

# Diagnostiquer et réduire à la source les micropolluants – Retour d'expérience du projet Regard (Bordeaux Métropole)

## To identify and reduce micropollutants at source – Feedback from the Regard project (Bordeaux Metropolis)

■ M.-J. CAPDEVILLE<sup>1\*</sup>, S. AÏT-AÏSSA<sup>2</sup>, B. BARILLON<sup>3</sup>, J. BARRAULT<sup>1</sup>, M. BAUDRIMONT<sup>4</sup>, A. BERTUCCI<sup>4</sup>, F. BOTTA<sup>2</sup>, H. BUDZINSKI<sup>5</sup>, G. CARRÈRE<sup>6</sup>, A. COYNEL<sup>7</sup>, N. CREUSOT<sup>2</sup>, J. CRUZ<sup>5</sup>, J. DACHARY-BERNARD<sup>6</sup>, V. DUFOUR<sup>5</sup>, M.-L. FELONNEAU<sup>8</sup>, C. GARDIA-PARÈGE<sup>5</sup>, S. GOMBERT-COURVOISIER<sup>9</sup>, P.-Y. GOURVES<sup>4</sup>, L. GREAUD<sup>2</sup>, S.-J. KRIEGER<sup>9</sup>, A. LERAT<sup>7</sup>, E. OPPENEAU<sup>1</sup>, Y. PENRU<sup>3</sup>, T. PHAM<sup>6</sup>, R. PICO<sup>10</sup>, N. POULY<sup>10</sup>, T. RAMBONILAZA<sup>6</sup>, M. CHAMBOLLE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> LyRE – Suez Eau France – Bordeaux

<sup>2</sup> Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) – Parc Alata – Verneuil-en-Halatte

<sup>3</sup> Suez Groupe – Le Pecq

<sup>4</sup> Université de Bordeaux – UMR EPOC 5805 CNRS – équipe EA – Station Marine d'Arcachon – Arcachon

<sup>5</sup> Université de Bordeaux – UMR EPOC 5805 CNRS – équipe LPTC – Talence

<sup>6</sup> Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) Nouvelle-Aquitaine Bordeaux – ETBX – Gazinet – Cestas

<sup>7</sup> Université de Bordeaux – UMR EPOC 5805 CNRS – équipe TGM – Pessac

<sup>8</sup> Université de Bordeaux – Laboratoire de Psychologie EA 4139 – Faculté de psychologie – Bordeaux

<sup>9</sup> École nationale supérieure en environnement, géosourçages et ingénierie du développement durable (Ensegid) – Pessac

<sup>10</sup> Bordeaux Métropole – Direction de l'eau – Bordeaux

### Mots-clés :

Micropolluants  
Diagnostic  
Priorisation  
Réduction à la source  
Solutions préventives  
Traitement  
Eaux usées  
Eaux pluviales

### RÉSUMÉ

Les micropolluants (MP) représentent un enjeu environnemental et sanitaire important. Identifier leurs sources pour ensuite réduire leurs rejets est la stratégie privilégiée au niveau français pour lutter contre cette pollution. C'est aussi la démarche qui a été mise en œuvre dans le projet Regard (réduction et gestion des micropolluants sur la métropole bordelaise). La première phase du projet correspondait ainsi à la réalisation d'un diagnostic territorial, global et intégré couplant à la fois des analyses chimiques et biologiques du milieu naturel et du réseau d'assainissement depuis les points de rejets (station de traitement des eaux usées, exutoires pluviaux, by-pass) jusqu'aux sources d'émission (domestique, industrielle, hospitalière et pluviale). En complément, une caractérisation sociale des sources a été faite afin de comprendre les pratiques, les produits et les usages à l'origine des rejets de MP et d'identifier des leviers d'action pour réduire ces rejets. Les points forts de ce diagnostic sont la complémentarité des approches (sciences de l'ingénieur et sciences sociales, analyses chimiques et biologiques, étude des eaux usées et pluviales) et le nombre important de sites d'étude. La seconde phase du projet correspondait à la mise en œuvre d'actions de réduction pour les tester et les évaluer du point de vue environnemental (efficacité pour réduire la quantité, la diversité et l'effet des MP), social (appropriation et satisfaction vis-à-vis des solutions) et économique (aide à l'orientation de l'action publique). Les actions ayant eu les meilleurs résultats sont (i) l'action « Familles EAU Défi » sur la source domestique, (ii) les actions de dératissage mécanique, de démoussage des terrains de tennis et d'enherbement des cimetières pour la source collectivité et (iii) l'action de traitement des eaux pluviales strictes en conditions réelles à l'échelle d'un pilote. Le présent retour d'expérience sur ce qui a été fait doit aider les collectivités qui souhaiteraient effectuer une telle démarche à ne pas commettre les mêmes « erreurs » et, au contraire, à mettre en œuvre directement les actions qui donnent des résultats satisfaisants.

### Keywords:

Micropollutants  
Diagnostic  
Prioritization  
Reduction at source  
Preventive solutions  
Treatment  
Wastewater  
Stormwater

### ABSTRACT

Micropollutants (MPs) represent an important environmental and health issue. Identifying their sources and then reducing their discharges is the strategy used in France to fight against water pollution. This is also the approach implemented in the Regard project (Reduction and management of micropollutants in the Bordeaux metropolis). The first phase of the project aimed to carry out a territorial, global and integrated diagnosis combining both chemical and biological analyses of the natural environment and the sewerage network from the discharge points (wastewater treatment plant, separate stormwater overflow, by-pass) to the emission sources (domestic, industrial, hospital and stormwater). In addition, a social characterization of the sources was carried out in order to understand the practices, products and uses at the origin of MP discharges and to identify decisive actions to reduce these discharges. The strengths of this diagnostic assessment are the complementary of various approaches (engineering and social sciences, chemical and biological analyses, wastewater and stormwater studies) and the large number of sampling sites. The second phase of the project was to ensure the implementation of reduction actions to test and evaluate their impacts from the environmental (effectiveness in reducing the quantity, diversity and effect of MPs), social (appropriation and satisfaction of solutions) and economic (to guide public action) points of view. The best results have been achieved with (i) the "water families challenge" action on the domestic source, (ii) mechanical rat control actions, defoaming of tennis courts and grassing of cemeteries for the community source, and (iii) the treatment action of separate stormwater in real conditions on a pilot scale. This feedback on what has been achieved to date should help communities interested to implement such an approach in order to avoid the same "mistakes" and, on the contrary, to directly implement actions that give significant reduction results.

\* Auteur correspondant – Courriel : marion-justine.capdeville@suez.com

Étude présentée au 99<sup>e</sup> congrès de l'Association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement (Astee) organisé à Lyon en 2020.

## Introduction

Connus sous les termes de perturbateurs endocriniens (PE), pesticides ou métaux lourds, les micropolluants (MP) regroupent en réalité plus de 20 000 composés chimiques [SYNTEAU et INRAE, 2020] et représentent un enjeu environnemental et sanitaire majeur. Identifier leurs sources pour ensuite réduire leurs apports est la stratégie privilégiée au niveau français pour lutter contre cette pollution. C'est dans ce cadre qu'en 2013, l'Office français de la biodiversité (OFB, ex-AFB/ex-Onema) et les agences de l'eau, avec le soutien du ministère de l'Écologie, ont lancé un appel à projets « Innovations et changements de pratiques : lutte contre les micropolluants des eaux urbaines » dont le projet Regard (réduction et gestion des micropolluants sur la métropole bordelaise) est l'un des treize lauréats. L'objectif de Regard était de réaliser, sur le territoire de la métropole bordelaise, un diagnostic intégré de la pollution des eaux urbaines (réseau d'assainissement et milieu naturel) par les MP pour ensuite proposer des solutions de réduction adaptées aux risques en présence. Pour répondre à cet objectif, le projet a été découpé en deux phases : une première phase de diagnostic pour faire l'état des lieux de la pollution des eaux usées, pluviales et du milieu naturel et identifier des solutions pour réduire cette pollution ; et une seconde phase de mise en œuvre d'actions de réduction pour les tester et les évaluer du point de vue environnemental (efficacité pour réduire la pollution), social (appropriation des solutions) et économique (aide à l'orientation de l'action publique). Le présent article traite du retour d'expérience, acquis au cours des quatre ans et demi du projet, sur la réalisation d'un diagnostic global, territorial et intégré de la pollution des eaux urbaines par les MP et sur la mise en œuvre de solutions de réduction des rejets de MP. Les trois premières parties de l'article traitent des actions mises en œuvre pour prioriser les MP à enjeux, réaliser le diagnostic et tester des solutions de réduction. La quatrième partie traite de la complémentarité des approches employées pour mener à bien ces actions de priorisation, diagnostic et réduction. C'est cette complémentarité des approches qui explique les nombreux et innovants résultats obtenus avec Regard. Enfin, la cinquième partie traite des difficultés rencontrées et propose des pistes pour les éviter ou les résoudre dans le but d'aider d'autres collectivités qui souhaiteraient mettre en œuvre une telle démarche.

