19,6 ng/L		Non
			EAU phase particulaire	MO + SPE	LC/MS/MS (ESI-)	327-3062 ng/g	883-2400 ng/g	186-871 ng/g		Non
			BOUES	MO + SPE	LC/MS/MS (ESI-)				217-1375 ng/g	Non
BTEX (4)	Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes	MN, ExPluv, STEU, EU-	EAU phase dissoute	SPME (cryogénie)	GC/MS	4-35 ng/L	4,6-31,5 ng/L	4-35,6 ng/L		Non

Famille de substances	Substances	Recherché dans	Matrice	Préparation /extraction	Techniques analytiques	Limites de quantification				Méthode développée spécifiquement
						Milieu Naturel	Eaux Usées	Eaux Pluviales	Boues	
		CHU, EU-ZI, EU-DOM								
COV (8) (Composés Organiques Volatiles)	Chlorure de vinyle[@], trichlorométhane, dichlorométhane, 1,2-dichloroéthane[@], tétrachlorure de carbone, tétrachloroéthylène, trichloroéthylène, hexachlorobutadiène	MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI	EAU phase dissoute	SPME (cryogénie)	GC/MS	0,9-50 ng/L 70,3-96,5 ng/L[@]	0,9-50 ng/L 61-113 ng/L[@]	0,7-50 ng/L 70,6-84,8 ng/L[@]		Non
OCP (15) (Pesticides Organo Chlorés)	Endrine, isodrine, aldrine, chlordécone, 4,4'-DDE + Dieldrine	MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI	EAU phase dissoute	SPME	GC/ECD	0,2-5 ng/L	0,7-5 ng/L	1-5 ng/L		Non
	2,4'-DDT, 4,4'-DDT, 2,4'-DDD (+CB 154 + 77), lindane, mirex, heptachlore, CIS-chlordane, 4,4'-DDD, 2,4'-DDE	MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI	EAU phase dissoute	SPME	GC/ECD	0,1-3,8 ng/L	0,2-9,9 ng/L	0,5-6,2 ng/L		Non
			EAU phase particulaire	MO	GC/ECD	0,4-6,1 ng/g	0,9-2,7 ng/g	0,3-2,7 ng/g		Non
PCB (8) (PolyChloroBiphéniles)	PCB 28 (2,2',4,6 tétrachlobiphényle), PCB 50 (2,4,4' trichlobiphényle), PCB 52 (2,2',5,5' tétrachlobiphényle), PCB 101 (2,2',4,5,5' pentachlobiphényle), PCB 118 (2,3',4,4',5 pentachlobiphényle), PCB 138 (2,2',3,4,4',5' hexachlobiphényle), PCB 153 (2,2',4,4',5,5' chlobiphényle), PCB 180 (2,2',3,4,4',5,5' heptachlobiphényle)	MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI, EU-DOM***	EAU phase dissoute	SPME	GC/µECD	0,1-0,2 ng/L	0,3-1,2 ng/L	0,8-0,9 ng/L		Non
			EAU phase particulaire	MO + µcolonne	GC/µECD	1,8-22,7 ng/g	0,6-7,6 ng/g	0,4-1,9 ng/g		Non
			BOUES	MO + µcolonne	GC/µECD				0,5-4,1 ng/g	Non
PBDE (4) (Polybromodiphényléthers)	BDE 47 (2,2',4,4' tétrabromodiphényl éther), BDE 100 (2,2',4,4',6 pentabromodiphényl éther), BDE 99 (2,2',4,4',5 pentabromodiphényl éther), BDE 153 (2,2',4,4',5,5' hexabromodiphényl éther)	MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI,	EAU phase dissoute	SPME	GC/MS/MS	0,2-0,9 ng/L	0,2-0,5 ng/L	0,8-0,9 ng/L		Non
HAP (15) (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques)	Acénaphthylène, acénaphthène, fluorène	MN, EU-DOM, EP-ZU, EP-TA, EP-ROC	EAU phase dissoute	SPME	GC/MS	0,3 ng/L	0,8-1,5 ng/L	0,4-0,7 ng/L		Non
			EAU phase particulaire	MO + µcolonne	GC/MS	10-80 ng/g	4,4-14,6 ng/g	4,1-9,1 ng/g		Non
	Anthracène, benzo[a]anthracène, benzo[a]pyrène, benzo[b+j+k]fluoranthène, benzo[g,h,i]pérylène , chrysène + triphénylène, fluoranthène, indéno[1,2,3-cd]pyrène, naphtalène, phénanthrène, pyrène	MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI, EU-DOM, EP-ZU, EP-TA, EP-ROC	EAU phase dissoute	SPME	GC/MS	0,3-4,3 ng/L	0,4-4,3 ng/L	0,2-3,7 ng/L		Non
			EAU phase particulaire	MO + µcolonne	GC/MS	5,7-238 ng/g	3,9-110 ng/g	3,4-63,2 ng/g		Non
			BOUES	MO + µcolonne	GC/MS				2,3-46,7 ng/g	Non

Famille de substances	Substances	Recherché dans	Matrice	Préparation /extraction	Techniques analytiques	Limites de quantification				Méthode développée spécifiquement
						Milieu Naturel	Eaux Usées	Eaux Pluviales	Boues	
Phtalate (1)	DEHP (Di(2-éthylhexyl)phtalate)	MN, ExPluv, STEU, EU-CHU, EU-ZI, EU-DOM	EAU phase dissoute	SPME	GC/MS/MS	13,9 ng/L	32,1 ng/L	15 ng/L		Non
			EAU phase particulaire	MO	GC/MS/MS	variable	variable	variable		Non
			BOUES	MO	GC/MS/MS				variable	Non
Plastifiants (1)	BPA (Bisphénol A)	MN*, STEU*, EU-DOM	EAU phase dissoute	SPE	LC/MS/MS (ESI-)	2,5 ng/L	6,9 ng/L			Oui
			EAU phase particulaire	MO + SPE	LC/MS/MS (ESI-)		108 ng/g			Oui
Filtres UV (6)	Benzophénone 3, butyl méthoxydibenzoylméthane, EHMC (EthylHexyl MéthoxyCinnamate), ethylhexyl diméthyl paba,4-MBC (4-MéthylBenzylidène Camphre), octocrylène	MN*, STEU*, EU-DOM	EAU phase dissoute	SPE	LC/MS/MS (ESI+)	0,1-23 ng/L	0,9-27,5 ng/L			Oui
			EAU phase particulaire	MO + SPE	LC/MS/MS (ESI+)	1-50 ng/g				Oui
Parabènes (8)	Méthylparabène, éthylparabène, benzylparabène, butylparabène, isobutylparabène, isopropylparabène, pentylparabène, propylparabène	MN*, STEU*, EU-DOM	EAU phase dissoute	SPE	LC/MS/MS (ESI-)	0,04-2 ng/L	0,5-10 ng/L			Oui
			EAU phase particulaire	MO + SPE	LC/MS/MS (ESI-)	0,05-4 ng/g				Oui
PFAS (17) (PolyFluoro et PerFluoro Alkyl Substances)	PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFBS, PFHxS, PFHpS, PFOS, 6:2 FTSA, 8:2 FTSA, FOSA, FOSAA, MeFOSAA, EtFOSAA	MN*, STEU*, EU-DOM, EP-ZU, EP-TA, EP-ROC	EAU phase dissoute	SPE	LC/MS/MS (ESI-)	0,02-0,64 ng/L	0,04-1,62 ng/L	0,01-1,32 ng/L		Oui
			EAU phase particulaire	MO + SPE	LC/MS/MS (ESI-)		0,01-15,2 ng/g	0,005-12,6 ng/g		Oui
Biocides (2)	Triclosan	MN*, STEU*, EU-CHU, EU-DOM	EAU phase dissoute	-	LC/MS/MS (ESI-)	4 ng/L	3,1 ng/L			Oui
	Chlorhexidine**	MN*, STEU*, EU-CHU, EU-DOM	EAU phase dissoute	-	-	-	-			Oui

Légende :

Sources : MN : Milieu naturel EU-CHU : Eaux usées CHU EP-ZU : Eaux pluviales zones urbaines
Ex. Pluv. : Exutoires pluviaux (pluvial strict) EU-ZI : Eaux usées zones industrielles EP-TA : Eaux pluviales techniques alternatives
STEU : Station de traitement des eaux usées EU-DOM : Eaux usées domestiques EP-ROC : Eaux pluviales collecteur rocade Nord

* = composés recherchés dans ces échantillons si retrouvés au préalable dans les EU domestiques acide salicylique (1) = Technique identique mais paramètres spécifiques
** = méthode d'analyse spécifique ou en cours de développement, résultats semi-quantitatifs mancozèbe (2) = Recherché uniquement dans les EU domestiques
*** = composés recherchés dans ces échantillons si retrouvés au préalable dans le Mn avec des valeurs supérieures à la LQ
@ = LQ spécifique

Résultats

1. Les Eaux Usées (EU)

Dans le cadre du projet REGARD, 3 types d'eaux usées ont été étudiées : les eaux usées domestiques, industrielles et hospitalières.

1.1 Les eaux usées domestiques (EU-DOM)

Les résidus de pharmaceutiques représentent plus de 90% de la contamination des eaux usées domestiques. Les composés majoritairement présents sont des pharmaceutiques comme le paracétamol (48% de la somme en micropolluants organiques), l'acide salicylique (12%) et l'hydroxy-ibuprofène (4%), mais également des traceurs de vie humaine tels que la caféine (18%) et la théophylline (8%). Ponctuellement, de fortes teneurs en naproxène ou gabapentine peuvent être retrouvées, ce qui s'explique par une délivrance plus restreinte de ces composés (uniquement sur ordonnance). D'une manière générale, il ne semble pas y avoir de profil particulier de contamination en fonction des différentes habitations (type d'habitation, niveau de vie, situation géographique…). Le DEHP, utilisé comme plastifiant dans certaines matières plastiques comme le PVC, compose la deuxième classe majoritairement retrouvée dans ce type d'échantillons (entre 0,4 et 25% de la contamination totale).

Si l'on omet ces deux premières classes correspondant à la majeure partie de la contamination des EU-DOM, on retrouve dans de plus faibles proportions les parabènes, les alkylphénols, les filtres UV et les pesticides, représentant respectivement 29%, 20%, 19% et 13% du reste de la contamination. La présence des parabènes et filtres UV n'est pas surprenante car ils entrent dans la composition de produits d'hygiène corporelle ou d'entretien de la maison. Par ailleurs, 70% de la contamination en pesticides est due à la présence de glyphosate et d'AMPA (un de ses produits de transformation). Des pesticides à usage domestique (traitement des animaux de compagnie, lutte contre les nuisibles, etc.) tels que le fipronil, ou l'imidaclopride sont également présents. Les prélèvements ayant été réalisés par temps sec, leur présence dans les EU n'est pas liée à des phénomènes de lessivage mais à des apports directs (nettoyage des animaux traités) ou indirects (nettoyage de textiles ou des mains ayant été en contact avec les animaux traités par exemple). On retrouve dans une moindre mesure des HAP (7%), BTEX (5%), biocides (3%), plastifiants (3%), PCB (1%) et PFAS (<1%).

1.2 Les eaux usées industrielles (EU-ZI)

Contrairement à ce qui pouvait être attendu, les effluents des zones industrielles sont également marqués majoritairement par la présence de composés pharmaceutiques, qui représentent entre 77% et 99% de la contamination totale en composés organiques. Le paracétamol est retrouvé en plus forte concentration, atteignant une proportion égale à 50% dans certains cas, mais de fortes teneurs en caféine, théophylline, acide salicylique et hydroxy-ibuprofène sont également retrouvées en des proportions similaires à celles des eaux usées domestiques. Il est nécessaire de rappeler que les eaux usées des zones industrielles ne proviennent pas uniquement des effluents d'industries et des moyens de production associés, mais concernent également des bureaux et des habitations présents sur ces zones mixtes. Il n'est donc pas surprenant de trouver une empreinte liée à la présence humaine. Des composés pouvant être utilisés lors de procédés industriels ont également été retrouvés dans ces effluents comme du DEHP (min : 42 ng/L, quartile 1 : 254 ng/L, quartile 3 : 10 166 ng/L, max : 36 888 ng/L), des alkylphénols (490, 965, 3 348 et 31 927 ng/L pour NP et OP), et des BTEX utilisés notamment en tant que solvants (141, 604, 2 639 et 20 425 ng/L). Des concentrations en pesticides de l'ordre de quelques centaines de ng/L sont mesurées, en majorité portées par l'herbicide diuron, l'insecticide imidaclopride et le fongicide flutriafol ; le glyphosate et l'AMPA n'ont pas été recherchés dans ce type d'eaux usées.

1.3 Les eaux usées hospitalières (EU-CHU)

Une majorité de produits pharmaceutiques est également retrouvée dans les eaux usées du groupe hospitalier. Par ailleurs, l'empreinte est similaire aux deux types d'effluents précédents avec de fortes concentrations en paracétamol. En plus des pharmaceutiques recherchés dans les EU-ZI ou les EU-DOM, 28 pharmaceutiques supplémentaires ont spécifiquement été recherchés dans les EU-CHU. Ces analyses complémentaires ont permis de détecter la présence en forte concentration de deux antibiotiques, l'ofloxacine et la ciprofloxacine (dont la présence n'est pas détectée dans tous les échantillons), et d'autres composés moins concentrés mais potentiellement toxiques pour l'environnement à très faible dose, tel que le cyclophosphamide (un anticancéreux). Comme pour les eaux usées industrielles et domestiques, les eaux usées du CHU présentent des concentrations assez importantes en COV/BETX (majoritairement trichlorométhane et toluène), DEHP et alkylphénols (majoritairement NP1OE et NP2OE). Les pesticides sont présents en faibles quantités et correspondent en grande majorité à du glyphosate et de l'AMPA. L'activité hospitalière étant continue, il ne semble pas y avoir de tendances particulières quant à l'évolution horaire des rejets comme le révèlent les résultats du prélèvement haute fréquence sur 24h.

1.4 Comparaison de profils et flux dans les eaux usées

En termes d'apports, les eaux usées industrielles génèrent des flux en micropolluants organiques compris entre 10 et 1400 g/jour, du même ordre de grandeur que le flux total sortant du groupe hospitalier (1032 g/jour). Les flux générés par les eaux usées domestiques sont plus faibles, aux alentours de 20 g/jour. Cela est principalement dû au fait que les prélèvements sont réalisés en tête de réseau et ne concernent donc qu'un nombre restreint d'habitants. Ces flux sont purement qualitatifs en raison du fait que plusieurs bassins versant différents ont été ciblés ; ils sont présentés à titre indicatif.

En termes d'empreintes, les 3 types d'effluents sont marqués par une forte concentration en pharmaceutiques, notamment en paracétamol, acide salicylique et hydroxy-ibuprofène, et en traceurs de vie humaine caféine et théophylline, qui peuvent donc être considérés comme caractéristiques d'eaux usées non traitées (voir partie suivante sur les stations de traitement des eaux usées). Pour les pesticides des différences apparaissent notamment par la présence de diuron dans les eaux usées industrielles, liée au lessivage de surfaces (le diuron pouvant être utilisé comme biocide dans des peintures), alors que les eaux usées domestiques contiennent principalement des pesticides caractéristiques d'un usage domestique (fipronil, imidaclopride).

1.5 Les stations de traitement des eaux usées (STEU)

Cette partie présente l'étude des concentrations et flux de contaminants organiques à travers les filières de traitements des eaux et des boues, ainsi que les rendements d'élimination correspondants.

Pour étudier les concentrations en MP organiques et leur taux d'élimination, 3 STEU ont été suivies[1] : Cantinolle, Louis Fargue et Lille Blanquefort, avec des capacités de traitement respectives de 85 000, 366 700 (temps sec) et 66 700 équivalent-habitant (EH). Des prélèvements ont été réalisés en entrée et en sortie des filières de traitements des eaux[2] et des boues[3]. Les concentrations cumulées en MP organiques varient entre 400 et 450 µg/L dans les eaux brutes et entre 15 et 60 µg/L dans les eaux traitées. Une diminution des

[1] Suivi sur 24h à raison de 4 (Cantinolle) ou 2 (Lille-Blanquefort, Louis Fargue) campagnes pour la file eau. Suivi sur 2h à raison de 2 campagnes pour chaque STEU pour la file boue

[2] Entrée, point intermédiaire et sortie de filière

[3] Boues liquides en début de filière et boues séchées/déshydratées en sortie de filière

concentrations est donc observée en sortie. Les flux correspondants s'échelonnent entre 2 et 20 kg/jour en entrée et 0,09 et 4 kg/jour en sortie.

De façon cohérente avec les résultats présentés précédemment, les eaux usées brutes en entrée de STEU sont marquées par la présence de composés pharmaceutiques et traceurs de vie humaine (plus de 89% de la contamination totale en moyenne). En revanche, ces composés sont très peu présents en sortie dans les eaux usées traitées. La classe des pharmaceutiques reste tout de même la plus représentée dans les eaux traitées avec des proportions comprises entre 57 et 89% de la contamination totale. A l'inverse, certains pharmaceutiques mal éliminés, comme la carbamazépine, le sotalol, l'oxazépam ou la gabapentine, présentent des proportions plus importantes dans les eaux usées traitées. Ces variations entrainent des empreintes différentes entre les eaux usées brutes en entrée et celles traitées en sortie ce qui permet de distinguer 2 groupes de molécules pharmaceutiques caractéristiques : le 1er est constitué de caféine, théophylline, paracétamol et acide salicylique qui sont marqueurs d'eaux usées non traitées alors que le 2ème est constitué de sotalol, gabapentine, acide fénofibrique, carbamazépine et oxazépam plutôt marqueurs d'eaux usées traitées.

Les concentrations en pesticides dans les eaux brutes sont majoritairement marquées par le glyphosate (35%) et l'AMPA (53%). Il est intéressant de noter également la présence de fipronil (1%), diuron (5%) et de terbutryne (2%) en entrée de STEU, produits utilisés notamment en tant qu'insecticides vétérinaire pour le premier et biocides de protection (matériaux de construction et peintures) pour les deux autres. Les profils de contamination sont similaires entre l'entrée et la sortie des STEU, avec des concentrations[4] et flux[5] stables, ce qui sous-entend une mauvaise élimination générale des pesticides de la filière eau. Les pesticides sont donc majoritairement réfractaires aux traitements.

De la même manière, les PFAS présentent des concentrations relativement stables entre l'entrée et la sortie de filière (33 ng/L) associé à des profils de contamination peu variables. Le 6:2 FTSA (7,2 ng/L) et le PFOS (6,2 ng/L) sont majoritaires dans beaucoup d'échantillons comme c'est également le cas dans le milieu naturel (voir la partie suivante).

En dehors des pesticides et des PFAS, une diminution des concentrations de 30% à plus de 70% est observée pour beaucoup de familles de composés en sortie de STEU : alkylphénols (lié à une bonne élimination des alkylphénols polyéthoxylés), COV, HAP, BPA et phtalates (DEHP). Une attention particulière doit tout de même être portée sur le DEHP qui, malgré de bons rendements d'élimination pour la STEU de Cantinolle (> 70%), présente encore de fortes concentrations en sortie de filière (1,7 µg/L).

Cependant, si ces classes de composés sont bien éliminées de la filière eau, elles sont, pour certaines d'entre elles, transférées vers les boues, du fait de leurs propriétés physico-chimiques qui leur confèrent une affinité pour les solides et la matière organique. Elles ont tendance à s'associer à la phase particulaire. C'est notamment le cas des OCP, PCB et de certains HAP.

D'une manière générale, il a été possible de calculer des rendements d'élimination fiables pour 82 composés dans la filière eau et 42 composés dans la filière boues. Parmi les 3 STEU étudiées, la STEU de Lille Blanquefort semble être la plus efficace pour éliminer les micropolluants organiques car c'est elle qui a le plus grand nombre de composés bien éliminés avec un rendement supérieur à 70% et le plus petit nombre de composés peu ou pas éliminés avec un rendement inférieur à 30% (Tableau 5). Ce constat peut s'expliquer par les traitements mis en place sur les 3 STEU. En effet, les boues activées à aération prolongée de Lille-

[4] En moyenne 2540 ng/L pour Cantinolle, 2667 ng/L pour Louis Fargue et 6671 ng/L pour Lille
[5] En moyenne 35 g/jour pour Cantinolle, 204 g/jour pour Louis Fargue et 38 g/jour pour Lille

Blanquefort permettent de traiter à la fois l'azote et le carbone mais aussi d'avoir des temps de séjours plus longs ce qui favorise la dégradation des MP organiques. De même, la STEU de Cantinolle qui est équipée de biofiltres qui traitent l'azote et le carbone semble plus efficace que la STEU de Louis Fargue où les biofiltres ne traitent que le carbone. Ainsi, bien qu'initialement non conçues pour éliminer les micropolluants organiques, les STEU permettent néanmoins de réduire en partie les flux de micropolluants déversés dans les milieux naturels à l'exception de certains micropolluants réfractaires.

Tableau 5. Comparaison de l'efficacité de traitement des MP organiques des files eau des 3 STEU étudiées – nombre de MP bien (R>70%), moyennement (70%>R>30%) ou mal (R<30%) éliminés pour chaque STEU.

STEU	R > 70%	70% > R > 30%	R < 30%	Non calculable
Lille Blanquefort	60	5	8	14
Cantinolle	52	11	17	7
Louis Fargues	41	8	23	15

Sur la filière boue, les rendements d'élimination ont été calculés à partir des flux entrants et des flux sortants, en tenant compte du temps de séjour. De façon générale, les étapes de conditionnement des boues (épaississement, séchage, déshydratation) ne permettent pas d'éliminer efficacement les micropolluants organiques de cette matrice, à l'exception de quelques pharmaceutiques (acide salicylique, clopidogrel) et des alkylphénols éthoxylates (qui sont cependant transformés en alkylphénols dans le cas d'une digestion anaérobie). Il existe toutefois un biais potentiel dans le cas de temps de séjour plus élevés que ceux considérés.

2. Les Eaux Pluviales (EP)

Différents types d'eaux pluviales ont été étudiés dans le cadre du projet : celles des exutoires pluviaux (gros collecteurs et grands bassins versants), celles du collecteur rocade nord (focus sur un collecteur particulier sur lequel des actions seront menées dans la 2ème phase du projet), celles des zones urbaines (petits collecteurs et bassins versants spécifiques comme le parking d'un centre commercial, un cimetière ou un terrain de sport) et enfin celles des techniques alternatives (bassin d'infiltration, bassin de dépollution, noues, structure alvéolaire ultralégère).

2.1 Les exutoires pluviaux (Ex. Pluv.)

Les familles de composés majoritairement présentes dans les exutoires pluviaux sont les pharmaceutiques, le DEHP et les pesticides. Cependant une variabilité à la fois inter-exutoire mais également intra-exutoire (entre les différentes campagnes) a été observée en termes de concentrations et de débits, et par conséquent en termes de flux.

La famille des pharmaceutiques est majoritairement marquée par la présence de caféine, de paracétamol, d'acide salicylique, d'ibuprofène et d'hydroxy-ibuprofène, qui sont par ailleurs les composés majoritaires retrouvés dans les eaux usées non traitées. Fait notable, la caféine est quantifiée dans la totalité des échantillons analysés. Bien qu'il soit surprenant de retrouver ces composés dans ces exutoires, leur présence peut néanmoins être expliquée soit par des mauvais raccordements, soit par des pratiques peu civiques (urines dans la rue, déversements illégaux).

Sur la base des concentrations en caféine et de l'azote NTK, et en supposant que la présence de ces éléments provient uniquement de mauvais raccordements, il est possible d'estimer un nombre d'équivalents habitants mal raccordés. Les valeurs moyennes calculées vont de 9 à 1288 habitants sur la base de la caféine et de 126 à 3958 habitants sur la base du NKT, toutes campagnes et tous exutoires confondus. En considérant 120 L d'eau consommé par jour par

habitant, les volumes d'eaux usées non traitées introduites dans le réseau pluvial peuvent être estimés à : 1 à 155 m^3/j pour la caféine contre 15 à 475 m^3/j pour le NKT.

Concernant les pesticides, 50% de la contamination est liée à la présence de glyphosate et d'AMPA, qui sont systématiquement quantifiés, probablement en lien avec le fait que le glyphosate est l'herbicide le plus utilisé en Nouvelle-Aquitaine. Trois autres molécules marquent également ces échantillons : la carbendazime, le diuron, et le propiconazole, composés qui sont utilisés en tant que biocides dans la protection de divers matériaux. Leur présence peut donc être liée au ruissellement sur les toitures ou les surfaces traitées. Par ailleurs, il est intéressant de noter que dans les eaux pluviales la concentration en glyphosate est supérieure à celle en AMPA alors que l'inverse était observé dans les eaux usées. Ce constat est à mettre en relation avec la proximité des exutoires pluviaux vis-à-vis des sources de glyphosate (temporelle et/ou spatiale) qui tend à limiter sa dégradation, mais également au fait que l'AMPA, bien qu'issu de la dégradation du glyphosate, peut également être généré par la dégradation de certaines lessives et donc trouver une origine plus domestique que pluviale.

Les concentrations des autres familles de composés sont plus faibles, avec notamment la présence dans les prélèvements d'alkylphénols (4-NP majoritaire), de HAP, de COV/BTEX (toluène majoritaire), ou encore de molécules aujourd'hui interdites d'usages tels des OCP (lindane majoritaire) et des PCB. Si les concentrations sont variables pour ces familles, les profils de contamination sont en revanche similaires d'un exutoire à l'autre.

2.2 Le collecteur Rocade Nord (EP-ROC)

Le collecteur Rocade Nord est caractérisé par un apport d'eau continu, même par temps sec en raison de la présence d'une petite rivière canalisée à l'amont du bassin de collecte. Il a donc été étudié à la fois par temps sec et par temps de pluie. Les eaux collectées par temps sec sont caractérisées par une forte proportion de pharmaceutiques (80% en moyenne), dont la présence est probablement due à de mauvais raccordements du réseau d'assainissement. Par temps de pluie, les profils de contamination diffèrent : les concentrations des pharmaceutiques sont plus faibles dû à un probable effet de dilution alors que celles des pesticides et des HAP augmentent, certainement en raison du lessivage de sols contaminés et du drainage des eaux de ruissellement de la rocade. Cela se traduit par des différences de flux totaux, avec des moyennes d'apports pouvant passer de quelques g/jour par temps sec à des dizaines de g/évènements par temps de pluie. Cependant, l'intensité et la durée de la pluie, la période de temps sec avant l'épisode pluvieux, ainsi que la période de traitement pour les produits phytosanitaires sont autant de paramètres qui peuvent influencer les niveaux de concentrations et les flux.

Il est intéressant de noter qu'au niveau du site d'étude de Bois Gramond (bassin équipé d'un dégrilleur et d'un dessableur et situé sur ce collecteur), il y a 2 entrées au niveau du bassin, l'entrée dite « aéroport + rocade », drainant les eaux pluviales provenant de l'aéroport et d'une partie de la rocade, et l'entrée dite « Limancet ». En termes de débit l'entrée « Limancet » ne compte que pour 0,2% du débit total en sortie du bassin par temps de pluie (pas d'eau en temps sec). Bien que les concentrations soient similaires dans les 2 entrées pour certaines familles (pharmaceutiques, alkylphénols), la majorité du flux est donc apportée par l'entrée dite « aéroport + rocade ». Par ailleurs, en étudiant spécifiquement les eaux pluviales prélevées à la sortie de l'aéroport, il est apparu que ces eaux sont marquées par une part majoritaire de HAP contrairement aux eaux d'entrée « aéroport + rocade » de Bois Gramond qui sont marquées par une majorité de pesticides et de pharmaceutiques. L'hypothèse avancée serait une dilution des eaux pluviales de l'aéroport par les eaux de ruissellement du réseau d'eaux pluviales (dont celles provenant de la rocade), avant leur entrée dans le bassin de Bois Gramond, tel que décrit dans la Figure 3.

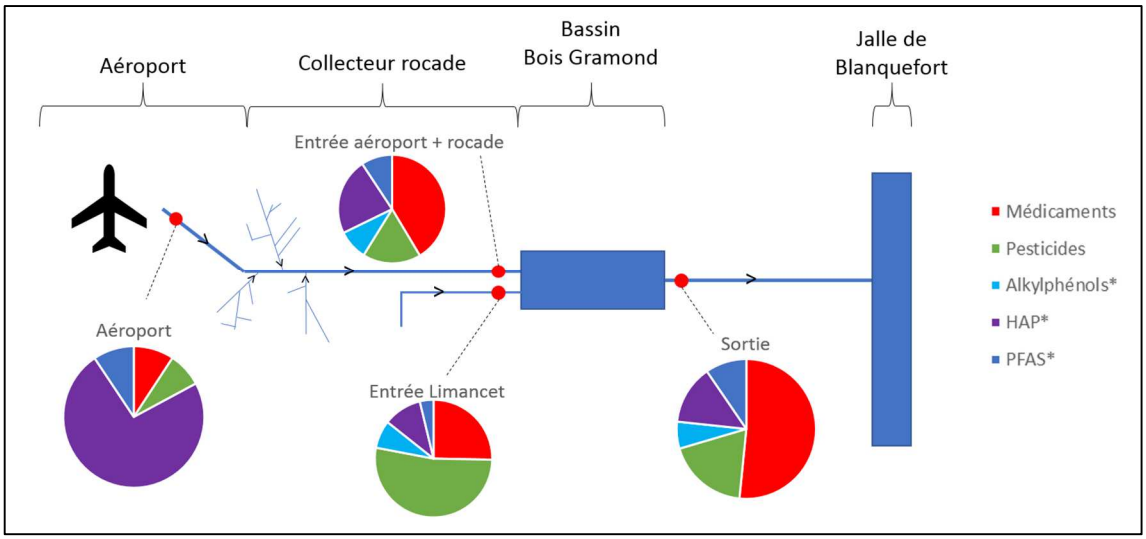


Figure 3. Représentation schématique du collecteur Rocade Nord et de l'empreinte en micropolluants des différents points de prélèvement.

La classe des PFAS, également détectée, est en majorité représentée par le 6:2FTSA, le PFOS, le PFPeA et le PFHxA, ce qui pourrait correspondre à une empreinte spécifique de l'utilisation ancienne de mousses anti-incendie. Pour plusieurs classes de composés comme les alkylphénols et les HAP, la majorité du flux est porté par la phase particulaire par temps de pluie alors que l'apport se fait majoritairement par la phase dissoute par temps sec.

2.3 Les zones urbaines (EP-ZU)

Les eaux pluviales en zones urbaines présentent des profils assez hétérogènes, marqués par la présence majoritaire de pesticides, pharmaceutiques et HAP, sans lien apparent avec les activités présentes sur le bassin versant (cimetière, terrain de sport, parking, etc.). Dans les EP-ZU, les concentrations en molécules traceurs d'eaux usées, comme la caféine par exemple, sont faibles, ce qui laisse penser que la présence de composés pharmaceutiques n'est pas liée à la présence d'eaux usées en tant que telle mais à des apports plus sporadiques. Hormis les fortes teneurs en glyphosate et AMPA pour la famille des pesticides, du diuron et de la terbutryne sont retrouvés (avec pour cette dernière des concentrations non négligeables pour certains points) et qui peuvent être lessivés après application si les pluies entrent en contact avec des surfaces traitées. La présence d'imidaclopride est également observée dans ces effluents, cet insecticide étant un biocide accessible aux particuliers utilisé en tant que traitement d'appoint ou traitement vétérinaire ; sa présence pourrait s'expliquer par le contact d'eaux pluviales avec des surfaces ou animaux de compagnie traités. Concernant les PFAS, les points représentatifs de zones résidentielles présentent en majorité des PFCA (> 80%), principalement du PFOA et PFDA. En revanche, les points non représentatifs d'activités domestiques (parking de centre commercial et site sportif) présentent des proportions plus élevées en PFOS et PFHxS, semblables aux eaux pluviales de la rocade. Une différence marquée est observée pour un des points d'échantillonnage. Ce dernier est le seul à avoir été choisi sur un réseau unitaire et présente la contamination en MP organiques la plus forte parmi cette série d'échantillons (180 µg/L contre 1,5 µg/L pour les autres points), associée à un profil constitué à plus de 95% par des pharmaceutiques. Pour ce point de réseau unitaire, on retrouve plus un profil d'eaux usées que d'eaux pluviales, vraisemblablement en lien avec la part d'eaux résiduaires. En termes de débit, les apports sont plus faibles que pour les exutoires pluviaux, avec des flux compris entre 2,25 et 2287 mg/évènement suivant le point considéré (contre 1 à 350 g/évènement pour les exutoires pluviaux).

2.4 Les techniques alternatives (EP-TA)

L'observation lors d'un premier évènement pluvieux de 2 des 5 sites d'étude des techniques alternatives met en avant 2 profils différents. Le 1er site, le bassin d'infiltration du bois de Germignan, est marqué plutôt par une majorité de pharmaceutiques à 88% (caféine, acide salicylique, paracétamol, ibuprofène, hydroxy-ibuprofène) et de pesticides (fipronil et métabolites, imidaclopride) caractéristiques d'apports d'eaux usées. Au contraire, le 2ème site, la noue de Lacaussade, a un profil plus proche des eaux pluviales des zones urbaines avec une forte proportion de pesticides (entre 73 et 89% de la contamination totale). Pour ce site, le profil de contamination ne varie pas entre l'entrée et la sortie, cependant il est tout de même possible de noter une diminution de la concentration en HAP, lié à une diminution du taux de matières en suspension (ces molécules étant hydrophobes).

3. Le milieu naturel

Les concentrations cumulées en contaminants organiques dans le continuum de la Jalle de Blanquefort (Figure 4) sont comprises entre 3 et 6 µg/L, ce qui correspond à des flux compris entre 257 g/jour pour le point le plus en amont du continuum (Thill) et plus de 500 g/jour pour le point situé en amont de l'exutoire pluvial de la rocade.

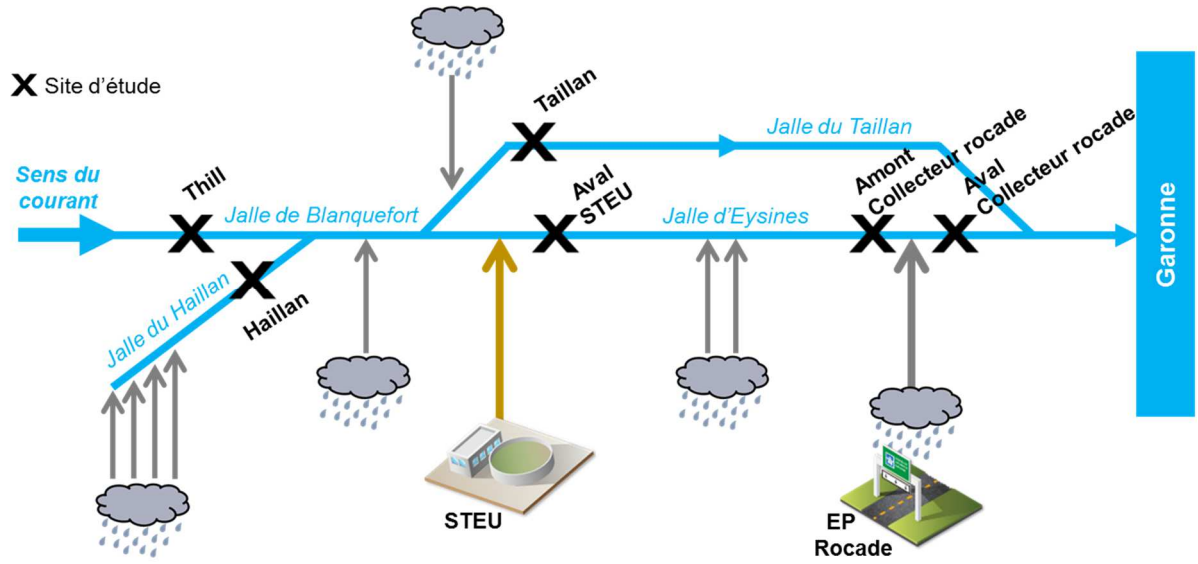


Figure 4 : Représentation schématique du milieu naturel étudié.

La majorité de cette contamination est représentée par les familles des pharmaceutiques (17-55 %) et des pesticides (15-38 %), puis par le DEHP, les alkylphénols (NP et NP1EC majoritairement) et les COV. Enfin, dans une moindre mesure, des HAP, des PFAS, des PCB, des OCP, des filtres UV (FUV) et du BPA sont également retrouvés. En revanche, le triclosan, les parabènes et PBDE présentent des concentrations inférieures aux LQ dans le milieu naturel.

En rentrant dans le détail de chaque famille de composés, des tendances se dégagent. Pour les pharmaceutiques par exemple, il est possible de mettre en évidence de fortes concentrations en gabapentine (489 ng/L en moyenne), sotalol (169 ng/L), diclofénac (94 ng/L) et hydroxy-ibuprofène (124 ng/L). Ces composés, considérés comme caractéristiques des eaux usées traitées (cf. paragraphe sur les STEU), sont peu sensibles aux processus de traitement et sont majoritaires dans les effluents de sortie de STEU. C'est la raison pour laquelle il n'est pas surprenant de les retrouver dans le milieu naturel, et en particulier à l'aval d'un rejet de STEU avec un facteur d'augmentation de 2 à 9 entre l'amont et l'aval du rejet. En

parallèle, les échantillons sont aussi marqués par la présence de paracétamol (57 ng/L), d'acide salicylique (38 ng/L) et de caféine (114 ng/L). Ces composés, lorsqu'ils sont retrouvés dans le milieu naturel, témoignent de l'apport d'eaux usées non traitées, probablement du fait de mauvais raccordements entre réseau d'eaux pluviales et réseau d'eaux usées. Leurs rapports de concentration entre aval et amont sont respectivement 0,6 - 0,7 - 1.

Pour les pesticides, le glyphosate (150 ng/L) et son métabolite, l'AMPA (568 ng/L), sont systématiquement prédominants. Leurs concentrations augmentent d'un facteur moyen de 2-3 en aval du rejet de la STEU, ce qui traduit un apport plutôt urbain. Le même constat peut être fait pour le fipronil (2 ng/L), le diuron (18 ng/L), l'imidaclopride (16 ng/L), le propiconazole (6 ng/L) et la terbutryne (3 ng/L), avec une augmentation des concentrations d'un facteur 3-5 en aval du rejet de la STEU. Cela traduit une origine urbaine pour ces molécules, en accord avec leur présence dans les réseaux d'assainissement, associé à de faible taux d'abattement en STEU. A l'inverse, le S-métolachlore et ses métabolites (métolachlore OXA et métolachlore ESA) sont présents dès l'amont et leurs concentrations sont stables le long du continuum. Cela traduit un apport plus lointain, probablement en lien avec leur utilisation en agriculture (en amont du bassin versant), et le lessivage de sols traités (précipitations, irrigation). Ces composés sont considérés comme étant de bons traceurs agricoles.

D'une manière plus générale, la STEU de Cantinolle semble également être un vecteur d'apport pour les filtres UV (octoctrylène majoritaire), PFAS (PFOS majoritaire) et BPA avec des concentrations plus élevées après le rejet. Pour les PFAS, les concentrations augmentent également en aval du rejet du collecteur rocade Nord. A l'inverse, les PCB, HAP et COV/BTEX sont présents en plus fortes concentrations dans la partie amont de la Jalle. Si les premiers sont principalement introduits de façon diffuse dans le cours d'eau, la contamination en chlorure de vinyle (COV) était accidentelle en lien avec une activité industrielle et a été solutionnée.

Parmi l'ensemble des molécules recherchées dans le milieu, 16 ont présenté un dépassement des concentrations prédites sans effet (PNEC), impliquant un impact potentiel sur l'écosystème aquatique de la Jalle de Blanquefort. La majorité de ces molécules sont des pesticides (atrazine-2-hydroxy, diflufénican, famoxadone, fipronil, fipronil désulfinyl, fipronil sulfide, fipronil sulfone, imidaclopride, terbutryne), mais des AKP (4-nonylphénol, NP1OE), des HAP (benzo (a) Pyrène, benzo (b+j+k) Fluoranthène), des OCP (DDD 2 4' (+CB 154), heptachlore) et 1 médicament (diclofénac) présentent également des concentrations environnementales supérieures aux PNEC. 8 molécules présentent des dépassements dans moins de 20% des cas (benzo (a) Pyrène, famoxadone, fipronil désulfinyl, DDD 2 4' (+CB 154), heptachlore, diflufénican, benzo (a) Pyrène, Benzo (b+j+k) Fluoranthène, fipronil sulfone, NP1OE), 3 de 20 à 50% (4-nonylphénol, fipronil sulfide, DDD 2 4' +CB 154). Les plus fortes fréquences de dépassement sont enregistrées pour le diclofénac (52%), l'imidaclopride (58%), la terbutryne (61%) et le fipronil (72%). L'atrazine-2-hydroxy présente systématiquement des dépassements de sa PNEC (2 ng/L). La priorisation des substances organiques est abordée plus en détails dans le livrable 2.1.

Conclusion

Cette étape du projet REGARD a permis de caractériser la contamination chimique de la Jalle de Blanquefort et de différentes sources potentielles, conduisant à la détermination des traceurs propres à celles-ci. Une vision moyenne globale des différents niveaux de concentrations et empreintes correspondant aux différentes sources est présentée Figure 5. Ainsi, d'une manière générale, les eaux usées domestiques et entrées de STEU sont marquées par les pharmaceutiques. La sortie de STEU est marquée par les pharmaceutiques et les pesticides du fait de la stabilité des pesticides dans les STEU et du bon abattement de

certains pharmaceutiques majoritaires comme le paracétamol. Le DEHP est quant à lui retrouvé de manière ubiquiste.

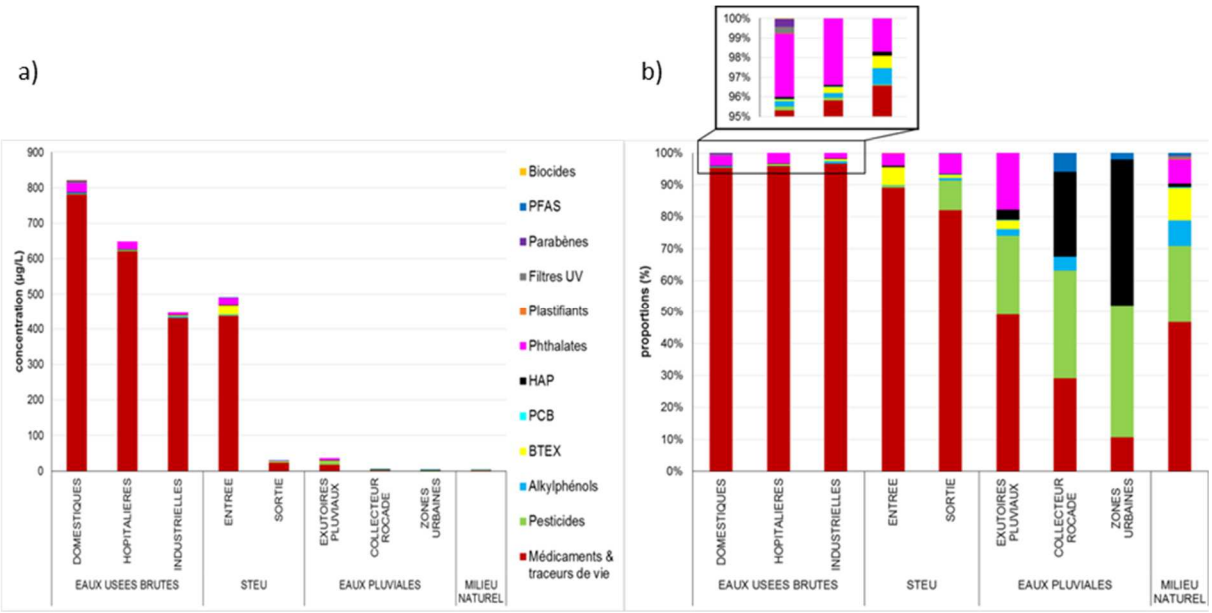


Figure 5. (a) Niveaux de concentration moyens en MP retrouvés pour les différentes sources et (b) proportions moyennes des différentes familles de composés.

Une analyse détaillée des contaminants présents peut permettre de remonter aux différentes sources. Par exemple, pour les pharmaceutiques, une présence majoritaire de caféine, paracétamol et acide salicylique caractérise des apports d'eaux usées non traitées, alors que la présence d'acide fénofibrique, de gabapentine, de carbamazépine, de sotalol, d'oxazépam et de diclofénac, retrouvés dans les effluents de sortie de STEU et le milieu naturel, est signe de la présence d'eaux usées traitées.

De la même manière pour la classe des pesticides, la présence de métolachlore et métabolites (comme c'est le cas dans le milieu naturel) correspond à des apports agricoles diffus. Le fipronil et l'imidaclopride sont des pesticides à usage plutôt domestique et sont apportés via les effluents traités de STEU du fait de mauvaises performances de traitement pour ces molécules. Les eaux pluviales sont quant à elles caractérisées par la présence de diuron, propiconazole et terbutryne, utilisés pour le traitement de surface et donc potentiellement lessivés par les eaux de pluie. On notera également la présence majoritaire de glyphosate et d'AMPA pour toutes les sources en lien avec les usages très fréquents et très larges du glyphosate, ce qui ne permet pas d'identifier une voie d'apport préférentielle.

Pour les PFAS, le site de Bois Gramond est marqué par la présence de 6:2FTSA, de PFPeA et de PFHxA alors que les eaux usées domestiques sont marquées par la présence de PFOS, de 8:2FTSA et de PFOA.

La liste des différents « traceurs » ayant pu être mis en évidence est présentée Figure 6.

CONTRIBUTION AU SEIN D'UNE MÊME CLASSE DE COMPOSES

- Contribution élevée
- Contribution moyenne
- Contribution faible
- Molécule non recherchée
- Contribution minime

				STEU		MILIEU NATUREL
		EAUX USEES	EAUX PLUVIALES	Entrée	Sortie	
Pharmaceutiques	acide fénofibrique					
	caféine					
	carbamazépine					
	diclofénac					
	gabapentine					
	hydroxy-ibuprofène					
	ibuprofène					
	oxazepam					
	paracétamol					
	sotalol					
	acide salicylique					
Pesticides	diuron					
	fipronil + métabolites					
	imidaclopride					
	métolachlore					
	métolachlore ESA					
	métolachlore OXA					
	propiconazole					
	terbutryne					
	glyphosate					
	AMPA					
Alkylphénols	nonylphénol (NP)					
HAP	anthracène					
	benzo[a]anthracène					
	benzo[a]pyrène					
	benzo[b+j+k]fluoranthène					
	benzo[g,h,i]pérylène					
	chrysène + triphénylène					
	fluoranthène					
	indéno[1,2,3-cd]pyrène					
	naphtalène					
	phénanthrène					
	pyrène					
Phthalates	DEHP					
Plastifiants	BPA					
Filtres UV	oxybenzone					
	EHMC					
	Octocrylène					
Parabènes	méthylparabène					
	éthylparabène					
	propylparabène					
PFAS	PFHxA					
	PFOA					
	PFOS					
	PFPeA					
	6:2 FTSA					
	8:2 FTSA					
Biocides	triclosan					

Figure 6. Liste des substances « traceurs » pouvant être identifiées dans les différentes sources.

Chapitre 3. **Mapping des substances inorganiques, flux et sources à l'échelle de la métropole.**

Tâche 1.3 – Sous tâche 1.3.2 – Livrable n°133.

Auteurs : A. Coynel, A. Lerat, MJ. Capdeville, C. Pereto, A. Charrier, D. Granger, R. Pico.

Contexte et objectifs

L'objectif de la première phase du projet REGARD consistait en la réalisation d'un diagnostic intégré des sources et flux de micropolluants (MP) à l'échelle de la métropole bordelaise. Les éléments majeurs (Al, Fe) et éléments traces métalliques (ETM) sont naturellement présents dans l'environnement, avec des abondances différentes selon les éléments, et qui peuvent varier localement ou régionalement du fait du lessivage de différentes natures de sols (sols riches en fer et aluminium, sols carbonatés ou argiles estuariennes). A cela s'ajoutent des apports anthropiques pouvant provenir de différentes sources : lessivage des routes (ex. usure des plaquettes de frein, débris de pneumatique), des toitures, rejets d'eaux usées qui peuvent rejoindre directement ou indirectement (via les stations de traitement des eaux usées) les milieux aquatiques… Pour étudier ces flux, les sites d'études se sont concentrés sur le milieu naturel (Jalle de Blanquefort), les stations de traitement des eaux usées (STEU) (eaux brutes, traitées et boues d'épuration) et dans 4 sources majeures d'émission, à savoir les eaux pluviales et les eaux usées domestiques, hospitalières et industrielles. Ce chapitre présente les principales conclusions obtenues pour les métaux (majeurs et ETM).

Méthodologie

Vingt éléments (majeurs et ETM) ont été analysés dans le cadre de cette étude, à la fois dans les phases dissoutes et totales des échantillons : Aluminium (**Al**), Antimoine (**Sb**), Argent (**Ag**), Arsenic[6] (**As**), Baryum (**Ba**), Cadmium[6] (**Cd**), Chrome[6] (**Cr**), Cobalt (**Co**), Cuivre[6] (**Cu**), Etain (**Sn**), Fer (**Fe**), Mercure[1] (**Hg**), Molybdène (**Mo**), Nickel[6] (**Ni**), Plomb[6] (**Pb**), Strontium (**Sr**), Thorium (**Th**), Uranium (**U**), Vanadium (**V**) et Zinc[6] (**Zn**).

Après prélèvement, les échantillons d'eau ont été conservés dans des bouteilles en polypropylène, préalablement décontaminées à l'acide nitrique, jusqu'à leur retour au laboratoire. Dans les 24 à 48h, les échantillons ont été soit filtrés à 0,2µm (étude de la fraction dissoute) puis stabilisés à pH 2 avec de l'acide nitrique HNO_3, soit directement stabilisés à pH2 (étude de la fraction totale). Pour la fraction totale, deux types de digestion ont été réalisées : une digestion à HNO_3 (fraction TOT) et une digestion à l'acide nitrique HNO_3, l'acide chlorhydrique HCl et au peroxyde d'hydrogène H_2O_2 (appelée TOT+). Cette deuxième extraction plus poussée tente de pallier au manque d'efficacité de la digestion à l'HNO_3 pour certains ETM, qui tendrait à sous-estimer la concentration dans la phase totale pour certaines sources. C'est notamment le cas pour Ag et Sr. La fraction particulaire correspond à la différence de concentrations entre fractions totale et dissoute.
De la même manière, les sédiments ou les matières en suspension (MES) de certains échantillons suffisamment turbides ont subi une digestion tri-acide afin de quantifier les majeurs et ETM dans les silicates. Les différents échantillons sont conservés au réfrigérateur avant d'être analysés, soit par un spectromètre de masses à plasma couplé induit (ICP-MS) pour les ETM, soit par un spectromètre optique à plasma induit (ICP-OES) pour les majeurs. Les limites de détection (LD) correspondant à chaque élément sont présentées dans le Tableau 6.

[6] Métaux considérés comme prioritaires par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE)

Le contrôle qualité des résultats a été réalisé par mesures de blancs d'analyses et d'échantillons certifiés (eau et sédiments). De plus, des blancs préleveurs, basés sur l'analyse d'échantillons d'eau Milli-Q® après passage dans les préleveurs (19 préleveurs successifs utilisés lors des campagnes) ont été réalisés afin d'identifier une éventuelle contamination due au matériel. Il en résulte un enrichissement nul ou inférieur aux valeurs mesurées pour certains ETM, ce qui ne porte donc pas atteinte à la qualité des résultats obtenus.

Tableau 6. Méthodes analytiques et limites de détection des ETM.

ETM	Ag	As	Ba	Cd	Cr	Co	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Sr	Th	U	V	Zn
Technique analytique	ICP-MS																	
LD (ng/L)	1	10	10	2	50	15	30	-	5	50	20	5	10	10	5	1	30	200
Majeurs	Al	Fe																
Technique analytique	ICP-OES																	
LD (ng/L)	720	400																

Résultats par type de source

1. Le milieu naturel (MN)

Afin de caractériser les concentrations de 18 ETM dans le milieu naturel (phase dissoute uniquement), 6 points d'échantillonnage ont été suivis à raison de 2 campagnes par an en 2013, 2014 et 2015. Les concentrations moyennes s'échelonnent entre 0,1 et 170 µg/L et les éléments présents en plus grande proportion sont dans l'ordre décroissant Sr, Fe, Al (abondance naturelle dans les eaux pour ces 3 éléments) et Zn, les ETM restant ne représentant que 3% de la composition chimique de la phase dissoute (Figure 7).

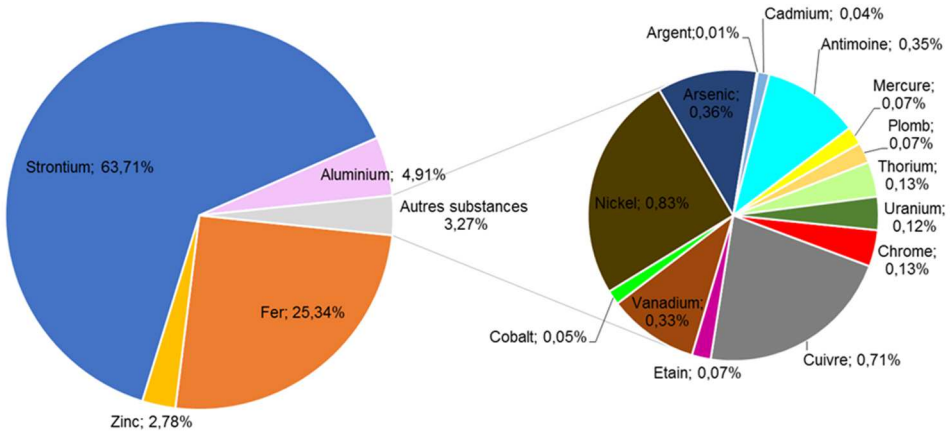


Figure 7 : Composition moyenne en ETM de l'eau du milieu naturel, tous points de prélèvement confondus (phase dissoute) (n=31).

L'étude des concentrations le long de la Jalle de Blanquefort permet de mettre en avant différentes évolutions spatiales pour les ETM. Une analyse statistique des résultats montre une disparité spatiale (amont ≠ aval STEU) et temporelle (temps sec ≠ temps humide) dans la composition géochimique des eaux de la Jalle. Ceux-ci peuvent donc être classés en différentes catégories :

- Influence du bassin versant amont : Majeurs et ETM présentent un gradient de décroissance de l'amont vers l'aval suggérant que la source principale semble venir du bruit

de fond géochimique des têtes de bassin (Th, Fe, Al, Pb, Ba, et Co). Des sources ponctuelles en amont ne sont pas exclues.

- Influence STEU : ETM dont les concentrations augmentent significativement après le rejet de la STEU : Ag, Sn, Sb, Mo, Cu, Ni et Hg. La tendance est moins visible par temps humide à cause d'une probable dilution des rejets.
- Influence collecteur rocade : ETM montrant une augmentation des concentrations après l'exutoire du collecteur rocade : Zn, Cu, Sb.

Pour caractériser plus finement la qualité des eaux de la Jalle, 2 campagnes supplémentaires (période pluvieuse et période d'étiage) ont été menées en 2016 sur 20 sites d'échantillonnage. La comparaison des deux campagnes montre : (i) une hausse des concentrations dissoutes en temps humide pour Cr, Cu, Zn, Mo, Cd, Sb, Pb et Th, (ii) des concentrations plus élevées par temps sec pour Ni, Sr, Ag, Ba et U dues probablement une prépondérance des eaux de nappes, (iii) des concentrations identiques pour V, As et Sn.

2. Les stations de traitements des eaux usées (STEU)

L'étude de la file eau met en avant la présence de Sr, Fe, Al, et Zn comme éléments majoritaires, avec un ordre d'importance identique au milieu naturel. On retrouve ensuite Cu, Ni et As. Il semble y avoir une diminution des concentrations totales entre l'entrée et la sortie des 3 STEU étudiées[7], probablement en lien avec la faible diminution des éléments majeurs tel que Fe et Al. En revanche, si l'on s'affranchit de ces majeurs, les concentrations semblent augmenter en sortie de STEU, notamment pour Sb, As et Ni. Ainsi, on passe de flux totaux compris entre 7000 (Cantinolle, Lille-Blanquefort) et 57000 g/j (Louis Fargue) en entrée de filière à des flux compris entre 5000 (Cantinolle, Lille-Blanquefort) et 56000 g/j (Louis Fargue) en sortie, soit des réductions comprises entre 3 et 39% en fonction des STEU (augmentations si l'on omet les majeurs).

L'étude de la file boue permet de mettre en évidence la présence de Fe, Al, Zn et Cu comme éléments majoritaires, (entrée et sortie de traitement). Le fer est retrouvé à des concentrations variables (58,8 mg/g MS en moyenne en entrée, 71,9 mg/g MS en moyenne en sortie), les teneurs les plus élevées étant probablement dues à l'utilisation de chlorure ferrique en tant qu'agent floculant dans les STEU.

D'une manière générale, les taux d'abattement des métaux dissous de la file eau des STEU varient selon les éléments avec les plus forts taux pour Pb, Sn, Ba, U, Cu, Cr et Ag. Cependant les métaux n'étant pas dégradables, il s'agit d'un changement de spéciation et donc d'un passage vers la file boue. Cette étude a montré que la STEU peut également jouer un rôle de réacteur biogéochimique pour certains ETM (Mo, Co, et plus faiblement Ni, Al, Fe et Sb) avec un comportement inverse et un possible transfert de la phase particulaire vers la phase dissoute et/ou un ajout d'éléments lors du traitement dans la STEU (ex. Fe, Al). Les métaux sous la forme particulaire sont fortement abattus suite à la phase de décantation dans la STEU.

3. Les eaux pluviales (EP)

3.1 Les exutoires pluviaux (Ex. Pluv.)

Les 10 plus gros exutoires pluviaux de la métropole ont été suivis à raison de 2 fois par an de 2013 à 2015. Les ETM majoritairement retrouvés sont les mêmes que dans le milieu naturel (Sr, Fe, Al et Zn), avec cependant une répartition différente puisque le fer représente ici en moyenne plus de 50% de la composition de la phase dissoute (324 µg/L). Viennent ensuite Cu, Ni, Sb et As parmi les éléments majoritaires des 3% de la composition restante (Figure 8).

[7] Cantinolle, Lille Blanquefort, Louis Fargue

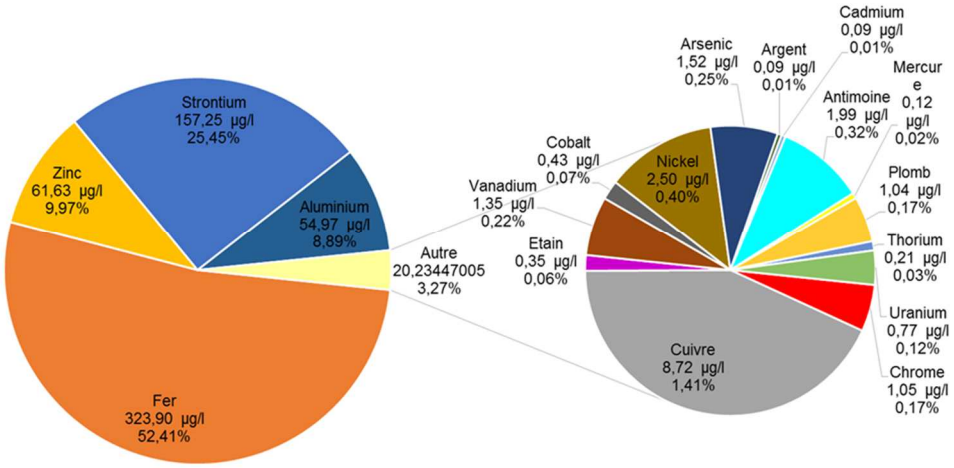


Figure 8 : Composition moyenne en ETM de l'eau des exutoires pluviaux tous points de prélèvements confondus (phase dissoute) (n=30).

Outre ces valeurs moyennes, il est important de relever la variabilité inter-exutoire des profils de contamination, due au drainage de bassins versants différents, mais également intra-exutoire par rapport à des évènements pluvieux différents. Ces variations peuvent aussi être observées dans les débits, ce qui influence les flux moyens des différents exutoires, avec des valeurs qui s'échelonnent de quelques g/évènement pour les plus faibles débits à plusieurs centaines de g/évènement pour certains points.

3.2 Le Collecteur Rocade Nord (EP-ROC)

Le collecteur Rocade Nord a été étudié au niveau du site de Bois Gramond, à la fois par temps sec et par temps de pluie. Par temps sec, les prélèvements sont asservis au temps et durent 24h. Par temps de pluie, ils sont asservis au débit et durent le temps de l'évènement pluvieux afin d'obtenir un échantillon intégré sur la durée de l'évènement.

Les cumuls des concentrations totales ne sont que légèrement supérieurs aux cumuls des concentrations dissoutes, à la fois par temps sec et temps de pluie. Cependant, une différence dans le comportement de certains ETM est observée lors des différentes périodes. En effet, Sr (élément le plus abondant avec Zn) comme Ba voient leurs concentrations diminuer par temps de pluie. Ces éléments étant très présents dans les eaux de nappe drainant des formations carbonatées et beaucoup moins dans les eaux de pluie, il pourrait s'agir ici d'un effet de dilution. En revanche, les teneurs totales en Cu, Zn et Pb sont plus importantes par temps de pluie probablement en lien avec le lessivage des routes.

Une étude à haute fréquence temporelle a été réalisée lors d'un épisode pluvieux intense afin de voir si les premières arrivées d'eau sont plus concentrées et si des prélèvements intégrés sur la durée de l'évènement peuvent sous-estimer les niveaux en majeurs et ETM. Il en résulte une forte variabilité des concentrations sur un même épisode pluvieux, avec des concentrations plus élevées en début d'évènement, notamment pour la phase particulaire qui suit, pour la plupart des éléments, les variations de concentrations en MES. Les éléments les plus abondants lors de cet épisode sont Cu et Zn, caractéristiques du trafic routier.

Cependant, les concentrations en ETM n'ont pas tous la même évolution temporelle. Pour Sr, Ni et As dissous, une diminution des concentrations dès le début de l'évènement puis une stabilisation suggère un apport précoce et/ou un effet de dilution. De la même manière, les concentrations totales en Cd, Zn, Mo et Ni diminuent en lien avec les teneurs en matières en suspension (MES). A l'inverse, une augmentation des concentrations dissoutes pour Cr, Cu,

Zn et Cd et des pics de concentrations totales en Cu, Sb, Co et Ag, observés à différents moments lors de l'évènement, suggèrent des apports anthropiques successifs.
Les apports en ETM particulaires du collecteur lors de l'évènement pluvieux ont modifié la composition chimique des eaux de la Jalle en aval de ce rejet, conséquents aux forts apports en particules provenant du lessivage routier. A l'inverse, des pics observés sur la Jalle en Cd, Ni ou Ag dissous ne peuvent s'expliquer par les apports du collecteur et proviennent de source(s) additionnelle(s).

3.3 Les zones urbaines (EP-ZU)

Six exutoires d'eaux pluviales de zones urbaines ont été suivis. Malgré des disparités spatiales fortes observables entre ces différents exutoires, les eaux pluviales en zones urbaines sont marquées par la présence majoritaire de Zn mais également de Cu et Pb qui sont les ETM caractérisant le trafic routier, suggérant probablement un fort lessivage des poussières des routes.

4. Les eaux usées (EU)

4.1 Les eaux usées industrielles (EU-ZI)

Les eaux usées des zones industrielles sont marquées par la présence de Sr, Fe, Al et Zn comme éléments majoritaires, de la même manière que pour le milieu naturel, les eaux pluviales et les eaux usées de STEU. Cependant, la répartition ici est différente, avec Fe et Sr majoritaires à part quasiment égales (Figure 9).

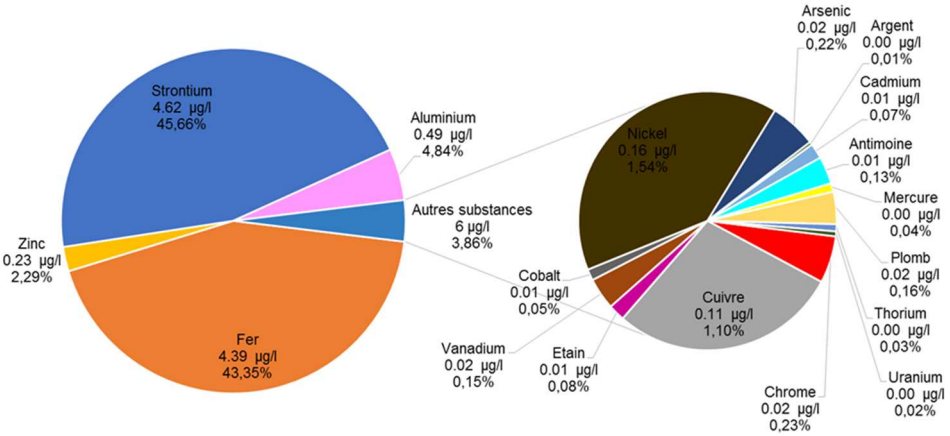


Figure 9 : Composition moyenne en ETM des eaux usées de zones industrielles, tous points de prélèvement confondus, (phase dissoute) (n=26).

Il existe cependant une variabilité entre les points et également entre les différentes campagnes pour un même point, entrainant des flux totaux en ETM compris entre quelques dizaines de g/j à plusieurs kg/j selon l'effluent étudié.

4.2 Les eaux usées hospitalières (EU-CHU)

Comme pour les sources précédentes, Fe, Sr, Al et Zn sont les ETM majoritaires. Cependant, on retrouve ici également Cu dans des teneurs qui sont supérieures à Al et Zn. Les concentrations dissoutes et particulaires en µg/l ou normalisées par les teneurs en MES (mg/kg) sont variables, avec des différences notables en fonction de l'élément et du site. Aucun site ne concentre toutes les anomalies démontrant la diversité des sources. Les flux s'échelonnent entre quelques g/j et plusieurs centaines de g/j suivant le point étudié, qui ne contribuent toutefois que faiblement aux apports à la STEU. L'étude à haute fréquence

(horaire) des effluents hospitaliers pendant 24h a mis en évidence l'existence de cycles journaliers, avec des flux plus conséquents en journée en lien avec une hausse de l'activité médicale. Une nouvelle campagne de prélèvements réalisée en mai 2017 a confirmé l'absence d'anomalies concernant la totalité des ETM pour l'ensemble des sites étudiés, et a confirmé la présence majoritaire de Cu et de Zn.

En parallèle, un intérêt a également été porté aux Terres Rares, et plus particulièrement au Gadolinium (Gd) dont la part anthropique exporté par le CHU contribue majoritairement aux flux de la STEU de Louis Fargue.

4.3 Les eaux usées domestiques (EU-DOM)

Les ETM dissous et/ou totaux majoritairement retrouvés dans les eaux usées domestiques sont Cr, Ni, Cu, Zn, Sr, Ag et Sn. Les ETM qui s'écartent le plus de la composition moyenne des eaux du robinet sont As, Ag, Cd, Sn, Sb et plus modérément Co et Mo. Cependant, si l'on compare les eaux usées avec le milieu naturel, des concentrations nettement plus élevées sont observées dans les eaux usées pour Cr, Ni, Cu, Zn, Sr, Ag et Sn, ce qui indiquerait que ces eaux peuvent être une source potentielle de contamination du milieu sous réserve de l'efficacité de traitement des STEU.

Il ne semble pas y avoir de différence majeure dans les concentrations en fonction du type d'habitation (collectif, individuel, pavillonnaire, centre-ville…). De plus, le seul prélèvement réalisé en réseau unitaire ne présente pas de comportement particulier par rapport aux prélèvements réalisés en réseau séparatif, probablement dû à la réalisation des campagnes par temps sec qui limite donc la présence d'eaux pluviales dans ce type de réseau.

Conclusion

Cette sous-tâche s'intéressant au suivi des éléments majeurs et éléments traces métalliques (ETM) à l'échelle de la métropole a permis de dégager plusieurs conclusions vis-à-vis de la présence de ces éléments, issus de différentes sources (naturelle ou anthropique), mais également de leur comportement dans le milieu.

Les éléments retrouvés en plus grandes concentrations dans la Jalle sont Sr, Fe et Al, dont l'abondance est due à la présence naturelle dans les sols de la région. Un gradient amont-aval des concentrations en majeurs et ETM a été mis en évidence. Ainsi, l'amont du cours d'eau est une source d'éléments via le lessivage naturel des sols contenants du Th, Fe, Sr, Al, Pb et Co, même si des apports anthropiques ne sont pas à écarter. En revanche, les sources anthropiques le long du continuum entraînent un changement de la composition géochimique des eaux, notamment en aval de l'exutoire de la STEU de Cantinolle (concentrations plus fortes en Ag, Sn, Sb, Mo, Cu, Ni) et du Collecteur Rocade Nord (concentrations plus élevées en Zn, Cu et Sb). Toutefois, les concentrations retrouvées dans le milieu sont soumises aux conditions climatiques. On observe un effet saisonnier marqué (temps sec ≠ temps humide), avec par exemple la dilution de certains éléments présents dans les nappes (Ni, Sr, Ag, Ba et U), ou au contraire l'apport d'autres éléments via le lessivage (Cr, Cu, Zn, Mo, Cd, Sb, Pb et Th).

Les flux de métaux drainés par les exutoires pluviaux sont très variables, à la fois entre les différents exutoires mais également entre 2 évènements pluvieux différents. Ceux-ci semblent être vecteurs d'ETM caractéristiques du lessivage des routes (Cu, Pb, Zn), de la même manière que pour le Collecteur Rocade Nord qui présente notamment des apports importants en Cr, Cu, Zn et Cd vers le cours d'eau (principalement via l'apport de matières en suspension). Les eaux usées peuvent également être des vecteurs d'ETM vers le milieu naturel. Bien que les éléments majoritaires soient identiques aux autres sources et milieu, en

lien avec l'abondance naturelle dans les eaux de consommation, ce type de source peut être vecteur d'ETM comme ce peut être le cas avec les eaux usées domestiques (Cr, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Ag et Sn sous forme dissoute) ou encore avec le CHU qui joue un rôle important dans le transfert d'éléments émergents comme le Gadolinium.

Les prochains travaux porteront sur les eaux usées domestiques afin de préciser les tendances déjà obtenues, ainsi que sur l'évaluation de l'efficacité du traitement des eaux pluviales.

Chapitre 4. **Diagnostic de l'état de santé des organismes transplantés dans la Jalle de Blanquefort et étude du transcriptome de *C. fluminea* (séquençage haut débit et réponses comparatives).**

Tâche 4.1 – Sous-tâches 4.1.1 et 4.1.2 – Livrables n°411, 412 et 413

Auteurs : M. Baudrimont, PY. Gourves, A. Bertucci, F. Pierron, P. Gonzalez.

Contexte et objectifs

Les bivalves filtreurs sont des organismes couramment utilisés dans la biosurveillance de la contamination chimique des écosystèmes aquatiques (par exemple l'huître creuse ou la moule marine pour le réseau national ROCCH de l'IFREMER), mais également des effets toxiques de ces contaminants (Mussel Watch aux Etats-Unis). En eau douce, le bivalve filtreur *Corbicula fluminea* est un bon indicateur de la contamination des milieux aquatiques par des méthodes de biosurveillance active (mise en cage d'organismes issus des zones non contaminées sur des sites potentiellement impactés) (Baudrimont et al, 1999 ; Marie et al, 2006 ; Arini et al, 2011). Néanmoins, à l'heure actuelle, très peu d'outils de mesures précoces des impacts toxiques ou de réponses adaptatives des organismes sont disponibles, notamment pour les milieux aquatiques d'eau douce. Parmi ces outils, la transcriptomique permet d'évaluer rapidement l'effet de stress de natures très variées sur de nombreuses voies métaboliques au niveau moléculaire, et plus précisément sur la production d'ARN messagers (ARNm). La mesure du niveau d'expression des gènes (i.e. production d'ARNm) constitue un moyen sensible et rapide de caractériser la réponse développée par les cellules et, par extension, par les organismes et populations face à des changements survenant dans leur environnement, que ces changements soient d'origines naturelle ou anthropique (Baillon et al, 2015, 2016).

Dans ce contexte, les objectifs de cette tâche sont : (1) de caractériser les substances métalliques issues de différents rejets (STEU et exutoire pluvial de la rocade) dans la Jalle de Blanquefort par l'analyse de leur bioaccumulation dans les tissus des bivalves filtreurs *Corbicula fluminea* (substances biodisponibles) par biosurveillance active (encagement) sur différents sites ; (2) de développer un outil précoce d'analyse des effets en ayant recours au séquençage haut débit du transcriptome ; (3) d'évaluer l'impact écotoxicologique durant une première phase de diagnostic pendant un an sur les organismes transplantés dans la Jalle.

Méthodologie

1. Sites et périodes des transplantations

Une trentaine de palourdes d'eau douce provenant d'un site considéré comme peu impacté par la pollution métallique (pisciculture expérimentale de l'IRSTEA, St. Seurin sur L'Isle) ont été implantées à l'aide de cages en différents points le long d'un linéaire amont – aval dans la Jalle de Blanquefort (Figure 10) : Caupian (Mn-Jal-CAUP), Thill (Mn-Jal-THILL1), Cantinolle (amont et aval STEU : Mn-Jal-LACA et Mn-Jal-CANT4) et Bruges (amont et aval exutoire pluvial de la rocade : Mn-Jal-ROC5 et Mn-Jal-RES6).

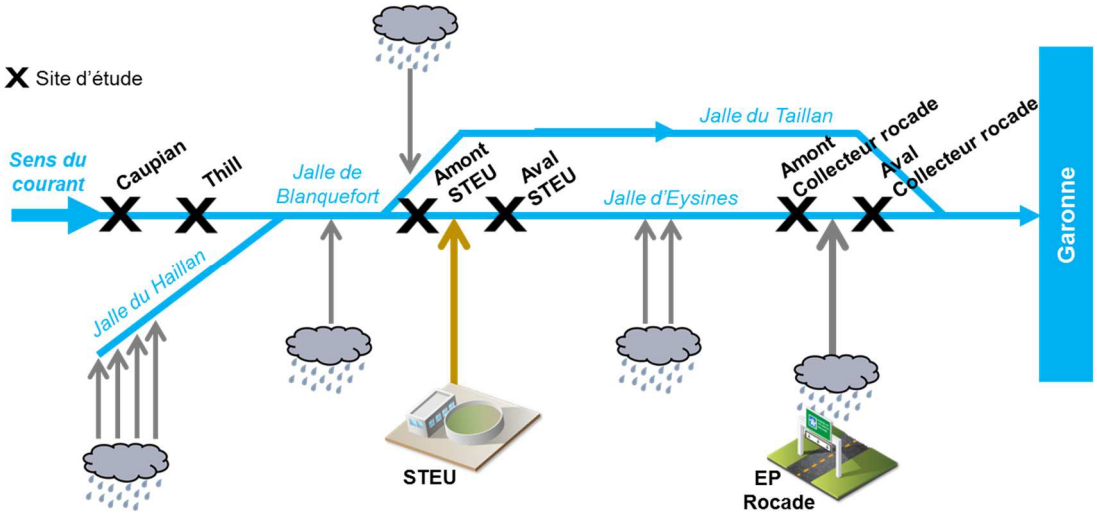


Figure 10 : Positionnement des sites d'étude le long du continuum.

Trois sondes ou « SIRENE » installées par la SGAC[8] à Thill, à l'aval de la STEU et à la réserve de Bruges ont mis en évidence des périodes d'hypoxie ([O2] inférieures à 4 mg/L) voire d'anoxie fréquentes et parfois longues (plusieurs jours) durant l'été. Les organismes aquatiques sont très sensibles à ce paramètre, c'est pourquoi les corbicules ont été transplantées uniquement par période d'un mois à l'été 2015 (juillet, août et septembre) alors qu'ils ont été transplantés par période de trois mois durant l'année 2016 (décembre 2015 à décembre 2016) (Figure 11).

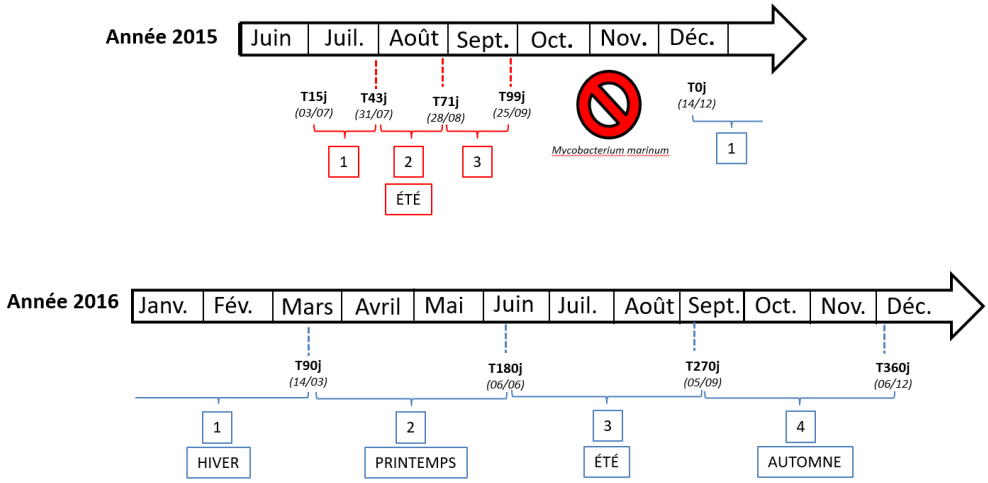


Figure 11 : Périodes d'encagement des bivalves filtreurs dans la Jalle de Blanquefort le long d'un linéaire « amont – aval » : Thill, Cantinole (amont et aval STEU) et Bruges (amont et aval exutoire pluvial de la rocade). Les périodes encadrées en rouge et bleu correspondent respectivement à 30j et 90j de transplantation durant les saisons.

2. Paramètres suivis

A chaque site et à chaque temps de prélèvement, les paramètres mesurés sont :

(1) La détermination de la croissance des corbicules par la mesure de l'indice de condition (IC) ;

(2) La bioaccumulation de quatorze éléments métalliques : argent (Ag), aluminium (Al), cadmium (Cd), cobalt (Co), chrome (Cr), cuivre (Cu), fer (Fe), mercure (Hg), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb), sélénium (Se), vanadium (V) et zinc (Zn)

[8] Société de Gestion de l'Assainissement de Bordeaux Métropole

dans le corps mou entier de 5 organismes après séchage et analyse par ICP-OES[9] (Baudrimont et al, 2016) ;

(3) La quantification des protéines de détoxication (métallothionéines : MTs) marqueurs de stress général de l'organisme par méthode de saturation au mercure sur 5 pools de deux masses viscérales (Arini et al, 2011) ;

(4) L'analyse de l'expression quantitative de gènes par PCR[10] quantitative sur les mêmes pools que pour l'analyse des MTs (Arini et al, 2015).

Parallèlement à ces analyses, le séquençage haut débit du transcriptome de *Corbicula fluminea* a été réalisé sur une période de transplantation de 3 mois (période hivernale de décembre 2015 à mars 2016). Huit individus ont été prélevés en 3 points : sur les sites du champ captant du Thill (Mn-Jal-THILL1), en aval de la station de traitement des eaux usées de Cantinolle (Mn-Jal-CANT4) et en aval de l'exutoire pluvial de la rocade (Mn-Jal-RES6). L'analyse a été réalisée sur les glandes digestives des organismes.

Résultats

1. Périodes de transplantation de 1 mois (Juillet-Septembre 2015)

1.1 Indices de condition

L'analyse des indices de condition mesurés durant la période estivale de 2015 montre pour les sites les plus en aval (aval STEU ; amont et aval exutoire pluvial de la rocade), des inhibitions de croissance significatives par rapport à Thill (situé en amont) en juillet, août et même septembre, suggérant des organismes en meilleure condition physiologique sur les sites les plus amont, et au contraire plus impactés par les rejets issus principalement de la STEU.

1.2 Bioaccumulations métalliques

Pour As et Cd, peu de différences significatives sont notées entre les sites échantillonnés comparativement à la population de référence, signant une faible contribution de ces éléments dans la Jalle en été.

Au contraire, nous observons pour les éléments Al, Fe et Mn des accumulations très significatives sur les sites les plus amont, Thill et amont STEU (Mn-Jal-LACA), par rapport à la population de référence avec des augmentations maximales d'un facteur 14, 5 et 4,5 respectivement pour chacun de ces éléments (Figure 12). Nous observons ensuite un gradient décroissant de l'amont vers l'aval, avec les valeurs les plus faibles mesurées sur le site aval STEU (Mn-Jal-CANT4). Ce gradient amont/aval ne permet pas d'identifier le site du Thill comme un réel site de référence sur la Jalle.

Concernant le site aval exutoire pluvial de la rocade (Mn-Jal-RES6), nous pouvons en revanche noter en Juillet 2015 un pic d'accumulation significatif de ces éléments comparativement au site amont.

Pour Co, Cr et Ni, le même type de tendance que pour Al, Fe et Mn est observé, mais de façon moins marquée.

[9] Spectromètre d'Émission Optique Couplé à un Plasma Induit
[10] Polymerase Chain Reaction ou réaction de polymérase en chaîne

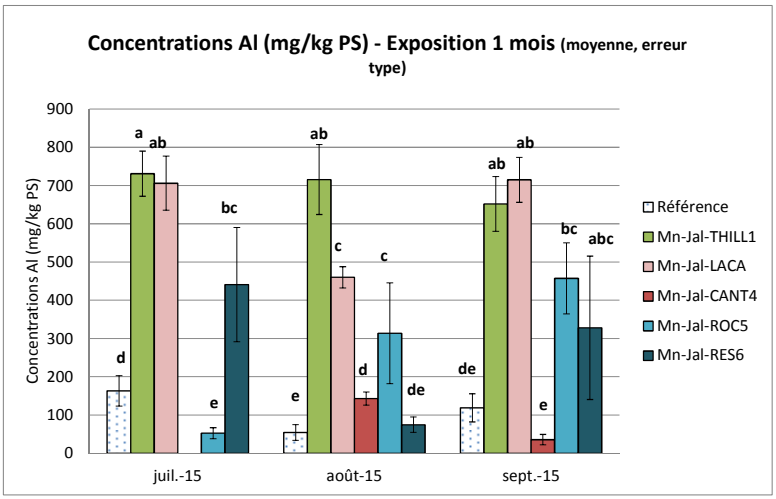


Figure 12 : Bioaccumulation d'Al dans les corps mous entiers de Corbicula fluminea transplantés sur des périodes de un mois en juillet, août et septembre 2015 sur les 5 sites de la Jalle de Blanquefort (moyennes ± erreur type, n = 5).

Pour le Cu, un seul pic d'accumulation significatif est observé en Juillet 2015, signant à nouveau un apport du rejet pluvial de la rocade. L'augmentation observée par rapport à l'amont de cet exutoire d'un facteur 2,3 est très significative étant donné le caractère essentiel de ce métal faisant l'objet d'une régulation intra-cellulaire forte. Pour Pb et V, le même pic d'accumulation est observé en Juillet 2015 à l'aval de l'exutoire pluvial de la rocade.

Pour Se et Zn, les accumulations les plus élevées sont mesurées à l'aval du système, à partir de l'aval de la STEU, et à l'aval de l'exutoire pluvial de la rocade plus spécifiquement pour le Zn. Comme précédemment évoqué pour le Cu, le Zn est un métal essentiel régulé pour lequel les augmentations observées à l'aval exutoire par rapport à l'amont de ce même rejet sont augmentées d'un facteur 1,7.

1.3 Quantification des métallothionéines (MTs)

Les réponses les plus marquées en MTs, protéines de détoxication des métaux et de réponse au stress oxydant, sont observées à l'aval de la STEU en juillet et septembre 2015, et également en août à Thill et à l'aval de l'exutoire pluvial de la rocade (Figure 13). Il ne semble pas y avoir de lien direct avec les métaux mesurés dans les tissus, ce qui indiquerait la présence d'autres contaminants, probablement organiques, qui seraient responsables de ces réponses.

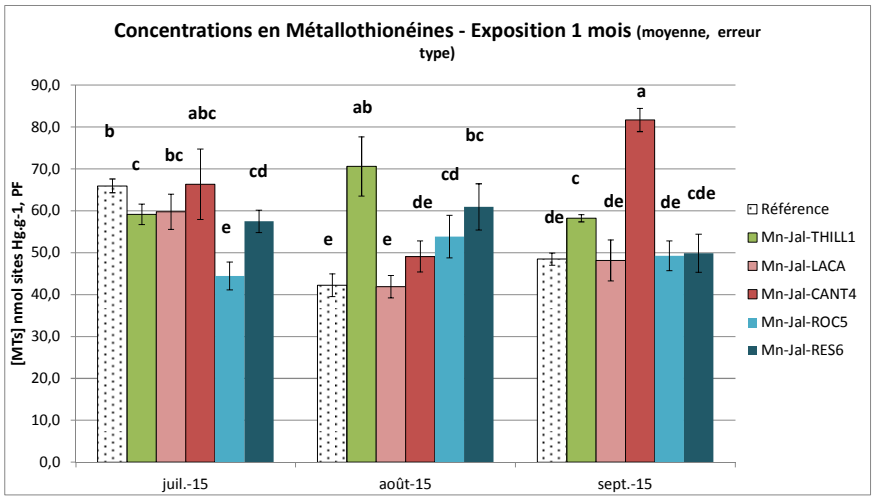


Figure 13 : Concentrations en métallothionéines (MTs) mesurées dans les masses viscérales de Corbicula fluminea transplantés sur des périodes de un mois en juillet, août et septembre 2015 sur les 5 sites de la Jalle de Blanquefort (moyennes ± erreur type, n = 5).

2. Périodes de transplantation de 3 mois (hiver 2015 à l'automne 2016)

2.1 Indices de condition

Les indices de condition des *Corbicula fluminea* montrent pour les périodes hivernale et estivale une diminution générale de ces indices comparativement au site de référence. Au contraire, pour les périodes printanière et automnale, les organismes voient leurs indices de condition augmenter, ce qui signe une reprise importante de leur croissance dans la Jalle, probablement due à une augmentation des températures, ainsi qu'à un accroissement des ressources nutritives disponibles sous forme de phytoplancton à ces deux périodes. Nous ne pouvons pas exclure également l'impact du cycle de reproduction de ces organismes qui mâturent leurs gonades entre avril et mai (Baudrimont et al, 1997).

2.2 Bioaccumulations métalliques

D'un point de vue général, les accumulations métalliques dans les corbicules diminuent de l'hiver à l'automne (effet temps) et des sites amont vers les sites aval de la Jalle (effet site).

Lorsque nous nous intéressons à chaque métal, nous observons d'abord que les accumulations d'Al, Co, Fe et V mesurées dans les *C. fluminea* sur les 5 sites situés sur la Jalle, montrent des profils similaires en fonction des sites et des saisons. En effet, des accumulations significatives par rapport à la population de référence sont notées essentiellement sur les sites amont (Mn-Jal-THILL1 et Mn-Jal-LACA), ainsi que sur les sites les plus aval, notamment l'aval exutoire pluvial de la rocade (Mn-Jal-RES6). Les valeurs plus élevées d'Al et Fe peuvent correspondre à un bruit de fond géochimique lié au bassin versant amont de la Jalle, conduisant à cet effet de gradient amont/aval, ainsi qu'à des apports anthropiques diffus (Figure 14).

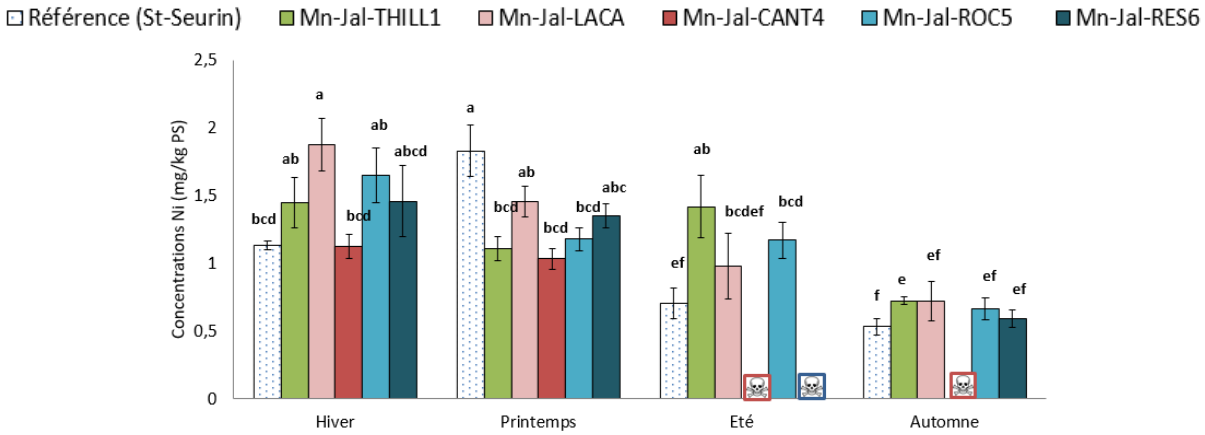


Figure 14 : Bioaccumulation en Cr dans les corps mous entiers de Corbicula fluminea transplantés aux 4 saisons entre décembre 2015 et décembre 2016 sur les 5 sites de la Jalle de Blanquefort (moyennes ± erreur type, n = 5).

Ensuite, les éléments Cr et Ni présentent des profils relativement similaires avec des bioaccumulations plus importantes à l'amont de STEU (Mn-Jal-LACA) en hiver et printemps, à Thill (Mn-Jal-THILL1) et à l'amont de l'exutoire pluvial de la rocade (Mn-Jal-ROC5) en été.
Concernant As et Mn, les accumulations sont proches et quasi constantes en fonction des sites le long de la Jalle pour les deux premières saisons, hormis pour le Mn sur le site amont de la STEU (Mn-Jal-LACA) au printemps. Sur la deuxième partie de l'année les concentrations augmentent en été puis baissent en automne excepté pour le Mn à l'amont de la Jalle (Mn-Jal-THILL1 et Mn-Jal-LACA).

Les concentrations en Cu sont constantes jusqu'à l'été sur les sites amont à la STEU (Mn-Jal-THILL1 et Mn-Jal-LACA) puis baissent en automne, alors qu'elles augmentent au printemps sur les sites aval à la STEU (Mn-Jal-CANT4, Mn-Jal-ROC5 et Mn-Jal-RES6) et diminuent ensuite à partir de l'été jusqu'à retrouver leurs niveaux hivernaux en automne.
Pour le Cd, des accroissements significatifs de la bioaccumulation sont observés en hiver et au printemps à Thill (Mn-Jal-THILL1) et à l'amont de la STEU (Mn-Jal-LACA), tandis que les concentrations diminuent vers l'aval, ne montrant plus de différences significatives avec la référence pour les 3 derniers sites. En été les concentrations se stabilisent et ne présentent plus de différence le long du linéaire avant de diminuer de 40 % en automne à tous les sites. Des apports provenant de l'amont du bassin versant de la Jalle semblent donc plus importants de l'hiver au printemps que ceux provenant de la STEU ou de l'exutoire pluvial de la rocade (Mn-Jal-RES6).

Pour le Pb, les valeurs de bioaccumulation mesurées dans les *Corbicula fluminea* transplantées dans la Jalle varient peu au sein de chaque site au cours de l'année alors qu'elles baissent rapidement de l'hiver à l'automne sur la population de référence.
Les accumulations de Se diminuent au fur et à mesure de l'année avec des concentrations maximales en hiver et minimales à l'automne. Ces diminutions semblent très corrélées aux variations d'indices de condition mesurés, ce qui pourrait témoigner d'une dilution pondérale de cet élément lors de la croissance et/ou de la reproduction des individus.

Pour le Zn, les concentrations restent relativement proches de celles de la population de référence hormis pour (1) le site amont de la STEU (Mn-Jal-LACA) où une augmentation significative est observée, aussi bien en hiver qu'au printemps, et (2) à l'amont et à l'aval de l'exutoire pluvial de la rocade (Mn-Jal-ROC5 et Mn-Jal-RES6) respectivement en été et en automne.

2.3 Quantification des métallothionéines (MTs)

Les concentrations en métallothionéines sur les périodes de 3 mois décroissent dans le temps avec des concentrations plus élevées en hiver (79,3 nmol de sites.g^{-1}) et printemps (73,3 nmol de sites.g^{-1}) et plus faibles en été (61,5 nmol de sites.g^{-1}) et en automne (55,8 nmol de sites.g^{-1}). Les concentrations aux deux premières périodes restent relativement élevées, ce qui peut montrer un certain stress des individus en lien avec les accumulations de métaux observées précédemment.

2.4 Séquençage haut débit de C. fluminea

Le transcriptome obtenu contient 58 291 transcrits (gènes) d'une longueur moyenne de 1 690 nucléotides. La prévalence de gènes « complets » est confirmée par l'utilisation du programme BUSCO. Dans notre cas cette proportion est de 98,7%.

Dans notre transcriptome, 23 759 transcrits (40,7 %) correspondent à des protéines prédites présumées montrant une homologie avec les banques de données que nous avons utilisées (le plus souvent avec l'huître *Crassostrea gigas*). Ces valeurs sont comparables à celles obtenues chez d'autres espèces de bivalves.

L'expression génique entre les individus des sites Thill (Mn-Jal-THILL1) et aval STEU (Mn-Jal-CANT4) a été comparée pour évaluer l'impact de la station de traitement. L'expression de 2 287 transcrits est affectée entre ces 2 sites. 1 386 sont surexprimés et 901 sont réprimés en aval de la station d'épuration. La comparaison entre les individus en aval de la STEU et en aval du collecteur Rocade (Mn-Jal-RES6) montre que 625 et 1 276 gènes sont respectivement surexprimés et réprimés en aval de l'exutoire. Soit 1 901 gènes différentiellement exprimés.

Sur la base de ces résultats, 25 gènes montrant les plus fortes variations ont été choisis comme cibles. Ils seront étudiés par PCR en temps réel dans la suite du projet pour confirmer les résultats obtenus en bioinformatique dans un premier temps et pour l'évaluation de l'impact écotoxicologique sur les organismes transplantés dans la Jalle dans un deuxième temps.

Une analyse fonctionnelle des gènes variant entre les 3 sites nous a permis de déterminer que le métabolisme des protéines (synthèse, conformation et dégradation) apparaissait comme le plus affecté. Des impacts également sur le métabolisme énergétique sont observés avec, entre Thill et STEU, un effet sur la mobilisation des réserves de glucose (gluconéogénèse) et, entre STEU et Rocade, un effet sur le métabolisme lipidique (synthèse des acides-gras).

Conclusion

Les premiers résultats obtenus suite à l'encagement des bivalves filtreurs *Corbicula fluminea* durant la période estivale de 2015 sur 3 périodes d'un mois, puis en 2016 sur 4 périodes de trois mois, montrent des accumulations très notables de plusieurs éléments traces métalliques le long de la Jalle comparativement à la population de référence, notamment pour Al, Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni et V. Pour la plupart des métaux accumulés, un gradient de concentrations qui diminuent de l'amont vers l'aval est observé, indiquant des apports issus du bassin versant amont de la Jalle. Ces apports amont masquent en partie les effets potentiels des rejets issus de la STEU ou de l'exutoire pluvial de la rocade. Néanmoins, au cours de l'été et à l'automne, des pics d'accumulation de métaux ont été observés juste à l'aval de l'exutoire de la Rocade (Mn-Jal-RES6), soulignant des apports ponctuels très élevés issus de ce rejet. La station d'épuration montre quant à elle très peu d'apports métalliques, en revanche, la réponse des métallothionéines en été est très marquée à l'aval de ce rejet, ce qui suggère des apports organiques susceptibles d'impacter les organismes, notamment par la génération d'un stress oxydant.

Ce milieu semble ainsi relativement complexe en termes d'apports de contaminants, et révèle des impacts sur les organismes aquatiques, en termes de bioaccumulation métallique et de réponses des MTs. De plus, l'analyse novatrice par séquençage haut débit du transcriptome de *C. fluminea* a permis de mettre en évidence des modifications dans l'expression de près de 3800 gènes. L'analyse des fonctions associées à ces gènes nous a permis de déterminer les atteintes cellulaires potentiellement engendrées par les contaminants présents sur les 3 sites d'étude.