## 1. Priorisation des micropolluants à enjeux pour le territoire

### 1.1. Origine des données

Le point de départ de l'étude était l'état des lieux de la contamination du milieu naturel par les MP. Cet état des

lieux s'est appuyé sur des analyses chimiques ciblées et sur des analyses biologiques *in vitro* et *in vivo*. Le milieu naturel choisi dans Regard, la Jalle de Blanquefort, est un petit cours d'eau périurbain typique d'une métropole et caractéristique des cours d'eau à enjeux de biodiversité et de restauration. La Jalle de Blanquefort reçoit une partie des effluents du réseau d'assainissement de Bordeaux Métropole. Elle a été préférée à la Garonne, car elle n'est pas soumise aux phénomènes de marées et n'a pas de bouchon vaseux (contrairement à la Garonne au niveau de Bordeaux), ce qui la rend moins complexe à étudier et facilite l'interprétation des résultats. De plus, les principales arrivées d'eau dans la Jalle au niveau de l'agglomération sont identifiées et les volumes rejetés par ces arrivées ainsi que le débit de la Jalle sont mesurés, ce qui permet de faire des bilans annuels en flux. À noter toutefois que, dans notre étude, seule la phase aqueuse (phases dissoutes et particulaires) a été étudiée, mais pour effectuer un diagnostic plus approfondi, il pourrait être pertinent d'étudier également les compartiments sédimentaire et biologique.

### 1.2. Méthodologie de priorisation

Une fois l'état des lieux de la contamination du milieu naturel réalisé, il est nécessaire d'identifier les MP qui posent problème et qui peuvent être responsables d'un dysfonctionnement de l'écosystème. C'est pourquoi nous avons mené une démarche de hiérarchisation des MP, organiques d'un côté et métalliques de l'autre, afin d'identifier les MP prioritaires sur lesquels mener des actions de réduction sur le territoire.

Cette priorisation des micropolluants s'est appuyée sur la méthodologie du CEP<sup>11</sup>. Initialement mise au point pour des mesures de surveillance ; dans Regard, nous l'avons adaptée pour des mesures de gestion avant de la mettre en œuvre.

Cette méthodologie s'appuie sur les résultats des analyses chimiques ciblées du milieu naturel et prend en compte quatre critères : l'occurrence ou la présence du MP retranscrite via sa fréquence de quantification ; le niveau de présence du MP retranscrit via sa concentration ; la dangerosité intrinsèque du MP retranscrite via ses caractéristiques PBT (persistant, bioaccumulable, toxique), CMR (cancérogène, mutagène, reprotoxique)

<sup>11</sup> En 2010, l'Agence française pour la biodiversité (AFB) et l'Institut national de l'environnement industriel (Ineris) ont désigné un « comité experts priorisation » (CEP). Ce CEP a pour mission de développer et maintenir un référentiel méthodologique pour guider l'ensemble des exercices de priorisation des micropolluants aquatiques en France.

ou PE ; et le risque que le niveau de concentration du MP soit supérieur aux seuils de protection environnementale – normes de qualité environnementale (NQE) ou concentration prédite sans effet (PNEC). Un score est attribué à chaque critère et le score global, addition des scores des quatre critères, permet d'obtenir un classement des MP du plus problématique, avec le score global le plus élevé, au moins problématique. Les MP organiques et métalliques ne se comportant pas de la même façon, un classement différent a été réalisé pour chaque catégorie.

Nous préconisons d'utiliser cette méthodologie de priorisation, car elle permet de hiérarchiser les MP problématiques en plus de les identifier, contrairement à la méthode couramment employée qui consiste à comparer les concentrations moyennes individuelles avec les NQE ou la PNEC. Ces comparaisons permettent d'identifier rapidement les MP problématiques, mais ne donnent pas d'ordre de priorité entre eux et, par conséquent, ne permettent pas de définir sur quels MP agir en premier. De plus, tous les MP n'ont pas de NQE ou de PNEC et ceux qui sont dans ce cas ne sont pas pris en considération avec la méthode des comparaisons. La méthode du CEP présente l'avantage de prendre en compte tous les MP, même ceux pour lesquels un critère n'est pas rempli (ex. la fréquence de quantification pour les métaux qui sont naturellement présents ou le seuil de protection environnementale pour les composés

émergents), car le score global peut être calculé avec les scores des autres critères.

## 2. Préconisation pour le diagnostic amont

Une fois les MP problématiques identifiés, l'étape suivante est de comprendre leur provenance et de remonter à leurs sources d'émission. Pour cela, une stratégie mêlant analyses chimiques et analyses biologiques *in vitro* a été appliquée sur les sources supposées de ces MP en remontant le réseau d'assainissement à contre-courant depuis les points de rejets (station de traitement des eaux usées (STEU), exutoires pluviaux stricts, by-pass) jusqu'aux sources d'émission potentielles (sources domestiques, industrielles, hospitalières et pluviales) (figure 1).

### 2.1. Différencier les apports du réseau d'assainissement

Les MP présents dans le milieu naturel peuvent provenir de retombées atmosphériques, du ruissellement des eaux pluviales sur des sols contaminés et des déversements du réseau d'assainissement (rejets eaux usées (EU) traités, eaux pluviales (EP) ou mélange EU/EP). En première approche, nous préconisons de distinguer les MP qui proviennent du réseau d'assainissement du territoire d'étude de ceux qui proviennent du ruissellement, de l'amont du cours d'eau (liés aux rejets de

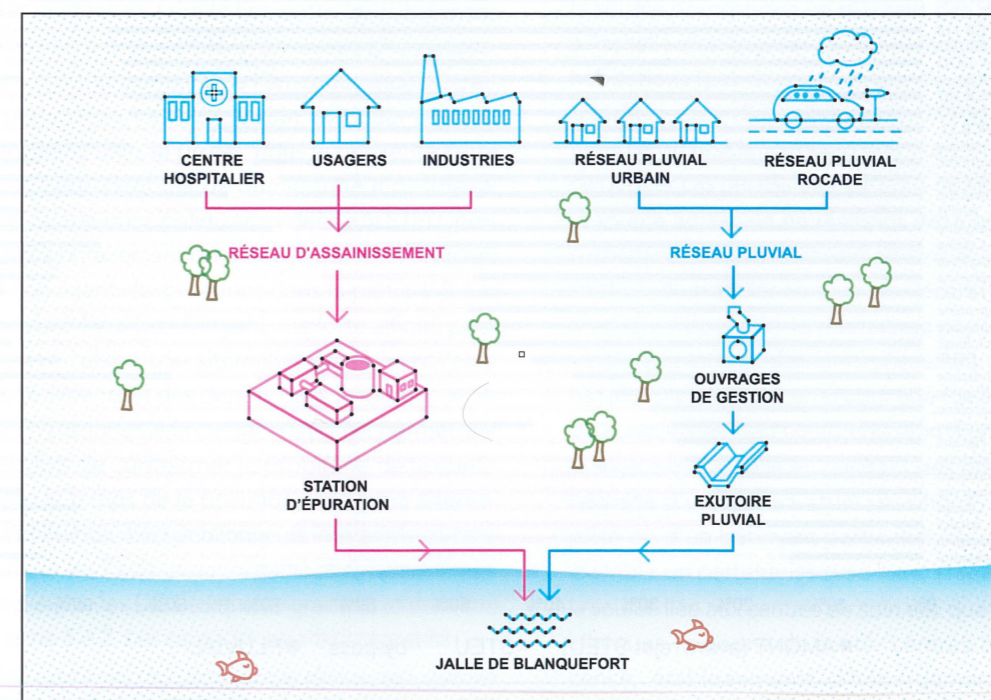


Figure 1. Illustration du diagnostic des sources en remontant le réseau d'assainissement à contre-courant depuis le milieu naturel (la Jalle de Blanquefort) jusqu'aux sources domestiques, industrielles, hospitalières et pluviales