Chapitre 5. **Détection de composés perturbateurs endocriniens et dioxin-like à l'aide de bioessais in vitro dans les eaux usées, pluviales et naturelles.**

Tâche 1.3 – Sous-tâche 1.3.3 – Livrable supplémentaire.

Auteurs : *S. Aït-Aïssa, E. Maillot-Maréchal, N. Creusot, C. Gardia-Parège, H. Budzinski.*

Contexte et objectifs

Un grand nombre de micropolluants organiques exercent leur toxicité en se fixant à des récepteurs intracellulaires impliqués dans la régulation de processus physiologiques essentiels, comme le développement ou la reproduction. Un des objectifs du projet REGARD, présenté à travers ce chapitre, est de dresser un état des lieux sur la toxicité potentielle associée aux micropolluants organiques de type perturbateurs endocriniens (PE) et dioxin-like (DL) présents dans les eaux pluviales et usées, depuis le réseau de collecte jusqu'à la sortie de la STEU et dans le milieu récepteur. Pour cela, l'approche qui est proposée ici se base sur une batterie de bioessais *in vitro* complémentaires permettant la détection spécifique de composés PE (œstrogéniques, androgéniques, glucocorticoïdes) et DL (incluant HAP-like et dioxin-like). L'application de ces bioessais aux échantillons d'eaux collectés dans le projet REGARD est réalisée dans une démarche de criblage et vise avant tout à dresser un premier constat sur le type, les niveaux et les sources potentielles de micropolluants biologiquement actifs au sein du réseau d'eaux usées et pluviales.

Méthodologie

Les échantillons d'eaux brutes sont conservés à -20°C avant d'être analysés. Après décongélation, ils subissent une étape de prétraitement consistant en une filtration à 0,7µm suivie d'une extraction sur phase solide (SPE, phase HLB™), avant d'être soumis à une analyse dose-réponse lors des bioessais.

Dans leur principe, les bioessais utilisés sont basés sur l'utilisation de cultures cellulaires exprimant un gène rapporteur facilement détectable en luminescence ou fluorescence (e.g. luciférase) dont l'activation est couplée à des récepteurs spécifiques tels que les récepteurs des hormones ou de la dioxine. La présence de molécules capables d'activer ces récepteurs va induire la luminescence des cellules dont l'intensité de réponse est directement proportionnelle à la concentration en substance(s) active(s). Après modélisation, la concentration d'échantillon générant 20 % d'effet (EC20) relativement à la molécule de référence est calculée. Le ratio entre l'EC20 de la molécule de référence du bioessai (en g/L) et l'EC20 de l'échantillon (en facteur de concentration) permet de dériver une quantité d'équivalent-hormone (e.g. équivalent-estradiol) ou d'équivalent-toxique (e.g. équivalent-dioxine) présent dans l'échantillon (Bio-TEQ). La liste des bioessais utilisés est présentée dans le Tableau 7. Un contrôle qualité des données est réalisé par analyse de témoins positifs et négatifs.

Tableau 7 : Bioessais in vitro pour l'évaluation des activités de type perturbateur endocrinien et dioxin-like.

Nom du bioessai	Activité	Principe/mode d'action	Unité en quantité d'équivalents-toxique relatifs à la substance de référence de chaque test
MELN	Oestrogénique	Récepteur des estrogènes (**ER**) humain / luciférase	Equivalents-estradiol (E2-Eq ng/L)
MDA-kb2*	Androgénique et glucocorticoïdique	Récepteurs des androgènes (**AR**) et des glucocorticoïdes (**GR**) humain / luciférase	Equivalents-Dihydrotestostérone (DHT-Eq ng/L)
PLHC-1	Dioxin-like et HAP-like	Récepteur de la dioxine (**AhR**) / activité EROD après 4 h (HAP-like) ou 24 h (dixoin-like) d'exposition	Equivalents-Benz(a)Pyrène (BaP-Eq µg/L) ou équivalent-dioxine (TCDD-Eq ng/L)

*Les cellules MDA-kb2 coexprimant les récepteurs des androgènes (AR) et des glucocorticoïdes (GR), une co-exposition avec la flutamide (anti-androgène de référence) permet de statuer sur l'implication de AR et/ou de GR dans le cas d'une réponse positive du bioessai à un échantillon.

Résultats

1. Profils globaux d'activités *in vitro*

La Figure 15 présente une vue générale des résultats obtenus par les différents bioessais *in vitro* dans les réseaux d'eaux usées et pluviaux. Les données de Bio-TEQ sont exprimées en unités arbitraires relatives par rapport au site de référence (eau de la Jalle de Blanquefort en amont du rejet de la STEU). D'une manière générale, les profils d'activités montrent une graduation depuis le réseau d'eaux usées vers la STEU puis vers le milieu naturel.

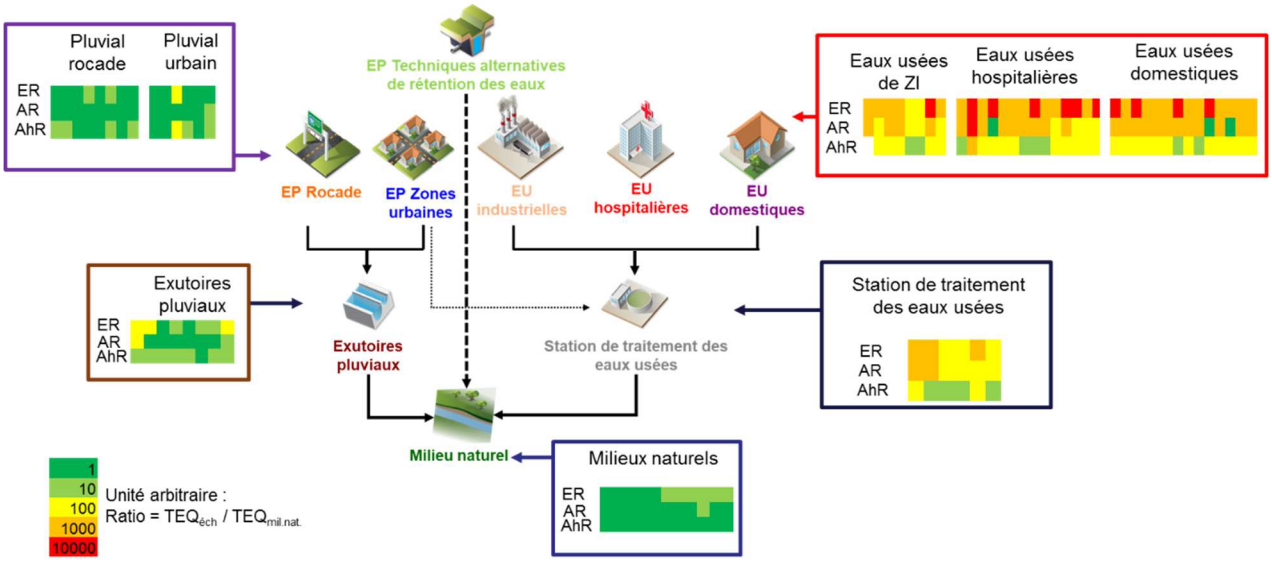


Figure 15. Synthèse des profils d'activités in vitro mesurés dans les eaux urbaines prélevées en 2015 et 2016. Les résultats sont présentés en unité relative par rapport au milieu naturel en amont de rejets urbains. ER=activité œstrogéniques ; AR=activité androgénique ; AhR=activité HAP-like. Des activités liées aux glucocorticoïdes (GR) ont été ponctuellement détectées (sites hôpital et STEU) mais non représentées sur la figure.

2. Evaluation des activités pour chaque source et milieu

Un focus sur les différentes sources étudiées peut permettre de mettre en évidence des différences d'activités en fonction des échantillons.

Ainsi, les eaux usées sont des sources majeures de xéno-hormones et de composés HAP-like. Si le site du CHU est une source importante de xéno-hormones, incluant des activités glucocorticoïdes non retrouvées en d'autres points du réseau, les autres sources (domestiques et ZI) contribuent également de manière significative. Toutefois, les activités hormonales et HAP-like sont pour majeure partie bien abattues dans les STEU, bien que des activités glucocorticoïdes apparaissent en sortie de traitement.

Les eaux pluviales sont vectrices d'activités HAP-like et ponctuellement de perturbateurs endocriniens. Toutefois, les niveaux mesurés restent sensiblement inférieurs à ceux mesurés dans les eaux usées précédemment présentées.

Enfin, si les niveaux mesurés restent faibles dans le milieu naturel, on observe un impact potentiel du rejet de la STEU en ce qui concerne l'activité œstrogéniques.

Conclusion

Le travail mené et présenté dans ce livrable a permis de dresser différents constats quant à la contamination des eaux usées et pluviales de l'agglomération bordelaise :

- Les sources majeures de composés œstrogéniques, androgéniques et *dioxin-like* sont les eaux usées. Ces composés sont en partie éliminés par les procédés de traitements des eaux usées.
- Les eaux pluviales sont faiblement chargées en composés œstrogéniques et androgéniques mais sont une source en composés *dioxin-like/HAP-like.*
- Les niveaux de composés œstrogéniques, androgéniques et *dioxin-like* sont faibles dans le milieu naturel. Toutefois, un impact de la STEU est noté pour l'activité œstrogéniques, dont la concentration est au niveau du seuil actuellement préconisé pour les eaux de surface.
- En dépit des procédés de traitement actuels des eaux usées, les rejets de STEU véhiculent des composés œstrogéniques vers le milieu naturel. La mise en place d'un traitement des eaux usées sur certains sites spécifiques (ex : effluents hospitaliers) ou de traitements tertiaires dans les STEU urbaines pourrait réduire l'émission de ces composés. Le changement des pratiques aiderait à diminuer la présence de certaines familles de composés œstrogéniques et *dioxin-like.*

Chapitre 6. **Hiérarchisation des risques, priorisation des substances et sélection des substances sentinelles à suivre dans les différents compartiments**

Tâche 2.1 – Livrables n° 211, 212 et 213.

Auteurs : F. Botta, L. Gréaud, MJ. Capdeville

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 devenirs 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 réglementation impose aux gestionnaires de l'eau une liste de 45 substances à suivre. 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, d'autres substances sont identifiées et semblent poser des problèmes mais ne sont pas suivies d'un point de vue réglementaire.

Le but de la tâche « caractérisation et hiérarchisation des risques » consiste à mettre en œuvre des méthodologies de priorisation des polluants afin de définir une liste de substances prioritaires pour la mise en place de mesures de gestion 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 Priorisation (CEP). 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.

Méthodologie

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 ;
2. 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 16). 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 risque et qui sont souvent retrouvées dans l'environnement aquatique.

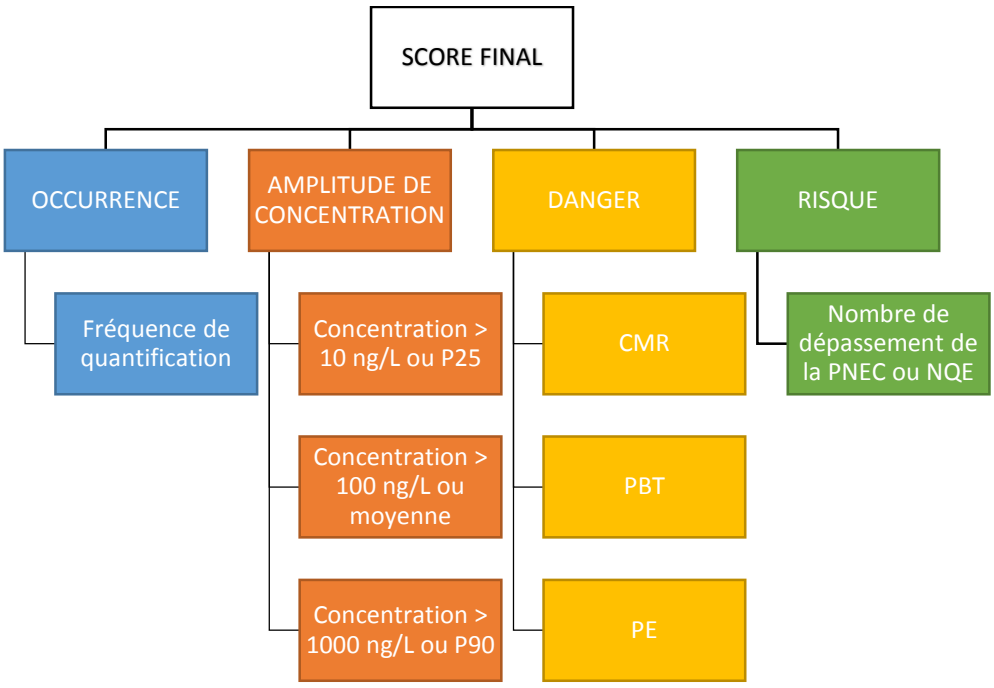


Figure 16 : Les différents scores et critères utilisés afin de prioriser les substances de REGARD.

- 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.

SCORE OCCURRENCE = (Nombre d'analyses quantifiées) / (Nombre d'analyses quantifiées + 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 organiques ou à la P25, la moyenne et la 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. *Remarque : 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*.

SCORE AMPLITUDE DE CONCENTRATION = [(Score Concentration > 10 ng/L) + (Score Concentration > 100 ng/L) + (Score Concentration < 100 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 :

SCORE DANGER = [(Score CMR) + (Score PE) + (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 CE_{50} (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 :

SCORE FINAL= score (occurrence) + score (amplitude de concentration) + score (danger) + score (risque).

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

1. Une priorisation dite « 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.

Les principaux résultats

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)

1. Les substances non pertinentes à étudier

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 8) dans la phase dissoute des échantillons d'eau.

Tableau 8 : 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

Famille	Substance
PESTICIDE	lambda-cyhalothrine
PESTICIDE	ométhoate
COV	Tétrachlorure de carbone
HAP	Indéno (1, 2, 3-cd) Pyrène
PBDE	BDE 47
BIOCIDE	triclosan
OCP	Mirex
PESTICIDE	tau-fluvalinate
PESTICIDE	alachlore
PESTICIDE	bifenthrine
PESTICIDE	simazine
OCP	Isodrine
PBDE	BDE 100
PBDE	BDE 153
PESTICIDE	chlorotoluron
PESTICIDE	terbutylazine desethyl
PARABEN	isobutyl paraben
PESTICIDE	difenoconazole A B
PHARMACEUTIQUE	amitriptyline
PHARMACEUTIQUE	zidovudine
COV	1, 2 dichloroéthane
PESTICIDE	cypermethrine

Famille	Substance
PESTICIDE	fenbuconazole
PESTICIDE	trifloxystrobine
PHARMACEUTIQUE	ranitidine
PARABEN	benzyl paraben
PARABEN	butyl paraben
PESTICIDE	tetraconazole
COV	Dichlorométhane
PESTICIDE	esfenvalerate + fenvalerate
PESTICIDE	flutriafol
PESTICIDE	1(3,4 dichlorodiphenyl) uree
COV	Hexachlorobutadiène
PESTICIDE	spiroxamine
PARABEN	isopropyl paraben
PARABEN	pentyl paraben
PESTICIDE	1(2,4 dichlorodiphenyl) uree
PBDE	BDE 99
PESTICIDE	cyfluthrine
PESTICIDE	epoxiconazole
PESTICIDE	flazasulfuron
PESTICIDE	fluquinconazole
PESTICIDE	chlorfenvinphos
PHARMACEUTIQUE	aspirine

2. Les substances à enjeux

Dans un second temps, l'analyse des résultats de la priorisation a permis d'établir le « TOP 20 » des substances organiques (Figure 17) identifiées comme pertinentes et donc à enjeux pour le milieu naturel.

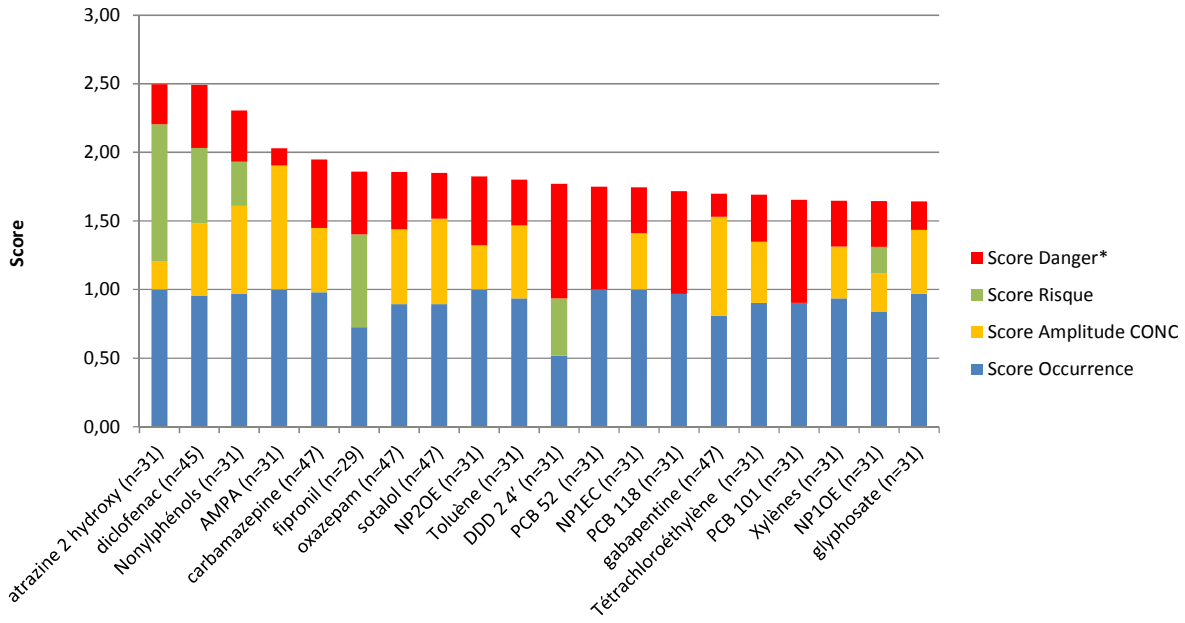


Figure 17 : Répartition des scores parmi le « TOP 20 » des substances priorisées.

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 carbamazepine, 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 9). 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 maitrise du zinc et du cuivre est particulièrement importante.

Tableau 9 : 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 18. 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.

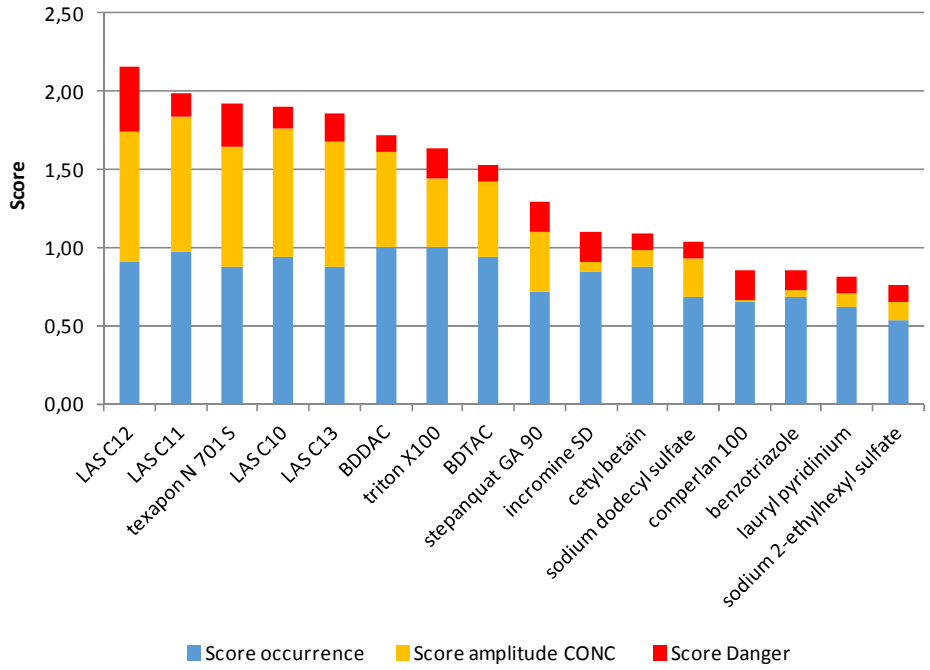


Figure 18 : Résultats de la priorisation des détergents.

3. Les substances ubiquistes et traceur de sources

Concernant la priorisation par source, le Tableau 10 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. De plus, 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 apparaitre 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 19a) 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 19b), 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, oxazepam, 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.

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

Subst	Score final EU STEU (entrée)
cafeine	2,21
paracetamol	2,13
diclofenac	2,13
hydroxy ibuprofene	2,13
acide salicylique	2,10
ibuprofene	2,01
oxazepam	1,98
gabapentine	1,97
ketoprofene	1,96
carbamazepine	1,93

Subst	*Score final EU STEU (sortie)**
gabapentine	*2,17*
oxazepam	*2,05*
carbamazepine	*1,93*
sotalol	*1,92*
diclofenac	*1,86*
AMPA	*1,66*
Fluoranthène	*1,63*
terbutryn	*1,58*
glyphosate	*1,54*
carbendazim	*1,54*

Subst	Score final EU domestiques
hydroxy ibuprofene	2,17
cafeine	2,10
paracetamol	2,11
acide salicylique	2,03
ketoprofene	1,90
oxazepam	1,86
ibuprofene	1,80
diclofenac	1,69
cetirizine	1,48
sotalol	1,66

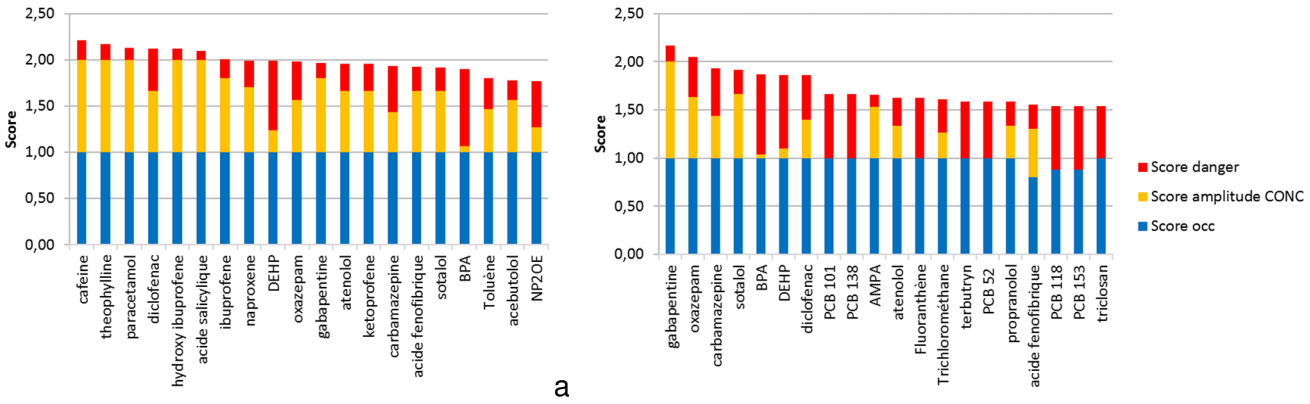
Subst	Score final EU CHU
cafeine	2,20
paracetamol	2,13
hydroxy ibuprofene	2,07
acide salicylique	2,06
ibuprofene	1,96
ketoprofene	1,93
carbamazepine	1,77
oxazepam	1,72
diclofenac	1,71
gabapentine	1,68

Subst	Score final EP
cafeine	2,18
glyphosate	2,11
AMPA	2,04
paracetamol	1,86
carbendazim	1,73
Fluoranthène	1,72
diuron	1,69
Phénanthrène	1,69
Chrysène +triphénylène	1,68
terbutryn	1,67

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

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



a b

Figure 19 : 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 20) fait apparaitre des substances avec des forts scores spécifiques aux eaux pluviales : glyphosate, AMPA, toluène, carbendazime et diuron.

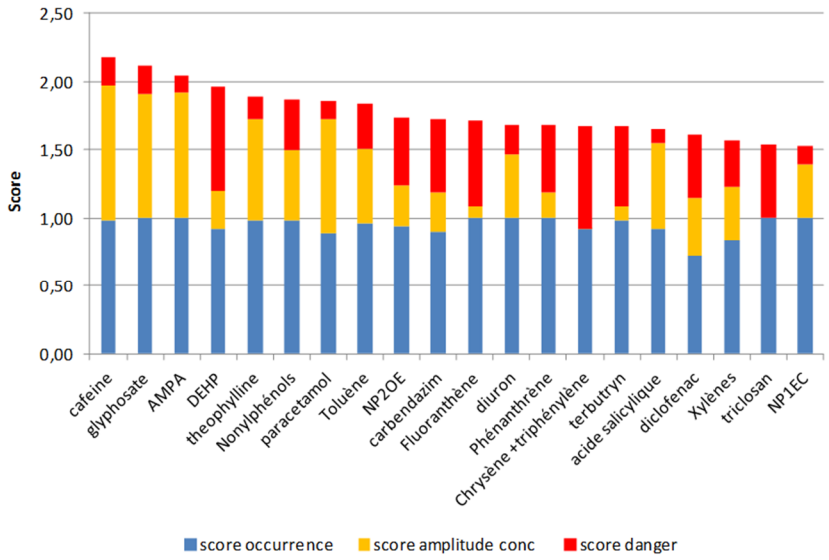


Figure 20 : Résultats de la priorisation des substances organiques mesurées dans les eaux pluviales.

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 traceurs de source).

Les substances prioritaires identifiées sont potentiellement dangereuses pour le milieu aquatique et nécessitent des actions correctives. L’amélioration des traitements des eaux pourrait être une solution de réduction pour les résidus de médicaments par exemple. Pour d’autres substances, il est plus facile d’agir sur la source de contamination en réduisant par exemple les émissions ou sensibilisant les utilisateurs sur leurs habitudes de consommation.

Chapitre 7. **Résultats présentant l'approche multi-sources sur un territoire donné et les résultats de l'analyse ainsi que les leviers d'action par source.**

Tâche 1.2 - Livrable n°12.

Auteurs : S. Gombert-Courvoisier, J. Barrault, C. Domenc, G. Carrere, B. Barillon, N. Pouly, SJ. Krieger, ML. Félonneau, D. Salles.

Partie1. Introduction

1. Contexte

L'évolution des modes de production et de consommation et la globalisation des échanges a entraîné la mise sur le marché et l'utilisation de nombreux produits contenant une diversité de substances toujours plus importante. Ces substances se retrouvent en partie libérées dans les différents compartiments environnementaux (eau, air, sol) pour y suivre un cycle biogéochimique souvent méconnu et complexe à élucider. L'écosystème aquatique, en tant que réceptacle des eaux usées et pluviales, est fortement soumis aux rejets de ces substances et les organismes aquatiques sont particulièrement sensibles à ces pollutions. Afin de préserver et de restaurer la qualité des eaux superficielles, la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000) impose d'arrêter les rejets des substances « dangereuses prioritaires » d'ici 2021, de réduire les rejets des substances « prioritaires » et d'acquérir des connaissances sur les molécules « à surveiller ». Ainsi, de nombreuses études sont mises en place afin de détecter et quantifier les composés présents dans l'environnement aquatique ainsi que de caractériser leurs sources dans le but d'atteindre les objectifs fixés par la DCE.

La lutte contre les micropolluants des eaux urbaines représente donc un enjeu environnemental et sociétal véritablement important et complexe. Dans le projet REGARD et plus précisément dans la tâche 1.2. « Description des sources et identification des leviers d'action », cet enjeu est abordé de manière multiple, à la croisée des enjeux techniques et scientifiques, économiques et industriels, politiques et réglementaires. La complexité, quant à elle, est appréhendée en fonction du sens du latin « *complexus* » (tissé ensemble) puisqu'y sont imbriqués de nombreux enjeux, liés à des domaines, acteurs, sciences, représentations, pratiques et connaissances multiples (Barrault et Dumas, 2016).

2. L'étude des sources dans le cadre du projet REGARD

En milieu urbain, les sources de micropolluants dans l'écosystème aquatique sont multiples : dépôt atmosphérique, ruissellement et exutoire des eaux de pluie, rejets des activités domestiques, industrielles, artisanales ou encore hospitalières dans les eaux usées. Une connaissance fine de ces sources doit permettre de déterminer les stratégies les plus pertinentes pour contrôler et réduire ces apports.

Sur le territoire bordelais, si la connaissance de l'état écologique et chimique des masses d'eau s'est améliorée grâce aux projets de recherche menés depuis plusieurs années (ETIAGE, MEDIC'EAU, BIOTRYTIS, Plan Micropolluants Bordeaux Métropole, RESEAU), la contribution des différentes sources à ces apports reste encore insuffisante pour identifier des leviers d'action pour réduire ces émissions de micropolluants. C'est pourquoi la tâche 1.2 du projet REGARD vise à mieux connaître et caractériser les différentes sources urbaines sur la métropole bordelaise grâce à un diagnostic des acteurs et organisations concernés, des

représentations sur l'eau et les micropolluants et des pratiques mises en œuvre afin de préconiser, par source, des leviers d'action de réduction de micropolluants dans les eaux urbaines.

Une source peut être définie ici comme une organisation sociale composée d'un certain nombre d'individus, regroupés au sein de leur sphère privée et/ou professionnelle, autour de laquelle gravite un système d'acteurs plus ou moins structuré et complexe et qui est à l'origine de ces contaminations, de par les produits ou procédés qu'elle utilise dans ses activités propres et qui sont rejetés dans les réseaux d'eaux urbaines (eaux usées ou eaux pluviales).

À partir de cette définition, nous avons choisi d'analyser 4 types de sources pouvant émettre des micropolluants dans les eaux usées ou pluviales de la métropole bordelaise :

- La source « domestique » (pilote : UMR PASSAGES - ex UMR ADESS)
- La source « industrielle » (pilote : CIRSEE)
- La source « hospitalière » (pilote : IRSTEA)
- La source « collectivités » (pilote : Bordeaux Métropole, Direction de l'Eau)

Nous avons choisi d'y ajouter une 5^{e} source :

- La source « pluviale » (pilote : CIRSEE). Cette dernière s'intéresse uniquement aux apports d'origine pluviale, qu'ils soient dus aux matériaux (toitures, voiries, mobilier urbain), ou aux pratiques et produits utilisés (entretien des toitures, façades, voiries, cimetières, chemins de fer), et ce, par différents types d'acteurs (citoyens, entreprises privées, collectivités).

Précisons que les travaux menés sur chaque source ne sont pas de même teneur ni ampleur ; cela peut être justifié au regard de différents éléments. Si le nombre de chercheurs en SHS impliqués dans le projet REGARD est important, il ne permettait pas de couvrir l'étude sociologique de chacune des sources de façon aussi approfondie. La source domestique et la source hospitalière ont bénéficié des études les plus avancées mobilisant diverses méthodes (cf. infra). En effet jusqu'à présent, aucune étude ou très peu s'étaient intéressées aux pratiques des ménages ou à l'hôpital sous l'angle des rejets de micropolluants. Également, la spécificité et la complexité inhérentes à ces deux « sources », notamment en termes d'organisation et de représentations sociales, de comportements, nécessitaient une approche sociologique et psychosociologique dédiée. Enfin, chacune de ces sources (ainsi que la sous-tâche concernant les enjeux globaux des micropolluants) a fait l'objet d'un livrable fourni aux commanditaires en décembre 2016 (Barillon et Alferes, 2016, Barillon et Ferré, 2016, Barrault et Dumas, 2016, Barrault *et al.*, 2016, Carrere et Salles, 2016a, Pouly et Buil, 2016), l'objectif étant de fournir un bilan détaillé de chacune d'elles.

L'objectif du présent chapitre est de faire une synthèse globale et partagée de la tâche 1.2. « Description des sources et inventaire des leviers d'action ».

3. Les méthodes et outils utilisés

La tâche 1.2 relative à la description des différentes sources et à l'identification des leviers d'action est abordée à travers de nombreux outils et méthodes, la plupart relevant du domaine des Sciences Humaines et Sociales (Figure 21).

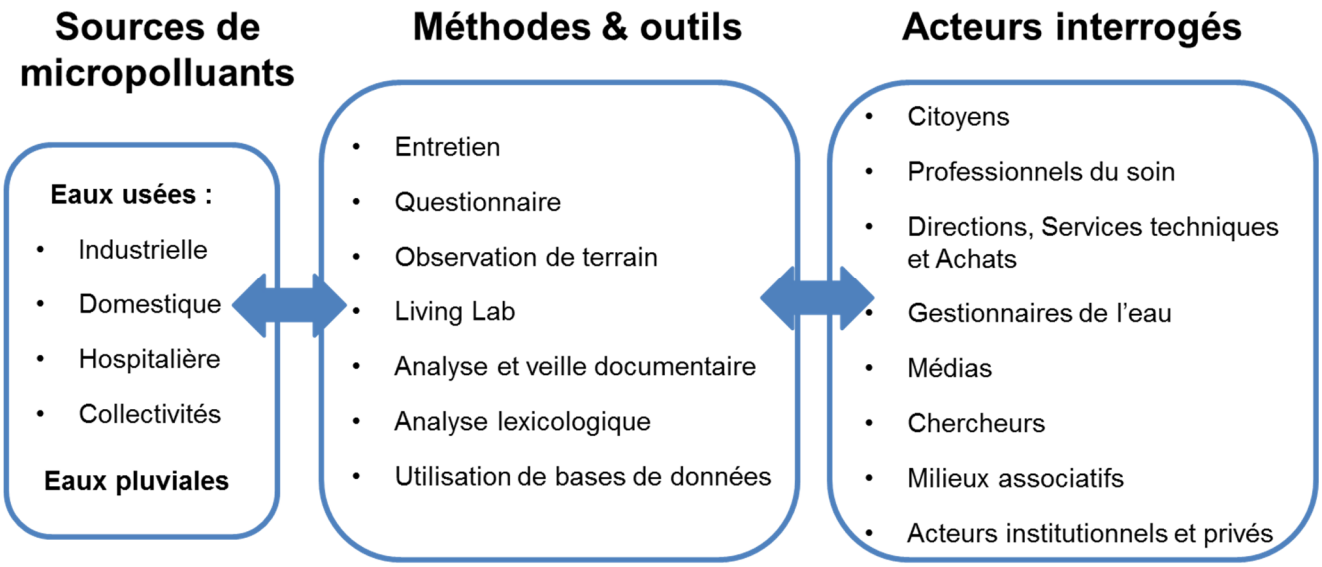


Figure 21. Méthodes mises en œuvre et acteurs ciblés.

Ainsi,

- Une analyse de la littérature, plus ou moins approfondie selon les sous-tâches, a été mise en œuvre,
- De nombreux entretiens et questionnaires ont été réalisés pour interroger différents acteurs dans l'ensemble des sous-tâches (Tableau 11).
- Plus spécifiquement, des observations de terrain ont été effectuées au sein de la tâche 1.2.2. (Source pluviale) et un Living Lab[11] a été mis en place auprès des citoyens dans la tâche 1.2.3 (Source domestique).

[11] Living Lab ou atelier participatif est un outil de recherche participative qui propose de « sortir la recherche des laboratoires » afin que chaque entité (scientifiques/médiateurs/public) puisse apporter sa contribution

Tableau 11. Nombre et diversité des types d'acteurs interrogés/observés dans les différentes sous-tâches.

	Citoyens	**Acteurs spécifiques de la source**	**Agences et acteurs privés**	**Acteurs institutionnels**	**Acteurs associatifs**	**Acteurs scientifiques**
Enjeux globaux des micropolluants			3 acteurs au sein de : SUEZ (Direction technique et scientifique ; Maison de l'eau), Technicités	9 acteurs : Agences Eau (AEAG, AERMC), Bordeaux Métropole (Comité de Développement Durable de Bordeaux Métropole, Direction de l'eau), Ministère de l'envirt (bur. de la biodiv.), AFB, Mairie de Bassens	2 acteurs : GRAIE, SEPANSO	5 acteurs : Université de Lausanne, U. Paris Sud, INERIS, EPOC, CIRSEE
Source pluviale	20 questionnaires remplis (14 centre-ville Bordeaux + 6 quartier résidentiel de Talence)		Couvreurs (5 questionnaires remplis / 21 contacts) Revendeurs / grandes enseignes (3 / 7) Fournisseurs (4 / 7) SGAC (service convention de déversement)	Service incivilités Bordeaux Métropole Brigade verte de Bordeaux (détagage) Réseau ferré français (Direction Régionale Aquitaine-Poitou-Charentes) Services techniques (gestion espaces verts) communes de Bordeaux Métropole (stagiaire Bordeaux Métropole)		Bibliographie
Source domestique	250 participants au Living Lab 1081 répondants à l'enquête populationnelle					
Source industrielle	Pas d'acteurs interrogés : travail bibliographique + bilan des contrôles inopinés SGAC					

	Citoyens	Acteurs spécifiques de la source	Agences et acteurs privés	Acteurs institutionnels	Acteurs associatifs	Acteurs scientifiques
Source hospitalière		31 acteurs de différents services du CHU : Soins, Pharmacie, Pharmacologie, Hygiène, Administratifs *	6 acteurs : LyRE, Agence Nationale de Sécurité du Médicament, ARS, ANSES, SANOFI	2 acteurs : Direction générale de la Santé, MEDDE/Bureau de la lutte contre les pollutions domestiques et industrielles	2 acteurs : SEPANSO, Association Santé Environnement France	1 acteur : Groupe d'Evaluation et de Recherche sur la Protection en Atmosphère Contrôlée (GERPAC)
Source collectivités		21 acteurs de différentes Directions de Bordeaux Métropole ** 27 acteurs dans les mairies de la métropole ***	2 acteurs : SGAC, Suez Eau France			

** Pour la source hospitalière, les 31 acteurs interrogés au CHU sont répartis de la façon suivante :* ***Soins (15)*** *[8 médecins, 5 infirmiers, 1 laborantin, 1 cadre de santé] ;* ***Pharmacie (6)*** *[4 pharmaciens ; 2 préparateurs en pharmacie] ;* ***Pharmacologie (3)*** *[2 médecins ; 1 pharmacien] ;* ***Hygiène (3)*** *[1 médecin, 1 responsable du service d'entretien, 1 technicienne d'entretien] ;* ***Administratifs (4)*** *[1 à la Direction de la stratégie-coopération et développement durable, 2 au Département des ressources matérielles, 1 à l'Unité d'achat biologie].*

*** Pour la source Collectivités, les 21 acteurs interrogés dans les services de Bordeaux Métropole sont répartis de la façon suivante :* ***Direction des espaces verts (2)*** *[1 directeur adjoint, 1 chef de centre] ;* ***Direction des Infrastructures et Déplacements (signalisation) (2)*** *[1 chef de régie, 1 agent de maitrise) ;* ***Direction gestion des déchets et propreté (3)*** *[1 chef de service collecte, 1 chef de centre matériels, 1 chef de centre apports] ;* ***Direction écologie énergie développement durable (4)*** *[3 chargées de mission, 1 chef de projet] ;* ***Direction prévention (santé environnement) (2)*** *[1 inspecteur de salubrité, 1chef de centre] ;* ***Direction performance achat (1)*** *[1 acheteur] ;* ***Direction Gestion espace public (PT Bordeaux) (1)*** *[1 responsable parc matériel] ;* ***Direction de l'immobilier (1)*** *[1 chef de centre nettoyage] ;* ***Direction logistique et magasins (1)*** *[1 chef de service] ;* ***Direction appui administratif financier (services activités funéraires) (2)*** *[2 chefs de centre] ;* ***Direction Gestion espace public (PT Sud) (1)*** *[1 chef de centre espaces verts] ;* ***Direction Gestion espace public (PT Rive droite) (1)*** *[1 chef de centre propreté/espaces verts].*

**** Pour la source Collectivités, les 27 acteurs interrogés dans les mairies de la Métropole bordelaise sont répartis de la façon suivante :* ***Mairie Ambès (1)*** *[1 directeur services techniques] ;* ***Mairie Bassens (1)*** *[1 chargé agenda 21] ;* ***Mairie Bègles (1)*** *[1 chargé agenda 21] ;* ***Mairie Blanquefort (1)*** *[1 chargé agenda 21] ;* ***Mairie Bruges (1)*** *[1 chargé agenda 21] ;* ***Mairie Cenon (3)*** *[1 chargé agenda 21, 1 directeur services techniques, 1 adjoint maire] ;* ***Mairie Gradignan (1)*** *[1 directeur services techniques] ;* ***Mairie Le Haillan (2)*** *[1 chargé agenda 21, 1 directeur services techniques] ;* ***Mairie Lormont (2)*** *[1 agent, 1 responsable marchés publics] ;* ***Mairie Martignas sur Jalles (2)*** *[1 chargé agenda 21, 1 directeur services techniques] ;* ***Mairie Pessac (1)*** *[1 chargé agenda 21] ;* ***Mairie Parempuyre (2)*** *[1 chargé agenda 21, 1 directeur services techniques] ;* ***Mairie St Aubin de Médoc (1)*** *[1 chargé agenda 21] ;* ***Mairie St Louis Montferrand (2)*** *[1 directeur services techniques, 1 directeur services urbanismes] ;* ***Mairie St Médard en Jalles (1)*** *[1 chargé agenda 21] ;* ***Mairie Talence (1)*** *[1 chargé agenda 21] ;* ***Mairie Villenave d'Ornon (4)*** *[2 chargés de missions, 1 responsable achat, 1 chargé agenda 21].*

La mise en place de ces différents outils et méthodes nous permettent d'apporter des éléments de réponse aux différents objectifs :

- Comprendre les enjeux des micropolluants ;
- Connaître les représentations ;
- Identifier les comportements à l'origine des émissions des micropolluants ;
- Sensibiliser les acteurs interrogés ;
- Faire émerger des leviers d'action.

Le Tableau 12 propose une analyse semi-quantitative de la réponse à ces différents objectifs en fonction de l'étude des différentes sources.

Tableau 12. Adéquation des outils et méthodes aux objectifs de la tâche 1.2.

		Comprendre les enjeux des MP pour différents acteurs	Connaître les représentations	Identifier les comportements à l'origine des émissions de micropolluants	Faire émerger des leviers d'action	Sensibiliser
Enjeux globaux	Analyse documentaire	**++**				
	Entretiens	**+++**	**++**			**++**
Source Domestique	Living Lab		**++**	**+**	**+++**	**+++**
	Enquête populationnelle		**+++**	**+++**	**+**	**+**
Source hospitalière	Entretiens		**+++**	**+++**	**+++**	**+++**
	Observation		**+++**	**+++**	**+++**	**++**
	Analyse lexicologique		**+++**	**+**	**+++**	**+**
	Analyse documentaire		**+++**	**+**	**+++**	**+**
Source Collectivités	Entretiens - Questionnaires		**++**	**+++**	**+++**	**++**
Source pluviale	Enquête terrain (observation + interviews usagers)		**++**	**+**	**+++**	**+**
	Interviews téléphoniques (professionnels du traitement des toitures)		**++**	**++**	**++**	**++**
	Interview SGAC		**++**	**++**	**+**	**+**

On voit ainsi que :

- L'objectif « comprendre les enjeux des micropolluants pour différents acteurs » est bien appréhendé dans le livrable 1.2.1 sur les « Enjeux globaux des micropolluants » ;
- L'objectif « connaître les représentations » est bien analysé pour la source domestique à travers l'enquête populationnelle et pour la source hospitalière ;
- L'objectif « identifier les comportements à l'origine des émissions de micropolluants » est bien cerné pour les sources domestique, hospitalière et collectivités ;
- Enfin, l'objectif « sensibiliser » est rempli à travers le Living Lab pour la source domestique et les entretiens pour la source hospitalière.

Les parties suivantes (parties 2 à 6) visent à présenter les synthèses de chacune des sources étudiées. Pour plus de détails concernant chacune de ces parties, il est recommandé de se référer aux livrables associés.

Partie 2. Synthèse concernant la source domestique

Cette partie présente la synthèse du livrable concernant la sous-tâche « source domestique » de la tâche 1.2 du projet REGARD (Barrault *et al.*, 2016).

1. Bilan méthodologique au regard des objectifs visés

Dans le cadre général du projet REGARD, l'objectif de la sous-tâche 1.2.3, vise à identifier les micropolluants issus de la source domestique afin de réduire leurs impacts sur les systèmes aquatiques et la santé. Dans la perspective de proposer des leviers d'action auprès des citoyens, des élus, des producteurs/distributeurs, ou encore des gestionnaires de l'eau, il était tout d'abord nécessaire de mieux cerner les relations existant au sein de la population entre les activités domestiques et les micropolluants. Cette étape est en effet déterminante pour apprécier la pertinence des préconisations aussi bien en matière de faisabilité que d'appropriation par les citoyens.

Quatre objectifs principaux ont alors été fixés : i) mieux connaître les représentations des populations à l'égard de ces « micropolluants », ii) identifier les comportements domestiques pouvant contribuer au rejet de ces molécules dans les eaux usées et également les eaux pluviales pour quelques pratiques, iii) faire émerger des leviers d'action et, d'un point de vue pédagogique, iv) informer et sensibiliser.

Les investigations ont été conduites avec deux outils : 1) le Living Lab mené au plus près des citoyens (250 participants), 2) l'enquête populationnelle menée à grande échelle par questionnaire (1081 réponses exploitables). Ces deux outils présentent de fortes complémentarités. Tout d'abord, le quiz du Living Lab et certaines questions de l'enquête visent à cerner des connaissances précises ainsi que des positionnements personnels vis-à-vis de certaines situations quotidiennes. Ensuite, de façon plus distante et moins impliquante, ils visent à appréhender le positionnement et les représentations des répondants à l'égard d'une palette plus large de questionnements. Enfin, ils visent à faire émerger des solutions, pouvant être traduites en leviers d'action pour tenter de réduire les rejets mais également à identifier les freins vis-à-vis de certaines propositions. Par ailleurs, afin d'assurer une certaine continuité cognitive et de tester le degré de cohérence entre les deux publics, quelques questions identiques ont été proposées dans ces deux approches. Rappelons que ces publics ne sont que partiellement représentatifs de la population de la Métropole Bordelaise du fait, pour l'un, de la fréquentation à un centre de médiation scientifique et, pour l'autre, de l'appartenance à des catégories socioprofessionnelles et des niveaux d'éducation se situant sensiblement au-dessus des fréquences observées au sein de la population dans son ensemble[12].

Globalement, l'adéquation entre les outils mis en œuvre et les objectifs initialement fixés est satisfaisante. Du fait du nombre important de participants (répondants au questionnaire ou acteurs du Living Lab), une grande quantité d'informations a été collectée assurant une certaine robustesse aux conclusions émises. Les premières analyses réalisées confortent un certain nombre d'hypothèses avancées dans la littérature. L'ensemble des éléments ainsi collectés représente un support fort utile pour la poursuite du programme, à savoir les études très fines conduites auprès de ménages référents. Toutefois, le déroulement des deux approches mises en œuvre montre forcément quelques biais, qu'il s'agisse de la représentativité des échantillons par rapport à l'ensemble de la population, du biais de compréhension de certaines questions, ou encore du crédit que l'on peut accorder aux informations obtenues sur le mode déclaratif, dans le questionnaire.

[12] De tels biais sont néanmoins souvent associés à ce type d'outils. Redresser l'échantillon de l'enquête populationnelle pour avoir un échantillon plus représentatif de la métropole bordelaise nécessiterait d'interroger la population par des moyens autres qu'un questionnaire en ligne (par exemple par téléphone ou dans la rue), ce que nous n'avons pas prévu de faire pour des raisons liées à la longueur du questionnaire d'une part et au temps imparti à cette mission d'autre part.

2. Pistes d'actions pour réduire les émissions de micropolluants

À terme, l'objectif de limitation des micropolluants dans les milieux aquatiques au niveau de la source domestique suppose la mise en place et l'adoption de nouveaux comportements de la part des usagers. Mais, encore faut-il que ceux-ci soient en position et en capacité de changer, qu'on leur en donne les moyens et qu'ils soient convaincus de l'utilité de ces changements ou soient contraints de les adopter. Un des prérequis est sans doute l'accès à l'information et l'acquisition d'un savoir minimal sur la problématique de la dégradation de la qualité des milieux aquatiques par les micropolluants. De ce point de vue, en prolongement des résultats obtenus par le Living Lab, l'enquête populationnelle permet de recueillir des données concernant les connaissances des usagers, leurs attitudes, leurs comportements auto-déclarés ainsi que les modalités d'action possibles et de cibler plus spécifiquement les carences révélées. Les réflexions initiées dans la tâche 1.2.1 sur les enjeux globaux trouvent également ici une résonnance intéressante et qu'il convient de faire apparaître.

Les propos suivants visent à présenter, à partir de l'analyse des résultats de l'enquête populationnelle, des pistes de réflexion pouvant s'avérer pertinentes pour la mise en œuvre de leviers d'action. Ils sont dans certains cas complétés par les résultats du quizz du Living Lab.

2.1 Le devenir des eaux usées

On observe une certaine méconnaissance du petit cycle de l'eau pour une partie des répondants notamment du fait qu'environ 30% des répondants[13] pensent que l'eau distribuée chez les ménages provient des eaux prélevées en sortie de station de traitement des eaux usées. Cette erreur peut être expliquée soit par un désintérêt ou une certaine insouciance portée à l'eau consommée, soit par une confiance sans borne accordée aux technologies de traitement et d'épuration des eaux et, indirectement, au service de l'eau. Une des conséquences possibles de cette représentation erronée peut être un gaspillage de l'eau potable qui, selon ce schéma de pensée, est recyclée sans fin puisque si on la « salit », elle sera « nettoyée » et réutilisée. Cette représentation a également pour conséquence de minimiser le risque perçu pour la qualité des milieux aquatiques puisque les effluents domestiques ne sont pas rejetés dans les cours d'eau après traitement des eaux usées mais recyclées dans le cycle « distribution-usage-traitement-distribution-usage… ». Les répondants voient donc peu le lien entre leurs pratiques domestiques et la pollution des milieux aquatiques.

Les réflexions posées dans l'étude sur les enjeux globaux des micropolluants, et notamment celles sur la notion d'imperceptibilité de l'eau nous sont utiles ici pour mieux interpréter ces représentations du petit cycle de l'eau et de l'eau en elle-même. En effet, l'eau peut être considérée comme imperceptible par nature au sens où elle ne peut être saisie par les sens : elle est inodore, n'a (en général) pas de goût, ne se sent pas lorsqu'elle nous entoure si l'on ne bouge pas, ne fait pas de bruit si elle est contenue, et est transparente.

Nos enquêtes illustrent pour partie le déficit de connaissances sur le cycle de l'eau (petit ou grand)[14]. Ainsi, cette partie des usagers n'a pas conscience de la source où est puisée l'eau qui arrive par leurs robinets et du cheminement qu'elle a parcouru pour y parvenir et font également abstraction du processus de traitement de l'eau qui se déroule après le rejet de nos eaux usées. Pour l'usager, l'eau, arrivant au robinet et en repartant par des tuyaux enterrés[15], ne provient de

[13] Résultats similaires entre le quiz du Living Lab et l'enquête populationnelle.

[14] Au sein du projet de l'AAP Micropolluants dans les eaux urbaines Lumieau, mené à Strasbourg, une enquête a spécialement été dédiée aux représentations du « tout à l'égout » ; il serait intéressant de croiser ses résultats avec les nôtres à ce propos de la connaissance et des représentations du petit cycle de l'eau.

[15] Agnès Jeanjean écrit à ce propos : *"L'enfouissement des eaux usées, leur parcours souterrain, le silence qui les entoure sont le produit du refoulement, non seulement des pulsions anales, mais aussi de la vie organique, refoulement auquel les bourgeois du XIXe siècle, par la mise en place de dispositifs d'assainissement urbain ont grandement contribué"* (Jeanjean & Pétonnet, 2006).

nulle part, comme si elle était créée par le robinet lui-même et va nulle part, elle n'a pas de vie en dehors de la durée de son rapport avec lui. L'eau n'a ni provenance ni destination ; elle semble sans temps et sans espace. Comme le disait très justement Alfred Sauvy : « *L'eau vient du robinet comme le courant de la prise électrique et l'argent de la banque* ». Cette ignorance de toute la « machinerie » qui préside à la consommation et au rejet de l'eau potable entretient la conception de l'eau comme invulnérable. Il existe une contradiction entre deux visages de la représentation que les usagers ont de l'eau : ils ont en partage le côté utilitariste de la représentation moderne de l'eau mais il leur manque la connaissance scientifique et technique qui régit de plus en plus l'eau qu'ils consomment et rejettent.

Ces résultats et réflexions nous amènent à conclure qu'il s'avère nécessaire de renforcer les actions pédagogiques pour amener les citoyens à accroître leurs connaissances par rapport aux ressources en eau potable et à accroître leur conscience de leur contribution d'apports de micropolluants aux diverses phases du cycle de l'eau. Rendre visible de façon pédagogique et à grande échelle la « machinerie » de l'eau, en expliquant pourquoi on en est arrivé là et les limites de la technique (l'incomplétude des traitements en STEU notamment) serait également un aspect important de la prise de conscience des individus. Le cycle de l'eau est inscrit aux programmes scolaires (primaires et collèges notamment), et de plus en plus lié, dans ces apprentissages à la notion de développement durable, de pollutions. Il faut maintenir et accroître l'apprentissage de ce lien et diffuser ces connaissances plus largement dans la société.

2.2 Les vecteurs de contamination des milieux aquatiques

Les causes de la pollution des milieux aquatiques par les micropolluants sont tout d'abord attribuées, par les personnes interrogées, aux activités agricoles et aux activités industrielles, avec cependant la reconnaissance d'une source hospitalière et, en dernier lieu, à la source domestique émanant de leur propre consommation (Figure 22). Même si, pour les répondants, les activités domestiques contribuent le moins fortement à la pollution des milieux aquatiques, cette source semble néanmoins admise (score moyen supérieur à la moyenne des scores de l'échelle représentée par le trait rouge). Cet élément peut donc contribuer à accroître la réceptivité des citoyens face à des propositions d'action pour réduire les émissions.

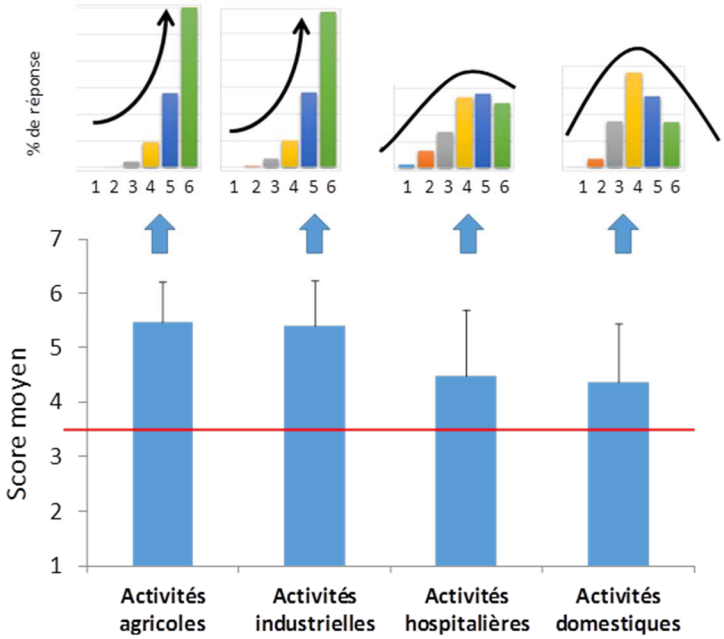


Figure 22. Activités jouant un rôle dans la pollution des milieux aquatiques selon les participants (Q.5 : « Selon vous, les activités suivantes contribuent-elles à la pollution des milieux aquatiques ? »). Pour chaque type d'activité, sont représentés : le score moyen avec son écart-type et la distribution des réponses en fonction de l'échelle de 1-pas du tout à 6-fortement).

Si l'on considère, non plus les activités, mais les acteurs responsables des rejets de micropolluants on retrouve, logiquement, en tant que premiers responsables les industriels et les agriculteurs (Figure 23). La première place allouée aux industriels est sans doute à mettre en lien avec la multitude de produits manufacturés, dont le cycle de production est complexe et lointain, à l'origine de nombreux scandales (exemple des constituants des jouets, des images de pollutions généralisées dans des zones industrielles, de foyers de maladies…), et de ce fait associé à des impacts négatifs pour les systèmes aquatiques. Le rôle des agriculteurs est sans doute lié à l'impact de plus en plus médiatisé des intrants agricoles et phytosanitaires sur l'environnement (phénomènes des algues vertes) et la santé (perturbateurs endocriniens, cancérogènes).

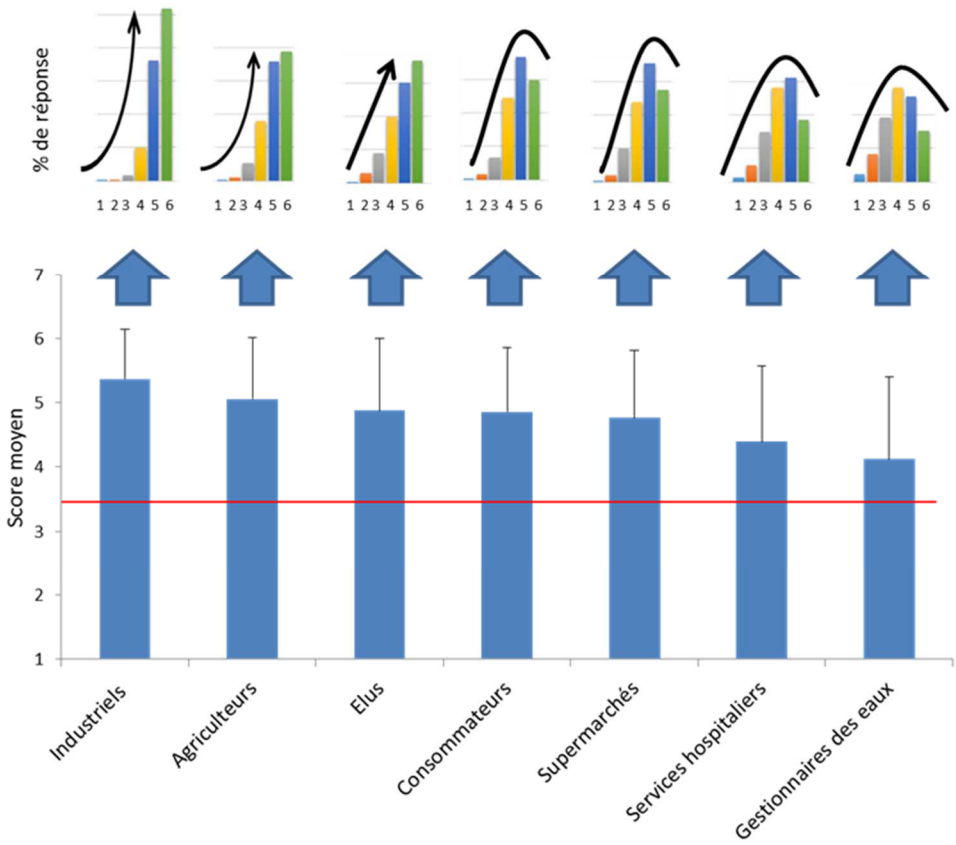


Figure 23. Responsables de la présence des micropolluants dans les milieux aquatiques (Q.37 : « À votre avis, qui est responsable de la présence de micropolluants dans les milieux aquatiques ? »). Pour chaque type d'acteur, sont représentés : le score moyen avec son écart-type et la distribution des réponses en fonction de l'échelle de 1-pas du tout responsables à 6-très responsables).

Outre ces deux acteurs économiques, de façon moins classique mais tout aussi claire, les répondants mettent en exergue les élus. Ce résultat pose la question de la représentation de l'élu par ses administrés, de son rôle, de ses responsabilités et de ses moyens. Là encore, une clarification serait nécessaire pour délimiter à l'échelle locale les prérogatives d'un maire ou d'un président de Région, et pour préciser quels leviers d'action pourraient être mobilisés à l'échelle territoriale pour légiférer, contrôler, sensibiliser, ou encore avoir le courage politique consistant à dire des choses non agréables aux administrés… Plus largement, le statut et les fonctions des élus sont à repositionner par rapport aux autres acteurs du domaine de l'eau : Ministère de l'Environnement, ONEMA-AFB, Agences de bassin, syndicats de gestion des eaux, sociétés de pêche, etc.…

2.3 La présence des micropolluants dans les produits domestiques

D'une façon générale, les personnes répondent que les polluants sont présents partout, avec une prépondérance pour les produits d'entretien, d'hygiène et les médicaments (cités respectivement par 90%, 88% et 79% des répondants). Cela peut être interprété de plusieurs façons non exclusives les unes des autres : i) un manque d'information sur les constituants des produits utilisés en lien avec la difficulté à décrypter les étiquettes apposées sur les flaconnages et emballages (taille des caractères, formules chimiques, pictogrammes de dangers …) ; ii) une méconnaissance de la fabrication des produits, associée au nombre croissant des substances chimiques à la complexité des circuits de production et de distribution auxquels les consommateurs n'ont quasiment plus accès ; iii) une suspicion généralisée, due à une multitude de messages alarmistes, à l'égard de l'ensemble des produits de consommation courante proposés par les fabricants et les distributeurs, bien que la mise sur le marché soit autorisée par la réglementation.

Ainsi, il y aurait donc tendance à considérer que l'ensemble des produits utilisés par les ménages sont toxiques pour l'environnement. En revanche, cette représentation ne présage pas de l'adoption de comportements pro-environnementaux. On constate ainsi la disjonction classique entre les niveaux cognitif et comportemental. S'agissant de levier d'action, on comprend aisément que l'information, indispensable dans une première étape, ne suffit pas à transformer les habitudes !

2.4 Quelles incidences des produits domestiques sur les milieux aquatiques ?

Concernant les effets connus ou imaginés de l'usage des produits d'usage courant sur les milieux aquatiques, les résultats montrent que :

- Pour les produits de douche ou d'entretien du linge les réponses sont assez bien distribuées en fonction des scores de perturbation, avec des pourcentages de réponses les plus importants centrés sur les scores 3-4-5[16]. Cette relative modération quant aux risques pour les milieux aquatiques générés par ces deux familles de produits peut être liée à la sécurité attendue vis-à-vis des produits d'hygiène corporelle ou vestimentaire. S'agit-il aussi d'une forme de déni basé sur l'idée que ce que l'on utilise au plus près du corps ne peut (doit ?) pas être nocif pour les humains que nous sommes, et donc pour les autres espèces présentes dans les écosystèmes aquatiques. Enfin, de nombreux articles « grand public » récents (*Que Choisir, 60 millions de consommateurs*) ont largement fait la part des choses en invitant les consommateurs à éviter certaines substances contenues dans ces produits et en les rassurant pour d'autres produits considérés comme « plus sains ». Par ailleurs, les résultats du quiz du Living Lab nous indiquent également que les participants estiment que les substances présentes dans les produits d'usage courant comme les shampoings (parabènes par exemple) doivent être plutôt bien éliminées par les STEU et, de ce fait, engendreraient moins de perturbations pour les milieux aquatiques.
- Concernant l'entretien des véhicules, la plupart des répondants déclarent nettoyer leur voiture dans des centres de lavage (Lavomatics). Pour les personnes qui pratiquent cette opération au domicile, les incidences à l'égard des systèmes aquatiques sont perçues comme plutôt polluantes. Le levier de diminution des rejets le plus pertinent serait donc sans doute d'inciter les personnes à utiliser les services proposés par les centres de lavage agréés, sous réserve que les stations de lavage aient mis en place des équipements retraitant les eaux usées, en limitant les consommations d'eau et utilisant des agents nettoyants à faible impact écologique. Pour le lavage des véhicules au domicile, on peut préconiser de généraliser la mise sur le marché de produits lessiviers

[16] Sur une échelle de 1 : pas du tout à 6 : fortement

moins toxiques, ou encore, d'informer les citoyens, en expliquant le parcours de ces eaux de lavage (et le fait que les eaux s'infiltrant dans les sols ou collectées par certains collecteurs du pluvial ne sont pas traitées).

- L'usage des antipuces ne concerne également qu'une partie des répondants et est peu perçu comme problématique, sans doute parce que les répondants perçoivent peu le lien entre l'administration du produit sur leur animal et les milieux aquatiques. Pourtant, ces biocides (aux PNEC[17] très faibles) se retrouvent dans les cours d'eau et peuvent présenter des risques pour la faune et la flore. La sous-estimation de ce type de risques appelle les scientifiques, gestionnaires, associations et revues spécialisées (notamment celles consacrées aux animaux domestiques) à préciser ces risques encore mal évalués mais aussi à rappeler comment le dépôt d'une très faible quantité de ces molécules sur l'animal, peut par divers cheminements, malgré des stations de traitement des eaux, se retrouver dans les rivières (Dufour *et al*., 2016). Cette prise de conscience peut cependant se heurter à l'attachement porté à l'animal traité, dont le soin prime sur les conséquences négatives éventuelles sur les milieux aquatiques. Déjà identifiée dans la source hospitalière (cf. partie 6), on retrouve la supériorité de la santé sur l'environnement avec peu de vision à long terme.
- Pour les insecticides, leurs fonctions de biocides en font des agents de contamination très importantes. Cette réalité étant reconnue par les répondants, les efforts devront porter sur les manières de s'en passer ou du moins d'en réduire leur usage : alternatives douces ou moyens mécaniques. Par ailleurs, un élément qui intervient souvent dans la surutilisation d'insecticides relève de la peur des piqures, des maladies véhiculées et aussi, assez souvent, des phobies. Il serait donc judicieux de relativiser la dangerosité de certains insectes au regard de la dangerosité potentielle de l'exposition chronique aux substances chimiques, ou de mieux informer quant aux moyens préventifs de leur présence (par ex. en posant des moustiquaires sur les fenêtres ou en évitant les points d'eau, gîtes de ponte de moustiques).
- Pour une large partie de répondants les médicaments sont perçus comme très dégradants pour les milieux aquatiques en référence sans doute à l'efficacité à l'égard des dysfonctionnements biologiques mais aussi au vu des effets secondaires pouvant apparaître chez les êtres humains. Cette reconnaissance de faits devrait faciliter la mise en place de comportements basés sur une réduction avisée de certains traitements qui apparaissent quelquefois comme surmédicalisés au regard de l'efficacité de ces traitements et des coûts générés. Certains répondants déclarent être prêts à pratiquer des méthodes de soin douces ou encore à utiliser des produits écologiques plus sains. Mais ces substances plus « douces » (comme par exemple les huiles essentielles) sont-elles pour autant sans impact pour les milieux aquatiques ? Les politiques et messages de santé publique sont sans doute des leviers d'action efficaces pour accompagner cette inflexion (citons par exemple la campagne : « les antibiotiques, c'est pas automatique »). Par ailleurs, une réflexion globale et systémique est certainement à engager pour lutter contre la sur-médication. En effet, l'adoption de modes de vie plus équilibrés en termes de nourriture, de rythmes de vie, d'exercices physiques sont à favoriser en mettant en place tout un ensemble de mesures et de structures (médecins généralistes et médecins du travail, soutiens de proximité, réseaux de transport publics) visant à favoriser le bien-être des citoyens et ainsi réduire le recours aux médicaments. Par ailleurs, cette réflexion systémique est également envisagée pour appréhender la gestion hospitalière extra-muros liée aux soins ambulatoires et aux parcours de soins (cf. Livrable 1.2.5 sur la source hospitalière).

La Figure 24 permet de comparer les représentations concernant la perturbation des milieux aquatiques par les différents types de produits utilisés dans les pratiques quotidiennes.

[17] Predicted No Effect Concentration

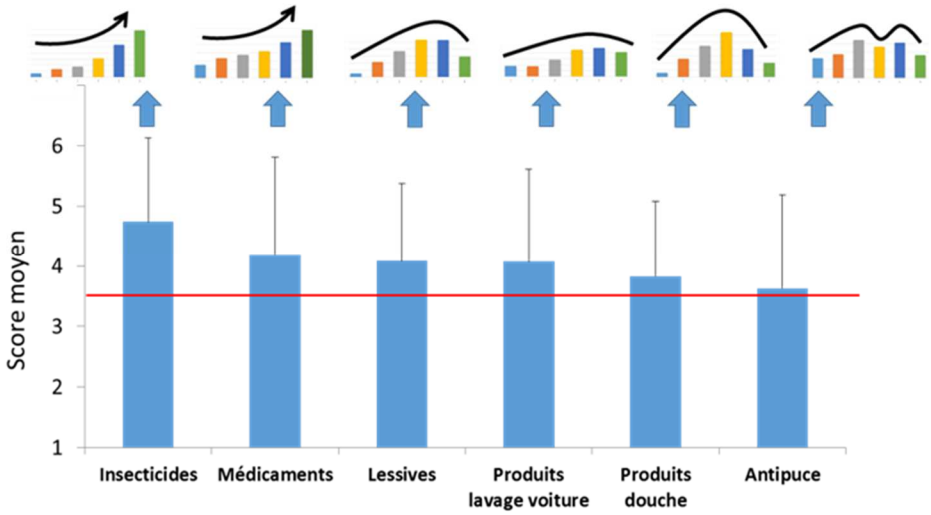


Figure 24. Comparaison des représentations concernant la perturbation des milieux aquatiques par les insecticides (Q.27), les médicaments (Q.31), les lessives (Q.15), les produits de nettoyage des voitures (Q.19), les produits pour la douche (Q.11) et les produits antipuces (Q.23) utilisés dans les pratiques domestiques.

Enfin, plus globalement, les incidences sur les milieux aquatiques comme la diminution ou la perturbation des espèces aquatiques abordées avec le quizz du Living Lab sont jugées non seulement très graves mais également très probables. *A contrario*, si les troubles sanitaires chez les humains apparaissent comme très graves, ils sont jugés moins probables. En bref, les conséquences environnementales et sanitaires sont jugées comme très graves contrairement aux conséquences économiques (Tableau 13).

Tableau 13. Conséquences de la pollution des milieux aquatiques en termes de probabilité et de gravité.

	Probabilité	Gravité
Diminution ou perturbation des espèces aquatiques	+	+
Augmentation des coûts pour traiter les eaux usées et de la facture d'eau	~	-
Interdiction de la pêche ou de certains coquillages	~	~
Augmentation des conflits entre usagers de l'eau	~	+
Apparition de troubles sanitaires chez les humains	-	+

2.5 La prise en compte du risque

Les perceptions du risque encouru pour l'environnement et pour la santé humaine vis-à-vis des micropolluants doivent également être remises dans un contexte plus général et théorique. Elles s'inscrivent ainsi dans le paradoxe de la montée en puissance des risques dans un monde de plus en plus sécurisé. La qualité de l'eau n'a jamais été si analysée et contrôlée ; pourtant, on se trouve en présence de substances que l'on peine à détecter et qui présentent un danger potentiel pour l'homme et son environnement. La crise environnementale actuelle réinterroge notre conception de la nature. Elle nous rappelle que nos interactions avec notre environnement vont dans les deux sens. Nos actions ont un impact sur la nature mais toutes les perturbations causées par l'homme sur la nature ont un impact sur lui en retour. La notion de risque n'est-elle pas aujourd'hui en passe d'être remplacée par celle de vulnérabilité ?

Une autre grille de lecture est celle de la « société du risque ». Nos sociétés du risque proviennent-elles d'une multiplication des dangers ou d'une nouvelle attitude à l'égard des risques ? Selon Anthony Giddens, le risque est devenu une « culture » : « *un aspect culturel fondamental de la modernité, par lequel la conscience des risques encourus devient un moyen*

de coloniser le futur » (Giddens, 1991, p. 244). Les hommes ne sont plus tournés vers le passé mais vers le futur et ils anticipent ce futur en aiguillant leurs actions sur les représentations objectives et subjectives du risque qui leur sont données.

« La vraie originalité des sociétés contemporaines réside peut-être moins dans l'apparition de nouvelles menaces, écologiques, technologiques ou sanitaires, que dans la diffusion d'une nouvelle norme comportementale qui régirait aussi bien les rapports à soi que les rapports aux autres. » (Peretti-Watel, 2007).

Les effets des micropolluants sont difficiles à déterminer : cela est fonction de leur dangerosité, de leur occurrence dans le milieu et de l'exposition à ces substances, peu quantifiable. C'est leur imperceptibilité et l'imperceptibilité de leurs effets sur le court terme qui les rend inassurables et qui questionnent le lien de cause à effet. Les micropolluants confrontent la société à un problème à la fois temporel et spatial : celui classique de leur appréhension dans le temps par la prévision de leurs effets, mais aussi celui de leur appréhension dans l'espace, relatif à leur difficile détection dans le présent. Leur imperceptibilité est, elle aussi, double : elle touche à la fois le néophyte et le scientifique. Elle rend leur perception via les sens, via une expérience sensible par le sujet, impossible et une appréhension objective, par les scientifiques, limitée.

2.6 L'appropriation des leviers d'actions

Tous les leviers d'action préconisés pour réduire l'impact des micropolluants sur les milieux aquatiques semblent pertinents pour les répondants, et cela malgré les contreparties en termes de coûts (financier, comportemental, de perte de confort ou de choix) qui avaient bien été spécifiés dans le questionnaire (Figure 25). On peut cependant se poser la question de savoir si le mode de collecte des données, sur la base du déclaratif, restitue fidèlement la réalité de mise en place ou d'appropriation de telles préconisations.

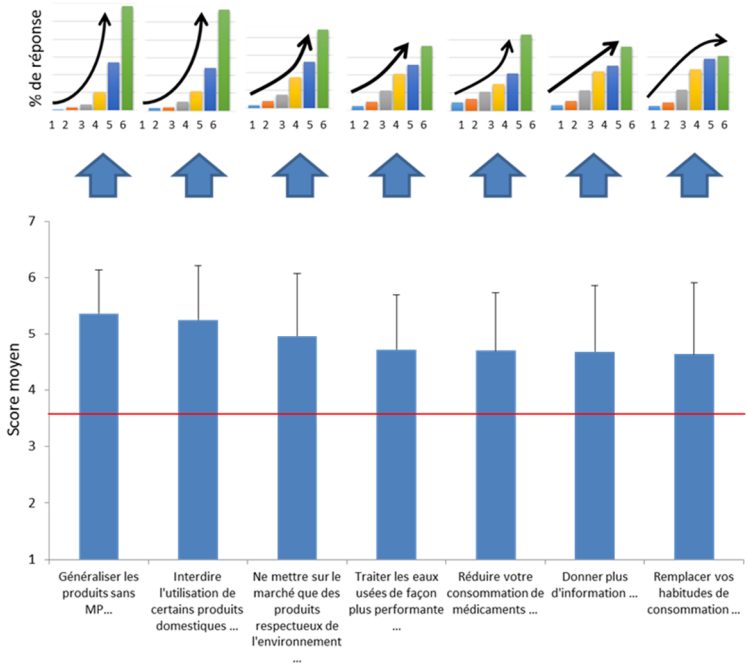


Figure 25. Pistes d'actions pour réduire l'impact des micropolluants sur les milieux aquatiques (Q.34 : « selon vous, réduire l'impact des micropolluants sur les milieux aquatiques nécessiterait de … »).

Les préconisations plébiscitées concernent tout d'abord des solutions en provenance de « l'extérieur ». Certaines engagent les producteurs-distributeurs, comme « généraliser les produits sans micropolluants » et « ne mettre sur le marché que des produits respectueux de

l'environnement ». D'autres concernent le réglementaire comme « interdire certains produits domestiques ». Concernant l'usage des médicaments, les répondants se disent prêts à les réduire pour les petits maux, sans doute grâce au développement de certaines solutions alternatives (homéopathie, usage d'huiles essentielles…) qui facilitent ainsi la réduction des médicaments classiques. Les leviers « internes » concernant un changement personnel de comportements sont les moins approuvés.

Les résultats de l'enquête sont plus tranchés que ceux issus des propositions de leviers d'actions du Living Lab, où les changements comportementaux apparaissent comme les plus cités après la substitution de produits, et avant l'innovation sur le produit et le tri à la source. Le fait que ce soient les citoyens qui proposent eux-mêmes les leviers d'action les rendent sans doute plus acceptables. Ainsi, le travail de co-construction semble un moyen pertinent et efficace permettant une meilleure appropriation de propositions *a priori* plus coûteuses pour les individus. En outre, impliquer ainsi les individus permet de les engager et favorise le changement comportemental davantage que lorsque des propositions de changement sont anticipées et proposées par d'autres types d'acteurs.

S'agissant des attitudes pro-environnementales, les résultats de l'enquête indiquent que le degré de préoccupation à l'égard des questions environnementales prédit en quelque sorte la tolérance à la contrainte et donc la mise en place de comportements. En effet, les personnes les plus concernées préconisent des efforts consistant à supporter des prix de produits plus élevés, des coûts de traitement des eaux supérieurs, une perte de confort et de temps et vont même jusqu'à soutenir une réduction de médicaments pour les maux mineurs.

2.7 De la responsabilité au devoir d'agir

Qui devrait agir pour réduire les émissions de micropolluants ? Selon les répondants, c'est tout d'abord aux industriels d'agir, en lien avec leur responsabilité reconnue (pour leurs rejets dans les milieux naturels ou en lien avec leur fabrication de produits contenant des substances polluantes). Mais c'est ensuite aux élus d'agir (Figure 26). Cela renvoie, comme déjà mentionné, à une attente d'action de la part des élus dont le rôle doit être éclairé auprès des citoyens. On peut à nouveau s'interroger sur les moyens des élus pour faire face à la problématique des micropolluants, mais aussi sur les informations apportées par les scientifiques aux élus qui ont sans doute eux-mêmes, dans leur majorité, très peu de connaissances sur le sujet.

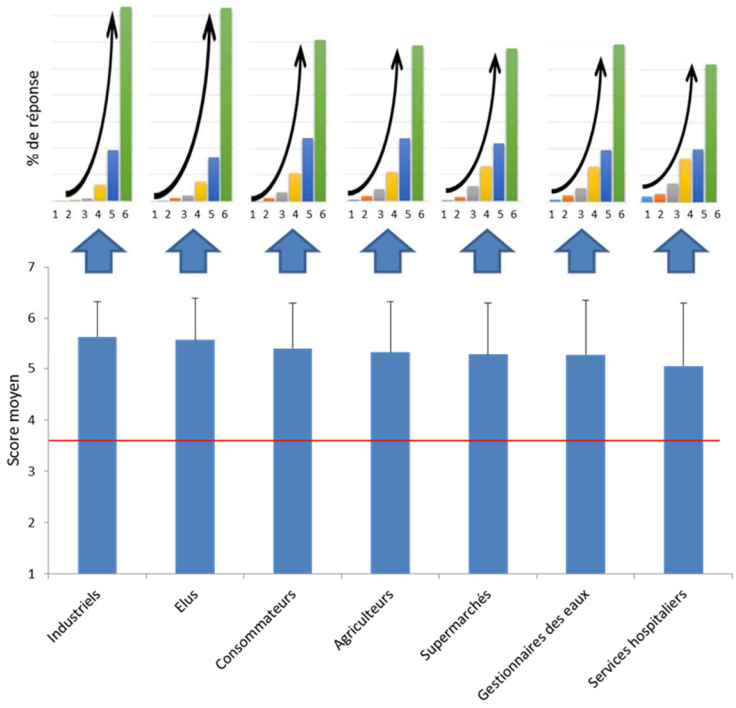


Figure 26. Acteurs devant agir pour la réduction des micropolluants (Q.38 : « Qui devrait agir pour réduire la présence de micropolluants dans les milieux aquatiques ? »).

Bien que se trouvant moins responsables que les acteurs précités, les répondants, en tant que consommateurs, estiment également devoir agir pour réduire la présence de micropolluants dans les milieux aquatiques. Ils s'estiment en quelque sorte dans l'obligation morale d'agir opposant la responsabilité au consentement à agir. Hormis le fait que ces déclarations donnent une image de générosité publique (« bien que peu responsable, je dois assumer cependant une part de responsabilité ! »), des motivations plus profondes sont sans doute à considérer. En effet, ces polluants représentent une cause d'inquiétude qu'il leur importe de réduire, si l'on s'en réfère au degré élevé de risque qu'ils jugent pour la santé. Pour ce faire, la mobilisation des acteurs économiques et des élus n'étant pas assurée à leurs yeux, ils se sentent dans l'obligation de s'impliquer aussi. Déjà, la très grande majorité d'entre eux déclare adopter des comportements ayant un impact minimal sur l'environnement même si cela leur paraît contraignant (Figure 27).

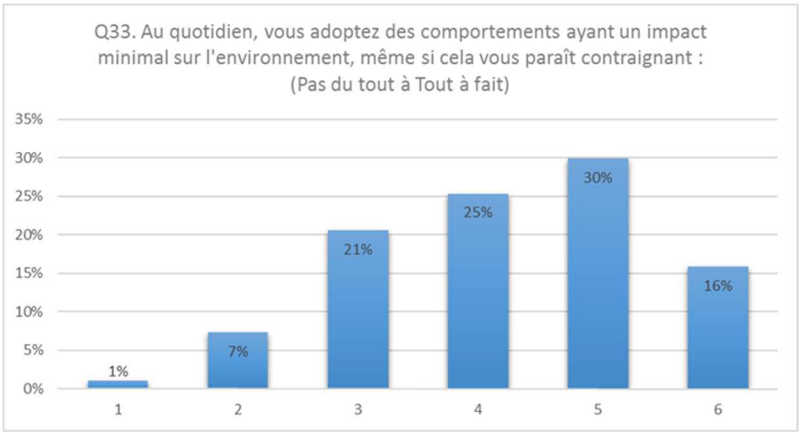


Figure 27. Réponses à la Q.33 : « Vous adoptez des comportements ayant un impact minimal sur l'environnement, même si cela vous paraît contraignant ».

Si on prend un peu de recul, on peut dire que l'imperceptibilité des micropolluants rend la maitrise de son exposition quasi-impossible pour l'usager et instaure une dépendance complète au savoir scientifique (et à la médiation de celui-ci à travers les pouvoirs publics, les associations, les médias etc.). Pourtant l'usager est en amont et en aval de l'eau : il se trouve en amont de sa pollution puisqu'il produit des eaux usées mais il se trouve aussi à l'autre bout de la chaîne puisqu'il consomme aussi l'eau ou des denrées provenant de l'eau. La méconnaissance de la nature technique de l'eau, et plus précisément du devenir de l'eau après leur utilisation, accentue cette déresponsabilisation des usagers.

Si les enquêtés se disent prêts à se mobiliser, ils conditionnent ces actions. Il faut que cela bénéficie à leur environnement proche, qu'il soit environnemental ou familial. Ainsi, le fait de « montrer » la pollution sur le territoire local peut amener les citoyens à agir. Le diagnostic territorial du projet REGARD paraît de ce fait beaucoup plus efficient qu'un diagnostic national. Ainsi, dans le choix des produits courants, l'environnement proche des citoyens serait sensiblement privilégié par rapport aux environnements lointains (régionaux ou nationaux), le positionnement du bien-être des proches par rapport aux autres prenant une position intermédiaire, et l'environnement des générations futures aurait une préférence par rapport à leur environnement actuel. Se pose la question de savoir comment ils imaginent préserver les générations futures tout en optant pour leur satisfaction personnelle actuelle ? Sachant que pour les répondants prêts à une telle implication, un soutien important de la part des structures associatives et des pouvoirs publics serait sans doute un levier d'action efficace en lien avec les actions nombreuses et permettrait notamment de clarifier le rôle des élus, comme évoqué précédemment.

2.8 La norme pro-environnementale

En lien avec les structures associatives, les résultats montrent également l'importance de l'influence groupale et des pratiques en lien avec la nature sur la préoccupation environnementale, résultat que l'on trouve de façon récurrente dans la littérature (Olivos *et al.*, 2011). Plus précisément, l'appartenance à une association de protection de l'environnement accroît la propension au pro-environnementalisme, tant au niveau des attitudes que des comportements.

Toutefois, malgré les déclarations de volonté d'agir, on observe la saillance de la norme environnementale qui explique notamment le « biais de conformité supérieure de soi » : en réponse à la volonté de se référer à la norme pro-environnementale, les enquêtés s'estiment largement plus préoccupés par les questions environnementales que les autres en général (Figure 28). Ce processus psychologique récurrent dans de nombreux champs liés à la prévention, a une répercussion immédiate sur la qualité de réception des messages de sensibilisation. En effet, plus on a une conformité supérieure de soi élevée, moins on se sent concerné par les messages préventifs qui « finalement ne s'adressent qu'aux autres !».

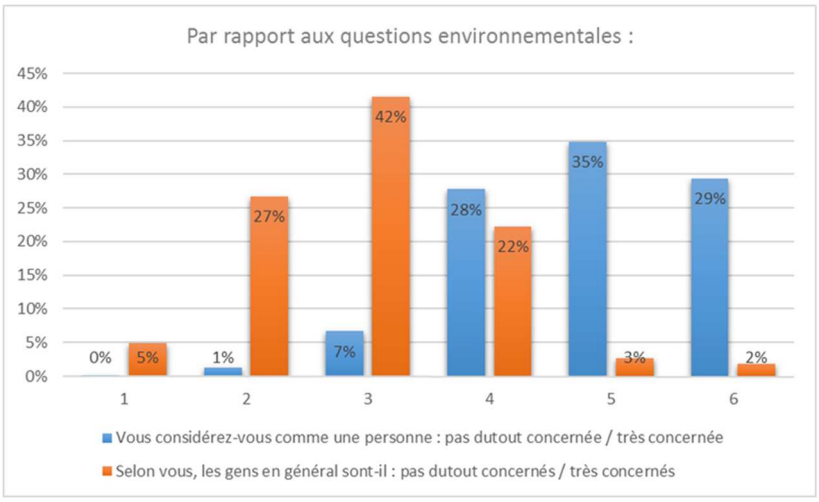


Figure 28. Illustration du biais de Conformité supérieure de soi (Q.39).

2.9 Les profils de répondants comme variable explicative

Afin de cibler et d'adapter au mieux les leviers d'action aux situations des ménages, il est intéressant de constituer des groupes de personnes (clusters) présentant si possible des profils similaires (à partir des déterminants sociodémographiques et économiques présents dans le questionnaire).

En l'état actuel de l'analyse des données, très peu de variables sociodémographiques n'ont d'effets directs sur la préoccupation environnementale (représentations et comportements) : aucun effet par exemple du niveau d'étude, de la CSP (Catégorie Socio-Professionnelle) ou du type de logement. Il existe en revanche conformément à la littérature (Félonneau & Causse, 2016) un léger effet du sexe qui associe les femmes à un pro-environnementalisme supérieur aux hommes. En revanche, l'effet le plus intéressant est obtenu à partir de la variable « revenus du ménage ». Les résultats montrent que l'on est d'autant plus préoccupé par l'environnement (en termes d'attitudes et de comportements auto-déclarés) que l'on dispose soit des revenus les plus faibles, soit des revenus les plus élevés. Les catégories en position moyenne paraissent les moins concernées[18]. D'une part, on peut penser que la norme environnementale est prégnante dans la partie de l'échantillon la plus favorisée économiquement, pour qui le pro-environnementalisme ferait l'objet d'une forte valorisation sociale et serait assimilée à un style de vie. D'autre part, pour les plus défavorisés, il correspondrait à une stratégie d'adaptation à des contraintes économiques liées au déclassement social (Inove.com, 2016).

2.10 Les freins à la prise de conscience de l'impact des micropolluants

En somme, les freins à la prise de conscience de l'impact des micropolluants sont liés à plusieurs facteurs, relatifs :

i) À la faible connaissance du cycle/circuit de l'eau et de la nature technique de l'eau,
ii) À la croyance en l'efficacité des stations de traitement des eaux usées (au point que pour certains on puisse boire immédiatement ensuite cette eau)
iii) À l'imperceptibilité des micropolluants
iv) À leur diversité dans une multitude de produits disponibles sur le marché (question du choix des consommateurs)
v) Au déficit de connaissances scientifiques sur les micropolluants qui laisse persister doutes et controverses quant à leurs impacts potentiels (environnement et santé)

[18] Contrairement à ce qui est souvent dit : que l'écologie est une valeur de classe moyenne

vi) À la difficulté de relier les usages de la sphère domestique à leur présence dans les eaux usées et à la pollution des milieux aquatiques.
vii) Au biais de conformité supérieure de soi en référence à la norme pro-environnementale qui rend moins efficaces les messages de prévention.

3. Leviers d'action préconisés

Sans doute, les individus sont-ils partagés entre l'idée diffuse d'une toxicité généralisée des produits (diffusée par les médias au sein de notre « société du risque ») et la difficulté à établir une continuité entre les différentes échelles spatiales (entre le chez-soi et le milieu aquatique en général, entre le cours d'eau à proximité et le grand fleuve plus lointain) et temporelles (mes consommations actuelles et leurs conséquences à long terme).

La question du choix (de consommation, d'exposition) est également importante à resituer ici. Si on s'autorise une illustration, il est couramment dit qu'il est moins dangereux d'habiter près d'une centrale nucléaire que de fumer des cigarettes, pourtant pour la plupart des gens, le risque perçu est plus grand dans le premier cas que dans le second parce que l'exposition au risque n'est pas volontaire, elle n'est pas le résultat d'un choix. De la même façon, la question du choix est importante dans la problématique des micropolluants. C'est la possibilité de choisir librement de son exposition ou de sa non-exposition à certaines molécules, qui détermine sa tolérance ou son intolérance. Par exemple, certaines molécules « toxiques » qui font l'objet d'utilisations thérapeutiques ne sont alors pas du tout « vues » de la même façon que si on y est exposé de manière involontaire. On a donc deux types de risques : les risques auxquels nous sommes prêts à nous exposer pour atteindre un bienfait et les risques qui n'ont pas d'intérêt pour nous. La question du choix est donc cruciale et doit être prise en compte.

- Il est donc nécessaire de personnaliser et relocaliser la question de la pollution des milieux aquatiques, en apportant aux individus des connaissances territorialisées concernant le petit cycle de l'eau et les impacts observés, à l'exemple de la synthèse réalisée sur le sujet et ciblée sur la métropole bordelaise dans le cadre du Living Lab (« Book », cf. Barrault *et al.*, 2016°).
- En lien avec l'invisibilité de la pollution de l'eau, cette personnalisation peut également être réalisée grâce à une reconnexion à l'environnement, par exemple par l'intermédiaire d'activités en lien avec la nature dont on sait qu'elles encouragent le pro-environnementalisme.
  Il est également important de faire entrer cette question dans la sphère privée c'est-à-dire à conférer un sens au changement de comportements domestiques, et préciser le lien entre comportements et rejets. Ces leviers d'action peuvent concerner les 3 phases de la consommation, lors de l'acquisition des produits, lors de leur usage ou lors de leur rejet. Par exemple, certaines pratiques (hygiène/soin du corps, entretien de la maison, ...) seront suivies par les ménages eux-mêmes lors de l'expérimentation « Familles EAU défi » mise en place dans le lot 3 du projet REGARD. Autre exemple concernant la phase d'acquisition et d'usage : des messages d'information et de sensibilisation renforçant les connaissances déjà acquises et surtout invitant les usagers à être plus attentifs aux produits utilisés et aux substances qu'ils contiennent pourraient être bénéfiques (même si les résultats nous montrent que les représentations ne sont pas forcément des prédicteurs du changement comportemental).
- Les leviers doivent aussi concerner le remplacement des produits « polluants » par d'autres « plus sains », (ce qui a souvent été observé à la suite de scandales impliquant le lien santé-environnement).
- Cependant, si cette substitution de produits est souvent plébiscitée par les consommateurs eux-mêmes, on peut se questionner sur l'innocuité totale des nouveaux

produits mis sur le marché, en matière d'impact sanitaire et environnemental. Ainsi, le levier d'action le plus efficace est sans doute d'éduquer les citoyens afin d'accroître leur expertise. A titre d'exemple de leviers d'actions : réduire le nombre de produits différents utilisés pour un même usage (pour réduire la diversité des substances associées aux produits) ; diminuer les quantités de produits utilisés pour un même usage (par des moyens techniques comme des systèmes de distribution de doses adaptées ou par des moyens comportementaux comme le fait de remplir le tambour de sa machine à laver…).

- Enfin concernant les « mauvais » rejets de substances (restes de peintures, médicaments périmés, huiles…) dans les éviers, toilettes et caniveaux, l'information et la sensibilisation est primordiale, comme l'étiquetage sur les produits, les messages de proximité en provenance des élus et des services de l'Eau.

Partie 3. Synthèse concernant la source pluviale

Cette partie présente la synthèse du livrable concernant la sous-tâche « source pluviale » de la tâche 1.2 du projet REGARD (Barillon et Ferré, 2016). A noter que ce travail réalisé sur la source pluviale a été réalisé de manière concertée avec la source « Collectivités » (Partie 4).

1. Introduction

L'urbanisation croissante et notamment l'imperméabilisation des sols en milieu urbain a accru les impacts des eaux pluviales : les volumes d'eau ruisselés sont plus importants et le lessivage des surfaces charge les eaux pluviales en polluants provenant de l'activité humaine. Il est à présent communément admis que les eaux pluviales sont des vecteurs de pollution et peuvent être responsables de pics toxiques dans les écosystèmes aquatiques. Un certain nombre de projets et de programmes de recherche ont, ces dernières années, mis en évidence la présence de micropolluants (MP) dans ces eaux pluviales et leur contribution significative à la pollution des milieux récepteurs.

La protection des plans d'eau, liée à la réglementation européenne, comme la Directive Cadre sur l'eau (2000), nécessite de savoir identifier, délimiter et quantifier les sources de contamination dans le but d'identifier les leviers d'actions possibles pour lutter en amont contre ces rejets de micropolluants. Dans le cas où ces sources ne pourraient être réduites, des solutions curatives telles que le traitement de ces eaux pluviales pourrait être envisagées afin de limiter l'émission de ces polluants dans les milieux récepteurs.

L'objectif de la sous-tâche 1.2.2 du projet REGARD est de répondre aux questions suivantes concernant la source pluviale :

- **Quelles sont les origines des MP présents dans la source pluviale ?**
- **Quelles actions peut-on mettre en place pour empêcher/réduire les rejets de MP ?**

Il s'agit donc d'identifier et de comprendre les différentes origines des micropolluants dues aux rejets par temps de pluie dans les systèmes aquatiques afin d'être en mesure de proposer des solutions de réduction ou de traitement.

Les eaux pluviales revêtent une importance particulière sur le territoire de Bordeaux Métropole qui est déjà engagée dans une stratégie de maîtrise des inondations et de réduction des rejets par temps de pluie avec la mise en place d'une gestion dynamique.

2. Sources des micropolluants dans les eaux pluviales

Les micropolluants présents dans les réseaux d'assainissement, unitaires ou séparatifs, ont plusieurs origines : la pollution atmosphérique, les eaux de ruissellement des surfaces urbaines et l'érosion des structures urbaines et la remise en suspension des dépôts dans les réseaux eux-mêmes. Les polluants issus des retombées sèches constituent un flux minoritaire même si non négligeable comparé au flux de polluants issus du ruissellement.

Dans cette étude, seules les sources liées aux eaux de ruissellement et à l'érosion des structures urbaines, pour lesquelles des actions de réduction à la source dans le périmètre d'une agglomération sont envisageables, ont été considérées.

Une revue bibliographique a permis d'identifier les sources et/ou agents à l'origine des émissions de micropolluants liées aux surfaces et structures urbaines.

2.1 Toitures

Les eaux de ruissellement sur les toitures sont essentiellement contaminées par des métaux, dans des concentrations variables selon le type de toiture.

Les HAP et pesticides présents sont issus des retombées atmosphériques sur la toiture. Cependant certaines molécules anti algues ou autres, comme par exemple la terbutryne utilisée comme biocide dans les peintures et matériaux de construction, peuvent provenir des peintures appliquées.

Matériaux composant les toitures

Les eaux ruissellant sur les toitures présentent des concentrations moyennes en Cd, Cu, Pb et Zn 4 à 6 fois plus élevées que les eaux de voiries et 20 à 30 fois supérieures à celles des EU de temps sec (Gromaire-Mertz, 2001).

Les matériaux utilisés (aluminium, zinc, etc.) influencent beaucoup la concentration des eaux de ruisselement. Les apports en zinc par les toitures entièrement revêtues de zinc sont de 5 à 60 fois supérieures à celles de toitures qui ne présentent aucune partie ou accessoire en zinc. (Gromaire-Mertz, 1998).
Les quantités de métaux issus du ruisselement sur toiture dépendent de nombreux paramètres environnementaux tels que le niveau de contamination atmosphérique, le volume des précipitations, l'acidité et l'intensité de la pluie, l'alternance des périodes sèches et humides, la vitesse et la direction du vent, mais aussi de certaines caractéristiques du matériau telles que l'âge et la composition par exemple.