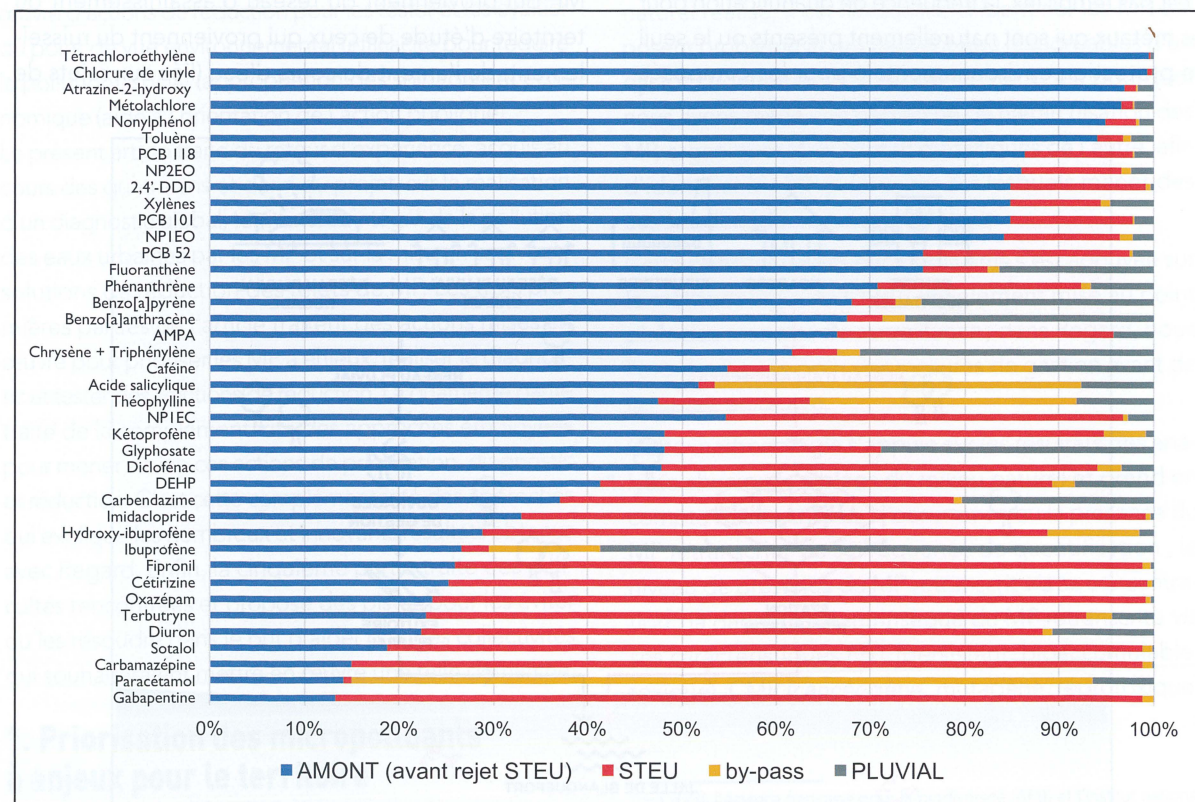
territoires situés hydrauliquement en amont) ou de retombées atmosphériques. Pour identifier ces MP, il faut analyser les effluents au niveau des points de rejet : STEU (EU traitées par temps sec et mélange EU brutes/EP si by-pass par temps de pluie), exutoires pluviaux (EP strictes) et déversoirs d'orage (DO, mélange EU brutes/EP). Dans Regard, nous avons comparé les flux annuels de MP provenant de l'amont de la Jalle (correspondant principalement à des ruissellements sur des terrains agricoles, forestiers et d'anciens sites industriels) aux rejets d'exutoires pluviaux (EP strictes après ruissellement sur des surfaces urbanisées) et aux rejets d'une STEU (EU traitées par temps sec et by-pass EU brutes/EP par forte pluie). Cette comparaison nous a permis de définir l'origine la plus probable de certains MP : amont, EP strictes (pluvial), EU traitées (STEU) ou mélange EU brutes/EP (by-pass) (figure 2).

Néanmoins, cette première approche n'est pas suffisante puisqu'elle ne permet pas d'identifier la source, c'est-à-dire l'origine précise des MP, sur laquelle agir pour réduire la pollution. En effet, les STEU, les exutoires pluviaux et les DO ne sont pas les sources, mais les vecteurs des MP qui proviennent des usages et pratiques domestiques, artisanales, industrielles, médi-

cales, etc., et qui transitent via les EU et les EP. En conséquence, pour les MP identifiés comme provenant des déversements du réseau d'assainissement, il faut poursuivre l'investigation et remonter plus en amont dans le réseau.

## 2.2. Les eaux usées

Pour les MP provenant des EU traitées (rejets STEU), remonter dans le réseau signifie en premier lieu d'analyser les EU brutes en entrée de STEU. En effet, les STEU traitent une partie des MP. Ce traitement implique un changement de la composition des eaux entre les EU brutes en entrée et les EU traitées en sortie. Si les analyses d'EU traitées en sortie permettent de faire le lien entre les MP identifiés dans le milieu naturel et ceux présents dans les effluents déversés par la STEU, les analyses d'EU brutes en entrée renseignent sur la composition des EU avant traitement, toute source, d'émission confondue. Quand l'objectif est d'identifier les polluants présents dans les EU en tant que source alors c'est principalement l'entrée qu'il faut étudier, l'efficacité du traitement introduisant un biais. Pour aller plus loin, il est possible de faire analyser les boues en sortie de STEU comme ce que nous avons fait dans Regard.



AMPA : acide aminométhylphosphonique; DDD : dichlorodiphényldichloroéthane; DEHP : phtalate de di(2-éthylhexyle); NP1EO : nonylphénol monoéthoxylate; NP2EO : nonylphénol diéthoxylate; PCB : polychlorobiphényle; STEU : station de traitement des eaux usées.

Figure 2. Illustration de la provenance des micropolluants (MP) dans le milieu naturel

Néanmoins, ces analyses ne sont pas indispensables pour comprendre l'origine des MP présents dans le milieu naturel étudié, à moins que les boues ne soient épanchées à proximité immédiate de ce milieu.

Après l'étude des EU brutes en entrée de STEU, remonter dans le réseau signifie réaliser des prélèvements soit :

- dans les canalisations au niveau des différentes branches de certains nœuds/carrefours du réseau d'assainissement, afin d'identifier géographiquement l'origine des MP en remontant à contre-courant depuis la STEU jusqu'à l'émetteur. Cette méthodologie permet de réduire petit à petit la taille du bassin de collecte étudié jusqu'à identifier un quartier puis une rue et, enfin, le point de rejet précis et donc l'émetteur des MP problématiques. Si cette option est choisie, nous préconisons d'avoir une très bonne connaissance du fonctionnement des réseaux (assainissement et pluviaux) et des entités raccordées (activité, rejet, implantation) afin d'établir une cartographie, prérequis indispensable à la définition des points de prélèvement les plus pertinents. Cependant, il faut savoir que cette méthode ne donne pas toujours satisfaction, car elle suppose que la pollution est continue dans le temps, puisqu'elle nécessite d'avoir les résultats d'analyse de l'étape précédente avant de pouvoir passer à l'étape suivante, ce qui n'est pas toujours le cas. De plus, le réseau d'assainissement est une zone de mélange/dilution et un réacteur où les micropolluants peuvent être transformés ou fixés. Il n'est donc pas évident de faire le lien entre les substances quantifiées en entrée de STEU, en réseau d'assainissement et au niveau des rejets de l'émetteur (industrie, artisans, particuliers, centres de soin, etc.). Sur une des STEU étudiées dans le projet, nous avons tenté cette approche pour identifier de quelle zone industrielle, parmi les quatre principales raccordées à la STEU, provenaient majoritairement certains MP. Les résultats n'ont pas été concluants (explications dans la partie 5.3. *Les bilans en flux*). Pour les MP ayant une forte affinité pour la phase particulaire, une alternative possible est l'analyse des sédiments et des dépôts dans le réseau, car ils gardent l'historique de la contamination et permettent certaines fois de contourner le problème de la continuité dans le temps de la pollution. Une autre alternative est l'utilisation d'échantillonneurs intégratifs comme par exemple les Pocis (*polar organic chemical integrative sampler*) ou les DGT (*diffusive gradient in thin film*) (paragraphe 5.6.2. *Les capteurs passifs/intégratifs*);

- dans les ouvrages qui jalonnent le réseau tels que les postes de relevage ou les bassins de stockage, car ils facilitent l'accès aux effluents;