Les toitures métalliques anciennes génèrent un plus large éventail de micropollutants dans les eaux de ruissellement. Les flux annuels en métaux sont plus importants. Par ailleurs, certains matériaux traités comme l'anthra-zinc entraine la libération de Ni.

Les matériaux de toitures métalliques les moins polluants sont l'aluminium, l'acier inoxydable et l'acier galvanisé pré-peint. Les matériaux de gouttières les moins contaminants sont l'aluminium (pré-peint ou non). Les meilleurs choix de matériaux sont : la tuile, l'ardoise, le ciment et le béton à condition qu'il n'y ait aucun élément en Zn ou Cu.

Produits d'entretien des toitures

Il existe diffférents produits d'entretien des toitures (d'après Van de Voorde, 2012, Tableau 14) :

Tableau 14. Liste des produits d'entretien des toitures.

Produits	Composition	Commentaires
Produits de nettoyage	Détergents alcalins, tensioactifs anioniques	
Produits de traitement	Biocides, fongicides et agents de surface Contiennent en général du chlorure de benzalkonium	
Produits imperméabilisants	Peuvent contenir des hydrocarbures	Surtout répandus sur les toitures anciennes
Peintures de toitures	Certaines contiennent pyrithoine de zinc et terbutryne (juqu'à 1%)	

4 produits de démoussage et nettoyage/décapage de toiture ont été analysés dans l'étude « *DCE & Artisanat* ». Parmi les substances analysées, 14 ont été quantifiées dans les produits (dilués aux concentrations d'utilisation pour se rapprocher le plus possible des conditions de rejets sur chantiers) à des concentrations supérieures aux Normes de Qualité Environnementale ou aux Valeurs Guides Environnementales : (1) Métaux : Mercure, Plomb, Nickel, Chrome, Cuivre, Arsenic et Titane, (2) BTEX: *Xylènes, Toluène et Ethylbenzène*, (3) Alkylphénols : Ethoxylates de

Nonylphénols, (4) Chlorophénols : 2,4-dichlorophénol et (5) Autres : Fluorures et Formaldéhyde[19].

2.2 Voiries

Les micropolluants issus de la voirie sont essentiellement des métaux. Les eaux de ruissellement de voiries présentent aussi de fortes concentrations en HAP. La présence des HAP est due principalement aux dépôts générés par le trafic routier provenant de la combustion des carburants ou de fuites d'huiles et graisses.

Bitume et mobilier urbain

Les bitumes peuvent être des agents d'émission de HAP (naphtalène et le phénanthrène). Ils contiennent aussi des métaux en mélanges complexes.

Certains éléments en bois présents sur la voirie (poteaux électriques, etc.) peuvent être traités à la créosote pour ses propriétés biocides et leurs caractéristiques hydrofuges. Ainsi, les HAP présents dans celles-ci permettent de lutter efficacement contre la pourriture.

L'utilisation de créosote est fortement limitée par la réglementation mais il est possible d'en utiliser pour la préservation du bois par dérogation.

Les peintures de marquage au sol sont également à l'origine d'une émission potentielle de métaux (Chocat,1997), en particulier le Pb.

Les glissières contribuent en grande partie aux flux de Zn dans les eaux de ruissellement sur la chaussée.

Véhicules

Les pneumatiques de véhicules contiennent des métaux, notamment Zn, et des HAP. Les plaquettes de frein peuvent générer des métaux : Cu, Pb, Zn. Leur abrasion est l'agent principal du Cu issu des voiries.

Usage des voiries

Certains sels de déneigement, selon leur provenance, contiennent des métaux.

D'autres micropolluants ont pour origine les déchets des habitants des villes tels que les déchetteries illégales, les déjections canines, les mégots de cigarettes. Ces déchets sont à l'origine de chlorométhane (CH_3Cl) et de HAP (Zgheib, 2009).

Les activités artisanales peuvent être à l'origine de micropolluants si leurs eaux de lavage et rinçage sont éliminées dans les caniveaux des voiries. (Fischer, 2014). Ces activités (sédentaires ou sur chantiers) peuvent être : (i) Garages, carénage et carrosserie métiers de l'automobile, (ii) Imprimerie, (iii) Prothésiste dentaire, (iv) Coiffure, (v) Pressing, (vi) Métiers du bois, (vii) Peinture de bâtiment et (viii) Nettoyage de locaux.

2.3 Façades

Les activités du bâtiment et travaux publics ont pour matériaux principaux les métaux, ciments, bois, peintures et plastiques/PVC. Les revêtements les plus courants sont les additifs,

[19] En italique sont indiquées les substances quantifiées à des concentrations maximales importantes par rapport aux VGE (valeurs Guide Environnementales) ou aux NQE (Norme de Qualité Environnementale)

retardateurs de flammes, agents biocides et plastifiants. Les micropolluants organiques et non-organiques constituants de ces matériaux sont très diversifiés et jusqu'à présent peu identifiés.

En Europe le Pb est un additif fréquemment utilisé lors de la fabrication du PVC afin d'augmenter sa résistance. L'influence des radiations UV, de l'acidité de l'eau et de la concentrations en anions sur le relargage du plomb dans le PVC a été démontré (Al-Malack, 2001). De nombreux métaux sont également retrouvés dans les peintures (métaux biocides, comme le titane et l'argent et les produits de traitement). Des façades en bois peint peuvent par exemple être à l'origine d'émissions de Pb ou Ag. Kaegi a étudié les emissions de nanoparticules de Ag issus de ruisselement d'eau de pluie sur des peintures d'extérieur fraichement appliquées (Kaegi, 2010).

Les biocides sont régulièrement incorporés dans les peintures et autres revêtements afin de prévenir du développement de végétaux et microorganismes. De nombreuses études montrent que les biocides peuvent être libérés lors du ruissellement d'eau de pluie sur certaines façades. Des concentrations de l'ordre du µg/L de biocides ont été détectées dans les eaux de ruissellement de réseaux séparatifs (Plagellat, 2004). Les composés principaux recherchés sont le diuron et l'isothiazolinone, mais également la terbutryne et la carbendazime.

La grande diversité des molécules en jeu et l'apparition continuelle de nouveaux composés de synthèse rend la description des micropolluants originaires du BTP difficile. Les émissions de micropolluants provenant de matériaux du BTP ne semblent pas suivre une tendance saisonnière, à la différence des pesticides de l'agriculture.

2.4 Entretien des cimetières

Parmi tous les espaces susceptibles d'être désherbés en ville (cimetières, terrains de sport, trottoirs, parcs), ce sont les cimetières et les terrains de sport qui nécessitent encore le plus l'utilisation de produits phytosanitaires. Le traitement des cimetières est problématique car les pesticides sont directement déposés sur les sols bétonnés et imperméables, puis entrainés par ruissellement. Le programme Compamed estime qu'un cimetière est traité 3 fois par an, à raison de 656,4 g/ha de glyphosate.

2.5 Entretien des chemins de fer

Une prolifération de la végétation sur les voies de chemin de fer peut entraîner une diminution de la visibilité des conducteurs de trains, le patinage des trains et l'usure des ouvrages de génie civil. L'utilisation de pesticides est alors obligatoire (Les traitements chimiques de la végétation des voies ferrées par la SNCF, 2016).

La SNCF utilise par ailleurs des créosotes lourdes (distillation entre 200 et 450°C) pour les traverses de chemin de fer. Leur usage décroît au profit des traverses en béton (utilisées pour l'entretien de lignes traditionnelles existantes).

D'après le département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, les substances ayant pour origine les voies de chemin de fer sont les HAP issus des traverses en bois, les métaux tels que Fe, Cu, Zn, Cr et Ni. Ce sont les composants de la ligne de contact, du matériel roulant et notamment des freins ainsi que des rails (fer seulement) et les pesticides. Depuis les années 90 le glyphosate est utilisé et, dans des cas particuliers, le Triclopyr. Il n'existe cependant pas de données sur les flux associés.

Pour synthétiser, les agents à l'origine de micropolluants dans les eaux pluviales concernent les matériaux (toitures, bitumes, mobilier urbain), les produits et pratiques d'entretien (toitures et façades, voiries, cimetières, chemins de fer), ainsi que l'usage des véhicules (usure, fuites).

3. Origine des micropolluants sur le territoire de Bordeaux Métropole

Cette 2ème étape de l'étude a consisté à réaliser des interviews et des enquêtes terrain auprès d'usagers, de professionnels (artisans, commerçants) ainsi que des observations terrain dans des quartiers urbains choisis de Bordeaux Métropole dans le but d'identifier les pratiques et les usages qui seraient susceptibles de contribuer à l'émission de micropolluants dans les eaux pluviales. Ces émissions ont été recherchées principalement parmi les sources de micropolluants liées aux surfaces et structures urbaines décrites dans la section 2.

3.1 Enquête terrain sur les pratiques liées aux surfaces et structures urbaines

Objectif : étudier simultanément les pratiques liées aux voiries (entretien, peinture au sol), aux façades (ravalement, peinture anti-urine et nettoyage des tags), aux usagers, aux artisans, aux commerçants.

Périmètre : Milieu *urbain*, préférentiellement connecté à un réseau séparatif, même si ce n'est en général pas le cas des zones du centre-ville bordelais : (i) Quartier de la cathédrale Saint André (Bordeaux) densément emprunté par les piétons, (ii) Marché de Saint Michel et des Capucins (Bordeaux), (iii) Quartier densément emprunté par les automobilistes, Boulevard du Président Franklin Roosevelt (Bordeaux) et (iv) Quartier résidentiel de la ville de Talence avec un parc.

Méthodologie :

- Tous les éléments potentiellement polluants sont notés : décharges illégales, produits déversés dans les caniveaux par des passants ou des artisans, autres déchets notables.
- Observation des pratiques couplée à l'interview d'usagers et de commerçants par le biais d'un questionnaire court et simplifié.
- Contacts et enquêtes auprès de différents services techniques de la ville de Bordeaux (cf. Point 3 sur la source « Collectivités »).

Résultats :

- Issus du questionnaire : pour les usagers de la voirie de Bordeaux, les résultats sont peu concluants : habitués des questionnaires de rue, les piétons n'ont pas donné d'informations utiles pour le projet REGARD : faible fréquence des phénomènes recherchés et capacité limitée des passants à observer des évènements marquants.
- Observations principales :
  - Présence de poubelles débordantes sur les trottoirs *(*cartons, postes de matériel électro-ménager usagés, etc.) ;
  - Aucun déversement illégal dans les caniveaux n'a été observé. La faible fréquence de ce type de pratique peut expliquer ce résultat ;
  - Aucun déversement suspect par des artisans travaillant sur les façades de bâtiment n'a pu être observé.

- Autres enquêtes :
  - Les produits suivants (Tableau 15), pouvant ruisseler vers les avaloirs, sont utilisés pour le nettoyage des espaces publics : trottoirs, routes, places publiques, abords de fontaines, …) :

Tableau 15 : Produits utilisés pour le nettoyage des espaces publics, pouvant ruisseler vers mes avaloirs.

Produit	Détails	Utilisation	Substance active
Decol'Affiches	Détergent	Décoller les affiches Utilisation faible	Anionique
Ecotar	Antitartre corrosif sans phosphate et non fumant	Pulvérisation puis rinçage à l'eau autour des bassins et des fontaines (non dilué)	Acide méthanesulfonique
Stopmous Pro	Anti-mousse corrosif	Élimination des mousses végétales des fontaines (non dilué)	Ion ammonium quaternaire
Major NM880	Dégraissant corrosif	Dans les nettoyeuses pour dégraisser les rues piétonnes. Produit réabsorbé par la machine mais restes sur la route (dilution à 2%)	Hydroxyde de potassium
Lit Sol Indus	Nettoyant pour sols industriels, corrosif et décapant	Même application que la Major (dilution à 5%)	Non disponible
Masquodor	Lutte contre les odeurs	Dans les nettoyeuses (dilution jusqu'à 500 x)	Composés aromatiques

- Activités des façades : les pompes à béton souvent postées en bordures de chantier peuvent être à l'origine de salissures et de déversement d'eaux dans les avaloirs : émission potentielle de graisses, d'hydrocarbures et de métaux.
- Marquage au sol pour les travaux. Ces peintures peuvent contenir différents polluants tels que des métaux.
- Élimination des tags : 2 produits biodégradables utilisés, appliquées au pinceau sur les murs tagués : Le STG5 Bio et le STG3 Bio dont les substances actives sont le N-Méthyl-2-pyrrolidone et Hydroxy méthyl cellulose respectivement.

3.2 Enquête sur les pratiques du traitement des toitures

Méthodologie : Interviews téléphoniques avec des couvreurs, des professionnels du nettoyage de toitures, les grandes surfaces et fournisseurs de produits de nettoyage et traitement de toiture.

Résultats :

Grandes surfaces et revendeurs :

Ils fournissent les particuliers et les professionnels en une grande variété de produits antimousses, anti-algues, nettoyants, imperméabilisants et hydrofuges.
Le composé retrouvé le plus souvent est le chlorure de benzalkonium, de la famille des ammoniums quaternaires. D'une manière générale, la quantité d'ammoniums quaternaires épandue par mètre carré de toiture est toujours du même ordre de grandeur quelques soient les produits, soit *4 à 8 g/m².*
L'un des produits antimousses vendu, le SIKA a été par ailleurs analysé par le CNIDEP. Les micropolluants suivants ont été détectés : benzène (2.6 µg/L), Chrome (0.01 mg/L), 2-4dichlorophénol (2.2 µg/L), toluène (16 µg/L).
La plupart de ces produits sont vendus comme hautement biodégradables (> 90% de biodégradabilité).
Les produits antimousses utilisés sont vendus sans conseils particuliers vis-à-vis de la protection de l'environnement et des milieux récepteurs. Les ventes se font majoritairement dans l'intervalle printemps-automne.

Professionnels de l'entretien des toitures

Les produits antimousses utilisés sont majoritairement des solutions aqueuses de sels d'ammoniums quaternaires.

L'un des produits utilisés contient de l'isothiazolinon et de la terbutryne (Technicide+, Techniclean). Le produit concentré a par ailleurs été analysé par le CNIDEP. Les micropolluants suivants ont été détectés : benzène (1.8 µg/L), tétrachloroéthylène-1,1,2,2 (0.9 µg/L), 2,4-dichlorophénol (34 µg/L), ethyl-benzène (16 µg/L), toluène (3.1 µg/L), xylène (13 µg/L).

3.3 Enquête sur les pratiques liées aux espaces verts

Parmi tous les espaces susceptibles d'être désherbés en ville (cimetières, terrains de sport, trottoirs, parcs, …), cimetières et terrains de sport sont ceux dont l'entretien nécessite l'utilisation la plus importante de produits phytosanitaires. En 2015, 14 communes de l'agglomération de Bordeaux utilisent des produits phytosanitaires.
Pour ces cimetières, entre 5 et 10L de chaque produit sont utilisés chaque année par cimetière. Les trois produits les plus utilisés au sein des communes sont les suivants (Tableau 16) :

Tableau 16 : Liste des produits phytosanitaires utilisés pour le désherbage au sein des cimetières.

Produit	Usage	Substance active
Round up	Herbicide	Sel d'isopropylamine de glyphosate
Aikido	Herbicide	Flazasulfuron
Katoun	Herbicide « biologique »	Acide pélargonique

Pour les terrains de sports, en 2015, 15 communes utilisent des produits phytosanitaires. Une politique « zéro phytosanitaire » est appliquée sur certains terrains mais jamais à l'échelle globale d'une commune. Viennent compléter la liste des produits mentionnés pour l'entretien des cimetières (Tableau 17) :

Tableau 17 : Liste des produits phytosanitaires utilisés au niveau des terrains de sport.

Produit	Usage	Substance active
Greenor	Désherbant sélectif des gazons graminées	MCPA sel de potassium
Enclean	Anti-mousse concentré biologique	Acide nonanoïque
Floranid gazon	Engrais chimique	Azote + anhydride sulfurique

3.4 Autres agents d'émission

Aux agents d'émission précédemment cités, il faut aussi rajouter celles des activités rejetant légalement leurs eaux dans le réseau pluvial. Conformément à l'article L.1331-10 du Code de la Santé Publique, Bordeaux Métropole délivre les autorisations de déversement des eaux usées autres que domestiques au réseau d'assainissement à des industriels, artisans et commerçants situés sur le territoire métropolitain.

11 entreprises ont été répertoriées par la SGAC. Cette liste est donc non exhaustive et peut être non représentative des rejets d'eaux usées autres que domestiques dans le réseau pluvial. La SGAC ne possède des mesures de polluants que pour 4 de ces établissements (Tableau 18) :

Tableau 18 : Liste de polluants identifiés dans le réseau d'eau pluvial.

Activité	Principaux polluants détectés (contrôles inopinés)
Station de nettoyage de camions	HAP, Al, Zn Cu
Fabrication d'accumulateurs	Zn, Cd, Cr, Cu, HAP (naphthalene, anthracene, fluoranthene), nonylphenols,
Fabrication du béton	Métaux : Cu, Al, Zn, Mn, Fe, Ti
Fabrication du vin	Métaux, chloroforme, dibutylétain cation, nonylphénols, trichloroéthylène

4. Leviers d'action de réduction à la source

Les leviers d'action qu'il serait possible d'actionner afin de réduire les pollutions en micropolluants de la source pluviale peuvent être soit préventifs soit curatifs (Tableau 19).
Les leviers préventifs auront pour objectif de réduire les micropolluants à la source ou d'éviter d'introduire les substances dangereuses dans les réseaux pluviaux. Malgré tout, certaines solutions curatives de traitement avant rejet en milieu récepteur pour certains déversements très polluants peuvent également être des leviers efficaces à développer.
Les leviers d'actions, identifiés pour limiter les émissions de micropolluants, liées aux surfaces et structures urbaines ou liées aux pratiques et usages en milieu urbain, dans les eaux pluviales ou bien pour limiter la charge de micropolluants rejetés en milieu naturel à l'exutoire des réseaux pluviaux sont résumés dans les tableaux ci-après.
Dans le cadre des leviers de type préventifs et pour chacune des sources d'émission sont indiqués :

- Les micropolluants concernés ;
- La liste des leviers identifiés ;
- Les freins potentiels liés à la mise en place de ces actions.

Tableau 19. Leviers d'action pour réduire les micropolluants dans la source pluviale.

Source	Micropolluants ciblés	Leviers	Commentaires	Freins potentiels
PREVENTIF				
Toitures	Métaux : Pb, Cu, Cd, Zn, Fe	**Remplacement des toitures anciennes** et **privilégier les matériaux non métalliques** pour les nouvelles constructions	**Matériaux non métalliques** : *tuile, l'ardoise, le ciment ou le béton*. Proscrire tout élément de jointure en Zn, Pb ou Cu **Matériaux de toitures métalliques** les moins polluants : aluminium, acier inoxydable et acier galvanisé pré-peint.	Coût
			Toitures végétalisées : forte capacité de rétention hydraulique et des métaux, avantage pour la récupération d'eau de pluie	Composition des rejets dépendante des conditions hydriques, de l'épaisseur de la toiture, du type de végétaux, composants de la toiture… Rejets en nonylphenols déjà mesurés
	Métaux Alkylphénols Organoétains HAP Chlorophénols BTEX Phtalates Pesticides COHV	Nettoyage manuel des toitures	Utilisation d'une brosse dure et rinçage à l'eau (nettoyeur haute pression)	Procédure contraignante
		Optimisation de la dose de produits anti-mousse	Quantité souvent employée de façon empirique	Aucun
		Récupération et traitement des eaux de rinçage après traitement		- Coût de modification du système de gouttières - Traitement à identifier
		Traitement avec produit biodégradable		Analyses du produit à effectuer avant recommandation
Voiries	Métaux : Cd, Pb, Ni, Cr, Cu, Zn HAP	**Traitement à la source** des eaux issues du ruissellement par **dispositif** de décantation/ filtration/ adsorption	Exemples des solutions testées dans le projet ROULEPUR ou dans le projet REGARD (parking perméable, filtre planté horizontal, accotements végétalisés, dispositif compact de décantation)	Peu d'évaluations in situ à ce jour
		Infiltration à la source des eaux issues du ruissellement	- revêtement voies rapides : route poreuse - revêtement voies lentes et parkings : route perméable - revêtement spécifiques des trottoirs	Coût
	Zn	**Remplacement des matériaux des glissières de sécurité** (bois sans traitement)		Prix d'achat équivalent mais durée de vie 2 fois plus courtes (15 ans vs 30)
	Produits pharmaceutiques Hormones	**Utilisation de sanitaires** par ex. de type « Pop Up » (UriLift)	Limiter les « incivilités » des piétons: sanitaires: unités logées sous le niveau de la rue pouvant sortir au niveau du sol et être disponible gratuitement pour les piétons. Les sanitaires sont connectés au réseau d'eaux usées	Acceptation par les usagers
	Produits pharmaceutiques	**Utilisation de peinture anti-urine**	Ex : peinture UtraEver Dry d'Ultratech	Prix : 500 € / 6m2 Adhérence de la peinture aux murs de pierre

Source	Micropolluants ciblés	Leviers	Commentaires	Freins potentiels
Façades	Métaux Alkylphénols Organoétains HAP Chlorophénols BTEX Phtalates Pesticides COHV Autres : phénols, formaldéhyde,..	**Décapage à la brosse métallique**	Employé par un artisan lors de l'enquête	Méthode longue
		Décapage à l'amidon de blé	Pas d'utilisation de produits chimiques : projection de particules d'amidon 0.8-1.5 mm par air comprimé 08-3 bar	Aucun identifié
		Décapage au laser	Impulsion lumineuse du laser transforme les 1ers µm de la couche à éliminer en plasma puis détente du plasma éjectant les polluants	Aucun ?
		Utilisation de peintures naturelles / biologiques		Analyses du produit à effectuer avant recommandation Coûts plus élevés
Gestion des espaces verts, cimetières et terrains de sport	Pesticides	**Sensibilisation / Communication** auprès des riverains et usagers	Prise de conscience des dangers liés aux produits phytosanitaires	Acceptation des changements de pratiques
		Gestion différenciée des espaces	Principe : limiter l'entretien et les traitements phytosanitaires et favoriser le développement d'une diversité faunistique et floristique. Utilisation de nouvelles techniques permettant de réduire les consommations de pesticides : désherbeur thermique, lutte biologique,…	Acceptation des changements de pratiques du fait de la remise en cause de la culture professionnelle des employés des jardins et de la propreté Couts supplémentaires (surcoût main d'œuvre)
		Interdiction à la vente des herbicides dangereux		Réglementaire
		Utilisation des produits biologiques		Analyses du produit à effectuer avant recommandation Coûts plus élevés
CURATIF				
Réseau pluvial	Pesticides, métaux, HAP, substances pharmaceutiques,.	**Traitement innovant des micropolluants**	Filtre technologie Salsnes avec coagulant/floculant et charbon actif si nécessaire. Pilote testé dans la phase suivante du projet REGARD	Analyse technico-économique à effectuer

Partie 4. Synthèse concernant la source Collectivités

Le document présente les principaux résultats des investigations menées dans le cadre de deux stages de master 2, (février à août 2016 et avril à septembre 2017), concernant l' « Etude de la prise en compte de la problématique des micropolluants au sein des services publics territoriaux » qui se sont déroulés au sein de la Direction de l'eau de Bordeaux Métropole (Buil, 2016 et Philippe, 2017). Une partie des résultats de ce travail a été présenté dans le livrable concernant la sous-tâche « source Collectivités » de la tâche 1.2 du projet REGARD (Pouly et Buil, 2016). A noter que ce travail a été réalisé de manière concertée avec la source « Pluviale » (Partie 3).

1. Les services urbains potentiellement émetteurs de micropolluants

L'état des lieux des services urbains potentiellement émetteurs de micropolluants identifie 10 thématiques susceptibles d'être concernées par cette problématique (Figure 29) :

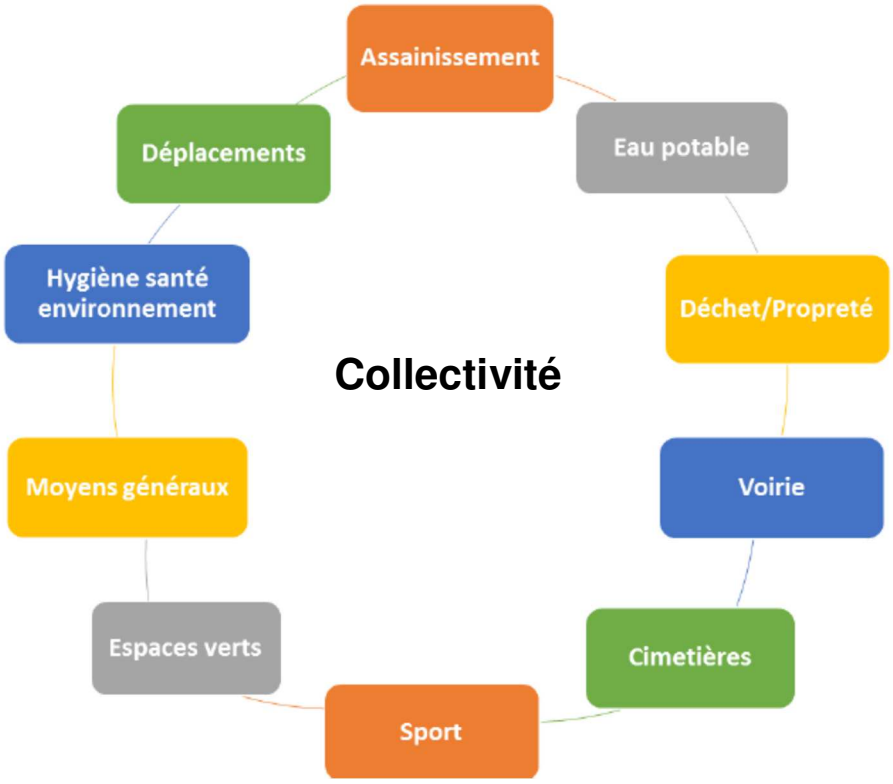


Figure 29. Etat des lieux des services urbains potentiellement émetteurs de micropolluants.

2. Les activités potentiellement émettrices

Pour chacune des 10 thématiques identifiées, les principales activités potentiellement émettrices de micropolluants tant au niveau des eaux usées que des eaux pluviales sont mentionnées ci-dessous (Figure 30).

Il ressort de l'analyse des activités pratiquées au sein de chacun de ces services que, pour la quasi-totalité d'entre elles, les émissions de micropolluants sont susceptibles de concerner les eaux usées comme les eaux pluviales.

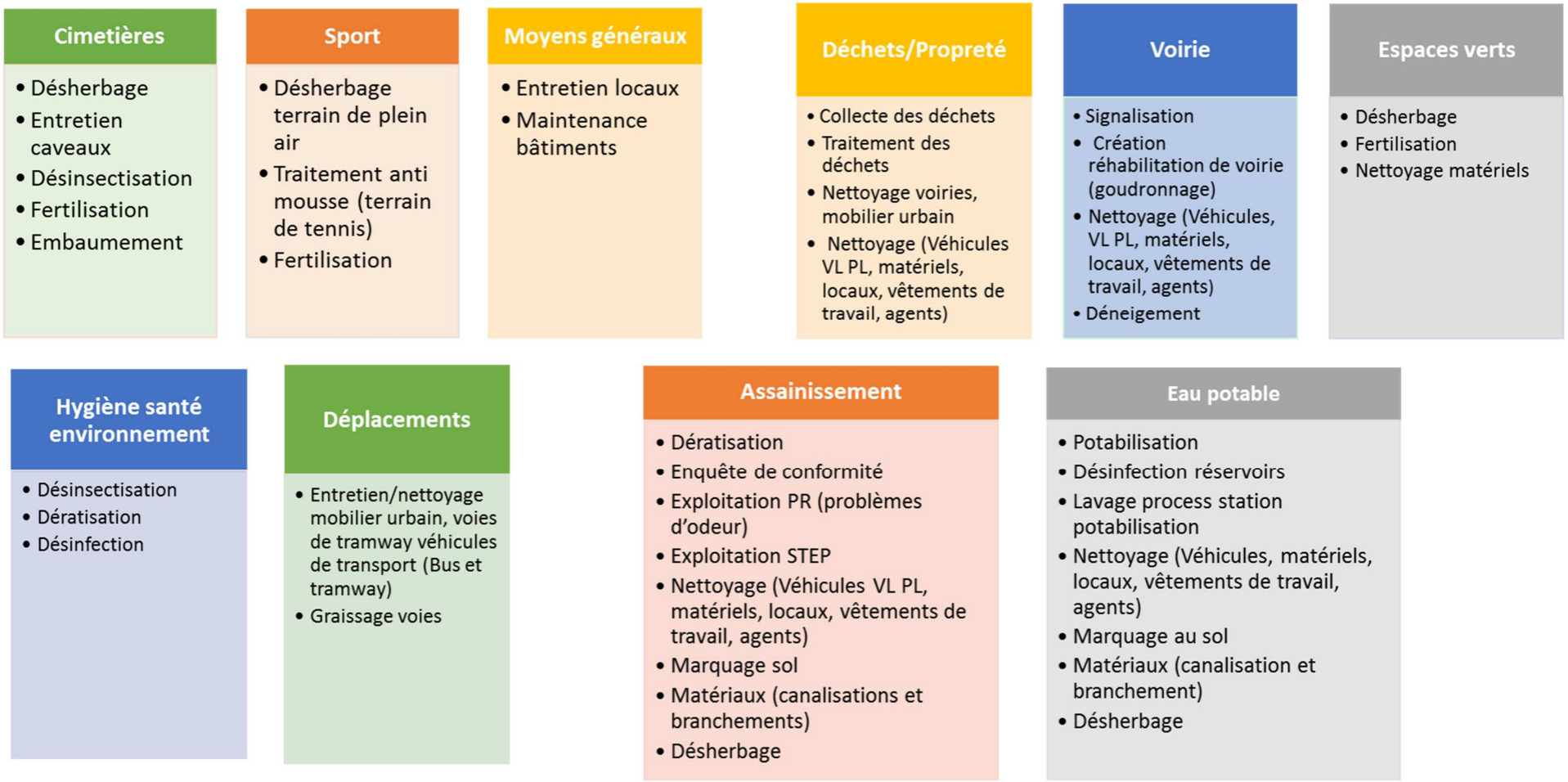


Figure 30. Activités potentiellement émettrices de micropolluants au sein des différents services de la collectivité.

3. Prise en compte des micropolluants au sein de Bordeaux Métropole et des communes

En 2016, les entretiens réalisés au sein des différents services de Bordeaux Métropole mais également au sein des communes du territoire métropolitain (Figure 31) ont permis :

- De recueillir des informations,
- De jauger le degré de connaissance et le niveau de prise en compte de la problématique des micropolluants,
- Le cas échéant identifier les actions de réduction déjà mises en place,
- D'évoquer les leviers et les freins pour réduire les émissions de micropolluants à la source.

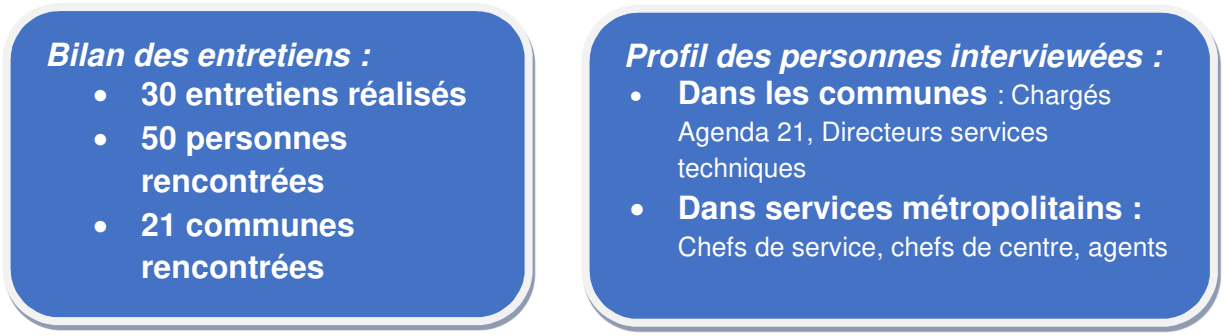


Figure 31. Bilan des entretiens 2016 pour la source « Collectivités ».

Globalement, le terme « micropolluants » n'est pas connu de la majorité des personnes interviewées.

Les micropolluants sont assimilés aux produits phytosanitaires. En effet, cette problématique est commune à plusieurs services urbains qui sont sensibilisés compte tenu des obligations règlementaires fixées notamment par la loi Transition énergétique pour la croissance verte à partir du 1er janvier 2017.

Au niveau des politiques métropolitaines et communales (notamment achat, développement durable) la prise en compte des micropolluants se fait de manière indirecte et cette problématique ne constitue pas un sujet en tant que tel.

En 2017, des investigations complémentaires ont été réalisées avec une approche psychosociale sur la thématique des pesticides (Figure 32).
Un focus a été fait sur le cas particuliers des cimetières qui ne sont pas concernés de manière systématique par la loi « Transition énergétique » et l'interdiction d'usage des pesticides dans les espaces publics. Ainsi au travers de rencontres avec les gestionnaires et d'exemples de cimetières déjà passés au « zéro-phyto » ou au contraire retissant à le devenir, les freins (ex. la perception des usagers, le temps d'entretien nécessaire), les moteurs (ex. préservation de la santé et de l'environnement) et les techniques alternatives (enherbement, gestion différenciée, nouvelles conceptions du cimetière, etc.) à l'arrêt des pesticides, herbicides en particuliers, ont pu être identifiés et des pistes d'action élaborées pour y remédier.
En outre, une enquête a été réalisée auprès d'habitants de Bordeaux Métropole afin de connaitre le seuil de tolérance de la végétation spontanée au niveau des espaces publics (trottoirs, notamment) consécutive à l'arrêt d'utilisation de pesticides obligatoire depuis le 1er janvier 2017 mais déjà en vigueur sur de nombreuses communes de la métropole depuis plusieurs années. L'étude a montré que 96% des répondants sont conscients du danger des pesticides et 74%

d'entre eux acceptent de laisser pousser cette végétation à condition que celle-ci soit entretenue. La végétation est acceptée dès lors qu'elle n'évoque pas la notion d'« abandon » ou de « saleté » et qu'elle ne gêne en rien la sécurité des usagers.

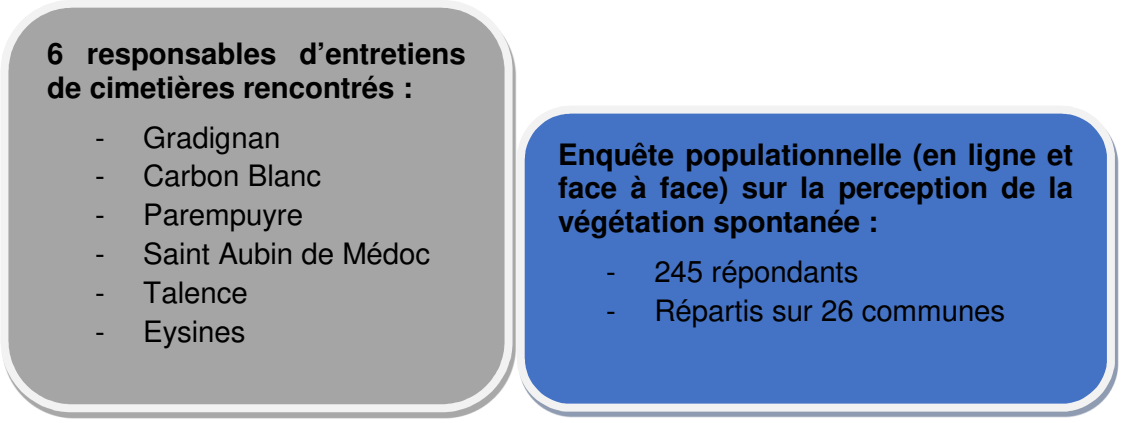


Figure 32 : Investigations complémentaires réalisées avec une approche psychosociale sur la thématique des pesticides.

3.1 Politiques achat

Depuis 2007, une politique d'achat durable est mise en œuvre à Bordeaux Métropole. Un guide dématérialisé est à la disposition des acheteurs pour intégrer le développement durable à différents stades du processus d'achat :

- Préparation du marché public ;
- Sélection des candidats ;
- Définition des conditions d'exécution d'un marché dans le CCTP (Cahier des Clauses Techniques particulières) ;
- Définition des critères de choix des offres.

Par ailleurs, un référentiel achat durable propose, par thématique, des clauses « développement durable » pour les marchés de travaux, fournitures et services.

3.2 Politique de développement durable

La quasi-totalité des communes de la métropole et Bordeaux Métropole disposent d'un agenda 21. Toutefois la plupart de ces agendas 21 arrivent en fin de cycle et ne sont pas reconduits sous cette forme. La politique de développement durable au sein de Bordeaux Métropole est en cours de révision. A ce stade, la problématique des micropolluants encore peu connue n'est quant à elle pas évoquée spécifiquement mais est abordée essentiellement sous l'angle des produits phytosanitaires.

3.3 Politique de l'eau de Bordeaux Métropole

Seule la politique de l'eau de Bordeaux Métropole adoptée le 16 décembre 2011 prend en compte explicitement et spécifiquement cette problématique en tant que telle.

4. Focus sur les émissions dans les eaux usées

Les principales émissions de micropolluants dans les eaux usées peuvent être rassemblées en 3 « groupes » (Figure 33).

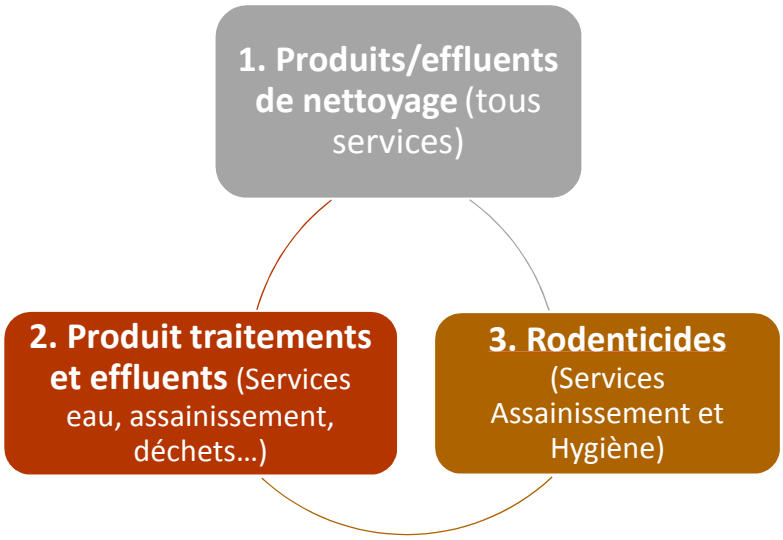


Figure 33. Les trois catégories concernant l'émission des micropolluants par la collectivité.

1. Les émissions de micropolluants dans les eaux usées proviennent essentiellement des activités de nettoyages/entretiens des véhicules, locaux, bâtiments, matériels/outils, vêtements de travail et des personnes (exemple : produit d'hygiène corporel utilisés pendant la douche). Ces activités de lavage sont d'importances variables selon les thématiques mais sont communes aux 10 thématiques précitées (Figure 29).

> *A noter : selon les thématiques et selon les activités de lavage, des dispositifs de prétraitement des eaux usées peuvent être installés. Les ouvrages les plus fréquemment rencontrés sont les débourbeurs-séparateurs à hydrocarbures.*

2. Ces nettoyages peuvent entrainer des émissions de micropolluants de par :
- Les produits lavant utilisés (détergents, solvant…,) et les doses employées,
- Les souillures lavées,
- La désagrégation/ entrainement des matériaux lavés.

3. D'autres produits liés à des activités spécifiques sont également susceptibles de générer des émissions de micropolluants dans les eaux usées :
- Rodenticides utilisés par les services de l'assainissement et Hygiène-Santé-Environnement pour la dératisation,
- Produits utilisés pour les traitements dans les stations d'épuration, les usines d'eau potables, et les stations d'épuration des UIOM (usine incinération des ordures ménagères) et les effluents générés.

Tableau 20. Exemple de données de consommation annuelle des produits par les services de la collectivité.

Services	Produits	Quantités (2015)
Assainissement	Chlorure ferrique (FeCl3)	1 479 tonnes par an
Eau	Sels d'aluminium	151 tonnes par an
Assainissement et Hygiène – Environnement - Santé	Rodenticide	1 316 kg/an
Eau - Assainissement - Déchets	Produits de nettoyage (Détergents…)	9000 litres environ

Concernant les produits de nettoyage, nous disposons seulement des données de 4 services. Nous constatons une grande diversité de produits utilisés et des quantités importantes

consommées (Tableau 20). Toutefois d'autres services sont potentiellement de très gros consommateurs (moyens généraux, déplacements…). Ces pistes restent à investiguer.

4.1 Leviers d'actions, freins et moteurs

Il existe 4 catégories de leviers d'actions (Figure 34). Les principaux leviers d'actions, freins et moteurs identifiés pour réduire les émissions de micropolluants dans les eaux usées sont résumés dans le Tableau 21.

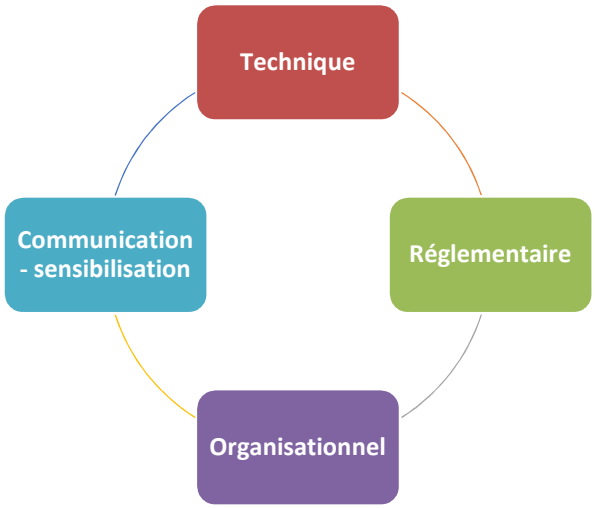


Figure 34 - Catégories de leviers d'actions.

Tableau 21. Identification des leviers d'action, freins et moteurs pour réduire les émissions de micropolluants dans les eaux usées de la collectivité.

Thématiques	Leviers	Freins	Moteurs
Produits de nettoyage	Systématisation de l'usage des produits écolabellisés	Coût	Prise en compte dans les marchés publics
	Systématiser l'usage de doseur automatique	Coût	Prise en compte dans les marchés publics
Autres produits et matériaux	Systématisation de l'usage des produits écolabellisés ou plus respectueux de l'environnement pour d'autres produits : peintures utilisées pour les bâtiments, pour la signalisation routière, pour les marquages routiers pour les services tel que l'eau et assainissement, pour le marquage des terrains de sports	Coût	Démarche déjà engagée dans certains marchés publics en cours des moyens généraux
	Remplacer la dératisation chimique par des techniques mécaniques	Coût	Démarche déjà engagée dans certaines collectivités, hôpitaux. Technique permettant de mesurer l'efficacité de la dératisation
	Intégration du critère micropolluants dans les matériaux utilisés (réseau d'assainissement, eau potable, enrobés de voirie…)	Coût	
	Caractérisation du potentiel d'apport de micropolluants dans certains produits utilisés en quantité importante (produits traitement dans stations épuration en particulier le chlorure ferrique, et unités de potabilisation d'eau)	Coût et faisabilité technique de substitution	
Gestion des déchets	Optimiser gestion (conditions stockage, adéquation filières élimination, traçabilité)	Coût, moyens humains	Renforcement maîtrise rejets non domestiques
Gestion des effluents	Systématisation de mise en place de pré-traitement des effluents en particulier de lavages (en particulier des outils, matériels et véhicules)	Coût, moyen humains	Aides Agence de l'eau pour certaines activités - renforcement maîtrise rejets non domestiques
Achat public	Sensibiliser acteurs (administratif et technique) aux clauses environnementales en vue de les systématiser dans les marchés non formalisés	Volonté politique	Réseaux acheteurs (ex. Association 3AR[20])
	Etablir un "catalogue" de clauses spécifiques sur la problématique des micropolluants par thématiques		Démarche déjà engagées sur d'autres problématiques environnementales
	Améliorer le suivi des prestations exécutées (renforcer les contrôles, pertinence des contrôles et l'application de pénalités : faciliter de mise en œuvre, …) en particulier sur les clauses environnementales	A intégrer lors de la rédaction des marchés publics - moyens humains	

[20] L'Association 3AR (Association Aquitaine des Achats Publics Responsables) s'adresse à toutes les entités soumises aux procédures de marchés publics. Elle poursuit en particulier les objectifs opérationnels suivants : Susciter l'intérêt des acheteurs et créer une dynamique autour des achats responsables ; Accompagner et faciliter les réalisations d'achats sur le plan technique, juridique et organisationnel ; Valoriser les retours d'expériences, évaluer les progrès réalisés ; Favoriser les échanges entre les membres et les autres acteurs pouvant contribuer aux achats responsables.

4.2 Produits éco labellisés et autres techniques alternatives

Au sein des services métropolitains, l'utilisation des produits éco labellisés (Ecolabel européen) concernent principalement les produits de nettoyage (détergents, dégraissants, …). De nombreux services utilisent des produits éco-labellisés. Par ailleurs, la direction en charge des moyens généraux au sein de la métropole ainsi que de nombreuses communes disposent également d'appareils de dosage automatiques des produits permettant d'éviter les surdosages de produit.
La dératisation sans produits chimiques par la mise en œuvre de techniques mécaniques innovantes (Figure 35) est une solution alternative à l'utilisation de rodenticides, qui par définition sont des produits toxiques.

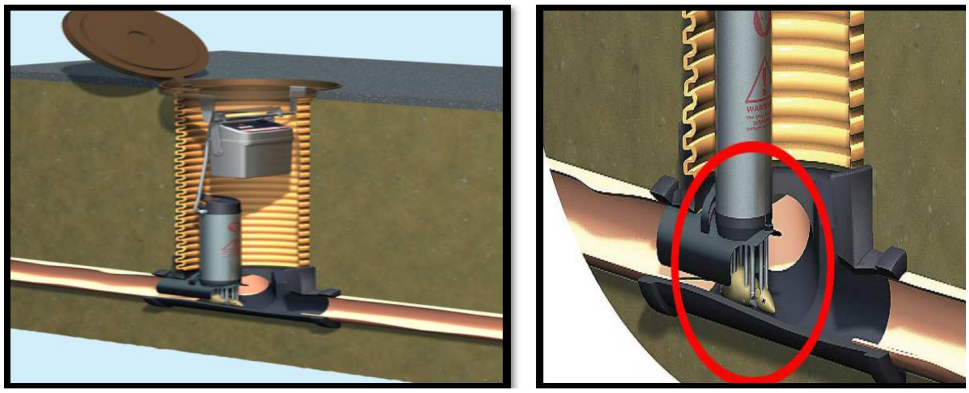


Figure 35 Exemple d'une technique mécanique(WiseCon®) permettant la dératisation des réseaux d'assainissement sans utilisation de produits chimiques.

5. <u>Focus sur les émissions dans les eaux pluviales</u>

Les émissions de micropolluants des services des collectivités impactant les eaux pluviales concernent principalement la famille des pesticides. D'après les investigations menées, l'utilisation des pesticides est commune à plusieurs services métropolitains et communaux.
L'usage potentiel des pesticides, en particulier des herbicides, est susceptible de concerner les 6 services urbains suivants (Figure 36) :

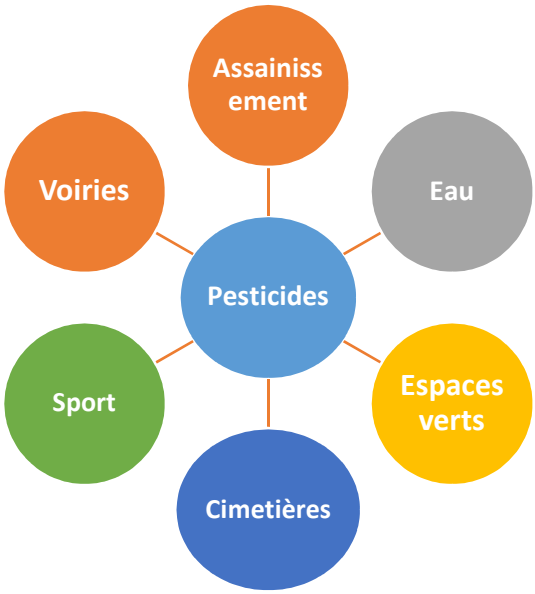


Figure 36. Usage potentiel de pesticides concernant 6 services urbains.

Lorsqu'ils sont utilisés, les pesticides majoritairement rencontrés sont : le Glyphosate, le Flazasulfuron et le Triclopyr.

5.1 Rappel des obligations réglementaires en matière d'usage de pesticides dans les espaces publics :

La loi n°2015-992 du 17/08/2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte apporte des modifications à la loi Labbé :

- Mise en place du zéro pesticide dans l'ensemble des espaces publics à compter du 1er janvier 2017 : l'interdiction d'utiliser des produits phytosanitaires par l'Etat, les collectivités locales et les établissements publics pour l'entretien, des espaces verts, promenade, forets et voiries.
- La commercialisation et la détention de produits phytosanitaires à usage non professionnels seront interdites à partir du 1er janvier 2019. Cette mesure concerne particulièrement les jardiniers amateurs.

Cas de dérogations : *« L'utilisation de produits phytopharmaceutiques est autorisée pour* ***l'entretien des voiries dans les zones étroites*** *ou* ***difficiles d'accès****, telles que les bretelles, échangeurs, terre-pleins centraux et ouvrages, dans la mesure où leur interdiction ne peut être envisagée* ***pour des raisons de sécurité*** *des personnels changé de l'entretien et de l'exploitation ou des usagers de la route, ou entraîne des* ***sujétions disproportionnées*** *sur l'exploitation routière »*

Cas particulier : Les terrains de sports et cimetières : ils ne sont concernés par l'interdiction que s'ils font l'objet d'un usage de « promenade » ou d'« espace vert » avérés : appréciation au cas par cas

5.2 Démarche zéro pesticide sur le territoire de Bordeaux Métropole

La démarche « Ma métropole sans pesticide » (Figure 37) lancée depuis plusieurs années vise à répondre aux obligations réglementaires et permettre l'amélioration globale du cadre de vie en intégrant la santé et l'environnement tout en veillant à préserver les usages (circulation, sécurité, propreté).



Figure 37 : Affiche du programme « Ma Métropole Sans Pesticide ».

Un état des lieux (2015) sur la démarche « zéro phyto » au niveau des espaces publics des communes du territoire de la Métropole a été réalisé par la Direction des espaces verts de Bordeaux Métropole pour les activités « Parcs et jardins », « Terrains de sport[21] », « Cimetières » et « Espace publics trottoirs chaussées » pour mesurer le degré d'avancement de la démarche « zéro phyto ».

La prise en compte du zéro phyto est très variable selon les communes et les secteurs d'activités. Sur 26 communes sondées :

- 11 % des communes sont en zéro phyto sur les 4 activités étudiées.
- 7 % des communes utilisent des pesticides sur les 4 activités étudiées.
- 82 % des communes sont en zéro phyto sur 1, 2 ou 3 des activités étudiées.

Pourcentage de communes en zéro phyto par domaine d'activité :

- Parcs et jardins : 88%
- Espaces publics : 70%
- Terrains de sport : 38%
- Cimetières : 15%

A noter

Terrains de sport en matériaux inertes (pistes athlétisme, terrains de tennis, multi-sports, gazons synthétiques) ne sont pas pris en compte dans cet état des lieux.

[21] Terrains engazonnés seulement

Concernant la problématique des pesticides, les domaines du sport et surtout des cimetières sont moins engagées dans le « zéro phyto ». Les causes principales sont :

- La réglementation des terrains d'honneur : les terrains sont contraints par une réglementation bien précise, notamment sur la qualité de l'herbe des terrains de football. Cela oblige à utiliser des désherbants sélectifs.
- L'interdiction réglementaire « partielle » évoquée précédemment.
- La perception des usagers.

D'autres services métropolitains sont en zéro pesticide depuis plusieurs années :

- Eau ;
- Assainissement ;
- Cimetière intercommunal rive droite ;
- Cimetière intercommunal rive gauche.

D'autres problématiques d'émission de micropolluants dans les eaux pluviales ont été identifiées telles que :

- Embaumement (cimetières) : produits de conservation (formaldéhyde) des corps ;
- Anti mousses utilisés pour les terrains de sports en matériaux inertes (pistes athlétisme, terrains de tennis, terrain multi sport, gazons synthétiques) ;
- Signalisation : peinture de marquage (services eau, assainissement, voirie) ;
- Traçage des terrains sportifs.

5.3 Leviers d'action, freins et moteurs

Les principaux leviers d'actions, freins et moteurs identifiés pour réduire les émissions de micropolluants dans les eaux pluviales sont résumés dans le Tableau 22.

Tableau 22. Identification des leviers d'action, freins et moteurs identifiés pour réduire les émissions de micropolluants dans les eaux pluviales de la collectivité.

Thématiques	Leviers	Freins	Moteurs
Pesticides	Communication auprès des usagers	Volonté politique de chaque commune	Plusieurs communications grand public en cours et à venir - Aides financières agence de l'eau et Conseil départemental jusqu'à 80% pour la communication
	Mise en œuvre de nouvelles pratiques de conception de l'espace public	Absence de portée réglementaire du guide de conception de l'espace public	Guide de conception de l'espace public (cahier Végét-eau finalisation 2017) Mise en place réseaux métiers Espaces verts et de nature et Gestion de la trame verte
	Mise en œuvre de nouveaux modes de gestion de l'espace public (formation des agents, nouveaux équipements techniques alternatives, plan de gestion différenciée …) en mettant l'accent sur les terrains de sport et les cimetières	Coût - perceptions des usagers, des élus et des agents - volonté politique - moyens humains - pénibilité - répondre aux usages de l'espace publics (circulation, sécurité et propreté) - règlementation	Aides financières agence de l'eau et Conseil départemental jusqu'à 80%, (formation, acquisition matériel plafond 20k€ par engin)
	Implication des citoyens dans une démarche globale d'amélioration du cadre de vie	Outils réglementaires à adapter	Nouvelles conventions "Trottoirs vivants" entre les communes et la Métropole
	Intégration de la gestion des terrains de sport en matériaux inertes (pistes athlétisme, terrains de tennis, multi sport, gazons synthétiques) dans la démarche zéro phyto	Règlementation	Démarche zéro phyto bien engagée sur le territoire de la métropole pour les terrains de sport engazonnés et quelques cimetières
	Généralisation de l'utilisation de désherbants "bio" type acide pélargonique	Coût - produits non adapté selon le stade de développement de la plante - nécessité d'utiliser grande quantité de produit	
	Rédaction arrêté type municipal relatif à la gestion des trottoirs par les riverains	Volonté politique de chaque commune	Projet d'arrêté par Bordeaux Métropole en cours de validation qui sera proposé aux communes
	Clarification des incertitudes loi Labbé sur la gestion des terrains de sports et cimetières	Appréciation au cas par cas	Précision guide ministériel janvier 2017

Une marge importante de progrès est ainsi possible en mettant notamment l'accent dans les domaines du sport (en incluant les terrains inertes en particulier les terrains de tennis) et des cimetières qui ne sont concernés que de façon « partielle » par la réglementation comme indiqué précédemment. La systématisation du zéro phyto dans ces domaines relève ainsi de la volonté politique.

Partie 5. Synthèse concernant la source industrielle

Cette partie présente la synthèse du livrable concernant la sous-tâche « source industrielle » de la tâche 1.2 du projet REGARD (Barillon et Alferes, 2016).

1. Introduction

Suivant les différents secteurs industriels les usages de l'eau peuvent être extrêmement variés. Cela peut aussi être le cas sur un même site industriel. Le traitement et le recyclage des effluents générés par ces activités constituent également un défi environnemental pour de nombreux industriels. Les activités industrielles produisent des eaux résiduaires issues des processus de fabrication (utilisation de solvants, réactions chimiques, nettoyage des locaux et matériaux…).

Si la réglementation pour la protection de l'environnement autorise les industriels à rejeter dans le milieu naturel, elle leur impose en revanche de s'assurer de ne pas dépasser des valeurs limites de rejet pour certaines substances visées par des directives communautaires. Ces valeurs limites sont définies spécifiquement dans l'arrêté préfectoral autorisant l'exploitation de l'installation, sur la base de l'arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation. Pour respecter ces limites, les industriels doivent traiter leurs eaux résiduaires soit à l'aide de leur propre station d'épuration, soit en passant une convention avec des stations d'épuration collectives.

Tout rejet significatif (sur la base de seuils déclaratifs) d'une installation classée pour la protection de l'environnement doit être déclaré aux autorités qui établissent un registre des émissions de polluants et des déchets accessible au public.

L'objectif de la sous-tâche 1.2.4 du projet REGARD est de répondre aux questions suivantes concernant les sources industrielles de micropolluants :

- Quels sont les micropolluants d'origine industrielle présents dans les rejets d'assainissement ?
- Quelles actions peut-on mettre en place pour empêcher/réduire ces rejets de micropolluants ?

Il s'agit donc d'identifier les différentes origines des micropolluants dans les rejets de type industriel afin d'être en mesure de proposer des solutions de réduction ou de traitement.

2. Sources des micropolluants dans les eaux industrielles

La plus grande source de données relatives aux micropolluants présents dans les rejets d'effluents industriels est celle qui a été constituée dans le cadre de l'action 3 RSDE. Entre 2003 et 2007, l'action nationale de Recherche et de Réduction des Rejets de Substances Dangereuses dans l'Eau par les installations classées et autres installations, a permis de quantifier, dans les rejets de plus de 2 500 installations industrielles et dans plus de 20 régions françaises, les substances présentes parmi un panel de plus de 100 substances. La représentativité sectorielle de l'échantillon RSDE en nombre de sites et en termes d'émissions à partir du registre des émissions polluantes 2005 a permis de conclure à une bonne représentativité de l'échantillon même si certains secteurs semblent peut-être légèrement surreprésentés (papeterie ou textile) ou sous-représentés (industrie agroalimentaire).

Une analyse détaillée des résultats de cette action a été réalisée dans le cadre de cette sous-tâche du projet REGARD. Cette analyse a eu le double objectif suivant :

1. Un micropolluant donné est-il spécifique d'un secteur industriel ou est-il commun à un certain nombre de secteurs industriels ? Cette question est d'importance lorsqu'il s'agit d'identifier les leviers d'actions. En effet, il sera probablement plus aisé de sensibiliser ou d'aborder la question avec un type d'industriel ciblé plutôt qu'avec tous les secteurs industriels. Occurrence et flux doivent aussi être croisés et la nature des micropolluants indiquée (substance prioritaire, substance prioritaire dangereuse ou autre).
2. En corollaire : que rejette principalement chaque secteur industriel ? Cette question est d'importance à l'échelle d'un territoire car elle permettra de prévoir les rejets des zones industrielles implantées sur une zone géographique en fonction de leur diversité d'industriels qui la constituent.

2.1 Substances au niveau national

L'analyse a été effectuée par substances. L'exemple de la famille des alkylphénols est présenté ci-dessous : flux et occurrences des 3 composés de la famille étudiés dans RSDE dans les 19 secteurs industriels considérés (Figure 38). Pour rappel, le 4-nonylphénol et l'octylphénol sont classés en *substance prioritaire dangereuse* et *substance prioritaire* respectivement.

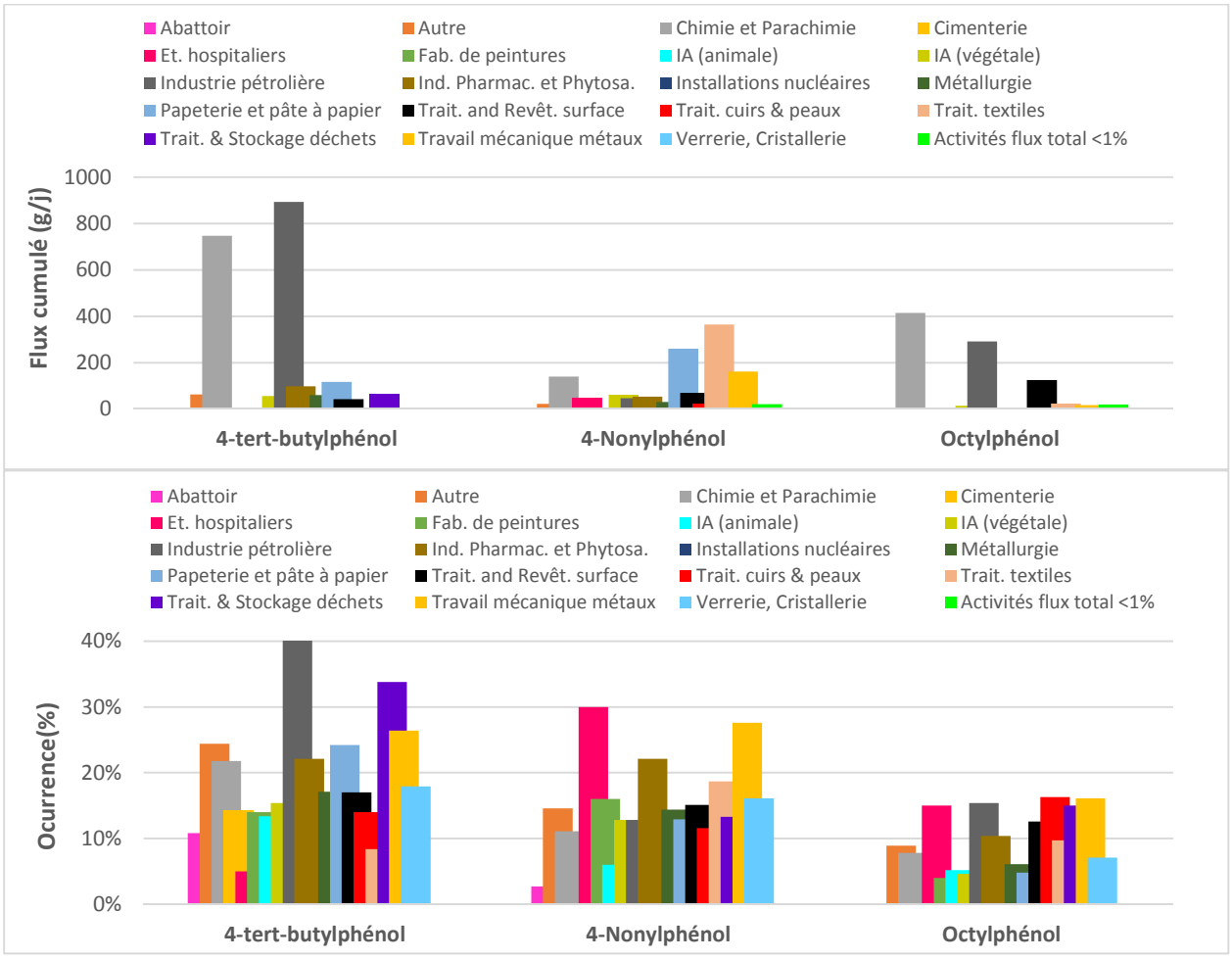


Figure 38. Flux cumulé et occurrence de 3 alkylphénols étudiés dans RSDE au niveau national.

Les rejets de 4-nonylphenol ne sont pas spécifiques à un secteur industriel : ce composé est en effet retrouvé à des occurrences équivalentes dans 13 secteurs d'activités industrielles. En termes de flux, même si le traitement textile représente 30 % des rejets de 4-nonylphénol, ce composé ne peut pas être relié à un secteur industriel spécifique.

Dans le Tableau 23 et le Tableau 24, un bilan a été effectué sur les substances prioritaires dangereuses, mentionnées dans l'action RSDE. Pour chacune de ces substances sont indiqués :

- Le nombre de secteurs d'activités qui rejettent ces substances dans leurs effluents : le nombre en flux est toujours inférieur ou égal au nombre en occurrence, les flux étant pour certains secteurs très faibles et intégrés dans la catégorie activités avec flux total < 1 % ;
- Les 3 secteurs d'activités présentant les rejets les plus importants en termes de flux et le pourcentage associé par rapport au flux total de la substance ;
- Les 3 secteurs d'activités présentant les rejets les plus importants en termes d'occurrence et le pourcentage associé.

Dans ces tableaux a été portée l'indication suivante : pour une substance donnée, existe-t-il un secteur d'activité à privilégier pour des actions de réduction à la source ? Le critère considéré est un flux de la substance rejetée par ce secteur d'activité au moins égal à 50 % du flux total, ce qui justifie d'une certaine spécificité.

Pour certaines de ces substances, il peut exister un secteur d'activité pour lequel au moins 50 % des rejets contiennent cette substance mais le flux associé n'est jamais le flux prépondérant, ce qui ne permettra vraisemblablement pas, dans la plupart des cas, de justifier économiquement la mise en place d'actions spécifiques.

Tableau 23. Substances prioritaires dangereuses mentionnées dans l'action RSDE (1).

Famille	Substance prioritaire dangereuse	Flux			Occurrence			Secteurs industriels à cibler
		Nombre de secteurs industriels concernés	Top 3 Flux		Nombre de secteurs industriels concernés	Top 3 Occurrence		
			Secteurs industriels	% flux total		Secteurs industriels	% occurrence	
Alkylphenol	**4-ter nonylphenol**	13	Traitement textile	**28**	17	Établissements hospitaliers	**30**	**Non spécifique**
			Papeterie pâte à papier	20		Traitement mécanique des métaux	28	
			Traitement mécanique des métaux	12		Industrie pharmaceutique et phytosanitaire	22	
Organo-étains	**Tributylétain**	6	Chimie Parachimie	**69**	16	Établissements hospitaliers	**50**	**Chimie Parachimie**
			Traitement textile	14		Traitement textile	19	
			Papeterie pâte à papier	13		Verrerie Cristallerie	9	
HAP	**Benzo (b) fluoranthene**	8	Chimie Parachimie	**48**	18	Industrie pétrolière	**31**	**Non spécifique**
			Métallurgie	33		Établissements hospitaliers	20	
			Autres	9		Traitement textiles	19	
HAP	**Benzo (a) pyrene**	7	Chimie Parachimie	**23**	18	Industrie pétrolière	**31**	**Non spécifique**
			Métallurgie	20		Installations nucléaires	17	
			Autres	4		Établissements hospitaliers	15	
HAP	**Benzo (g,h,i) perylene + Indeno (1,2,3 cd) pyrene**	6	Chimie Parachimie	**78**	17	Industrie pétrolière	**18**	**Chimie Parachimie**
			Métallurgie	14		Installations nucléaires	17	
			Autres	3		Établissements hospitaliers	15	
HAP	**Benzo (k) fluoranthene**	8	Métallurgie	**37**	17	Industrie pétrolière	**18**	**Non spécifique**
			Traitement textile	29		Installations nucléaires	17	
			Chimie Parachimie	23		Métallurgie	13	
Métaux	**Cadmium**	9	Métallurgie	**70**	18	Installations nucléaires	**50**	**Métallurgie**
			Chimie Parachimie	8		Traitement cuirs et peaux	16	
			Traitement Revêtement de surface	6		Traitement mécanique des métaux	16	
Métaux	**Mercure**	14	Chimie Parachimie	**25**	19	Établissements hospitaliers	**40**	**Non spécifique**
			Traitement Stockage des déchets	23		Industrie pharmaceutique et phytosanitaire	22	
			Métallurgie	13		Traitement Stockage des déchets	18	

Tableau 24. Substances prioritaires dangereuses mentionnées dans l'action RSDE (2).

Famille	Substance prioritaire dangereuse	Flux			Occurrence			Secteurs industriels à cibler
		Nombre de secteurs industriels concernés	Top 3 Flux – Secteurs industriels	% flux total	Nombre de secteurs industriels concernés	Top 3 Occurrence – Secteurs industriels	% flux total	
Pesticides	**Lindane (γ-hexachlorocyclohexane)**	5	Chimie Parachimie	**80**	13	Traitement Stockage des déchets	**9**	**Chimie Parachimie**
			Agroalimentaire (végétal)	14		Industrie pharmaceutique et phytosanitaire	4	
			Traitement Stockage des déchets	3		Autres	3	
Pesticides	**α-hexachlorocyclohexane**	3	Chimie Parachimie	**92**	10	Traitement Stockage des déchets	**5**	**Chimie Parachimie**
			Agroalimentaire (végétal)	7		Chimie Parachimie	3	
			Autres	1		Industrie pétrolière	3	
COHV	**Tetrachloroethylène**	6	Traitement textile	**51**	17	Installations nucléaires	**50**	**Traitement textile Chimie Parachimie**
			Chimie Parachimie	30		Traitement textile	30	
			Traitement cuirs et peaux	7		Traitement cuirs et peaux	28	
COHV	**Trichloroethylene**	9	Chimie Parachimie	**54**	15	Traitement Revêtement de surface	**24**	**Chimie Parachimie**
			Traitement textile	16		Traitement textile	18	
			Traitement Revêtement de surface	13		Traitement cuirs et peaux	16	
COHV	**Hexachlorobutadiene**	2	Chimie Parachimie	**99**	4	Établissements hospitaliers	**5**	**Chimie Parachimie**
			Activités dont flux < 1 %	1		Chimie Parachimie	1	
COHV	**Tétrachlorure de carbone**	2	Chimie Parachimie	**98**	12	Traitement cuirs et peaux	**12**	**Chimie Parachimie**
			Activités dont flux < 1 %	2		Fabrication peintures	6	
						Chimie Parachimie	6	
Chloro-benzènes	**Hexachlorobenzene**	3	Chimie Parachimie	**96**	11	Industrie pétrolière	**8**	**Chimie Parachimie**
			Industrie pétrolière	2		Chimie Parachimie	3	
			Activités dont flux < 1 %	2		Traitement mécanique des métaux	2	
Chloro-benzènes	**Pentachlorobenzene**	2	Chimie Parachimie	**100**	10	Chimie Parachimie	**3**	**Chimie Parachimie**
						Industrie pharmaceutique et phytosanitaire	2	
						Industrie pétrolière	2	
Diphényl-éthers bromés	**Pentabromo-diphenylether**	6	Agroalimentaire (animal)	**80**	18	Installations nucléaires	**67**	**Agroalimentaire (animal)**
			Établissements hospitaliers	9		Traitement textile	25	
			Traitement textile	7		Chimie Parachimie	19	
Autres	**Chloroalcanes**	Mélange complexe d'isomères → incertitudes de mesures						

Le Tableau 25 indique le (ou les) secteur(s) industriel(s) pour le(s)quel(s) les substances prioritaires mentionnées dans l'action RSDE ont des flux supérieurs à 50 % (ou le cas échéant s'il y a 2 secteurs industriels principaux pour lesquels la somme des flux est supérieure à 70 %).

Tableau 25. Secteurs industriels pour lesquels les substances prioritaires ont des flux supérieurs à 50 % (ou dont la somme des flux est supérieure à 70 %).

Substance prioritaire	Secteur industriel spécifique	% flux total
Anthracène	Fabrication peintures Chimie Parachimie	41 38
Atrazine	Papeterie pâte à papier	69
Benzène	Chimie Parachimie	84
Octabromodiphenylether	Traitement textiles	50
Decabromodiphenylether	Chimie Parachimie	73
Chlorfenvinphos	Agroalimentaire (végétal)	95
1,2 dichloroéthane	Chimie Parachimie	64
Endosulfan	Chimie Parachimie	100
Fluoranthène	Chimie Parachimie	53
Isoproturon	Traitement stockage des déchets	52
Naphtalène	Industrie pétrolière	57
Octylphenol	Chimie Parachimie Industrie pétrolière	46 32
Pentachlophenol	Métallurgie Agroalimentaire (végétal)	46 27
Trichlorobenzenes	Chimie Parachimie	96
Chloroforme	Chimie Parachimie	96
Trifluraline	Chimie Parachimie	94

2.2 Substances au niveau régional

L'action RSDE également menée en région Aquitaine a permis de dresser le bilan des substances quantifiées sur la base de 142 sites industriels. La Figure 39 compare les substances les plus fréquemment quantifiées dans les rejets des sites industriels au niveau national et au niveau régional (Aquitaine). Les principales différences sont observées pour :

- Le zinc, monodibutylétain et le mercure dont les pourcentages sont plus élevés en Aquitaine qu'au niveau national,
- Le chloroforme dont le pourcentage est moins élevé en Aquitaine qu'au niveau national,
- Le 4-ter butylphenol, le trichloréthylène et le chlorure de méthylène absent de la liste en Aquitaine,
- Le diuron présent en Aquitaine mais absent dans la liste nationale.

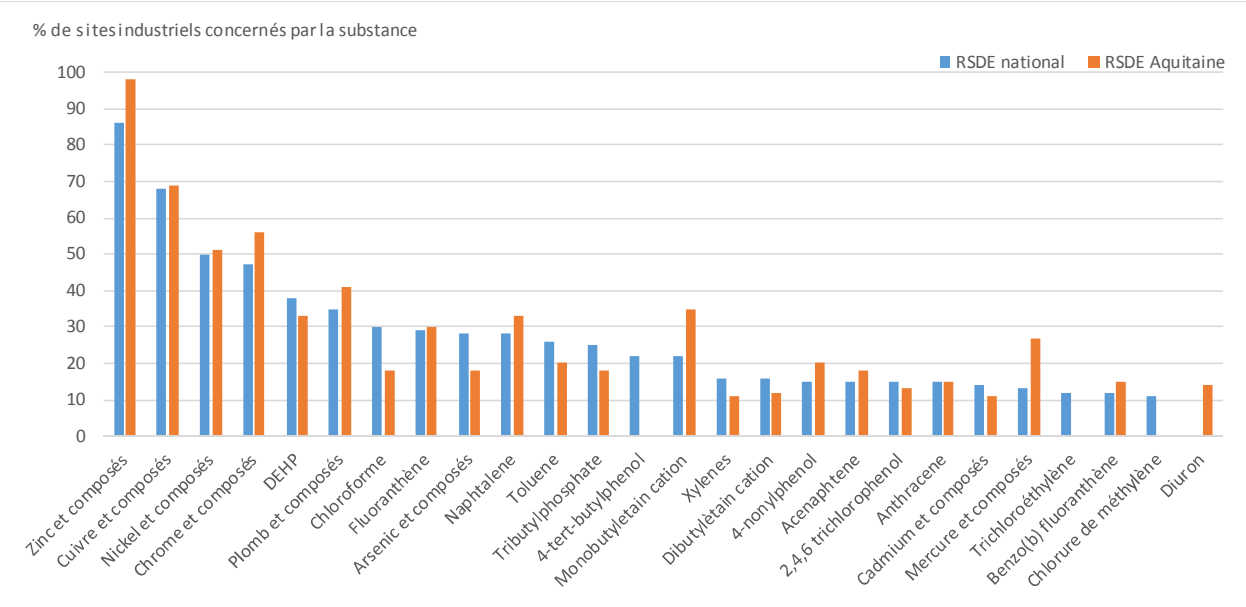


Figure 39. Comparaison des substances les plus fréquemment quantifiées dans les rejets des sites industriels au niveau national et au niveau régional (Aquitaine).

3. Leviers d'action de réduction à la source

La plupart des substances considérées comme potentiellement dangereuses ont fait l'objet d'études de la part d'organismes comme l'OCDE, la convention OSPAR ou encore le Bureau européen des substances chimiques, et ce, avant les listes établies par la Directive Cadre de l'Eau en 2000. Cela a permis à certains secteurs industriels d'anticiper les réglementations à venir et à trouver des produits de substitution.

Les leviers d'action pour la réduction des émissions de substances peuvent être les suivants :

1. Interdiction ou absence de production en France

Certaines substances ont d'ores et déjà été interdites de production. C'est le cas, par exemple, de l'hexa chlorobenzène interdit en France depuis 1988. En Europe, il n'est plus ni produit intentionnellement, ni commercialisé depuis 1993. D'autres substances comme l'hexachlorobutadiène ne seraient plus produites en France.
En revanche, il peut encore *exister des sources de rejets* lorsque ces produits sont des *sous-produits de la production de composés.*

2. Interdiction dans certains usages

Pour des raisons d'ordre sanitaire, certaines substances ont pu voir leur usage limité à certains secteurs. Exemple : le DEHP, interdit pour un usage dans les cosmétiques. Il est utilisé à plus de 95 % comme plastifiant.

3. Substitution

Des secteurs d'activité, comme la chimie, ont déjà des solutions de substitution pour certaines substances. Lorsque les substances ne sont pas spécifiques à un secteur d'activité, il peut exister un substitut par secteur ou par application au sein d'un même secteur.
Dans ses fiches de synthèse par substance, l'INERIS (2012) a, par exemple, identifié des substituts ou des techniques alternatives en fonction des différents secteurs d'utilisation des nonyphénols : les alcools éthoxylés (moins nocifs pour l'environnement) sont les produits les plus couramment utilisés pour remplacer les Ethoxylates de nonyphénols contenus, entre autres, dans les produits de nettoyage (surcoût : 20 à 30 %). D'autres tensio-actifs (à base de glucose, silicone…) sont également disponibles en tant que substituant. Il existe aussi des

alternatives pour le chrome (INERIS, 2015) pour les secteurs du traitement de surface, du tannage et des pigments.
Il est à noter que l'existence de substituts n'est pas toujours synonyme de gain environnemental. Par exemple, la simazine, remplacée par d'autres phytosanitaires (Glyphosate, Bromoxynil, Cyanazine, …) présentant également une grande rémanence dans les eaux souterraines.
Enfin, certaines substances sont, à l'heure actuelle, difficilement substituables. C'est le cas du nickel, pour lequel des techniques de réductions des émissions industrielles existent néanmoins pour les effluents aqueux, notamment dans les domaines de la chimie et des traitements de surface.
Certaines branches d'activité ont aussi mené des études sur l'ensemble de leurs émissions afin de donner des lignes directrices pour la branche entière et éviter de dupliquer les études cas par cas. Des rapports ou des fiches substances existent notamment pour les secteurs suivants : mécanique et traitement de surface, traitement et stockage des déchets, blanchisseries industrielles, abattoirs et industries de la viande, industrie papetière et industrie du traitement des cuirs et des peaux. Par exemple, dans le secteur de la papeterie, l'étude menée a principalement concerné 2 substances : zinc et nonyphénols. L'analyse des données disponibles n'a pas permis d'identifier d'actions significatives possibles pour réduire les flux de zinc, hormis l'amélioration des performances des stations d'épuration et la suppression ou remplacement des produits contenant du zinc. En ce qui concerne les nonyphénols, l'étude n'a pas permis pas de conclure sur leur origine dans les rejets des installations de fabrication de pâte à papier.
Les freins à la substitution peuvent être d'ordre technique (disponibilité d'un produit de substitution), ou économique (le produit de substitution peut nécessiter l'adaptation des outils de production, s'avérer moins efficace que le produit de référence ou n'être une alternative que pour certaines applications). En termes économiques, il y a une très grande diversité de situations en fonction des substances, de la taille et du type d'entreprises impliquées (Brignon *et al.*, 2004). Un autre frein peut aussi être la non connaissance exacte de formulations achetées à des fournisseurs, pour des raisons de confidentialité et qui peuvent donc contenir des impuretés ou des substances non désirées.

4. Optimisation des procédés / recyclage

L'optimisation des procédés, dans le but de limiter des pertes de matières actives ainsi que l'intensification du recyclage pour tendre vers un objectif du « zéro rejet liquide » sont aussi des leviers pour réduire les flux de micropolluants dans les effluents des sites industriels. Cela nécessite une très bonne connaissance des différentes étapes du procédé et une analyse du devenir des micropolluants à chaque étape du procédé de fabrication.

5. Traitement

Un autre levier est celui consistant à traiter les effluents avant rejet. Il s'agit d'une solution curative, considérée comme une stratégie de gestion à long terme et qui doit être mise en perspective par rapport à des solutions de substitution.
Notamment, du fait que le traitement des effluents ne permet pas toujours une réelle élimination des micropolluants de l'environnement : les substances, sauf dans le cas où elles sont dégradées, peuvent en effet être transférées dans la filière boue. La substitution est une stratégie relativement révisable et adaptable, alors que le traitement est un investissement pour lequel revenir en arrière ou modifier la stratégie semble difficile (Rapport d'étude ONEMA, 2015).

6. Autres : taxation, communication, étiquetage, …

De façon globale, le choix d'une solution pour la réduction des émissions de substances doit être basé sur la prise en compte de différents critères :

- La nature de la ou des substances visées par les objectifs de réduction ;
- L'importance des émissions en termes de flux ;
- Le raccordement ou non de l'entreprise au réseau collectif ;

- La taille de l’entreprise ;
- L’espace disponible sur le site.

Partie 6. Synthèse concernant la source hospitalière

Cette partie présente la synthèse du livrable concernant la sous-tâche « source hospitalière » de la tâche 1.2 du projet REGARD (Carrere et Salles, 2016a).

1. La contamination de l'eau par les médicaments et les biocides : un risque environnemental émergent

1.1 Éléments de contexte

L'augmentation de l'espérance de vie ou la baisse de la mortalité infantile sont autant d'avancées sociales majeures à mettre au crédit des produits d'hygiène, des désinfectants et des médicaments depuis plus d'un siècle. Néanmoins, tout progrès a son revers de médaille. Chimistes et écotoxicologues constatent aujourd'hui les effets nuisibles de ces produits sur l'environnement. Le Triclosan®, biocide utilisé dans de nombreux produits d'usages quotidiens, produirait la résistance de la Escherichia Coli et de la Salmonella Enterica, bactéries pouvant respectivement être à l'origine de la gastroentérite et de la fièvre typhoïde (Curiao *et al.*, 2015 ; Yazdankhah *et al.*, 2006). En Asie, entre 10 et 40 millions de vautours ont été contaminés par le Diclofénac en se nourrissant du cadavre des animaux d'élevages (Taggart *et al.*, 2007). On estime aujourd'hui que trois espèces de vautours fauves sont en danger (Bhavana *et al.*, 2014, p.83). On observe l'augmentation du taux de féminisation des poissons dus à la présence de composés oestrogénomimétiques tels que les Nonylphénols et Octylphénols, l'Ethinylestradiol et autres œstrogènes de synthèse dans les milieux aquatiques (Holm *et al.*, 2013, p.537).

1.2 La réglementation des activités hospitalières

Plusieurs réglementations encadrent de manière directe ou indirecte la gestion des effluents hospitaliers.
Les réglementations directes :

- La Circulaire n°429 du 8 avril 1975 impose *la mise en place d'un réseau séparatif entre les eaux usées et les eaux pluviales, une désinfection ainsi qu'un traitement spécifique pour les eaux radioactives ;*
- L'arrêté du 2 février 1998 modifié par celui du 17 juin 2014 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) impose aux hôpitaux *de traiter et d'acheminer leurs effluents dans de « bonnes conditions » lorsque ceux-ci sont rattachés à un réseau collectif ;*
- L'hôpital est lié à la collectivité locale et son prestataire par une convention de déversement. Si, suite à un contrôle inopiné, des rejets non conformes sont avérés dans le réseau des eaux usées, l'hôpital devra verser des pénalités à hauteur du coût des mesures nécessaires à mettre en œuvre pour éliminer la contamination générée.

Les réglementations indirectes liées à la gestion de déchets :

- Le décret n° 94-609 du 13 juillet 1994 prolongé par la circulaire 95-49 du 13 avril 1995 ainsi que le décret n°98-638 du 20 juillet 1998 régissent le traitement des Déchets Industriels Banalisés (DIB) comme les cartons d'emballage, la ferraille ou les débris issus de travaux ;
- Les déchets appartenant à la catégorie des déchets à risques chimiques ou toxiques sont quant à eux régis par les directives européennes 91/689/CEE, 94/31/CEE, 94/904/CEE. Ces déchets comportent notamment les médicaments non utilisés dans les foyers (MNU), qui sont incinérés conformément à l'application de la circulaire du 13

février 2006, le mercure, qui fait l'objet d'une filière d'élimination spécifique, les piles et certains produits chimiques des laboratoires ;

- Le traitement des Déchets d'Activités de Soins à Risques Infectieux (DASRI) est régi notamment par le décret n°97-1048 du 6 novembre 1997 qui prévoit leur temps de stockage au regard de la quantité de DASRI et le nettoyage régulier des lieux de stockage. L'élimination des DASRI se fait par l'intermédiaire d'un prestataire qui procède à leur incinération ;
- Les déchets hôteliers sont traités dans le cadre de la collecte mis en place par la collectivité où se situe l'établissement ;
- Les Déchets d'Activités de Soins à Non Risques Infectieux (DASNRI) qui suivent pour ces derniers la filière des ordures ménagères.

1.3 Actions mises en place par le CHU de Bordeaux

Le CHU de Bordeaux mène depuis plusieurs années de nombreuses actions dans le domaine environnemental. Il a ainsi mis en œuvre :

- Un réseau d'ambassadeurs du développement durable (Figure 40) ;
- Un Plan Déplacement Administration en partenariat avec les Trams et Bus de la Métropole de Bordeaux dans le cadre de la lutte contre le changement climatique ;
- Des filières de traitement de déchets (ex : DASRI[22], DAOM[23]…).



Figure 40. Les ambassadeurs du développement durable. Source : CHU de Bordeaux, Passerelles, juillet 2015.

Si la plupart des agents hospitaliers opèrent un changement de pratiques face au changement climatique ou au traitement des déchets, le problème de la contamination des effluents hospitaliers apparaît comme un problème nébuleux et lointain. Quels sont les ressorts du processus d'écologisation des pratiques des acteurs hospitaliers vis-à-vis des risques environnementaux liés aux résidus médicamenteux et aux biocides ? Ce questionnement nous amène à proposer un cadre analytique pour y répondre (Figure 41).

[22] Déchets d'activités de soin à risque infectieux
[23] Déchets d'activités de soin assimilés aux ordures ménagères

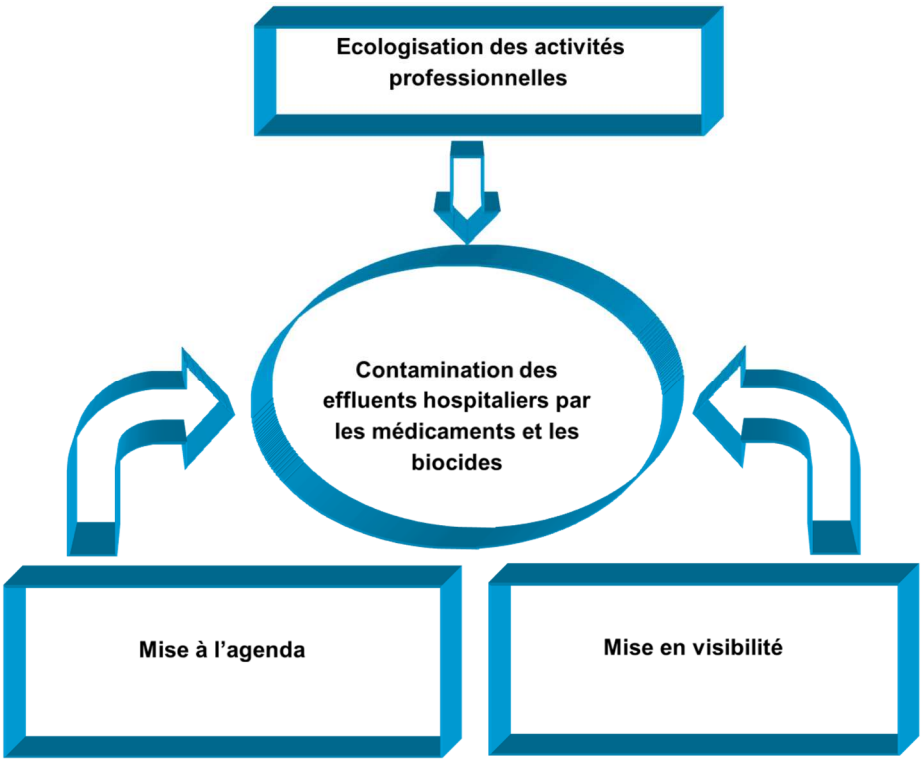


Figure 41. Construction d'un cadre analytique pour un risque émergent.

2. Matériels et méthodes

Le travail réalisé s'appuie sur une recherche empirique basée sur 4 outils méthodologiques :

- Une analyse documentaire consistant à étudier les différents règlements et textes de loi relatifs aux réformes hospitalières qui orientent pour partie les pratiques des acteurs ;
- Une analyse lexicologique ayant pour objectif d'étudier les journaux internes du CHU de Bordeaux, la *Lettre du Développement Durable* (LDD) et *Passerelles* sur la période de 2008 à 2015. Ce corpus représente 40 journaux soit un total de 127 articles : 93 articles de la *LDD* et 34 articles de *Passerelles*. Cette analyse cherche à mettre en lumière les évolutions et les positions actuelles du CHU de Bordeaux sur la politique environnementale de l'établissement ;
- Une observation menée au sein des laboratoires d'analyses consistant à étudier les filières de déchets et les différents dispositifs de retenue des effluents de laboratoire ;
- 42 entretiens semi-directifs d'une durée moyenne d'une heure (Figure 42). Ces entretiens ont été réalisés auprès :
  - Des services en charge de l'étude et de la gestion des médicaments et des biocides au sein de l'hôpital,
  - Des instances et organisations en charge de la gestion du CHU,
  - Des services dont les activités de soins peuvent générer une contamination des milieux aquatiques,
  - Des acteurs institutionnels, privés, scientifiques et associatifs parties prenantes de la problématique environnementale liée aux résidus médicamenteux et biocides.

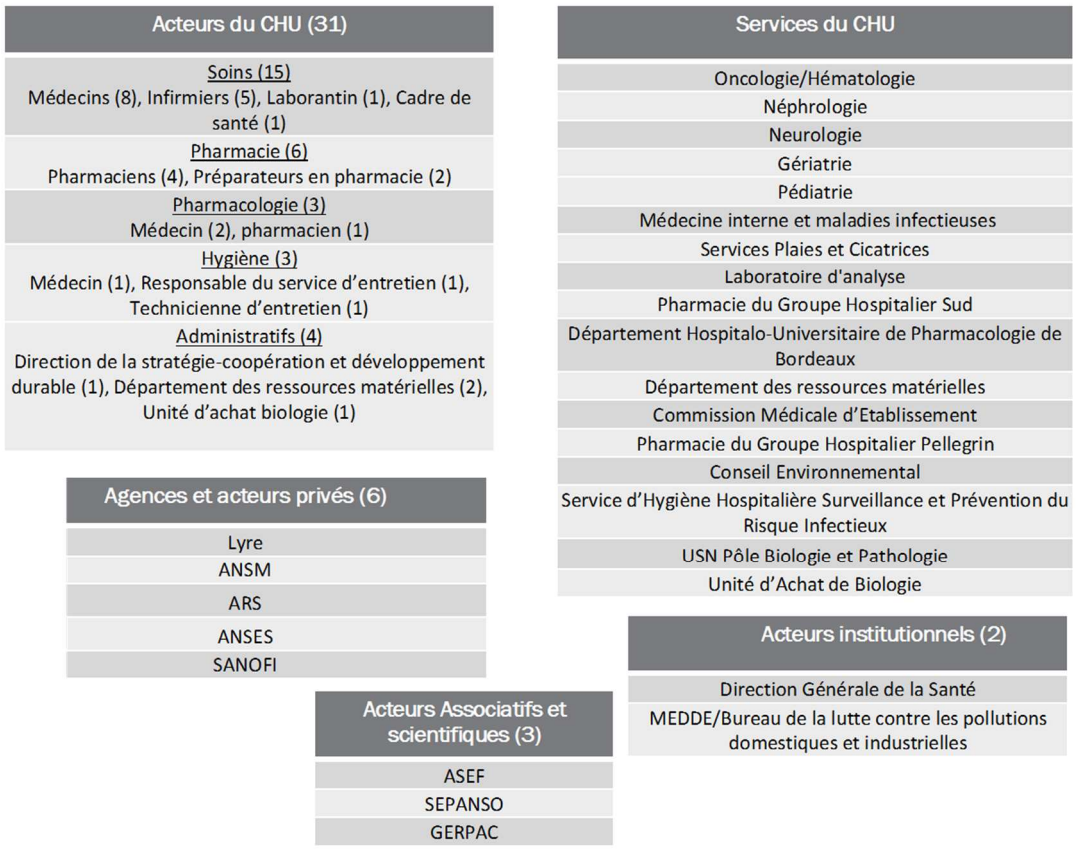


Figure 42. Entretiens semi-directifs réalisés.

3. Mise à l'agenda et processus d'écologisation : les acteurs hospitaliers face à la contamination des effluents

3.1 Vers l'émergence d'une nouvelle responsabilité environnementale

Avec l'amélioration des techniques médicales et le développement des soins ambulatoires, les usagers peuvent désormais se soigner à domicile. Ce changement notable tend à réorganiser le soin autour de ce qui est aujourd'hui appelé le « parcours de soins ».

« Je suis convaincu, aujourd'hui, que l'hôpital n'existera demain que s'il est capable de prendre une place dans une logique de parcours de soin. Dans quelques temps, il est possible que les gens ne viennent quasiment plus à l'hôpital. » (Entretien, cadre administratif, CHU de Bordeaux).

Le parcours de soins s'accompagne d'une nouvelle forme de responsabilité hospitalière vis-à-vis des patients situés à l'extérieur des murs et fait par ailleurs émerger une responsabilité environnementale vis-à-vis du devenir des divers produits de santé utilisés à domicile. La gestion *extra-muros* des activités de soins se réalise non sans difficulté. Certains services soulignent l'absence d'un niveau de gestion intermédiaire entre l'hôpital et le domicile des patients.

« En 1998, on a mis en place le réseau sur la sclérose en plaques […] Dans le cadre de la problématique environnementale, il y a tout un travail de fait sur le devenir des seringues. Parce qu'il y a beaucoup de médicaments immunologiques injectables. […] Maintenant, le

circuit de récupération des seringues est correctement organisé. » (Entretien, médecin, CHU de Bordeaux).

« Le gros problème qu'il y a c'est que dans l'organisation avec les villes, est que vous pouvez avoir des liens avec les hospitalisations à domicile, mais la notion d'avoir quelque chose d'organisé quand le patient part chez lui mais ça n'existe pas. […] On sent qu'il manque quelque chose à l'extérieur en termes de structuration. » (Entretien, médecin, CHU de Bordeaux).

L'enjeu autour de cette nouvelle forme de responsabilité environnementale paraît d'autant plus important à prendre en compte dans le contexte réglementaire actuel :

- La convention de déversement qui lie le CHU à Bordeaux Métropole et à son prestataire impose le paiement de pénalités en cas de dépassement des seuils de toxicité ;
- La loi du 16 décembre 2010 pose qu'une collectivité locale a le droit de refuser le déversement dans le réseau public d'eaux usées qu'elle jugerait toxiques.

À ce jour, le cas des rejets médicamenteux ne fait pas l'objet de réglementation. Toutefois, plusieurs signes annonciateurs d'une éventuelle évolution réglementaire font jour en Europe :

- La Suède a établi une liste classant les médicaments en fonction de leur dangerosité environnementale ;
- La Suisse a mis en place dans ces STEU des dispositifs d'ozonation et de charbon actif ;
- Lors de la dernière conférence environnementale en 2015, la grande majorité des pays européens se sont déclarés favorables à la mise en place de tels dispositifs techniques.

3.2 Des processus d'écologisation hétérogènes

La pharmacie : un processus d'écologisation contraint

Les pharmaciens et les préparateurs en pharmacie ont pour la majorité conscience du problème environnemental lié à la contamination des eaux par les médicaments. La connaissance de ce problème s'explique par :

- Le parcours de formation des pharmaciens en pharmacologie et toxicologie ;
- Le lien de causalité réalisé par les préparateurs en pharmacie entre le risque en santé au travail encouru par la manipulation d'anticancéreux et les conséquences environnementales de ces mêmes médicaments :

« Dans les unités de soins, il y a eu une étude de faite sur la contamination du personnel. On faisait un prélèvement d'urine et ils analysaient après pour voir s'il n'y avait pas des traces de molécules utilisées. Apparemment au niveau des unités il n'y a pas de problème, mais au niveau du service de soins apparemment les infirmières ont été très touchées. » (Entretien, préparateur en pharmacie, CHU de Bordeaux).