• au niveau des sources d'émission elles-mêmes qui correspondent à des typologies d'eaux bien précises. C'est cette dernière option que nous avons choisi d'appliquer dans Regard. Ainsi, nous avons effectué des prélèvements (i) à l'échelle de maisons individuelles, d'habitats collectifs (immeubles) et de quartiers pour étudier la source domestique, (ii) à l'échelle de zones industrielles (ZI) pour étudier la source industrielle et (iii) à l'échelle de bâtiments ou ensemble de bâtiments d'un centre hospitalier universitaire (CHU) pour étudier la source hospitalière. Les prélèvements à différentes échelles se sont révélés complémentaires et pertinents pour la source domestique. De plus, l'avantage de réaliser des prélèvements à la sortie d'une maison individuelle est qu'il est possible de faire le lien entre le nombre de personnes habitant dans la maison, les produits utilisés et les MP retrouvés dans les EU. Néanmoins, ces prélèvements ne peuvent pas être réalisés partout, car ils nécessitent la présence d'un regard et d'un regard de taille suffisante pour accueillir et dissimuler le préleveur automatique. Nous regrettons les prélèvements à l'échelle des ZI qui se sont révélés non pertinents, car ils ne permettent pas de démêler l'origine strictement industrielle, liée à un processus de traitement ou de fabrication, par exemple, de l'origine plus générale liée aux cuisines, douches, sanitaires et autres usages de l'eau qui peuvent être faits dans des bâtiments administratifs, sièges sociaux ou habitations également situés dans les ZI étudiées. En conclusion, nous préconisons d'étudier :

- la source domestique en réalisant des prélèvements à l'échelle d'un quartier exclusivement occupé par des habitations (pas de commerces, de centres de soin, d'ateliers, etc.), d'un habitat collectif (lotissement, immeuble ou résidence) ou d'une maison individuelle, ce dernier cas nécessitant l'accord des occupants;
- la source artisanale en réalisant des prélèvements à l'échelle d'une zone d'activités artisanales (ZAC) sans habitation, d'un atelier ou d'un commerce (garage automobile, coiffeur, salon de coiffure pour animaux domestiques, etc.), ce dernier cas nécessitant un partenariat avec l'artisan concerné pour une meilleure accessibilité aux effluents et compréhension des résultats;
- la source industrielle en réalisant des prélèvements à l'échelle d'un site industriel spécifique, d'une entreprise ou d'un bâtiment particulier, ce qui nécessite d'établir un partenariat avec les entreprises ciblées;
- la source liée aux centres de soin tels que les hôpitaux, cliniques, maisons de santé, centres de convalescence, établissements d'hébergement pour personnes âgées dépendantes (Ehpad), cabinets médicaux ou vétérinaires, etc., en réalisant des prélèvements

à l'échelle d'un complexe médical en intégrant l'ensemble des bâtiments et services, à l'échelle d'un seul bâtiment intégrant un ou plusieurs services ou à l'échelle d'un seul service.

### 2.3. Les eaux pluviales

Pour les MP provenant des EP, nous préconisons de réaliser des prélèvements d'EP strictes à différentes échelles de bassins versants afin d'avoir des informations complémentaires. Les gros collecteurs apportent une vision générique et les autres sites permettent de préciser les particularités de la contamination en fonction de la typologie du bassin versant. Néanmoins, les prélèvements à l'échelle de petits bassins versants se révèlent compliqués à mettre en œuvre et il est plus difficile d'obtenir un échantillon représentatif de l'événement pluvieux pour ces sites que pour des gros bassins. Dans Regard, pour analyser les EP strictes, nous avons effectué des prélèvements à l'échelle :

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

Si les résultats de ces analyses se sont révélés tout à fait intéressants, toutefois d'importantes difficultés ont été rencontrées pour effectuer un échantillonnage représentatif des eaux pluviales (paragraphe 5.5. *L'échantillonnage des eaux pluviales*).

Pour aller plus loin, au lieu de réaliser les prélèvements à l'amont des canalisations, dès interception des eaux par le système d'assainissement, ou à l'aval, au niveau des points de rejet dans le milieu naturel, il est possible de réaliser des prélèvements dans les ouvrages qui jalonnent le réseau tels que les bassins (enterrés ou à ciel ouvert), car ces derniers, en gardant l'eau, permettent d'avoir une sorte d'historique de la pollution sur tout un événement pluvieux (à condition qu'ils aient été vidangés des eaux des pluies précédentes pour éviter un mélange). Par ailleurs, pour aller plus loin, il est possible d'analyser les sols et les eaux de nappe souterraine sous-jacente d'un bassin d'infiltration quand ces éléments sont en lien avec le milieu naturel étudié.

### 3. Mise en œuvre d'actions de réduction des rejets de MP et conclusions des tests

Les actions de réduction menées dans Regard sont principalement des actions préventives. Ces dernières ont pour but d'éviter que les MP n'atteignent et ne polluent les eaux, contrairement aux actions curatives qui visent à traiter la pollution une fois que les eaux ont été contaminées par les MP. Néanmoins, une solution curative a été testée pour traiter les EP strictes. L'ensemble des solutions mises en œuvre sont listées dans le *tableau I*.

Trois critères ont servi à évaluer les actions testées même si tous n'ont pas été utilisés pour toutes les actions :

- le critère environnemental qui porte sur l'efficacité de l'action pour réduire les MP. Cette efficacité a été mesurée au travers d'analyses chimiques et biologiques. Ces analyses servent à vérifier la diminution de la diversité et de la quantité des MP et des impacts écotoxicologiques consécutive à la mise en œuvre de l'action de réduction ;
- le critère social qui porte sur l'appropriation des différents types de solutions par les usagers (grand public ou professionnels) en lien avec les enjeux environnementaux identifiés et sur la satisfaction de leur mise en œuvre (facilité) ou de leur résultat ;
- le critère économique qui a été pris en compte soit à partir d'une comparaison de prix entre deux pratiques soit, plus en amont de ces actions, à partir d'enquêtes déconnectées des actions de réduction concrètement mises en œuvre, mais mesurant le consentement à payer des citoyens pour différentes stratégies de réduction des MP.

Le *tableau I*, en plus de lister les actions mises en œuvre et leurs objectifs, donne aussi les conclusions de l'action par rapport à l'un ou l'autre ou plusieurs de ces critères d'évaluation. Enfin, les facteurs qui ont conduit à la réussite de l'action ou, au contraire, les regrets qui ont conduit à son échec ainsi que des suggestions pour aller plus loin sont présentés dans ce tableau.

*In fine*, les nombreuses solutions testées au cours de cette phase d'action et évaluation ont rencontré un succès variable, certaines ayant très bien fonctionné et d'autres moins. Les solutions peuvent ainsi être classées en trois groupes :

- celles ayant eu de bons résultats du point de vue environnemental et sociétal comme l'action « Familles EAU Défi » sur la source domestique, les actions de dératissage mécanique, de démoussage des terrains de tennis et d'enherbement des cimetières pour la

	Action	Objectif	Bilan de l'action	Facteurs de réussite/Préconisations <sup>(1)</sup>	Regrets	Pour aller plus loin
Source domestique	Le dispositif « Familles EAU Défi »	Diminuer les rejets de micropolluants (MP) liés à l'hygiène corporelle et l'entretien de la maison	Réussite <sup>(2)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Engagement des participants</li> <li>Accompagnement des volontaires</li> <li>Adoption de comportements plus vertueux</li> <li>Sentiment d'appartenance à un groupe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Résultats des analyses chimiques peu concluants en dépit d'un protocole et d'un dispositif d'échantillonnage inédit</li> <li>Typologie des familles (déjà sensibilisées à l'environnement)</li> </ul>	Extrapoler l'expérience à des familles non sensibilisées à l'environnement
	Communication	Sensibiliser le grand public	Réussite	Multiplier les moyens de communication (vidéos, BD, réseaux sociaux, articles de presse écrite, journal communal, exposition, atelier)	-	-
	Orienter l'action publique via l'étude du consentement à payer des citoyens	Étudier la préférence des habitants pour financer, au choix, l'optimisation des traitements en STEU (solution technique, curative) ou la réduction des rejets de MP à la source (solution sociétale, préventive, via des campagnes de sensibilisation en faveur du changement de comportement)	Réussite <sup>(3)</sup>	Représentativité des répondants (diffusion de l'enquête via un institut de sondage)	-	-
Source collectivité	Dératiser mécaniquement les réseaux d'assainissement	Réduire l'usage de raticide chimique	Réussite	<ul style="list-style-type: none"> <li>Privilégier la santé et l'environnement sur le financier</li> <li>Bien communiquer entre les différents services en charge de gérer le réseau d'assainissement et entre les services voirie, déchets, assainissement, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contraintes techniques (outil non adapté à tous les diamètres)</li> <li>Coût conséquent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gérer de façon concertée l'espace urbain</li> <li>Lutter contre les incivilités car les rats sont attirés par la nourriture (ex. restes alimentaires jetés par terre)</li> </ul>
	Appliquer la démarche zéro-phyto dans les cimetières	Réduire l'usage d'herbicide en proposant l'enherbement	Réussite	<ul style="list-style-type: none"> <li>Favoriser la transversalité des échanges (interservices et entre personnels technique et administratif)</li> <li>Communiquer et expliquer de façon pédagogique la démarche</li> </ul>	Le timing non compatible d'un projet R&D avec la mise en œuvre concrète	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obtenir le label « Eco-Jardin »</li> <li>Inclure l'interdiction des produits phytosanitaires dans le règlement</li> <li>Faire de la pédagogie auprès des usagers</li> </ul>
	Appliquer la démarche zéro-phyto au terrain de sport : démoussage des terrains de tennis	Réduire l'usage d'anti-mousse chimique en utilisant une machine à buse rotative qui projette puis aspire l'eau	Réussite	Le démoussage est plus rapide et efficace qu'avec le karcher et l'anti-mousse chimique	<ul style="list-style-type: none"> <li>Coût</li> <li>Pas de comparaison possible avec d'autres techniques (ex. désherbage thermique à mousse chaude)</li> </ul>	Tester cette solution et d'autres sur d'autres terrains de sport (ex. pistes athlétisme, terrains de foot synthétiques)
Source industrielle	Extraire et valoriser les métaux dans les effluents industriels	Réduire les rejets de métaux	Échec	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contraintes réglementaires qui servent de moteur</li> <li>Indépendance des entreprises vis-à-vis des producteurs/ fournisseurs</li> </ul>	Refus de participation des entreprises sélectionnées	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jouer sur l'image de l'entreprise</li> <li>Sensibiliser</li> <li>Imposer le suivi des MP dans l'autosurveillance et les contrôles inopinés en lien avec les conventions de déversement</li> </ul>
	Communication	Sensibiliser le personnel des laboratoires et restaurants universitaires aux MP et aux bonnes pratiques	Réussite	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utiliser la voie d'entrée économique</li> <li>Répondre à une demande</li> <li>Communiquer par affiche</li> </ul>	-	Réaliser une étude dédiée

1) Les facteurs de réussite, qui expliquent pourquoi une action a bien fonctionné, deviennent aussi des préconisations si l'on souhaite reproduire l'action sur un autre territoire, par exemple ; 2) Résultats et détails disponibles dans KRIEGER *et al.* [2020] ; 3) Résultats et détails disponibles dans RAMBONILAZA *et al.* [2019].

**Tableau I. Retour d'expérience sur la phase d'action et évaluation : résumé des actions testées, de leurs objectifs et conclusions, des facteurs de réussite, des regrets et des suggestions pour aller plus loin**

Action	Objectif	Bilan de l'action	Facteurs de réussite/Préconisations <sup>(1)</sup>	Regrets	Pour aller plus loin	
Source hospitalière	Communication	Sensibiliser une partie du personnel du CHU de Bordeaux aux rejets de résidus de médicaments et de détergents-désinfectants	Échec	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utiliser le lien santé au travail</li> <li>Utiliser le lien santé-environnement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>N'avoir pu tester la désinfection à la vapeur en raison de la surcharge de travail et de la pénibilité accrue</li> <li>N'avoir pu modifier le dosage des détergents préparés pour des questions de praticité et de rapidité</li> <li>Les marchés publics globalisés empêchent la possibilité de s'adapter au cas par cas (ex. utiliser un savon différent entre bâtiments administratifs et médicaux)</li> </ul>	Monter un programme de formation
	Discussion interhôpitaux	Échanger sur les actions ou possibilités d'action pour connaître et réduire la contamination des eaux par les résidus médicamenteux	Échec	Action basée sur la volonté politique propre à l'établissement	-	Mettre en œuvre concrètement cette volonté politique
Source pluviale	Rétention à la parcelle via des techniques alternatives	Évaluer l'efficacité des solutions de rétention des eaux à la parcelle pour réduire les transferts de MP	Réussite	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concevoir des ouvrages les plus simples et verts possibles (c.à.d. avec le moins de tuyaux possible)</li> <li>Pas de stagnation longue de l'eau pour éviter les nuisances (ex. moustiques)</li> <li>Sensibiliser les riverains (habitants ou travailleurs)</li> <li>S'assurer du bon fonctionnement des ouvrages après la conception et les opérations d'entretien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ouvrages mal conçus (alimentation, vidange, accès)</li> <li>Difficultés à réaliser des campagnes par temps de pluie (mesurer des faibles débits et problème de prévision des volumes entrants)</li> </ul>	Bilan de matière avec prélèvement et analyse des sédiments/dépôts, sol, plantes, eau infiltrée (nappe souterraine)
	Traitement des eaux pluviales	Mise en œuvre d'un pilote de traitement en condition réelle pour éliminer les MP des EP	Réussite	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ajouter des réactifs et être vigilant sur leur dosage</li> <li>Adapter le procédé de traitement aux MP visés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Complexité pour approvisionner en eau propre (nettoyage) et électricité</li> <li>Initier le traitement à un moment pas toujours prévisible ou pratique</li> <li>Débit variable dans l'ouvrage et ancrage du matériel</li> </ul>	Étendre la gamme des micropolluants étudiés

1) Les facteurs de réussite, qui expliquent pourquoi une action a bien fonctionné, deviennent aussi des préconisations si l'on souhaite reproduire l'action sur un autre territoire, par exemple ; 2) Résultats et détails disponibles dans KRIEGER *et al.* [2020] ; 3) Résultats et détails disponibles dans RAMBONILAZA *et al.* [2019].

**Tableau I. Retour d'expérience sur la phase d'action et évaluation : résumé des actions testées, de leurs objectifs et conclusions, des facteurs de réussite, des regrets et des suggestions pour aller plus loin**

source collectivité et le traitement des EP à l'échelle pilote pour la source pluviale ;

- celles aux résultats plus mitigés, soit d'un point de vue environnemental, telles que les techniques alternatives (TA) pour la source pluviale, soit d'un point de vue social, comme la sensibilisation des industriels ou du personnel hospitalier en dépit, pour ce dernier cas, de la conception et de l'utilisation d'outils de communication bien faits (vidéo avec film en dessin animé) ;
- celles aux résultats un peu décevants comme l'extrac-

tion/valorisation des métaux pour la source industrielle, en raison du refus de collaboration des industriels sollicités pour participer à l'étude, ou la mise en œuvre des changements de pratiques identifiées au CHU, en raison du décalage entre le temps d'un projet de recherche et le temps pour modifier des pratiques de la part d'un organisme aussi important que le CHU.

Il est ainsi souhaitable de reproduire les actions qui ont bien fonctionné sur d'autres territoires et de poursuivre

les études sur les autres actions telles que les TA pour qu'elles aboutissent aux résultats espérés.

## 4. La complémentarité des approches employées

Si le projet Regard a permis d'obtenir un nombre aussi important de résultats et d'enseignements, c'est grâce à la diversité des approches qui ont été employées de façon complémentaire.

### 4.1. La complémentarité des approches chimiques et biologiques

L'état des lieux du milieu naturel, tout comme le diagnostic des sources, a été réalisé en s'appuyant sur une approche complémentaire basée sur des analyses chimiques et des analyses biologiques.