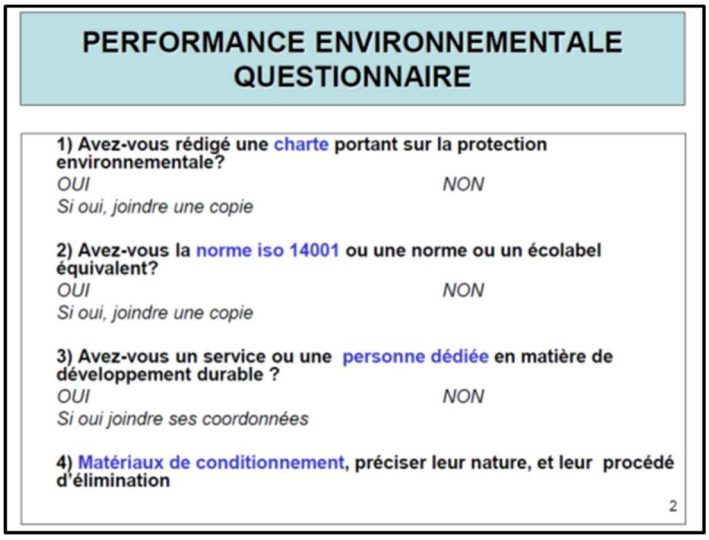
Si l'on observe une conscience environnementale marquée du problème de la contamination de l'eau par les composés pharmaceutiques le processus d'écologisation des pratiques semble soumis à deux contraintes majeures. D'une part, la priorisation de la santé sur le risque environnemental. D'autre part, les enjeux de santé publique, auxquels se doit de répondre l'hôpital, le contraignent dans une situation de dépendance vis-à-vis des traitements proposés par les firmes pharmaceutiques. À ce jour, les avancées scientifiques ne permettent pas l'élaboration d'un « médicament vert ». De plus, les données issues de l'évaluation

environnementale des médicaments réalisée dans le cadre des Autorisations de Mise sur le Marché (AMM) restent pour la plupart confidentielles.

« L'éco-responsabilité et l'environnement s'arrêtent là où la sécurité du patient commence. » (Entretien, pharmacien, CHU de Bordeaux).

Si les possibilités d'écologisation des pratiques de la pharmacie demeurent limitées, ce secteur ne fait pas preuve d'une inertie environnementale :

- Il diffuse un questionnaire auprès des firmes pharmaceutiques afin de pouvoir les classer selon leur impact environnemental (Figure 43) ;
- Il tente de peser à travers la centrale d'achat Uni.H.A, sur les firmes pharmaceutiques en matière de modes de conditionnements et d'emballages des médicaments.


PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE QUESTIONNAIRE

1) Avez-vous rédigé une charte portant sur la protection environnementale?
OUI NON
Si oui, joindre une copie

2) Avez-vous la norme iso 14001 ou une norme ou un écolabel équivalent?
OUI NON
Si oui, joindre une copie

3) Avez-vous un service ou une personne dédiée en matière de développement durable ?
OUI NON
Si oui joindre ses coordonnées

4) Matériaux de conditionnement, préciser leur nature, et leur procédé d'élimination

2

Figure 43. Questionnaire diffusé auprès des firmes pharmaceutiques.

<u>Les médecins et infirmiers : un processus d'écologisation restreint</u>

La conscience du problème de la contamination des milieux aquatiques par les produits pharmaceutiques est disparate. Ceux qui ont connaissance de ce problème sont ceux :

- Qui participent aux instances internes du CHU de Bordeaux (Directoire, Conseil de surveillance, Commission Médicale d'Etablissement - CME…) :

« À titre personnel, si je n'avais pas été président de la CME je n'aurai jamais entendu parler de ce problème. Parce que je pense que beaucoup de médecins sont ignorants de ces problèmes. Je crois que ça fait partie des informations qu'on partage quand on a des responsabilités institutionnelles. » (Entretien, Médecin, CHU de Bordeaux).

- Qui travaillent dans une spécialité dans laquelle le problème se pose (ex : anticancéreux, carbamazépine®) :

« Moi je m'occupe de cancérologie. Ce qui fait que la préoccupation que moi j'ai, c'est celle de l'émission de produits de chimiothérapie. Comme il y a une concentration de patients, il y en a qui vont éliminer les produits dans les toilettes c'est sûr. » (Entretien, médecin, CHU de Bordeaux).

À l'instar du secteur de la pharmacie la priorisation du domaine de la santé sur l'environnement paraît être la contrainte majeure du processus d'écologisation des pratiques des médecins et des infirmiers :

« Sur la question des médicaments [...] on ne peut pas faire l'inverse de ce qu'on fait au quotidien. On ne peut pas soigner et désoigner de l'autre côté. C'est pas logique, ce n'est pas bien. ». (Entretien, Médecin, CHU de Bordeaux).

L'usage du médicament à l'hôpital se caractérise alors par une hétérogénéité des pratiques. Deux approches peuvent être distinguées :

- L'approche protocolisée qui applique des protocoles médicaux fondés sur la littérature scientifique en vigueur. Celle-ci peut s'inscrire dans une forme de systématisation de l'usage du médicament ;
- L'approche réflexive, plus pragmatique, s'adapte à la singularité de la patientèle. Et peut diminuer voire supprimer la prescription de certains médicaments.

Les services d'hygiène : un processus d'écologisation partiel

Le processus d'écologisation partiel des services d'hygiène se fonde sur la distinction entre l'hygiène hôtelière et hospitalière :

- L'hygiène hôtelière est dédiée aux zones à faibles risques sanitaires (ex : self, couloirs, bureaux, salles d'attentes) ;
- L'hygiène hospitalière est celle dédiée aux activités de soins dans des zones à plus forts risques sanitaires (salles de réveil, salles d'opération…) :

« On a réfléchi à la fréquence et à l'utilisation des produits. Est-ce qu'on a besoin tout le temps d'utiliser des détergents et désinfectants ? Avant on faisait tout aux détergents et aux désinfectants pour être sûr de ne pas faire de bêtises. Après les conseillères des services d'hygiène ont fait une table ronde. On a réfléchi à nos pratiques et ils ont ciblé que c'était vraiment dans les services au plus près du patient que l'on doit utiliser de la détergence et de la désinfection. » (Entretien, agent d'entretien, CHU de Bordeaux).

Deux autres éléments ont participé à ce processus d'écologisation :

- Le processus d'écologisation amorcé par les distributeurs de biocides sur les produits destinés à l'hygiène hôtelière qui, dans un secteur économique à forte concurrence, cherchent à obtenir des éco-labels ;
- Le lien de causalité entre le risque de santé au travail encouru par les agents d'entretien lors de la manipulation de produits biocides et le risque environnemental engendré par ces mêmes produits :

« Avec les firmes, on a des relations qui sont beaucoup plus saines que celles que peuvent avoir nos collègues avec les médicaments. Pour la simple est bonne raison que ces industriels n'ont pas d'argent ou très peu. Ils essaient tous d'avoir un éco-label. Ils sont un peu dans la même dynamique que nous. » (Entretien, Médecin, CHU de Bordeaux)

« On essaye aussi de choisir des produits qui sont les moins nocifs pour la santé et de ce fait là je pense aussi que ça a une influence directe sur ce que l'on rejette dans les effluents. » (Entretien, responsable de l'entretien, CHU de Bordeaux).

Le processus d'écologisation amorcé par les services d'hygiène peut être qualifié de partiel car l'usage de produits éco-labélisés, l'abaissement des quantités de biocides et l'espacement des temps de ménages ne s'appliquent que dans le cadre des zones à faibles risques

sanitaires. Il est intéressant de constater que l'écologisation partielle des services d'hygiène connaît pour principale limite la priorisation de la santé sur l'environnement. À partir du moment où les espaces à nettoyer entrent dans le strict domaine de la santé (salles de réveil, salles d'opérations), les pratiques d'hygiènes demeurent inchangées.

3.3 Des voies d'alternatives : les laboratoires d'analyses et le service plaies et cicatrices

Les laboratoires d'analyse

Le processus d'écologisation des pratiques au sein du laboratoire s'illustre à travers l'utilisation d'un treffler (Figure 44).

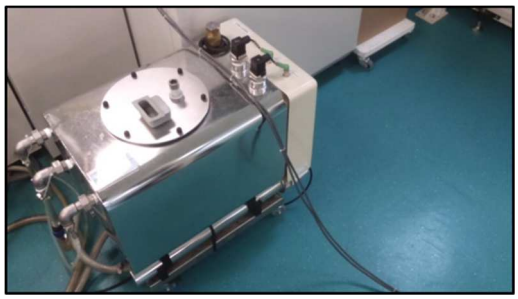


Figure 44. Treffler.

La mise en place du treffler, dispositif technique de traitement des effluents par javellisation et ozonation s'est appuyée sur deux éléments :

- Un enjeu économique : au regard de l'accroissement du nombre annuel d'analyses réalisés, le coût de traitement des déchets toxiques par un prestataire devenait trop important (Figure 45).

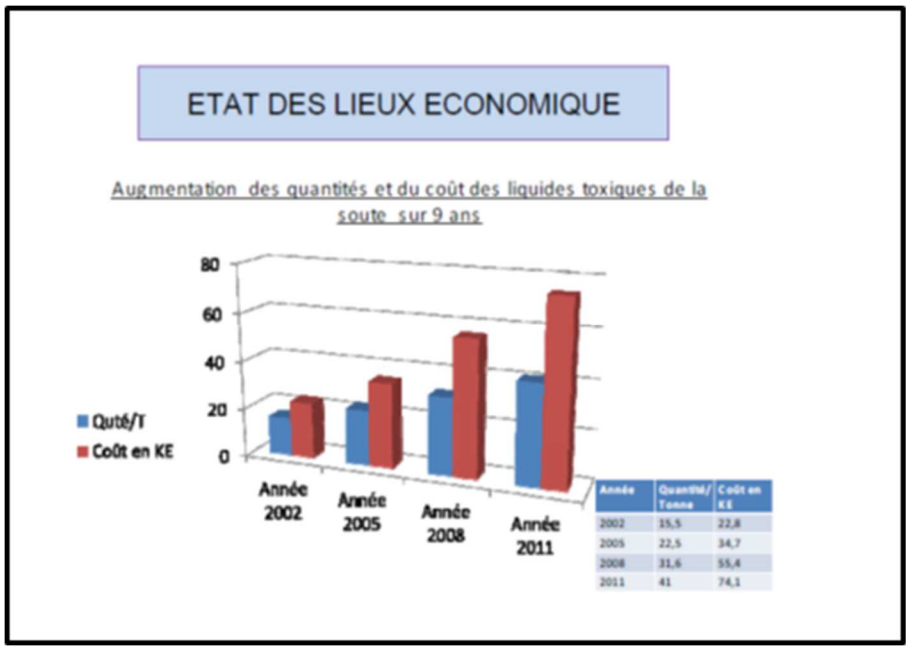


Figure 45. Augmentation des quantités et du coût des liquides toxiques de la soute sur 9 ans.

- Des risques de santé au travail. La réalisation d'activités professionnelles à risque, mise en visibilité par des pictogrammes, entraine l'établissement d'un lien de causalité entre risques de santé au travail et risques environnementaux :

« Tout le monde était bien content de ne plus benner. Surtout que ça éclaboussait. On prenait l'entonnoir. Il y en avait un autre qui tenait l'entonnoir en se mettant assez loin. Un autre encore versait le bidon. C'était quand même des bidons de 25 litres ! C'était un travail qui était inintéressant, dangereux, parce qu'on risquait toujours une éclaboussure dans les yeux. » (Entretien, laborantin, CHU de Bordeaux).

Le service plaies et cicatrices

Le service plaies et cicatrices a mis en place depuis 2010 une technique de soin par le miel appelée « apithérapie ». L'écologisation des pratiques de soins amorcée par l'apithérapie s'est appuyée sur deux éléments :

1. L'apithérapie intervient dans le cadre de soins apportés aux plaies chroniques, c'est-à-dire aux plaies qui sont supérieures à 6 semaines. Elle intervient donc là où la médecine moderne n'a pu guérir. L'écologisation des pratiques de soins portée par l'apithérapie a pu donc être mise en place dans la mesure où elle apparaît également comme une technique médicale de dernier recours ;
2. L'apithérapie s'inscrit dans le cadre d'une « mesure sans regret », c'est-à-dire une mesure qui est à la fois avantageuse économiquement et bénéfique pour l'environnement. La faible utilisation de pansements fait de l'apithérapie une technique de soin peu productrice de DASRI :

« Quand on faisait un pansement avant, il y avait le champ stérile, il y avait les gants stériles… Et tout ça, ça a un impact financier. Avec l'apithérapie, je n'ai pratiquement pas de déchets DASRI. C'est important ! Quand je pars faire un soin, tout rentre dans un gant de toilette. » (Entretien, Infirmier, CHU de Bordeaux).

4. Conclusions et préconisations

Au terme de cette recherche, il apparait un certain nombre de ressorts et de contraintes au processus d'écologisation en milieu hospitalier (Tableau 26). Quatre points sont à retenir :

1. Le CHU de Bordeaux évolue vers une gestion hospitalière *extra-muros* (soins ambulatoires, parcours de soins…). Cette évolution fait émerger une nouvelle forme de responsabilité environnementale vis-à-vis des patients situés en dehors des murs de l'hôpital. À ce jour plusieurs services ont noté l'absence d'un niveau organisationnel intermédiaire permettant d'accomplir cette nouvelle forme de responsabilité.
2. La priorisation de la santé sur l'environnement reste une contrainte majeure au processus d'écologisation des pratiques hospitalières.
3. Le risque de santé au travail et les enjeux économiques sont deux portes d'entrée pour aborder la question de la contamination des milieux aquatiques par les biocides et les produits pharmaceutiques.
4. La prise de conscience disparate au sein de la communauté de soin du problème de contamination de l'eau par les médicaments et les biocides. Cette prise de conscience hétérogène des conséquences environnementales des activités de soins s'explique par les possibilités d'accès de l'acteur hospitalier à l'information au sein de l'organisation et par la spécialité médicale dans laquelle il exerce sa profession.

Tableau 26. Ressorts et contraintes au processus d'écologisation.

	PHARMACIE	MEDECINS/INFIRMIERS	SERVICES D'HYGIENE	LABORATOIRES D'ANALYSES	PLAIES ET CICATRICES
RESSORTS AU PROCESSUS D'ECOLOGISATION	Formation des Pharmaciens Risques de santé au travail via la manipulation de médicaments	Risque de santé au travail via la manipulation de Médicaments Approche réflexive du soin Développement de soins extra-muros	Faible dépendance vis-à-vis des distributeurs de biocides Risque de santé au travail via la manipulation de biocides Reconceptualisation de l'hygiène	Avantages Économiques Diminution du risque de santé au travail dans la manipulation de produits toxiques	Apithérapie: technique médicale de dernier recours Avantages économiques
CONTRAINTES AU PROCESSUS D'ECOLOGISATION	Priorisation de la santé sur l'environnement Dépendance vis-à-vis des traitements proposés par les firmes pharmaceutiques	Priorisation de la santé sur l'environnement Développement de soins protocolisés (evidence based medecine) Accès inégal à l'information	Priorisation de la santé sur l'environnement		Acceptation de l'apithérapie dans le milieu médical

En matière de préconisations, des actions peuvent être proposées à court, moyen et long terme, auprès de différents acteurs.

Actions à court terme

- Rendre visible les risques liés aux résidus médicamenteux et biocides et développer la prise de consciences des problèmes en santé-environnement par les acteurs hospitaliers ;
- Restituer les résultats des programmes de recherche actuels et antérieurs menés sur le CHU (programmes RESEAU et REGARD) ;
- Réaliser une vidéo scribing et un pictogramme pouvant servir à des actions de communication interne ;
- Proposer un module d'enseignement en santé-environnement (Médecine, pharmacie, IFCS, formation interne de la PUI) ;
- Réaliser un séminaire d'échanges entre les hôpitaux menant des actions de gestion à la source des résidus médicamenteux et des biocides ;
- Réaliser une concertation sur les problèmes environnementaux liés aux activités de soins ;
- Introduire dans les communications internes en santé au travail la question de l'impact environnemental des activités de soins ;
- Orienter la ligne éditoriale des journaux interne du CHU autour des problèmes de santé-environnement, de la gestion de l'eau et de sa contamination par les activités médicales ;
- Prendre appui sur la promotion de la santé ou l'éducation thérapeutique pour informer les patients sur les risques environnementaux liés aux médicaments ;
- S'appuyer sur les ambassadeurs du développement durable pour informer et mener des actions pour limiter l'impact environnemental des activités.

Actions à moyen terme

- Mettre en place des dispositifs de gestion à la source des résidus médicamenteux ;
- Mettre en place une filière des déchets issus des médicaments et des déchets liquides (ex : Hôpital Necker) ;
- Mettre en place un système de récupération des selles et des urines.

Actions à long terme

- Mettre en place une gestion *extra-muros* des activités de soins ;
- Mettre en place un niveau de gestion intermédiaire entre l'hôpital et le domicile des patients (ex : information auprès des patients, collecte des déchets) ;
- Accompagner une réflexion du personnel sur le rôle social des soignants ;
- Réaliser des séminaires, par exemple sur : « les approches thérapeutiques : approche réflexive *versus* approche protocolisée », « Contraintes budgétaires et de personnel : quelle place pour l'environnement à l'hôpital ? », « Comment introduire la question environnementale dans le soin : débat sur les interactions entre acteurs hospitaliers et patients ? ».

Partie 7. Discussion générale

1. Le rôle de la science dans la problématique des micropolluants

La caractéristique principale des micropolluants, on l'a vu, est leur imperceptibilité. Au Moyen Âge, par exemple, le rouissage du lin dans l'eau rendait l'eau nauséabonde et d'une couleur sombre. Aujourd'hui ce paradigme de la nécessaire perceptibilité des pollutions se voit même inversé. En effet, la turbidité de certains fleuves laisse penser que leur pollution est importante ; en revanche, la présence de PCB dans une eau ne change ni sa texture, ni sa couleur, ni son odeur, ni son goût pour celui qui la boit, ni le son de l'eau qui coule pour celui qui entend. La problématique des micropolluants est intrinsèquement liée la science, qui y joue un double rôle : en amont, c'est la technologie scientifique qui crée le risque (par ex. rôle de la chimie dans la création de nouvelles substances) ; en aval, c'est la recherche scientifique qui a le pouvoir de les dévoiler (par ex. mesure des contaminants et étude de leurs impacts environnementaux et/ou sanitaires).

1.1 La science « en amont » des micropolluants

Le 19ème siècle signe le début de la chimie organique et le 20ème siècle son essor avec l'accélération des recherches dans cette discipline. Les micropolluants questionnent les usages de la chimie mais aussi son essence-même. La chimie est une science déterministe : son but est d'étudier la matière et ses phénomènes afin de les comprendre et de pouvoir les répéter par la création de molécules existantes à l'état naturel dans l'environnement. Son but est de saisir l'instabilité de la matière afin de la reproduire et de la maitriser. Or, les micropolluants remettent en cause le paradigme déterministe de la chimie puisque qu'ils réintègrent de l'aléatoire au sein des phénomènes chimiques dirigés par l'homme parce qu'il ne maitrise pas les molécules qu'il crée : il ne contrôle ni leur devenir géographique, ni leur devenir temporel. En effet, on ne sait pas forcément ce que deviennent les molécules après interaction avec le corps humain ou avec l'environnement, c'est-à-dire ce que vont être leurs produits de dégradation ou leurs métabolites. Par exemple, l'AMPA est un métabolite environnemental de l'herbicide glyphosate, substance principielle du Roundup, mais aussi de phosphonates utilisés dans l'industrie ou dans la sphère domestique (détergents). Il est intéressant de remarquer que les métabolites sont quelquefois plus dangereux que la molécule-mère dont ils proviennent. Les métabolites du bisphénol A apparaissent, par exemple, dans de nombreuses études comme plus dangereux que le bisphénol A lui-même, en présentant une activité oestrogénique à des taux de concentrations bien plus faibles que le bisphénol A (Baker et Chandsawangbhuwana, 2012). Nous pouvons donc dire que, parfois, la nature, par le biais de sa « médiation hasardeuse » rend les composés chimiques que l'homme rejette en elle plus dangereux pour l'homme que ceux qu'il avait initialement créés.

1.2 La science « en aval » des micropolluants

« Les risques environnementaux sont des risques cognitifs réservés aux experts et aux scientifiques » (Barraqué et Kalaora, 1994).
Le caractère invisible des micropolluants rend leur détection entièrement dépendante de la science. Le consommateur d'eau ou le promeneur de bord de rivière est incapable de déceler la présence de micropolluants. Seul le savoir scientifique aidé de la machinerie technique est capable de se prononcer sur le degré de pollution de l'eau aujourd'hui. Et même pour lui, cette analyse est loin d'être évidente.

La difficulté dans l'analyse des micropolluants réside dans la nécessité de leur identification préalable même si les dernières avancées techniques permettent d'identifier de nouveaux composés sans calibration préalable. Leur détection nécessite, en effet, un standard, autrement dit, une mesure calibrée de ces substances qui servira à reconnaitre leur présence parmi les divers résultats de l'analyse. On ne reconnait une substance parmi les pics d'un

chromatogramme que si l'on sait à quel pic elle correspond. Ainsi, il faut nécessairement savoir ce que l'on cherche. La science doit faire parler la nature et non pas seulement l'écouter. A cette première difficulté s'ajoute la croissance exponentielle du nombre de molécules qui sont créées par l'homme depuis le début de l'ère industrielle et qui ne cessent de progresser. Et si l'homme accroit la variété des substances présentes dans son environnement, la nature en fait de même. La dégradation des molécules va produire de nouvelles molécules qui vont ensuite interagir entre elles dans le milieu et créer encore une fois de nouvelles molécules. On se retrouve donc avec de nouvelles substances, pour lesquelles n'existent pas de standards analytiques et qui ne peuvent donc pas être analysées, telles de nombreux « micro-Frankenstein aquatiques ». Les micropolluants sont donc aussi, dans un sens, invisibles aux yeux de la science qui doit déjà savoir quoi et où regarder.

« Suspendu au-dessus du quotidien, le risque offre un support à l'expression d'une symbolique sociale et politique » (Barraqué et Kalaora, 1994).
La science est donc le seul médiateur de l'appréhension des risques. Elle donne la mesure de la dimension objective du risque en tant que danger potentiel pour la santé humaine ou l'environnement. La communication du risque est donc réduite à sa seule dimension objective. Ces inconnues dans l'équation posent nécessairement une question éthique à l'analyse scientifique, à savoir : quelles molécules souhaite-t-on rechercher ? Comment interpréter les résultats ? Comment les communiquer ? La science est le médiateur qui relie le problème sociétal que posent les micropolluants et les citoyens. Les scientifiques endossent donc une certaine responsabilité vis-à-vis de la façon dont ils vont présenter leurs résultats aux politiques et qui va aiguiller la connaissance et les représentations que se feront les individus des micropolluants et des risques/dangers qui leurs sont associés. Il semble qu'on puisse associer une identité commune à l'eau et à la chimie : l'immatérialité et l'invisibilité. La matière du chimiste est imperceptible pour le profane et elle se retrouve dans un élément naturel qui correspond à son invisibilité propre. Ce changement de paradigme concernant la perceptibilité de la pollution en milieu aquatique relatif à la problématique des micropolluants renforce la représentation moderne de l'eau.

1.3 La mise en risque des micropolluants

Alors que pour les experts, la notion de risque est bien établie (interaction d'un danger et d'une exposition ; dépassement des PNEC (concentrations prédites sans effet) ou des NQE (Normes de Qualité Environnementale) ; pour les non-experts à l'inverse, le risque n'est pas un risque en soi, mais le devient dans la mesure où on se le représente comme tel. Ce basculement de représentation passe par un « rouage de mise en risque » dans lequel tous les « crans » doivent se mouvoir en même temps : le cran scientifique, le cran technologique, et le cran institutionnel. Ce que l'on désigne par l'expression « mise en risque » est le passage de la représentation d'un évènement comme anodin à celui de présentant un risque potentiel. Le risque se construit à partir de différentes hypothèses non scientifiquement validées qui servent à déclencher une alerte. Ainsi, la mise en risque n'est pas le fait d'un acteur ni même d'un groupe d'acteurs, ce n'est pas non plus un acte législatif, ni une publication d'étude, mais un changement dans les représentations de la majorité des consciences d'une population donnée, entrainé par tout un système formé de multiples changements de représentations des acteurs scientifiques, médiatiques, militants et politiques. En effet, la diminution des seuils réglementant les substances s'explique au moins autant par les progrès en métrologie que par la diminution de l'acceptabilité sociale des risques encourus par l'exposition à ces substances, du fait, notamment de plusieurs crises environnementales et sanitaires.

2. Apports de l'interdisciplinarité

2.1 Pour aborder la complexité

« Le morcellement et la compartimentation de la connaissance en disciplines non communicantes rendent inapte à percevoir et concevoir les problèmes fondamentaux et globaux » (Morin, 2012, p. 145).

Les questions de la contamination des milieux aquatiques par les micropolluants, de leur détection, de la caractérisation de leur(s) impact(s) sur l'environnement, de l'identification de leur(s) source(s) et de leur réduction renvoient nécessairement à une multiplicité d'approches mobilisant, dans le projet REGARD, un certain nombre de disciplines telles que la chimie, l'écotoxicologie, la sociologie, la psychologie sociale, l'écologie humaine ou encore l'économie…Chacune participe à une partie de la compréhension de l'objet, mais c'est d'une collaboration plus ou moins étroite entre elles, de l'échange de méthodes et de résultats, voire d'une reconsidération des points de vue disciplinaires que peut émerger une compréhension la plus globale possible du système et peuvent se dégager des solutions pertinentes. Cette approche interdisciplinaire est souvent mise en avant pour aborder la complexité. Elle est généralement placée au sommet d'une échelle de gradation après les approches monodisciplinaires et pluridisciplinaires (Létourneau, 2008). Carrere et Salles (2016b), pour aborder les problèmes en santé-environnement liés à la contamination des eaux par les composés pharmaceutiques, préfèrent l'utilisation du « savoir méréologique » articulé autour d'un savoir holistique[24] interdisciplinaire et de spécificités heuristiques[25] et analytiques disciplinaires.

2.2 Pour aborder le risque

Les risques relatifs aux micropolluants présents dans les milieux aquatiques sont difficiles à percevoir du fait i) de leur imperceptibilité, de la dépendance à la science pour les mesurer, et de l'absence de seuils réglementaires pour beaucoup d'entre eux, ii) de leurs effets difficilement prédictibles et de la difficulté de faire le lien entre les impacts sur les espèces du milieu aquatique et les impacts sur la santé humaine, iii) du non-choix quant à notre exposition à ces composés présents dans le milieu aquatique.

Les différentes tâches du lot 1 du projet REGARD « Caractérisation des substances et des impacts » ont été menées de manière pluridisciplinaire, voire interdisciplinaire, pour identifier au mieux ces risques émergents. En effet, la tâche 1.2 a permis de comprendre les enjeux des micropolluants pour différents acteurs, d'identifier leurs connaissances et leurs représentations et de les sensibiliser. La tâche 1.3 a permis d'identifier et de quantifier les substances présentes dans le continuum depuis les effluents issus des différentes sources jusqu'au milieu naturel (Chollet *et al.*, 2016 ; Coynel *et al.*, 2016), de caractériser les impacts observés *in vivo* (Baudrimont *et al.*, 2016) et *in vitro* (Ait-Aissa *et al.*, 2016). C'est au niveau du lot 2 « Diagnostic et priorisation des risques à l'échelle du territoire » et du lot 3 « Mise en forme des solutions de réduction des micropolluants sur le terrain » que seront confrontées ces visions pour entamer la réelle plus-value interdisciplinaire de ce projet.

2.3 Interdisciplinarité et SHS

Le projet REGARD fait partie des 13 projets retenus dans le cadre de l'appel à projets « Innovations et changements de pratiques ».

Une « innovation » désigne le résultat de l'introduction réussie d'une invention technique ou est le fruit d'un nouveau comportement ou procédé qui s'est diffusé. Souvent, la modification des pratiques des usagers ou des changements intervenant dans les relations

[24] qui s'intéresse à son objet comme constituant un tout
[25] utiles à la découverte de faits et de théories

sociales/organisationnelle sont des gages de réussite face à une innovation technique ou technologique ; le succès des innovations étant étroitement lié à l'anticipation de ces dimensions et leur prise en compte le plus en amont possible. Une des définitions de l'innovation sociale est d'élaborer « des réponses nouvelles à des besoins sociaux nouveaux ou mal satisfaits dans les conditions actuelles du marché et des politiques sociales, en impliquant la participation et la coopération des acteurs concernés, notamment des utilisateurs et des usagers. Ces innovations concernent aussi bien le produit ou le service, que le mode d'organisation, de distribution, dans des domaines variés » (Chibani-Jacquot, 2013). Pour que cette innovation devienne « sociétale », elle doit regrouper l'innovation sociale et l'utilité sociale, doit être institutionnalisée, et doit être reconnue et adoptée par la société dans son ensemble (Mortier, 2013). « L'innovation sociétale doit tendre vers une transformation ou un changement social dont les objectifs pourraient être, entre autres, l'amélioration des conditions collectives du développement humain durable (dont font partie l'éducation, la santé, la culture, l'environnement et la démocratie) » (Chibani-Jacquot et Fremeaux, 2013).

Une innovation est donc caractérisée par une double composante : technique et souvent liée aux sciences qualifiées de « dures » (hydrologiques, chimiques, biologiques, écotoxicologiques, …) et non techniques (sociales, économiques, organisationnelles, politiques…) plutôt rattachée aux Sciences Humaines et Sociales dites « SHS ». Ces dernières occupent une place importante dans cet appel à projet puisque 7 disciplines sont représentées dans les 13 projets : la sociologie et l'anthropologie, la psychologie, la géographie, l'écologie humaine, l'économie et les sciences politiques.
Les « changements de pratiques » relèvent d'une part de dimensions individuelles *(« c'est bien plus confortable de ne pas changer ! », « changer implique trop de nouvelles contraintes en termes de confort, de temps, d'argent »*) mais également de dimensions collectives (*« Si les autres ne changent pas, pourquoi moi je le ferai ? », « mon changement est dépendant des politiques mises en place et des restrictions réglementaires »)* et structurelles *(par ex. priorisation de la santé sur l'environnement dans les systèmes de soins)* (Ademe, 2016). Ainsi, travailler sur des changements de pratiques implique donc de comprendre :

- Le fonctionnement des pratiques existantes et de concevoir des solutions innovantes capables de s'adapter/se greffer aux pratiques préexistantes et les faire évoluer ;
- Les freins, les contraintes qu'il faudrait lever. Cela se situe parfois au niveau des représentations sociales, parfois au niveau d'autres déterminants de l'action (raisons économiques, éthique et principes moraux, habitudes, coutumes et réflexes …).

Les chercheurs de REGARD ne sont évidemment pas les seuls à poser ces constats et à travailler sur les facteurs/déterminants (techniques, sociaux, réglementaires etc.) favorisant l'adoption ou non de nouveaux comportements. Ce sujet est largement abordé dans le cadre du groupe de travail et d'échanges qui a été initié dans le cadre de l'AAP AFB et regroupe une majorité des chercheurs en SHS des 13 projets retenus.

2.4 Indicateurs de réussite

Parmi les indicateurs d'évaluation de la réussite de cette tâche 1.2 avaient été mentionnés des critères de réussite scientifique concernant la capacité des partenaires issus de champs disciplinaires différents (sciences technologiques, sciences biologiques, et sciences humaines) à partager un projet commun. Le corollaire mis en avant dans les risques associés à cette tâche était de s'assurer que les liens entre les approches chimiques et écotoxicologiques d'une part et des SHS d'autre part soient efficients et bien articulés.

À la fin de cette 1ère étape du projet REGARD, ce critère de réussite semble accompli. En effet, au sein-même de l'étude d'une source, plusieurs disciplines parfois éloignées ont pu être mobilisées. Par exemple, l'expérimentation « Living Lab » de la source domestique résulte d'une interaction forte entre les SHS (écologie humaine, psychologie sociale, sociologie), les

sciences technologiques (notamment concernant les données techniques du « book » rédigé par les chercheurs) et les sciences de la médiation et de la communication (conception et animation de Cap Sciences). Autre exemple, l'étude de la source pluviale est caractérisée par des observations de terrain, interviews et entretiens relatifs aux pratiques et produits utilisés afin d'identifier des leviers d'action préventifs, mais également à l'étude d'une technique relative à un pilote de traitement curatif avant rejet en milieu récepteur. Enfin, pour l'étude de chacune des sources, des échanges ont été nécessaires avec les collègues chimistes afin de prioriser l'étude de certaines pratiques au regard de certaines substances prioritaires, ou au contraire la mesure de certaines substances dans le milieu en fonction des pratiques ou produits nous semblant les plus pertinents pour la source en question. À noter cependant que pour l'instant, peu voire pas d'articulations ont été mises en œuvre entre les SHS caractérisant cette tâche 1.2 d'une part et les approches biologiques mesurant les impacts biocénotiques *in situ* d'autre part.

3. Réflexion sur les sources : la nécessité d'une approche systémique pour proposer des leviers d'action pertinents

3.1 Les sources en question

Au départ de ce projet, nous avons choisi d'aborder l'étude des micropolluants sur le territoire de la métropole bordelaise, non pas par type de substance ou par type de produit en contenant, mais par type de source d'émission. Cette entrée dans le projet par les sources d'émission nous permettait : i) d'avoir une démarche globale sur le territoire, ii) d'étudier les micropolluants sur un continuum depuis les différences sources d'émission jusqu'au milieu naturel, iii) de caractériser chaque source d'émission en termes de substances afin d'identifier des traceurs éventuels, et en termes d'acteurs et de pratiques afin de faire émerger des leviers de réduction.

Nous avons donc abordé la tâche 1.2 du projet REGARD par l'étude de 5 sources : la source domestique, la source industrielle, la source collectivités, la source hospitalière et la source pluviale.

Ce découpage en cinq types de sources pose déjà un problème de délimitation du périmètre de chacune d'entre elles. En effet, la source pluviale étant traitée séparément, il n'aurait fallu nous préoccuper que des rejets dans les eaux usées pour les autres types de sources. Or, les citoyens, par certaines de leurs pratiques, contribuent à rejeter des substances dans le réseau pluvial. C'est par exemple le cas lorsque certains lavent leur voiture devant chez eux, exemple qui a été traité dans l'enquête populationnelle ou encore lorsqu'ils désherbent leurs allées ou bien entretiennent leur toiture. C'est aussi le cas pour de nombreuses collectivités qui peuvent utiliser un certain nombre de composés se retrouvant dans le réseau pluvial après l'entretien de voiries, cimetières, terrains de sport, ou façades (*via* le nettoyage des graffitis par exemple). L'entretien des façades est également mis en œuvre par des artisans. Ainsi, on se rend compte qu'il est plus cohérent de réfléchir par type de pratiques plutôt que par type de sources, les mêmes pratiques pouvant être mises en œuvre par divers types d'acteurs au sein de diverses sources. Sur la base de cette réflexion, le travail sur la source pluviale et la source collectivités (dont les pratiques contribuent à la source pluviale) a été réalisé de manière concertée.

Par ailleurs, si la caractérisation de la source industrielle développée dans cette tâche 1.2 correspond bien aux émissions relatives aux activités industrielles telles qu'inventoriées au niveau national et régional dans la base de données RSDE[26], les 15 sites retenus pour l'étude de la source industrielle sur le territoire métropolitain correspondent à des zones d'activités

[26] Action nationale de recherche et de réduction des Rejets de Substances Dangereuses dans les Eaux. RSDE. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et INERIS. http://www.ineris.fr/rsde/

économiques qui sont des zones « mixtes » (regroupant des activités industrielles, artisanales, commerciales, logistiques, voire résidentielles) (REGARD, 2015). Les analyses chimiques (Chollet *et al.,* 2016) nous indiquent que contrairement à ce qui aurait pu être attendu pour cette source « industrielle », ce sont surtout des substances pharmaceutiques (paracétamol, hydroxy-ibuprofène et acide salicylique) et les traceurs de vie humaine que sont la caféine et la théophylline qui caractérisent le plus ces eaux usées au détriment de certains types de rejets purement industriels.

La même question des traceurs spécifiques se pose pour les autres sources étudiées. Nous pensions, en effet, au début de ce travail que certaines substances pharmaceutiques seraient spécifiques de la source hospitalière. Or, les résultats des analyses chimiques montrent que c'est le paracétamol qui a les plus fortes concentrations, contribuant à la moitié du flux sortant (Chollet *et al.,* 2016). Par ailleurs, avec le développement des soins ambulatoires, des composés auparavant spécifiques de la source hospitalière se retrouvent maintenant, *via* les rejets dans les urines (ou de mauvaises pratiques comme le rejet de médicaments non terminés dans les toilettes ou les éviers), dans les eaux usées caractérisant la source domestique (voire dans les eaux usées des autres zones de vie et de travail, comme les collectivités ou les zones d'activité). Le paracétamol, la caféine et la théophylline marquent ainsi fortement les eaux usées, quelle que soit leur origine, tout simplement du fait de leur forte consommation par la population. Ces composés ne sont donc pas spécifiques d'une source en particulier mais, en tant que traceurs de vie humaine, sont spécifiques des eaux usées. Autre exemple, le fipronil, substance utilisée dans le traitement antipuces/antitiques semblait être un bon traceur des eaux usées de la source domestique. Or, cette substance étant également utilisée dans certains traitements antitermites chimiques peut aussi se retrouver dans les eaux pluviales, dont la source peut être domestique ou industrielle/artisanale ou encore issue des collectivités…. Ainsi, au vu des résultats préliminaires issus des analyses chimiques présentés dans les livrables de la tâche 1.3 (Chollet *et al*., 2016 ; Coynel *et al.,* 2016), aucun composé, ou très peu, ne semble véritablement spécifique d'une source.
Pour résumer, nous avons vu que :

1. Le « contour » d'une source est difficile à délimiter par rapport aux rejets dans les eaux usées ou pluviales et par rapport à la définition même de la source (par ex : les sites d'étude de la source « industrielle » du projet REGARD qui s'apparentent plus à des zones d'activités économiques)
2. Les composés retrouvés dans les eaux usées ne sont pas spécifiques d'une source (par ex. les substances pharmaceutiques issus de traitements hospitaliers rejetés dans les lieux de vie du fait de l'augmentation de la gestion ambulatoire des soins)
3. Les composés trouvés majoritairement dans les eaux usées sont des traceurs de vie/présence humaine (par ex : paracétamol, caféine) quelle que soit la source.

Cela nous amène à réfléchir, non pas spécifiquement par source ou même par type de composé, mais de façon plus globale et systémique**.** Si les rejets de composés sont peu spécifiques d'une source et sont, pour les plus concentrés, des traceurs de vie humaine, ce sont les usagers et non plus les sources qui se retrouvent au centre de l'analyse globale et intégrée (Figure 46).

3.2 La nécessité d'une approche systémique

Les usagers sont définis comme les acteurs mettant en œuvre les pratiques à l'origine des émissions de micropolluants. Ces usagers sont d'une part les citoyens, considérés dans leur sphère privée autant que professionnelle ; et d'autre part les services techniques considérés au sens large qui mettent en œuvre les pratiques des activités économiques (collectivités et structures d'État, services tertiaires, entreprises du commerce, de l'industrie et de l'artisanat).

Ces usagers, par la diversité de leurs pratiques et des produits employés, contribuent à l'émission des micropolluants.

Ainsi, les leviers d'action doivent porter sur les produits et/ou matériaux contenant ces substances et les pratiques associées. Ces pratiques, bien que diversifiées, peuvent être regroupées en grandes catégories : les pratiques relatives à l'hygiène et à la beauté, celles concernant l'usage de médicaments, les pratiques concernant l'entretien des intérieurs (ex : ménage, entretien du linge) et des extérieurs (ex : espaces verts, terrains de sport, voiries, façades, toitures, mobilier urbain, voitures), la gestion des nuisibles. Enfin, les pratiques spécifiques liées à certains usages et traitements industriels ou artisanaux spécifiques font l'objet d'une catégorie à part, de même que les pratiques associées aux déplacements et aux transports, responsables de contaminations du réseau pluvial (via l'usure des matériaux comme les pneus et les freins, les fuites ou encore les émissions atmosphériques suivies de leur dépôt).

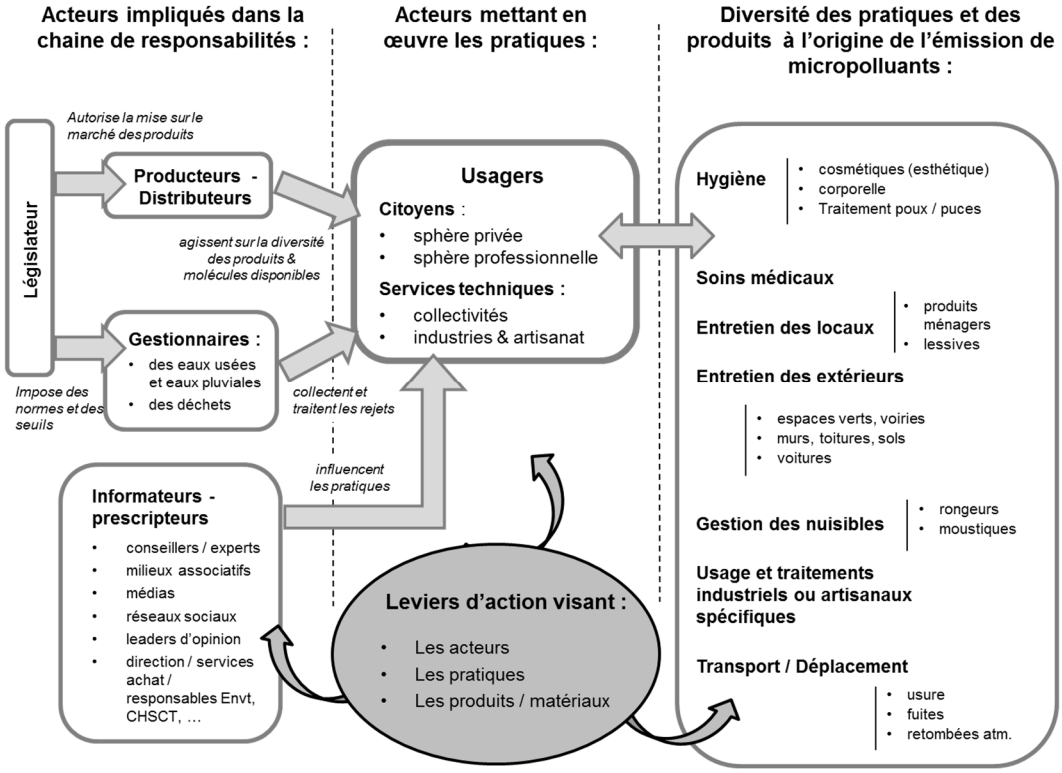


Figure 46. Analyse systémique de la problématique du rejet des micropolluants.

Si les usagers se retrouvent au centre de l'analyse en contribuant, par leurs pratiques, à l'émission des micropolluants, ils ne doivent pas pour autant être les seules cibles des mesures préconisées de réduction. En effet, les leviers d'action ciblant les usagers doivent être cohérents avec l'ensemble des actions mises en œuvre tout au long du cycle de vie des produits. Si les usagers mettent en œuvre telle ou telle pratique avec tel ou tel produit, c'est souvent parce que les produits sont à disposition ou prescrits sans forcément de préconisation audible à leur usage. Les leviers d'action doivent alors porter sur les acteurs intervenant dans la chaîne de responsabilités influençant les pratiques (Figure 46).

La priorisation des risques vis-à-vis de certaines substances doit donc intégrer le législateur en amont de cette chaîne de responsabilités (par ex. en rendant obligatoire l'évaluation environnementale de mise sur le marché de certains médicaments ou « l'étiquetage environnemental ») mais aussi y associer les acteurs du système de production-distribution (en contrôlant la diversité des molécules mises sur le marché et en privilégiant l'écoconception et la labellisation des produits, y compris par des aides financières). Sans doute, pour ce 1er

type d'acteurs, la question de la temporalité doit être interrogée en mettant en balance la durée nécessairement longue pour conduire à une évolution de la réglementation et l'urgence de la situation concernant la contamination des milieux aquatiques. Les leviers d'action doivent également cibler l'ensemble des acteurs influençant les pratiques que nous avons qualifiés d'informateurs-prescripteurs. Il s'agit par exemple des scientifiques en tant qu'experts sur ces problématiques, des prescripteurs de santé pour la délivrance d'ordonnance de médicaments, des médias jouant un rôle indéniable dans la médiatisation des effets sanitaires ou environnementaux de certains produits, de la publicité et du marketing qui incitent à la consommation de produits contenant des micropolluants, des comités de direction des entreprises et des collectivités orientant les politiques de développement et de ce fait orientant les achats de produits et la pratiques mise en œuvre par les services techniques, etc. Enfin, les leviers d'action doivent également concerner les gestionnaires, concernant autant les réseaux d'eaux usées / eaux pluviales que les déchets (par ex. amélioration technique de l'efficacité des STEU pour certaines substances peu abattues, gestion économique efficiente des boues issues des STEU).

3.3 Synthèse sur les leviers d'action

Les leviers d'action peuvent être spécifiques des micropolluants et doivent alors cibler autant l'achat des produits/matériaux qui contiennent ces substances (par ex. choisir un produit en fonction des informations indiquées par l'étiquetage ou en fonction des priorités définies par la direction et les services achats), que leur usage (par ex. préconiser des fréquences adéquates et contrôler le dosage), et leur rejets (par ex. en informant sur les modes de collecte et de traitement conformes pour les produits en fin de vie). L'objectif de ces leviers d'action est alors de remplacer des produits/matériaux utilisés ou de changer les pratiques par des changements comportementaux ou structuraux (par exemple, inclusion du critère « micropolluant » dans les achats publics).

Finalement, l'approche systémique représentée par la Figure 46 nous permet de proposer une synthèse des leviers d'action, non plus par source, mais par catégories d'action : éduquer et sensibiliser, réglementer, traiter, substituer, réduire et gérer. Chaque catégorie peut englober une diversité de leviers d'action. Par exemple, la substitution peut concerner : i) la substitution d'un matériau potentiellement émetteur de micropolluants (par exemple la substitution d'une toiture en Zn par une toiture végétalisée) ; ii) la substitution d'un produit contenant des micropolluants par un produit écolabellisé ou biodégradable ; iii) la substitution d'un produit chimique par un traitement mécanique (Ex : nettoyage à l'eau haute pression des surfaces) ; iv) la substitution d'une pratique (Ex : passage d'une gestion homogène des espaces verts avec utilisation potentielle de phytosanitaires à une gestion différenciée des espaces, donc des espaces ne nécessitant pas leur usage). Enfin, chaque levier d'action mobilise des acteurs différents dans la chaine de responsabilités influençant les pratiques. Le Tableau 27 synthétise, en fonction de ces 6 catégories d'action, les différents leviers d'actions proposés par source dans les parties précédentes.

Tableau 27. Catégorisation des leviers d'action et identification des acteurs concernés.