Les analyses chimiques ciblées permettent d'identifier et quantifier des MP sélectionnés *a priori*. Pour sélectionner les MP à rechercher, nous préconisons de faire une première campagne qui couvre un large panel pour ensuite réduire la liste des MP à analyser. Cela permet, d'une part, de ne pas passer à côté de MP qui auraient un intérêt pour le territoire et, d'autre part, de limiter les coûts. C'est ainsi que dans Regard nous avons réalisé une première campagne d'analyse avec une liste de 300 MP choisis à partir d'informations réglementaires (ex. substances dangereuses et dangereuses prioritaires de la directive cadre sur l'eau), de données bibliographiques (ex. résultats de projets de recherche nationaux sur les MP comme Amperes ou Armistiq), de résultats d'études locales antérieures (projets Etiage et Reseau), de la disponibilité des protocoles analytiques et du coût des analyses. À l'issue de cette première campagne, la liste des MP a été restreinte pour des questions de faisabilité technique (ex. lourdeur des campagnes de prélèvement, volumes d'eaux à échantillonner, etc.) et de coût. Ainsi, les MP non retrouvés ou dont les analyses étaient trop onéreuses ou spécifiques ont été évincés. De 300 MP, la liste est ainsi passée à 180 MP. Néanmoins, au fur et à mesure de l'avancée du projet et des questions auxquelles nous cherchions à répondre, de nouveaux MP sont venus rallonger cette liste et, finalement, ce sont 258 MP qui ont été recherchés et analysés. Une alternative possible à la réalisation de la première campagne avec un large panel est la réalisation d'un *screening* en se basant sur des analyses chimiques non ciblées. Cette approche est décrite dans le paragraphe 5.6.1. *Les analyses chimiques non ciblées.*

Si les analyses chimiques permettent d'identifier et de quantifier des MP, en revanche elles ne permettent pas

d'évaluer leurs effets. À l'inverse, les analyses biologiques *in vitro* permettent de mettre en évidence un type d'effet, mais pas de dire quel MP en est la cause. Ces deux approches sont donc complémentaires et c'est pourquoi nous préconisons de les combiner dans une démarche de diagnostic intégré. C'est ainsi que sur les mêmes échantillons que ceux ayant servi aux analyses chimiques ciblées, des analyses biologiques *in vitro* ont été réalisées. Elles avaient pour objectif de mettre en évidence (i) des effets potentiels perturbateurs endocriniens (PE) au moyen de tests cellulaires permettant de détecter spécifiquement des composés ayant des activités œstrogéniques (ER), androgéniques (AR), glucocorticoïdes (GR) et (ii) des effets potentiels *dioxin-like* au moyen de tests cellulaires permettant de détecter des composés ayant des activités de type *dioxin-* et *PAH-like* (DL). Cette approche a ainsi permis de mettre en évidence des activités PE dans le milieu naturel en aval du rejet de la STEU, de caractériser les sources domestiques, industrielles, hospitalières et pluviales par rapport aux activités étudiées (ER, AR, GR, *dioxin-like* et *PAH-like*) et d'identifier des sites particulièrement actifs (points chauds) au sein du réseau d'assainissement [AÏT-AÏSSA *et al.*, 2017]. Nous préconisons de mettre en œuvre ce type d'approche pour tracer les MP par leur activité toxicologique (par exemple PE ou DL) dans les réseaux et identifier leur(s) source(s). En outre, il est possible d'utiliser d'autres bioessais ciblant d'autres modes d'action et permettant un diagnostic plus large des contaminants biologiquement actifs (exemple : des bioessais impliquant le récepteur PXR qui réagit aux xénobiotiques tels que les composés pharmaceutiques ou les pesticides). En effet, en combinant plusieurs tests, il est possible d'évaluer différents types d'activités ou d'effets biologiques couvrant un large panel de MP problématiques. Dans le cadre du diagnostic amont, ce sont des outils performants pour cartographier un réseau vis-à-vis de MP d'intérêt (éco)toxicologique et identifier les sources de ces MP, en complément des analyses chimiques ciblées.

Contrairement aux bioessais *in vitro* qui sont pratiqués en laboratoire sur des cellules et à partir d'échantillons prélevés (eau, sédiments, etc.), les bioessais *in vivo* sont pratiqués sur des organismes vivants entiers, exposés en continu dans le milieu naturel que l'on cherche à étudier. Ces analyses permettent d'évaluer l'état de santé des organismes vivants via l'exposition d'organismes modèles. Les organismes vivants sont choisis en fonction du milieu étudié (ex. huîtres pour le milieu marin, gammare ou palourdes pour les eaux douces superficielles, vers de terre pour les sols terrestres). Divers

paramètres peuvent être suivis : survie, croissance, mortalité, prédation, reproduction, bioaccumulation de polluants, production de protéines de détoxication, modification de la réponse génétique (expression des gènes). Nous préconisons l'exposition d'organismes vivants pour une évaluation globale du milieu naturel. C'est ainsi que dans Regard, en plus des analyses biologiques *in vitro*, des analyses biologiques *in vivo* ont été mises en œuvre dans le milieu naturel. Des coquillages d'eau douce, des bivalves filtreurs *Corbicula fluminea*, ont été prélevés sur un site de référence puis encagés et immergés en différents points de la Jalle, le long d'un continuum amont-aval. Les paramètres suivants ont été étudiés : la survie, la croissance, la bioaccumulation de 14 métaux (dont des terres rares [PERETO *et al.*, 2020]), la production de métallothionéines (protéines de détoxication) et l'analyse de l'expression quantitative de gènes d'intérêts impliqués dans la détoxication, le métabolisme mitochondrial, la réparation de l'ADN, etc. Si des résultats novateurs ont été obtenus avec ces analyses biologiques *in vivo*, en revanche plusieurs difficultés ont été rencontrées. Elles sont expliquées dans le paragraphe 5.4. Les analyses biologiques *in vivo*. Une autre possibilité pour réaliser ces analyses biologiques *in vivo* est de prélever et d'analyser des organismes vivants autochtones et naturellement présents dans le milieu naturel étudié pour connaître leur niveau de contamination.

Pour pouvoir interpréter, comprendre et comparer les résultats des analyses chimiques ou biologiques obtenus, il est conseillé de mesurer certains paramètres accompagnateurs tels que le débit, la température, le pH, la turbidité, la conductivité, l'oxygène dissous, les matières en suspension (MES), la demande biologique en oxygène (DBO), la demande chimique en oxygène (DCO), le carbone organique (dissous ou total), l'azote ou encore le phosphore. Ces paramètres peuvent être mesurés de façon continue ou ponctuelle, directement dans le milieu naturel ou le réseau d'assainissement ou dans des échantillons prélevés. La liste des paramètres et la fréquence des mesures sont à adapter en fonction des objectifs et besoins de l'étude.

#### 4.2. La complémentarité des approches des sciences de l'ingénieur et des sciences humaines et sociales

En complément des analyses chimiques et biologiques, nous avons réalisé en parallèle une étude sociologique des sources potentielles de pollution. L'étude sociologique permet de bien connaître le cadre, l'environnement social, organisationnel et réglementaire dans

lequel sont présents les acteurs dont les pratiques et usages de produits ont un impact sur l'environnement. S'agissant des acteurs, appréhender leurs connaissances, leur niveau de préoccupation environnementale, leurs motivations et capacités à agir au sein de leur périmètre de vie (foyer, entreprise, service d'une collectivité...) est essentiel afin d'être en mesure de proposer des changements de comportement pour réduire les rejets de MP qui soient adaptés, compris et appropriés. Dans Regard, à partir d'entretiens, de questionnaires et d'un atelier participatif, nous avons cherché à comprendre et connaître :

- les connaissances sur le cycle de l'eau et les pollutions de l'eau ainsi que les représentations sur les MP et les risques associés du grand public ;
- les pratiques des habitants de la métropole, des soignants, administratifs et agents d'entretien de l'hôpital (détails et résultats dans CARRÈRE [2017]), des administratifs, techniciens et gestionnaires des collectivités et des artisans ayant des activités pouvant avoir un impact sur les EU et les EP ;
- les usages des produits contenant des MP pour l'hygiène corporelle (ex. savon, shampoing, etc.), l'entretien de la maison ou du jardin (ex. lessive, vaisselle, ménage, jardinage, traitement des animaux domestiques, etc.), le nettoyage des locaux administratifs ou médicaux (ex. détergents, détergents-désinfectants, etc.), l'entretien des espaces publics, cimetières et terrains de sport (ex. produits phytosanitaires, insecticides, anti-mousse, etc.), l'entretien des réseaux (ex. raticide en assainissement, désherbant pour les réseaux de train ou tram, etc.), l'entretien extérieur des bâtiments (ex. ravalement, désherbants, anti-mousse, etc.).