Catégorie de leviers d'action	Exemples de leviers d'actions	Acteurs ciblés
Eduquer et sensibiliser	Diffuser aux citoyens de l'information scientifique territorialisée sur la pollution des milieux aquatiques à l'exemple du Book du Living Lab, de la restitution des résultats du programme de recherche RESEAU aux acteurs hospitaliers ou encore des restitutions publiques annuelles « Regard citoyen sur les micropolluants ».	Informateurs-prescripteurs (experts, direction)
	Proposer aux citoyens des activités de nature pour reconnecter les gens à la nature.	Informateurs-prescripteurs (tissu associatif)
	Impliquer les citoyens dans des démarches d'amélioration du cadre de vie : « Trottoirs vivants », « Famille Eau Défi » …	Informateurs-prescripteurs (experts, direction) Usagers (citoyens, services techniques)
	Informer et sensibiliser sur les substances contenues dans les produits d'usages courant.	Législateurs, producteurs-distributeurs, informateurs-prescripteurs, experts (chercheurs), gestionnaires.
	Développer la prise de conscience des liens santé-environnement.	Informateurs-prescripteurs (experts, médias)
	Proposer un module d'enseignements en santé-environnement à destination des professionnels de soins et des services techniques des collectivités.	Informateurs-prescripteurs (experts, gestionnaires, usagers (services techniques)
	S'appuyer sur des personnes ou structures référentes ou relais pour informer et mener des actions pour limiter l'impact environnemental des pratiques.	Informateurs-prescripteurs (associations, direction)
Réglementer	Mieux suivre la pollution, renforcer les contrôles et appliquer des pénalités.	Gestionnaires, législateur
	Taxer l'usage de certains produits/substances.	Législateur, producteurs distributeurs, informateurs-prescripteurs (direction, achat)
	Interdire la mise sur le marché de produits contenant des substances dangereuses, ou interdire leur usage dans certains secteurs d'activité.	Législateur, producteurs-distributeurs
Traiter	Récupérer et traiter les eaux contaminées.	Gestionnaires, producteurs-distributeurs (collecte, traitement des eaux)
	Systématiser les prétraitements.	Usagers (services techniques), informateurs-prescripteurs (direction)
	Traiter les effluents avant rejet.	Usagers (citoyens) informateurs-prescripteurs (direction, experts)
	Optimiser les procédés industriels pour limiter les pertes de matières actives pour tendre vers un objectif de « zéro rejet liquide ».	Usagers (citoyens) informateurs-prescripteurs (direction, experts)
	Mettre en place des dispositifs de gestion à la source des résidus médicamenteux.	Usagers (services techniques), informateurs-prescripteurs (direction)
	Mettre en place un système de récupération des selles et urines.	Usagers (services techniques), informateurs-prescripteurs (direction)
Substituer, réduire et gérer	Substituer les produits par des produits plus sains ou par des actions mécaniques. Réduire les fréquences, les doses ou la diversité des produits pour un même usage.	Usagers (citoyens, services techniques), informateurs-prescripteurs (médias, milieu associatif, direction, achat)
	Intégrer le critère « micropolluants » dans les matériaux utilisés et dans les clauses des marchés publics.	Informateurs-prescripteurs (direction, achat)
	Remplacer les matériaux à l'origine des micropolluants.	Usagers (citoyen, services techniques), informateurs-prescripteurs (direction, achat)

Pour conclure, on peut finalement interroger les leviers d'actions spécifiques de la problématique des micropolluants. La pollution des milieux aquatiques par les micropolluants fait partie d'un ensemble de problématiques environnementales, entremêlées et régies par des relations de causes à effet : changement climatique, érosion de la biodiversité, dégradation et fragmentation des habitats, … Essayer d'agir sur une problématique sans considérer les autres ne risque-t-il pas de conduire à des effets contre-productifs ? Par exemple, remplacer une pelouse de terrain de sport nécessitant l'usage de traitements phytosanitaires par un gazon en matériau inerte aura sans doute des impacts positifs sur l'émission de micropolluants dans le réseau pluvial, mais qu'en est-il des impacts écologiques liés à la fabrication (à partir de matériaux d'origine fossile), au transport (émission de gaz à effet de serre) et au remplacement (gestion des déchets) de ce gazon synthétique ?

Ainsi, concernant les leviers d'action ciblant les changements de comportements, il s'agit de redonner du sens aux actions. Les gens veulent généralement bien faire mais il peut être difficile de concilier les différentes sollicitations, parfois considérées comme injonctives, concernant les économies d'eau et d'énergie, le tri et la prévention des déchets, l'alimentation saine et locale, la pollution des milieux et les impacts sanitaires potentiels, etc. Pour cela, l'éducation des usagers aux problématiques environnementales dans leur ensemble (et non pas de manière sectorisée), tout long au long de la vie et par différents moyens, semble être, à terme, un des leviers d'action à privilégier pour éviter les transferts d'impacts et les éventuels effets rebond. Cela peut passer par une approche multi-critères et multi-étapes des impacts, à l'exemple de l'Analyse du cycle de Vie des produits, ou par l'adoption d'une démarche de sobriété, transversale aux différentes problématiques environnementales. A cet égard, l'apprentissage de l'incertitude et de la complexité est un élément particulièrement important, pour accepter le compromis individuel et collectif, et en intégrant le fait qu'on ne peut être exemplaire sur tout et tout de suite.

Chapitre 8. **Bilan et plan d'action**

Ce document présente le bilan de la première phase du projet REGARD qui consistait en un diagnostic chimique, biologique et sociologique des sources et des flux de micropolluants (MP) à l'échelle du territoire de Bordeaux Métropole. Les grandes conclusions de ce diagnostic sont résumées et récapitulées dans ce dernier chapitre.

Pour réaliser ce diagnostic global, territorial et intégré, plus de 315 échantillons d'eau et de boue ont été collectés sur plus de 70 sites de prélèvement différents : milieu naturel, stations de traitements des eaux usées (STEU), eaux pluviales (EP) et eaux usées (EU) d'origine industrielles, hospitalières et domestiques.

Résultats du diagnostic chimique :
Entre 88 et 239 micropolluants organiques et métalliques ont été recherchés selon les différents type d'échantillons. Les analyses ont été réalisées avec des technologies de pointes et la qualité des résultats est assurée par des matrices certifiées ou des échantillons artificiels et des blancs de protocoles analysés en parallèle de chaque série d'analyse.
Les résultats sont les suivants :

- Les eaux usées brutes, directement prélevées au niveau des émetteurs, sont très chargées en micropolluants. Elles sont toutes contaminées par des résidus de médicaments et les traceurs de vie humaine. Le paracétamol, l'acide salicylique, l'ibuprofène, la caféine et la théophylline sont les principales molécules retrouvées. Cette contamination est donc directement liée à la présence humaine et aux modes de vie sans distinction d'activité (industrielle, domestique, hospitalière).
- Des différences de contamination entre sources sont cependant observées si on regarde les autres classes de polluants :
  - les eaux usées d'origine industrielle et hospitalière sont plus contaminées par du DEHP, des Alkylphénols, des COV, des BTEX et des HAP ;
  - les effluents hospitaliers contribuent à la contamination des EU par des molécules utilisées spécifiquement à l'hôpital (certains antibiotiques, anticancéreux ou agents de contraste) ;
  - les eaux usées d'origine domestique contiennent du DEHP, des parabènes, des filtres UV et des pesticides comme par exemple ceux utilisés pour traiter les animaux domestiques (fipronil). On y retrouve aussi en très fortes concentrations des LAS (Linear Alkylbenzene Sulfonate) qui sont utilisés dans les produits nettoyants.

  Ainsi, contrairement aux résidus de médicaments, la présence de ces composés peut être reliée aux activités professionnelles ou domestiques.
- Bien qu'initialement non destinés à traiter ce type de pollution, les traitements appliqués dans les STEU étudiées sont efficaces. En effet, les résultats montrent une forte diminution des concentrations globales entre l'entrée et la sortie de la STEU. Néanmoins, certains micropolluants restent réfractaires aux traitements et sont retrouvés dans les effluents en sortie de STEU. Ainsi, bien que des médicaments soient retrouvés en entrée et sortie des STEU, les empreintes changent et les molécules les plus abondantes ne sont plus les mêmes. Parmi les molécules réfractaires aux traitements et qui sont encore retrouvées dans les eaux usées traitées, il est possible de citer :
  - certains médicaments comme la carbamazépine, le sotalol, l'oxazépam, la gabapentine et le diclofénac,
  - certains pesticides comme le glyphosate, le fipronil et l'imidaclopride,
  - le DEHP,
  - les produits de dégradation, comme l'hydroxy-ibuprofène ou l'AMPA, issus respectivement de l'ibuprofène et du glyphosate.
- Les eaux pluviales présentent une contamination classique en métaux (zinc, cuivre, plomb, antimoine), HAP et pesticides (glyphosate, diuron, propiconazole). En

revanche, de façon inattendue, des résidus de médicaments (paracétamol, ibuprofène, acide salicylique), les traceurs de vie humaine (caféine, théophylline) et le DEHP ont été retrouvés de façon non négligeable dans ces eaux, probablement en lien avec de mauvais raccordements. La proportion de polluants retrouvés dans les eaux pluviales est très liée aux typologies (voiries, agriculture, etc.) des bassins de collecte.

- Le milieu naturel étudié montre une présence de micropolluants de toutes sortes (métaux, médicaments, pesticides, alkylphénols, phtalates, COV, BTEX et HAP) et ceci dès l'amont de notre système d'étude. Les concentrations sont cependant bien plus faibles que dans les eaux usées ou les eaux pluviales mais elles ne sont pas anodines. Certaines contaminations sont issues de l'amont et notamment de sources industrielles (chlorure de vinyle, toluène et nonylphénol) ou agricoles (métolachlore et ses métabolites, atrazine). La présence de HAP est visible tout le long du cours d'eau, avec une origine plutôt pluviale et qui intègre les retombées atmosphériques. La contamination augmente après le rejet de la STEU, en dépit de son bon fonctionnement, en particulier pour les molécules réfractaires aux traitements comme certains médicaments (gabapentine, sotalol, diclofénac) ou pesticides d'origine urbaine (fipronil, glyphosate, AMPA).

Résultats du diagnostic biologique :
En plus des analyses chimiques pour identifier les micropolluants présents et leurs niveaux de concentration, des bioessais cellulaires *in vitro* ont été mis en œuvre sur les échantillons d'eau afin de détecter l'activité biologique globale des échantillons liée à des composés perturbateurs endocriniens (activité estrogénique, androgénique et glucocorticoïde) et dioxine-like (activité dioxine et HAP-like).
Les effets biologiques observés avec les tests cellulaires montrent de manière prévisible de fortes activités oestrogéniques, androgéniques et glucocorticoïdes dans les eaux usées brutes. Ces résultats peuvent varier en fonction de leurs origines, comme par exemple, les effluents de la maternité qui se caractérisent par une forte activité oestrogénique, liée à la sécrétion d'hormones des femmes enceintes. Ces activités s'atténuent en sortie de STEU, indiquant que les composés perturbateurs endocriniens responsables de ces activités ont été en partie éliminés par les procédés de traitement.
Dans les eaux pluviales, de façon cohérente avec les résultats des analyses chimiques, ce sont plutôt des activités liées aux HAP que l'on retrouve et une forte disparité inter-sites est observée.
Enfin, dans le milieu naturel on observe une augmentation des activités oestrogéniques après le rejet de la STEU, signe qu'en dépit de l'efficacité des traitements, des composés perturbateurs endocriniens se retrouvent dans le milieu naturel.

Dans le milieu naturel, des analyses biologiques *in vivo* ont aussi été pratiquées afin de mettre en évidence des effets toxiques au niveau de l'organisme. Pour cela des bivalves filtreurs d'eau douce (*Corbicula fluminea*) issus d'un site non contaminé ont été transplantés à l'aide de cages en différents points de la rivière. Leurs accumulations en métaux, leur état de santé (survie, croissance) ainsi que leurs réponses adaptatives (génétiques et protéines de stress) ont été évalués.
L'encagement des bivalves montrent des accumulations notables de plusieurs métaux (Al, Fe, Mn, V, Cd, Co, Cr, Ni) comparativement à la population de référence avec un gradient de concentrations qui diminuent de l'amont vers l'aval, indiquant des apports naturels ou anthropiques issus du bassin versant amont. L'impact des rejets urbains (STEU et EP rocade) s'observe l'été par :

- la réponse de certains marqueurs de stress après le rejet de la STEU ;
- l'apparition de pics d'accumulation de métaux après le rejet de l'EP Rocade, soulignant des apports ponctuels très élevés de ce rejet ;
- l'observation de modifications moléculaires après ces deux rejets.

Résultats du diagnostic sociétal :
En plus des analyses chimiques et biologiques, des études sociologiques et des enquêtes au niveau de chaque source ont été menées pour comprendre les usages, pratiques et produits à l'origine des MP et ainsi identifier des leviers d'actions de réduction possibles.

Au niveau de la source domestiques, 3 outils ont été mis en œuvre :
- un micro-trottoir qui a permis d'interroger plusieurs dizaines de personnes sur les quais de Bordeaux,
- un living lab, ou atelier participatif, en 3 étapes (quiz numérique sur tablette, débriefing des résultats et jeux de cartes pour faire émerger des idées sur les solutions de réduction) auquel ont participé 250 personnes,
- une grande enquête en ligne sur internet à laquelle plus de mille personnes ont répondu.

Les enquêtes menées auprès du grand public montrent que le terme « micropolluant » n'est pas connu. En effet, bien que des familles de polluants ayant fait l'objet d'une médiatisation importante comme par exemple les pesticides, les perturbateurs endocriniens ou encore le bisphénol A soient connues par le grand public, le terme « micropolluant » semble utilisé uniquement par les scientifiques et les spécialistes. Néanmoins, les personnes interrogées estiment que les polluants sont présents « partout » dans leur quotidien, avec une prépondérance pour les produits d'entretien, d'hygiène et les médicaments, ce qui peut être interprété comme une suspicion généralisée due à la multitude des messages alarmistes diffusés. L'atelier participatif et l'enquête par questionnaire mettent aussi en évidence une méconnaissance du petit cycle de l'eau (30 % des répondants pensent que l'eau potable distribuée à leur robinet provient des eaux récupérées en sortie de station d'épuration). Les individus sont ainsi partagés entre l'idée d'une toxicité généralisée des produits et la difficulté à établir un lien entre leurs pratiques domestiques, les rejets de substances dans les eaux usées et l'impact sur le milieu naturel. Enfin, il ressort également que les répondants s'estiment être plus « pro-environnementaux » que les autres. Ce « biais de conformité supérieure de Soi », récurrent dans de nombreux champs liés à la prévention, a une répercussion immédiate sur la qualité de réception des messages de sensibilisation. En effet, les personnes ayant une conformité supérieure de soi élevée se sentent moins concernées par les messages préventifs qui, pour elles, s'adressent prioritairement aux « autres ».

Au niveau de la source hospitalière, 2 outils ont été mis en œuvre afin de comprendre comment la problématique des résidus de médicaments et des biocides était perçue par les acteurs hospitaliers. Le premier outil était une étude lexicologique des journaux internes du CHU et le deuxième a consisté en des entretiens semi-directifs avec une trentaine d'acteurs du CHU répartis entre le personnel de soins, de pharmacie, de pharmacologie, d'hygiène et administratif.
Concernant le personnel hospitalier, les entretiens et l'observation des pratiques montrent que la problématique de la contamination des effluents par les résidus de médicaments et les biocides est prise en compte de façon diverse. Cette hétérogénéité peut s'expliquer par différentes possibilités d'accès à l'information ou par la spécialité médicale dans laquelle le professionnel exerce. Une des façons d'aborder et de sensibiliser aux micropolluants à l'hôpital, pourrait être le risque de santé au travail mis en évidence par l'usage et la manipulation de certaines substances. Néanmoins, de façon générale, la priorité de la santé sur l'environnement reste la contrainte majeure à un processus d'écologisation des pratiques des professionnels de santé.

Au niveau de la source professionnelle et des services des collectivités des questionnaires et entretiens ont été menés. Ainsi près d'une cinquantaine d'acteurs des différentes Directions de Bordeaux Métropole et des communes de la Métropole ont été interrogés afin d'identifier les activités ou services potentiellement émetteurs de micropolluants.
Un inventaire des usages potentiellement émetteurs de micropolluants (ex. dératisation, entretien des voiries, des bâtiments et des terrains de sport) et des bonnes pratiques a ainsi pu être réalisé à l'échelle des communes de la métropole bordelaise. Il ressort des entretiens

que les micropolluants sont le plus souvent assimilés aux pesticides. Si une grande partie des communes met en œuvre une politique « zéro phyto », certains sites comme les terrains de sport (en incluant les terrains inertes) et les cimetières ne sont concernés que de façon « partielle » par la réglementation et des pesticides sont encore utilisés. Les agents sont, en revanche, déjà bien sensibilisés à cette problématique.

Enfin, au niveau de la source pluviale, des passants, des couvreurs, des revendeurs et fournisseurs de produits utilisés pour l'entretien des façades ou des toitures ont été interrogés. Il en ressort un niveau de connaissance et des perceptions variés.

Résultats de la priorisation :
Les micropolluants recherchés ne présentant pas tous les mêmes risques vis-à-vis de l'environnement, une hiérarchisation des risques a été réalisée à partir des résultats obtenus dans le milieu naturel afin de faire ressortir les micropolluants à enjeux spécifiques au territoire d'étude. L'exercice de priorisation s'est basé sur 4 critères : l'occurrence, le niveau de concentration, les propriétés de danger intrinsèque et le risque de dépassement des seuils de protection environnementaux. Il ressort de cette priorisation une trentaine de molécules à enjeu tels que le diclofénac, le fipronil, l'AMPA et le bisphénol A pour les micropolluants organiques et le cuivre, le cobalt, le chrome et le zinc pour les micropolluants métalliques.

Plan d'action
Une fois ce diagnostic réalisé, la deuxième phase du projet consiste à tester et évaluer différentes solutions de réduction à la source, préventives mais aussi curatives, afin de s'assurer de leur efficacité et de leur acceptabilité sociale. Cela se traduit par la mise en œuvre des actions suivantes.

- L'accompagnement au changement de pratiques des ménages avec l'expérimentation « Familles EAU Défi » (FED)

Cette expérimentation vise à évaluer la capacité des citoyens à mettre en œuvre des changements de pratiques pour diminuer l'émission de micropolluants. L'objectif de la démarche FED est, *in fine*, d'être en mesure de préconiser des leviers d'action à l'échelle du ménage pour réduire les émissions domestiques de micropolluants.
L'expérimentation se décline en différentes étapes :

- en avril et mai 2017 : diffusion d'une annonce et recrutement de familles.
- de juin à aout 2017 : réalisation d'entretiens individuels avec les familles volontaires afin de leur présenter la démarche, de caractériser leur profil socio-économique, leur rapport à l'environnement (sensibilité écologique et engagement vert) et aux enjeux associés à l'eau et d'amorcer leur engagement dans l'expérimentation.
- début septembre 2017 : début de l'expérimentation en tant que telle avec une « réunion de lancement » permettant de présenter le projet REGARD, de rappeler la démarche FED et d'expliquer le principe et le fonctionnement de l'outil numérique spécialement créé pour l'expérimentation et dédié au suivi des pratiques domestiques.
- de mi-septembre à mi-octobre 2017 : période dite « de référence » durant laquelle les volontaires recencent l'ensemble de leurs produits liés à l'entretien de la maison (vaisselle, lessive, nettoyage sols et surfaces), à l'hygiène corporelle (lavage corps, cheveux et visage, hygiène buccodentaire, hydratation visage, rasage/épilation, protection solaire) et à certains traitements spécifiques (prise de paracétamol/ aspirine/ibuprofène, traitements des plantes d'intérieur et du jardin, traitements antiparasitaires des animaux domestiques). Les familles prennent en photo et pesent leurs produits au début de la période puis elles renseignent quotidiennement pendant cinq semaines leurs usages de ces produits dans l'outil numérique dédié. Ce suivi permet d'accéder à la diversité de produits utilisés, la fréquence des usages et la quantité de produits utilisée.

- mi-octobre 2017 : « réunion de mi-parcours » durant laquelle les familles élaborent collectivement des solutions pour diminuer leurs émissions de micropolluants puis s'engagent individuellement sur un changement de leur choix relatif à l'entretien de la maison ou à l'hygiène corporelle et visant soit la substitution par un produit écolabellisé ou naturel/fait maison ou un traitement mécanique soit la réduction du nombre de produits, de la fréquence de l'usage, de la quantité utilisée voire l'arrêt complet de la pratique.
- de début novembre à début décembre 2017 : période dite « de changement » de 4 semaines qui se déroule de manière identique à la période de référence (photo, pesée et recueil quotidien) afin de mesurer le changement mis en œuvre. Un questionnaire hebdomadaire est envoyé aux familles afin de recueillir leur avis sur leur satisfaction quant aux changements engagés en matière de praticité, efficacité, confort, prix et d'image d'eux-mêmes. Parallèlement, un accompagnement des volontaires est mis en place durant toute cette période. Il est basé sur différentes activités offertes aux participants : visite d'une station de traitement des eaux usées, balade urbaine pour découvrir le circuit de l'eau en ville, ateliers d'initiation à la lecture des étiquettes, pictogrammes et labels, ateliers de fabrication de produits « faits maison » et ateliers de présentations du cycle de l'eau et des premiers résultats du projet REGARD. En outre, une page web permet de diffuser des informations sur ces thématiques et un blog offre aux familles la possibilité d'échanger entre elles sur des alternatives pour limiter l'émission des micropolluants.
- décembre 2017 : réunions finales de débriefing menées sous forme d'entretiens collectifs (10 personnes maximum) afin d'évaluer le changement de pratiques et de recueillir le retour d'expérience des familles ayant été jusqu'au bout de l'expérimentation. Ces entretiens permettent de voir quels changements ont été choisis et pourquoi et lesquels ont fonctionné ou pas, l'objectif étant d'identifier les freins et moteurs aux changements de pratiques.

➢ <u>L'évaluation économique des choix des citoyens pour orienter l'action publique</u>

L'analyse des consentements des habitants à contribuer financièrement aux mesures visant à la réduction des micropolluants a été menée pour mieux comprendre les choix des citoyens. Deux grands types de mesures susceptibles de réduire les micropolluants d'origine domestique existent : (1) une intervention à la source qui consiste à sensibiliser le public à des changements de pratiques ; ou (2) le traitement en aval qui consiste à moderniser les STEU afin qu'elles traitent mieux et plus de micropolluants. Afin d'identifier laquelle de ces 2 stratégies les citoyens seraient prêts à soutenir financièrement via leur facture d'eau, une enquête en ligne auprès d'habitants représentatifs de la métropole bordelaise est menée en 2 temps (fin 2017 et automne 2018).

➢ <u>La gestion « verte » des espaces et des services publics urbains par les collectivités</u>

La loi du 17/08/2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte impose aux collectivités la mise en place du « zéro pesticide » dans l'ensemble des espaces publics depuis le 1er janvier 2017 mais cette loi exclut de son champ d'application l'entretien des voiries dans les zones étroites ou difficiles d'accès ainsi que les terrains de sport et les cimetières s'ils ne font pas l'objet d'un usage de « promenade » ou « d'espace vert avéré ». C'est pourquoi la collectivité étudie les possibilités de réduction, voire d'arrêt, de l'utilisation des produits phytosanitaires (pesticides) dans les cimetières et les terrains de sport. Pour cela, un état de lieux est réalisé mi-2018 au sein des différentes communes de la métropole afin d'identifier les pratiques actuelles d'entretien des cimetières et des terrains de sport. Pour les cimetières ou les terrains de sports (terrain de tennis en particuliers) n'utilisant pas de pesticides, un bilan des pratiques alternatives est réalisé afin de les identifier et de les évaluer en termes d'efficacité, de temps humain et de cout par rapport à l'utilisation de pesticides et d'identifier leurs conditions de faisabilité. L'objectif est *in fine* de pouvoir préconiser les différentes

techniques alternatives accompagnées de leur gains, contraintes et retour d'expérience. A l'été 2018, la réalisation d'un avant-projet sommaire est proposé comme accompagnement aux communes souhaitant étudier la possibilité d'arrêté les pesticides (herbicides) dans leurs cimetières.
En complément de ces actions sur les cimetières et les terrains de sport, une expérimentation de dératisation par un système de herse mécanique est menée pendant 6 mois au début de l'année 2018 dans le centre-ville de Bordeaux afin de tester une solution alternative à l'utilisation de raticides chimiques. La méthode testée présente l'avantage d'une part d'être écologique et d'autre part de quantifier précisément le nombre de rats éliminés contrairement à la dératisation traditionnelle. Au terme de cette expérimentation, une enquête est réalisée auprès des usagers (habitants, passants, commerçants, restaurateurs) afin d'évaluer l'acceptabilité sociale et leur perception vis-à-vis de cette technique et indirectement d'avoir une idée globale de son efficacité.

- L'écologisation des pratiques dans les hôpitaux

L'écologisation des pratiques au sein du CHU passe par une sensibilisation de ses acteurs à la problématique des résidus de médicaments et biocides. Cette sensibilisation a été réalisée sous différentes formes comme une vidéo sur Youtube (2017), un flyer (2018) ou encore un MOOC (2019). La diffusion de résultats scientifiques sous forme de vidéo présente l'avantage d'être un format moderne et dynamique qui peut aussi bien être montré aux personnels du CHU de Bordeaux, qu'aux étudiants (élèves infirmiers par exemple), aux ambassadeurs du développement durable et aux instances nationales (réseau RSE de l'ANAP[27]). Cette vidéo est disponible sur YouTube (https://www.youtube.com/watch?v=eIY8dFf7bk4).

- L'extraction et valorisation des métaux dans les effluents industriels

Au niveau de la source industrielle, une étude théorique est menée sur la possibilité d'extraire, de traiter et de valoriser les métaux présents en grands quantité dans ce type d'effluents. Cette étude est basée sur une revue bibliographique internationale des solutions possibles pour le traitement des métaux à la source et sur une étude de faisabilité technico-économique d'une ou plusieurs de ces solutions de traitement qui pourraient par la suite être appliquées sur un site industriel du territoire de Bordeaux Métropole. Les critères de sélection des métaux à étudier sont :
- des métaux potentiellement intéressants à valoriser d'un point de vue économique du fait de leur concentration / flux, leur présence sur des sites industriels identifiés et du prix du marché ;
- des métaux ayant un impact environnemental avéré.
En 2018, cette étude se base sur 3 étapes :
- la collecte des données disponibles (concentrations et flux de métaux en sortie de sources industrielles du territoire bordelais),
- la sélection d'effluents industriels pertinents (critères de concentrations, de flux, d'intérêt économique et d'impact environnemental),
- la revue bibliographique et l'étude préalable sur les solutions techniques de traitement /valorisation des métaux.

- Le traitement à la source des eaux pluviales

Les eaux pluviales issues d'un réseau séparatif ne sont pas exemptes de contamination en micropolluants (métaux, pesticides, hydrocarbures, voire substances émergentes) et sont, à cet effet, susceptibles de soumettre les milieux récepteurs aquatiques à une pression supplémentaire non négligeable.
Dans le but de diminuer la charge polluante des eaux pluviales rejetées dans le milieu naturel, une solution innovante de traitement est testée et évaluée dans le cadre du projet REGARD.
Cette étude consiste à :
- mettre en place sur le collecteur séparatif des eaux pluviales de la Rocade Nord un pilote

[27] Agence Nationale Appui Performance qui soutient et conseille les hôpitaux et les cliniques

de démonstration (2017) ;
- évaluer l'efficacité de la technologie sélectionnée pour éliminer les micropolluants des eaux pluviales (métaux, HAP, pesticides) grâce à des campagnes de mesures (début 2018) ;
- conclure sur la pertinence technico-économique de cette solution pour remplir les objectifs de réduction de charge micropolluante déversée dans le milieu naturel (fin 2018).

La solution est choisie sur la base d'un cahier des charges contraignant en termes de fonctionnement : pas d'apport d'eau pendant de longues périodes, technologie fonctionnelle malgré d'importantes variations de débits, démarrage du traitement rapide, maintenance aisée et peu chronophage et traitement permettant d'éliminer un large spectre de micropolluants aux propriétés physico-chimiques variées. La technologie retenue est une unité de filtration dynamique sur bande.

Bibliographie

Chapitre 4

Arini A., Baudrimont M., Feurtet-Mazel A., Coynel A., Blanc G., Coste M., Delmas F. (2011). Comparison of periphytic biofilm and filtering bivalves metal bioaccumulation (Cd and Zn) to monitor hydrosystem restoration after industrial remediation: a year of biomonitoring. *Journal of Environmental Monitoring*, 13: 3386-3398.

Arini A., Gourves PY., Gonzalez P. and Baudrimont M. (2015). Metal detoxification and gene expression regulation after a Cd and Zn contamination: an experimental study on *Danio rerio*. *Chemosphere*, 128: 125-133.

Baillon L., Pierron F., Coudret R., Normendeau E., Caron A., Peluhet L., Labadie P., Budzinski H., Durrieu G., Sarraco J., Elie P., Couture P., Baudrimont M. and Bernatchez L. (2015). Transcriptome profile analysis reveals specific signatures of pollutants in Atlantic eels. *Ecotoxicology*, 24(1): 71-84.

Baillon L., Pierron L., Pannetier P., Normandeau E., Couture P., Labadie P., Budzinski H., Lambert P., Bernatchez L. and Baudrimont M. (2016). Gene transcription profiling in wild and laboratory-exposed eels: Effect of captivity and *in situ* chronic exposure to pollution. *Science of the Total Environment*, 571: 92-102.

Baudrimont, M., Lemaire-Gony, S., Métivaud, J., Ribeyre, F. and Boudou, A. (1997). Seasonal variations of metallothionein concentrations in the Asiatic clam (*Corbicula fluminea*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 118C (3): 361-367.

Baudrimont, M., Andrès, S., Métivaud, J., Lapaquellerie, Y., Ribeyre, F., Maillet, N., Latouche, C. and Boudou, A. (1999). Field transplantation of the freshwater bivalve *Corbicula fluminea* along a polymetallic contamination gradient (river Lot, France) - Part II: Metallothionein response to metal exposure. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18, 2472-2477.

Baudrimont M., Chelini A., Gourves PY., Maury-Brachet R. and Legeay A. (2016). On the possibility to produce again oysters *Crassostrea gigas* in the North Médoc salt marshes (Gironde estuary, Southwestern France): a comparison study of metals bioaccumulation in spats 13 years after. *Marine Pollution Bulletin*, 111(1-2): 184-193.

Marie V., Baudrimont M. and Boudou A. (2006). Cadmium and zinc bioaccumulation and metallothionein response in two freshwater bivalves (*Corbicula fluminea* and *Dreissena polymorpha*) transplanted along a polymetallic gradient. *Chemosphere*, 65, 609-617.

Chapitre 6

Besse JP, Garric J. Human pharmaceuticals in surface waters- Implementation of a prioritization methodology and application to the Frensh situation. Toxicology Letters 176 (2008) 104-123.

Brooks BW, Maul J, Belder J. Emerging contamients: antibiotics in aquatic and terrestrial ecosystems. In: Jorgensen, S.E. (Ed.), Encyclopedia of Ecology. Elsevier Press, London, UK. 2007.

Commission Européenne (2003c). "RAR- Risk Assessment - Toluène."

Commission Européenne (2000). IUCLID Dataset - Toluene, European Chemicals Bureau.

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.

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.

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.

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 Stats – II) Untreated drinking water sources. Science of the Total Environment, vol. 402, pp. 201-216.

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.

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.

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/).

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-15-136871-11867E.

Jaworska,J., van Genderen-takken, H., Hanstveit, A., van de Plasche ,E., Feijtel, T. Environmental risk assesment of phosphonates, used in domestic laubdry and cleaning agents in the Netherlands. Chemosphere 2002; 47:655-65.

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.

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.

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”.

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.

RIVM, Environmentlal 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.

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.

Chapitre 7

Ademe (2016). Changer les comportements, faire évoluer les pratiques sociales vers plus de durabilité. L'apport des sciences humaines et sociales pour comprendre et agir. 179 p. http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/changer-les-comportements.pdf

Al-Malak, H. (2001). Migration of lead from unplasticized polyvinyl chloride pipes. *Journal of Hazardous Materials*, 263-274.

Baker, M.E. et Chandsawangbhuwana, C. (2012). PLOS ONE, 4 Octobre 2012, http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0046078

Barillon, B. et Ferré, M. (2016). Origine et leviers de réduction des micropolluants dans la source pluviale. Version provisoire du livrable correspondant à la sous-tâche 1.2.2 « Source pluviale », tâche 1.2. « Description des sources et inventaires des leviers d'action », lot 1 « Caractérisation des substances et des impacts », 123 p.

Barillon, B. et Alferes, J. (2016). Origine et leviers de réduction à la source des micropolluants dans les effluents industriels. Version provisoire du livrable correspondant à la sous-tâche 1.2.4 « Source industrielle », tâche 1.2. « Description des sources et inventaires des leviers d'action », lot 1 « Caractérisation des substances et des impacts », 44 p.

Barraqué, B. et Kalaora, B. (1994). Introduction. Le risque environnemental et son vécu, *in* Espace et Société, n°77.

Barrault, J., Causse, E., Domenc, C., Delerue, F., Félonneau, M.L., Gombert-Courvoisier, S., Krieger, S.J., Ribeyre, F., Rioche, G. Version provisoire du livrable correspondant à la sous-tâche 1.2.3 « Source domestique », tâche 1.2. « Description des sources et inventaires des leviers d'action », lot 1 « Caractérisation des substances et des impacts », 152 p.

Barrault, J. et Dumas, L. (2016). Les enjeux globaux des micropolluants. Version provisoire du livrable correspondant à la sous-tâche 1.2.1 « Enjeux globaux des micropolluants », lot 1 « Caractérisation des substances et des impacts », 55 p.

Baudrimont, M., Gourves, P.Y., Bertucci, A., Pierron, F. et Gonzalez, P. (2016). Evaluation des impacts et essais. Bioessais in vivo. Version provisoire de la tâche 1.3 « Recherche de substances et caractérisation de l'impact », 25 p

Buil, S. (2016). Etude de la prise en compte de la problématique des micropolluants au sein des services publics territoriaux. Stage de master 2 « Ecologie humaine », Université Bordeaux Montaigne, 93 p.

Carrere, G. et Salles, D. (2016a). Étude de la source hospitalière. Version provisoire du livrable correspondant à la sous-tâche 1.2.5 « Source hospitalière », 127 p.

Carrere, G. et Salles, D. (2016b). Le chimiste, le sociologue et les résidus médicamenteux : l'interdisciplinarité saisie par la pratique. Sciences de la Société, 68-83.

Chibani-Jacquot, P. (2013). Définir ce qu'est un projet « socialement innovant », Alternatives Economiques, la fabrique de l'innovation sociale, hors-série n° 652, juin 2013.

Chibani-Jacquot, P. et Fremeaux, P. (2013). L'innovation sociale, R&D de l'économie sociale et solidaire, Alternatives Economiques, la fabrique de l'innovation sociale, hors-série n° 652, juin 2013, 13-14.

Chocat, B. (1997). Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement (p. 1124). Edition Lavoisier.

Chollet, C., Cruz, J., Budzinski, H., Capdeville, M.J. et Granger, D. (2016). Substances organiques. Version provisoire du livrable de la tâche 1.3 « Recherche de substances et caractérisation de l'impact », 170 p.

Coynel, A., Lerat, A., Capdeville, M.J. et Granger, D. (2016). Substances inorganiques. Version provisoire du livrable de la tâche 1.3 « Recherche de substances et caractérisation de l'impact », 51 p.

Curiao, T., Marchi, E., Viti, C., Oggioni, M.R., Baquero, F., Martinez, J.L., Coque,T.M. (2015). Polymorphic variation in susceptibility and metabolism of triclosan resistant mutants of escherichia coli and klebsiella pneumoniae clinical strains obtained after exposure to biocides and antibiotics. Antimicrobial agents and chemotherapy, 59 (6), 3413-23.

Félonneau M.L, et Causse, E. (2016) Pro-environmentalism, identity dynamics and environmental quality of life in G. Fleury-Bahi, O. Navarro-Carrascal & E. Pol (Eds), Handbook of Environmental Psychology and Quality of Life, Springer (211-228).

Fischer, M. (2016). DCE & Artisanat Caractérisation des Substances Dangereuses dans les rejets des activités artisanales. CNIDEP - Chambre de Métiers et de l'Artisanat de Meurthe-et-Moselle.

Giddens, A. (1991), The Consequences of Modernity, Cambridge, Polity Press/Blackwell.

Gromaire-Mertz. (1998). *La pollution des eaux pluviales urbaines en réseau d'assainissement unitaire: caractéristiques et origines.* Thèse de doctorat - Sciences et techniques de l'environnement, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.

Gromaire-Mertz, M. C. (2001). Contribution of different sources to the pollution of wet weather flows in combined sewers. *Water Research*, 35(2) : 521 - 533.

INOVE.COM (2016). Identité, NOrme, Vulnérabilité pour une approche Ecologique de la COnsommation des Ménages. Projet de recherche MEDDE, programme MOVIDA (auteurs : Ballesta, O., Carimentrand, A., Causse, E., Delerue, F., Félonneau, M.L., Gombert-Courvoisier, S., Ribeyre, F. & Rioche, G.).

Jeanjean, A. & Pétonnet, C. (2006). Basses oeuvres. Une ethnologie du travail dans les égouts. Collection Le regard de l'ethologue, n°15, 279 p.

Kaegi, R. (2010). Release of silver nanoparticles from outdoor facades. *Environmental Pollution* , 158: 2900- 2905.

Holm, G., Snape, J.R., Murray-Smith, R., Talbot, J., Taylor, D., Sörme, P. (2013). Implementing ecopharmacovigilance in practice: challenges and potential opportunities. Drug safety, 36 (7), 533-546.

Létourneau, A. (2008). La transdisciplinarité considérée en général et en sciences de l'environnement. VertigO, *la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], 8, 2. http://vertigo.revues.org/5253 ; DOI : 10.4000/vertigo.5253.

Les traitements chimiques de la végétation des voies ferrées par la SNCF. (2016). Phyt'Eux Propres Ile de France, 17 juin 2009. http://www.cadeb.org/wp-content/uploads/2012/06/pratiques_sncf.pdf

Morin, E. (2012). La voie. Pour l'avenir de l'humanité, Mesnil-sur-l'Estrée, Fayard.

Olivos, P., Aragones, J.I. & Amerigo, M., (2011) The connectedness to nature scale and its relationship with environmental beliefs and identity ? IPHJ (2011) ISSN 1939-5841

Peretti-Watel, P. (2007). Société assurantielle, société du risque, ou culture du risque, *in* Risques : les cahiers de l'assurance, Paris, n°67, 2007, p. 81-85,

https://www.ffsa.fr/webffsa/risques.nsf/b724c3eb326a8defc12572290050915b/1aa614ccfdf4823bc125723d004c740f/$FILE/Risques_067_0020.htm.

Plagellat, C. (2004). Biocides in Sewage Sludge: Quantitative Determination in Some Swiss Wastewater Treatment Plants. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 73(5): 794-801.

Pouly, N. et Buil, S. (2016). Les enjeux globaux des micropolluants. Version provisoire du livrable correspondant à la sous-tâche 1.2.1 « Enjeux globaux des micropolluants », lot 1 « Caractérisation des substances et des impacts », 55 p.

REGARD (2015). Livrable 1.1 « Description des sites d'étude et des protocoles d'expérimentation », version de décembre 2015, 94 p.

Taggart, M.A., K.R., Green, R.E., Jhala, Y.V., Raghavan, B., Rahmani, A.R., Cuthbert, R. (2007). Diclofenac residues in carcasses of domestic ungulates available to vultures in India. Environment International, 33 (6), 759-765.

Yazdankhah S.P., Scheie A.A, Arne Høiby E., Lunestad B.T., Heir E., Fotland T.O., Naterstad K., Kruse H. (2006). Triclosan and antimicrobial resistance in bacteria: an overview. Microbial drug resistance, 12 (2), 83-90.

Zgheib S. (2009). Flux et sources des polluants prioritaires dans les eaux urbaines en lien avec l'usage du territoire. Hydrologie. Ecole des Ponts ParisTech.

Liste des figures

Figure 1 : Organigramme du programme REGARD. 8
Figure 2 : Localisation des 2 sites d'étude et des points d'échantillonnage sur le territoire de Bordeaux Métropole. La ligne en pointillés verts correspond au site d'étude du bassin versant de la Jalle de Blanquefort et celle en pointillés rouges au site d'étude pour la source hospitalière. 10
Figure 3. Représentation schématique du collecteur Rocade Nord et de l'empreinte en micropolluants des différents points de prélèvement. 25
Figure 4 : Représentation schématique du milieu naturel étudié.....26
Figure 5. (a) Niveaux de concentration moyens en MP retrouvés pour les différentes sources et (b) proportions moyennes des différentes familles de composés.....28
Figure 6. Liste des substances « traceurs » pouvant être identifiées dans les différentes sources. 29
Figure 7 : Composition moyenne en ETM de l'eau du milieu naturel, tous points de prélèvement confondus (phase dissoute) (n=31). 31
Figure 8 : Composition moyenne en ETM de l'eau des exutoires pluviaux tous points de prélèvements confondus (phase dissoute) (n=30). 33
Figure 9 : Composition moyenne en ETM des eaux usées de zones industrielles, tous points de prélèvement confondus, (phase dissoute) (n=26). 34
Figure 10 : Positionnement des sites d'étude le long du continuum. 38
Figure 11 : Périodes d'encagement des bivalves filtreurs dans la Jalle de Blanquefort le long d'un linéaire « amont – aval » : Thill, Cantinole (amont et aval STEU) et Bruges (amont et aval exutoire pluvial de la rocade). Les périodes encadrées en rouge et bleu correspondent respectivement à 30j et 90j de transplantation durant les saisons.....38
Figure 12 : Bioaccumulation d'Al dans les corps mous entiers de Corbicula fluminea transplantés sur des périodes de un mois en juillet, août et septembre 2015 sur les 5 sites de la Jalle de Blanquefort (moyennes ± erreur type, n = 5). 40
Figure 13 : Concentrations en métallothionéines (MTs) mesurées dans les masses viscérales de Corbicula fluminea transplantés sur des périodes de un mois en juillet, août et septembre 2015 sur les 5 sites de la Jalle de Blanquefort (moyennes ± erreur type, n = 5).....41
Figure 14 : Bioaccumulation en Cr dans les corps mous entiers de Corbicula fluminea transplantés aux 4 saisons entre décembre 2015 et décembre 2016 sur les 5 sites de la Jalle de Blanquefort (moyennes ± erreur type, n = 5). 42
Figure 15. Synthèse des profils d'activités in vitro mesurés dans les eaux urbaines prélevées en 2015 et 2016. Les résultats sont présentés en unité relative par rapport au milieu naturel en amont de rejets urbains. ER=activité œstrogéniques ; AR=activité androgénique ; AhR=activité HAP-like. Des activités liées aux glucocorticoïdes (GR) ont été ponctuellement détectées (sites hôpital et STEU) mais non représentées sur la figure. 46
Figure 16 : Les différents scores et critères utilisés afin de prioriser les substances de REGARD.....49
Figure 17 : Répartition des scores parmi le « TOP 20 » des substances priorisées.....52
Figure 18 : Résultats de la priorisation des détergents. 54
Figure 19 : Résultats de la priorisation des substances organiques mesurées en entrée (a) et sortie de STEU (b).....56
Figure 20 : Résultats de la priorisation des substances organiques mesurées dans les eaux pluviales. 56
Figure 21. Méthodes mises en œuvre et acteurs ciblés. 60
Figure 22. Activités jouant un rôle dans la pollution des milieux aquatiques selon les participants (Q.5 : « Selon vous, les activités suivantes contribuent-elles à la pollution des milieux aquatiques ? »). Pour chaque type d'activité, sont représentés : le score

moyen avec son écart-type et la distribution des réponses en fonction de l'échelle de 1-pas du tout à 6-fortement). 66
Figure 23. Responsables de la présence des micropolluants dans les milieux aquatiques (Q.37 : « À votre avis, qui est responsable de la présence de micropolluants dans les milieux aquatiques ? »). Pour chaque type d'acteur, sont représentés : le score moyen avec son écart-type et la distribution des réponses en fonction de l'échelle de 1-pas du tout responsables à 6-très responsables). 67
Figure 24. Comparaison des représentations concernant la perturbation des milieux aquatiques par les insecticides (Q.27), les médicaments (Q.31), les lessives (Q.15), les produits de nettoyage des voitures (Q.19), les produits pour la douche (Q.11) et les produits antipuces (Q.23) utilisés dans les pratiques domestiques. 70
Figure 25. Pistes d'actions pour réduire l'impact des micropolluants sur les milieux aquatiques (Q.34 : « selon vous, réduire l'impact des micropolluants sur les milieux aquatiques nécessiterait de … »). 71
Figure 26. Acteurs devant agir pour la réduction des micropolluants (Q.38 : « Qui devrait agir pour réduire la présence de micropolluants dans les milieux aquatiques ? »)....73
Figure 27. Réponses à la Q.33 : « Vous adoptez des comportements ayant un impact minimal sur l'environnement, même si cela vous paraît contraignant »....73
Figure 28. Illustration du biais de Conformité supérieure de soi (Q.39)....75
Figure 29. Etat des lieux des services urbains potentiellement émetteurs de micropolluants. 88
Figure 30. Activités potentiellement émettrices de micropolluants au sein des différents services de la collectivité. 89
Figure 31. Bilan des entretiens 2016 pour la source « Collectivités ». 90
Figure 32 : Investigations complémentaires réalisées avec une approche psychosociale sur la thématique des pesticides. 91
Figure 33. Les trois catégories concernant l'émission des micropolluants par la collectivité. 92
Figure 34 - Catégories de leviers d'actions. 93
Figure 35 Exemple d'une technique mécanique(WiseCon®) permettant la dératisation des réseaux d'assainissement sans utilisation de produits chimiques. 95
Figure 36. Usage potentiel de pesticides concernant 6 services urbains. 95
Figure 37 : Affiche du programme « Ma Métropole Sans Pesticide »....97
Figure 38. Flux cumulé et occurrence de 3 alkylphénols étudiés dans RSDE au niveau national. 101
Figure 39. Comparaison des substances les plus fréquemment quantifiées dans les rejets des sites industriels au niveau national et au niveau régional (Aquitaine). 106
Figure 40. Les ambassadeurs du développement durable. Source : CHU de Bordeaux, Passerelles, juillet 2015. 110
Figure 41. Construction d'un cadre analytique pour un risque émergent. 111
Figure 42. Entretiens semi-directifs réalisés. 112
Figure 43. Questionnaire diffusé auprès des firmes pharmaceutiques. 114
Figure 44. Treffler. 116
Figure 45. Augmentation des quantités et du coût des liquides toxiques de la soute sur 9 ans. 116
Figure 46. Analyse systémique de la problématique du rejet des micropolluants....126

Liste des tableaux

Tableau 1 : Nombre de sites de prélèvement, de campagnes et d'échantillons. 11
Tableau 2 : Modalités de prélèvement des échantillons d'eau. 12
Tableau 3 Nombre de molécules par classe recherchées dans les différentes sources et milieux étudiés, et nature de la matrice dans lesquelles elles sont recherchées (pour la phase particulaire* cela dépendra de la quantité de particules et des développements analytiques). 13
Tableau 4. Micropolluants recherchés et méthodes analytiques. 16
Tableau 5. Comparaison de l'efficacité de traitement des MP organiques des files eau des 3 STEU étudiées – nombre de MP bien (R>70%), moyennement (70%>R>30%) ou mal (R<30%) éliminés pour chaque STEU. 23
Tableau 6. Méthodes analytiques et limites de détection des ETM. 31
Tableau 7 : Bioessais in vitro pour l'évaluation des activités de type perturbateur endocrinien et dioxin-like. 46
Tableau 8 : Liste des substances jamais quantifiées dans le milieu naturel (phase dissoute des échantillons). 51
Tableau 9 : Résultats de la priorisation des métaux. 53
Tableau 10 : TOP 10 des substances pour chaque source : uniquement pour les 48 composés sélectionnés pour la comparaison. 55
Tableau 11. Nombre et diversité des types d'acteurs interrogés/observés dans les différentes sous-tâches. 61
Tableau 12. Adéquation des outils et méthodes aux objectifs de la tâche 1.2. 63
Tableau 13. Conséquences de la pollution des milieux aquatiques en termes de probabilité et de gravité. 70
Tableau 14. Liste des produits d'entretien des toitures. 79
Tableau 15 : Produits utilisés pour le nettoyage des espaces publics, pouvant ruisseler vers mes avaloirs. 83
Tableau 16 : Liste des produits phytosanitaires utilisés pour le désherbage au sein des cimetières. 84
Tableau 17 : Liste des produits phytosanitaires utilisés au niveau des terrains de sport. 84
Tableau 18 : Liste de polluants identifiés dans le réseau d'eau pluvial. 85
Tableau 19. Leviers d'action pour réduire les micropolluants dans la source pluviale. 86
Tableau 20. Exemple de données de consommation annuelle des produits par les services de la collectivité. 92
Tableau 21. Identification des leviers d'action, freins et moteurs pour réduire les émissions de micropolluants dans les eaux usées de la collectivité. 94
Tableau 22. Identification des leviers d'action, freins et moteurs identifiés pour réduire les émissions de micropolluants dans les eaux pluviales de la collectivité. 99
Tableau 23. Substances prioritaires dangereuses mentionnées dans l'action RSDE (1). 103
Tableau 24. Substances prioritaires dangereuses mentionnées dans l'action RSDE (2). 104
Tableau 25. Secteurs industriels pour lesquels les substances prioritaires ont des flux supérieurs à 50 % (ou dont la somme des flux est supérieure à 70 %) 105
Tableau 26. Ressorts et contraintes au processus d'écologisation. 118
Tableau 27. Catégorisation des leviers d'action et identification des acteurs concernés 128