Notre retour d'expérience sur cette étude sociologique des sources nous permet de préconiser d'adapter le moyen d'enquête au public visé. Par exemple, utiliser un questionnaire en ligne sur Internet pour le grand public, car il est facilement diffusable *via* les réseaux sociaux ou les e-mails et, à l'inverse, privilégier un entretien, téléphonique ou en face à face, pour les professionnels, car l'échange permet de mieux comprendre leur quotidien, leurs contraintes et les freins à une écologisation des pratiques. De plus, l'entretien oblige le professionnel à prendre le temps de répondre à l'enquête, contrairement à un questionnaire papier ou numérique qui pourra être laissé de côté par manque de temps. À noter cependant que la diffusion du questionnaire à destination du grand public par Internet (mail ou réseaux sociaux) introduit un biais en réduisant la diversité des répondants. En effet, ce mode de diffusion cible généralement des personnes faisant partie de la

même sphère sociale. La diversité des catégories socio-professionnelles et du niveau d'étude des répondants n'est alors pas toujours représentative du territoire. Pour pallier ce biais, il est possible de passer par un panéliste. Un autre moyen possible pour appréhender les niveaux de connaissance et les préoccupations des acteurs ainsi que les freins et leviers à des changements de pratiques, est de réaliser des *focus-groups*. Ces entretiens collectifs présentent les avantages de pouvoir ressentir les émotions des participants vis-à-vis d'une question (s'ils sont plus ou moins à l'aise, ce qui les dérange dans la question, etc.), de voir les participants échanger entre eux, ce qui permet d'enrichir les réponses et d'ouvrir le débat et de limiter le temps alloué à l'exercice par rapport à des entretiens individuels qui demandent un temps de réalisation puis de traitement des résultats très important. En revanche, par peur du regard des autres membres du groupe, les personnes interrogées peuvent se censurer dans leurs réponses. De plus, les participants volontaires à ce style d'exercice ne sont pas toujours représentatifs de la population en général. Notre seconde préconisation est d'interroger les représentations sociales, en plus des pratiques concrètes, car cela permet de replacer ces dernières dans l'univers de sens, de valeurs, de connaissances de l'individu et donc de mieux les appréhender et les comprendre pour proposer les solutions de réduction adaptées. Les enquêtes sociologiques ne doivent en aucun cas transmettre un jugement de valeur sur l'enquêté ni sur ses pratiques.

#### 4.3. La complémentarité des approches sur les eaux usées et les eaux pluviales

Le fait d'avoir initialement une seule liste de MP à rechercher aussi bien dans les EU que dans les EP nous a amenés à rechercher des herbicides dans les EU et des résidus de médicaments dans les EP. De telles recherches en réseau séparatif peuvent, de prime abord, ne pas paraître pertinentes au regard des usages de ces deux classes de MP. Et pourtant, ces analyses nous ont permis de mettre en évidence une contamination non négligeable des EU par le glyphosate et l'AMPA (acide aminométhylphosphonique), par exemple, et des EP par le paracétamol, la caféine et l'ibuprofène. Si à l'heure actuelle, ces résultats semblent banals, en 2015, c'était assez innovant. C'est grâce à la complémentarité de l'étude, en étudiant à la fois les EU et EP et en ne se focalisant pas uniquement sur une seule sorte d'eau, que nous avons pu mettre en évidence ces contaminations originales. Dans l'objectif de faire un diagnostic le plus global possible, nous préconisons

donc d'étudier à la fois les EU et les EP, mais aussi de rechercher, sans *a priori*, des MP dans des matrices dans lesquelles ils ne sont pas attendus d'après leurs usages.

#### 4.4. La complémentarité des actions préventives et curatives pour réduire les MP

Si la stratégie française est de réduire à la source les rejets de MP par des changements de pratiques ou de comportements, elle n'est pas toujours facile ni possible à mettre en œuvre. Les traitements curatifs peuvent alors être nécessaires, en complément, pour lutter contre la pollution des milieux aquatiques par les MP. Deux exemples viennent illustrer l'intérêt de cette approche complémentaire, préventive-curative, au regard de ce que nous avons pu, ou au contraire pas pu, mettre en œuvre dans Regard.

Exemple 1 : la contamination des EP provient souvent de sources multiples, variées et diffuses, il est alors difficile et coûteux de mettre en place un traitement centralisé à l'image des STEU. Les actions de réduction à la source sont donc à privilégier. En dehors du changement de comportements ou de produits, une façon de réduire de manière préventive la pollution des EP par les MP est la mise en place de TA de gestion des EP. Ces ouvrages ont pour but de collecter les gouttes d'eau de pluie au plus près de leur point de chute, de façon à réduire leur ruissellement aussi bien sur les surfaces imperméabilisées potentiellement polluées que dans les canalisations où la contamination des différentes gouttes d'eau se mélange et s'amplifie au fur et à mesure que la distance parcourue augmente. Cinq TA ont été étudiées dans Regard et ont confirmé leur capacité à réduire en flux la pollution des EP par les MP. À l'inverse, pour les gros collecteurs déjà existants et qui collectent des eaux avec une typologie spécifique (EP strictes), il peut être pertinent de mettre en place une solution curative. C'est ce qui a été testé et approuvé dans Regard avec la mise en œuvre d'un traitement à l'échelle pilote sur le collecteur « rocade nord » recueillant spécifiquement les EP provenant des parkings de l'aéroport et d'une grande partie des voiries de la rocade (périphérique) nord-bordelaise. Ce premier exemple illustre l'intérêt de combiner des actions préventives, par l'aménagement de TA de gestion des EP, et des actions curatives, sur le patrimoine déjà existant, dans l'objectif de réduire la contamination des EP et *in fine* des milieux aquatiques.

Exemple 2 : en ce qui concerne les résidus de médicaments, à part la sensibilisation aux mauvais gestes tels que jeter des médicaments dans les éviers et les toilettes, la mise en œuvre d'actions préventives n'est pas

toujours évidente. En effet, d'une part, les scientifiques de l'environnement ne sont pas médecins et ne sont donc pas légitimes pour proposer ou interdire la prise de tel ou tel médicament par rapport aux conséquences qu'il peut avoir sur les milieux aquatiques et, d'autre part, dans bien des cas, la santé prime sur l'environnement, ce qui rend difficilement envisageable le changement de pratiques et de produits. La réduction à la source n'est donc pas simple à mettre en œuvre et à généraliser pour cette catégorie de MP (même si plusieurs pistes ont été identifiées dans Regard) et une solution curative de traitement des EU semble plus adaptée. Cependant, dans Regard ainsi que dans d'autres projets du même appel à projets (Sipibel-Rilact et Rempar), il a été démontré qu'un traitement à la source, au niveau des effluents hospitaliers, n'est pas nécessaire en France, à l'exception de quelques molécules exclusivement administrées en milieu hospitalier, car les effluents hospitaliers contribuent à moins de 10% à l'apport de médicaments en STEU. L'amplification des démarches d'hospitalisation à domicile et la démocratisation de la prise de médicaments sans ordonnance au domicile engendrent une multiplication et une diversification des sources de médicaments dans le réseau d'assainissement. Ainsi, pour la majorité des médicaments, un traitement centralisé en STEU est plus pertinent. Cela est le deuxième exemple où les actions préventives de sensibilisation combinées aux solutions curatives de traitement en STEU peuvent, en complémentarité, permettre de réduire la contamination des EU et *in fine* des milieux aquatiques.

Enfin, cette complémentarité des approches curatives et préventives a également été mise en évidence par les résultats de l'étude sur le consentement à payer des citoyens. Les citoyens valorisent les solutions de réduction de MP dans les EU à la fois au niveau technologique et au niveau comportemental, indiquant ainsi qu'ils sont prêts à payer pour des politiques de sensibilisation aux changements de comportements, mais aussi pour du soutien à la modernisation des STEU pour améliorer le traitement des MP.

## 5. Les difficultés et challenges rencontrés

### 5.1. L'évolution de la sélection des MP à analyser

Comme détaillé dans le *paragraphe 4.1. La complémentarité des approches chimiques et biologiques*, la liste des MP à rechercher a évolué au cours de l'étude : de 300 MP lors de la première campagne dans le milieu naturel, elle a été réduite à 180 MP à rechercher dans le

milieu naturel, les STEU, les exutoires pluviaux et les EU industrielles et hospitalières, avant d'être une nouvelle fois modifiée et adaptée (ajout de nouvelles classes de MP et suppression de MP au sein de classes déjà étudiées) pour les EU domestiques et les EP. Au final, ce sont 258 MP différents qui ont été recherchés et analysés. Si des résultats novateurs ont été mis en évidence avec ces modifications et adaptations de la liste des MP, nous regrettons cependant d'avoir ajouté des MP en cours d'étude car, *in fine*, cela présente l'inconvénient d'avoir un nombre différent d'analyses et de résultats en fonction du MP considéré. Les MP analysés depuis le début ont des conclusions plus robustes que ceux ajoutés en cours d'étude et cette disparité engendre une difficulté pour traiter l'ensemble des résultats et les comparer en fin de projet.

### 5.2. L'identification des traceurs de sources

Initialement, notre ambition était d'identifier des traceurs de sources, c'est-à-dire des MP dont l'origine serait exclusivement liée à une source d'émission (domestique, industrielle, hospitalière, pluviale). Ainsi, d'une part, on aurait pu obtenir des liens directs et exclusifs entre un MP et sa source d'émission et, d'autre part, la présence de ce MP aurait indiqué la présence d'un type d'eau spécifique, ce qui aurait pu permettre d'identifier l'origine des autres MP présents, mais dont la source d'émission n'aurait pas été connue. Malheureusement, tous les MP ont été retrouvés dans tous les types d'eaux analysées et aucun ne provient d'une seule et unique source. Il n'a donc pas été possible de faire un lien entre un MP et sa source d'émission. Les sources de MP étant multiples, nous n'avons pas pu déterminer des traceurs de sources.

En revanche, nous avons pu identifier des contributions et nous sommes en mesure de dire si tel ou tel MP provient plutôt d'EU brutes, d'EU traitées ou d'EP. De plus, l'association de certains MP ou le rapport de leur concentration permet de renforcer les conclusions sur les contributions. Ainsi la quantification de tel ensemble de MP permet de dire si le milieu naturel est plutôt contaminé par des EU brutes, des EU traitées ou des EP et le rapport des concentrations entre MP permet, dans certains cas, de préciser si la source est proche ou lointaine, si l'origine est plutôt urbaine ou agricole. Grâce à ce retour d'expérience, nous pouvons préconiser d'identifier un type d'eau à partir de la présence d'un ensemble de MP (*tableau II*) et non pas à partir de la présence d'un seul MP uniquement. Ainsi, il est préférable d'utiliser des empreintes/des profils de MP plutôt qu'un MP seul pour identifier une source de contamination.

Type d'eau	Ensemble de molécules caractéristiques
Eaux usées brutes	Plus forte proportion de composés pharmaceutiques (tels que le paracétamol, l'ibuprofène, l'hydroxy-ibuprofène, l'acide salicylique,) et de traceurs de vie humaine (caféine et théophylline)
Eaux usées traitées	Plus forte proportion de composés pharmaceutiques tels que le diclofénac, l'oxazépam, le sotalol, la carbamazépine et la gabapentine (composés réfractaires au traitement)
Eaux pluviales	Pesticides (notamment du glyphosate en plus forte proportion que l'acide aminométhylphosphonique (AMPA)) et biocides tels que diuron, carbendazime, terbuthyryne et propiconazole

Tableau II. Contributions des molécules organiques aux différents types d'eau

### 5.3. Les bilans en flux

Dans l'objectif d'estimer la contribution de différentes ZI à l'apport de MP en STEU et ainsi d'identifier la ZI qui serait la principale source de MP, nous avons mesuré les flux de MP en sortie des quatre plus grosses ZI et à l'entrée de la STEU à laquelle ces quatre ZI sont raccordées. Malheureusement les résultats n'ont pas été concluants car, si mathématiquement les calculs étaient faisables, dans la réalité, les résultats obtenus n'étaient pas possibles. En effet, une ZI ne peut pas contribuer à elle seule à plus de 100% du flux de MP mesuré en entrée de la STEU. Plusieurs raisons peuvent expliquer ces résultats :

- les phénomènes d'adsorption, dégradation ou encore volatilisation qui peuvent se passer dans le réseau d'assainissement et qui modifient la composition des effluents entre la sortie de la ZI et l'entrée de la STEU ;
- les échantillons prélevés en sortie de ZI et ceux prélevés en entrée de STEU ont été collectés sans tenir compte du temps de transit, c'est-à-dire du temps mis par l'effluent pour parcourir la distance entre les deux points d'échantillonnage. En conséquence, l'effluent échantillonné en entrée de STEU ne correspond pas à celui échantillonné en sortie de ZI, ce qui peut expliquer qu'un résultat n'est pas cohérent avec ce qu'il aurait pu être si le temps de transit avait été pris en compte et que le même effluent avait été échantillonné en deux points différents du réseau ;
- les imprécisions ou erreurs de métrologie dans la mesure des volumes d'eau qui ont un impact sur les calculs des flux de MP.

### 5.4. Les analyses biologiques *in vivo*

Si certains résultats issus des analyses biologiques *in vivo* ont été novateurs, en revanche, d'autres ont été décevants au regard de l'investissement humain, technique et financier. Plusieurs raisons expliquent ce constat :

- pas de site d'étude amont de référence, c'est-à-dire pas de site vierge de pollution, même tout en amont du cours d'eau, donc difficile de comparer les résultats obtenus au niveau des différents points en aval des rejets du réseau d'assainissement avec une référence. Néanmoins, des comparaisons intersites, à partir de l'expression quantitative de gènes, ont permis de caractériser l'impact spécifique des rejets issus d'une STEU ou d'un exutoire pluvial [BERTUCCI *et al.*, 2018]. Cette technique permet d'observer l'effet sur l'ensemble des fonctions métaboliques de l'organisme et nous a permis en particulier de caractériser, par exemple, l'impact sur les réponses immunitaires ;
- présence d'un bruit de fond géochimique relativement élevé pour certains métaux (ex. aluminium) en amont du cours d'eau du fait de la pédologie (podzols), ce qui a eu pour conséquence de mettre en évidence un gradient de contamination métallique (bioaccumulation des métaux) plus fort à l'amont qu'à l'aval, empêchant ainsi de pouvoir mettre en évidence une potentielle bioaccumulation plus forte à l'aval des points de rejets, en lien avec le déversement d'eaux usées ou pluviales ;
- forts niveaux d'hypoxie observés en été, générant un stress important, voire une mortalité des organismes, totalement indépendants de la présence de MP. Dans un cadre plus large, cela permet de montrer que les conditions du cours d'eau ne sont pas favorables à la survie des animaux et la présence de MP va *a fortiori* avoir un impact sévère sur les organismes.

### 5.5. L'échantillonnage des eaux pluviales

Trois difficultés majeures ont été rencontrées pour réaliser un échantillonnage représentatif des EP :

- celle d'échantillonner des EP d'une seule typologie (liée à des pratiques uniquement domestiques, industrielles ou des collectivités), car généralement les EP urbaines sont des mélanges puisque les bassins

versants sont à la fois domestiques, industriels, artisanaux, et couvrent des espaces verts, des voiries, etc. ;

- celle de réaliser des prélèvements asservis au débit car, pour les EP, l'asservissement au débit suppose de connaître à l'avance (i) l'horaire de début de la pluie pour programmer le démarrage du préleveur automatique et (ii) le volume des précipitations afin d'estimer le volume global de l'événement et ainsi régler les conditions d'échantillonnage du préleveur. Malgré la diversité des sites internet météorologiques, aucun n'est suffisamment fiable ou précis pour fournir ces informations à l'échelle d'un quartier ou d'une zone géographique précise, ce qui rend le paramétrage et les conditions d'échantillonnage difficiles, voire l'échantillon non représentatif ;

- celle de réaliser des campagnes en semaine pendant les heures ouvrées, car la pluie ne tombe pas toujours pendant ces moments-là. Il est préférable que l'échantillonnage se fasse en semaine pendant les heures ouvrées plutôt que le week-end ou la nuit pour des questions de logistique (quasi-impossibilité d'échantillonner la nuit du samedi au dimanche, par exemple, car les échantillons peuvent difficilement être portés aux laboratoires d'analyse dans les 24 heures après prélèvement) et de sécurité (meilleure visibilité de jour que de nuit et plus de personnes disponibles en semaine que le week-end pour surveiller l'augmentation, parfois brutale, du niveau d'eau dans les canalisations qui mettent en danger hommes et matériel). Dans Regard, nous avons néanmoins réalisé de nombreuses campagnes en soirée ou le week-end.

## 5.6. Les approches exploratoires

Ce dernier paragraphe ne relève pas tant des difficultés, mais plutôt des challenges que représentent les approches exploratoires comme les analyses chimiques non ciblées, les capteurs passifs ou encore la démarche EDA (*effect-directed analysis*).

### 5.6.1. Les analyses chimiques non ciblées

Les analyses chimiques non ciblées correspondent à des analyses chimiques dont les MP à rechercher ne sont pas présélectionnés en amont contrairement aux analyses ciblées. Ces analyses non ciblées permettent d'investiguer un spectre plus large de molécules et de fournir ainsi une vision plus globale de la contamination, bien que toujours non exhaustive. Avec ces analyses, les MP organiques présents sont détectés qu'ils soient connus ou inconnus (ex. produit de transformation) et cette détection/mise en évidence peut servir de première étape pour orienter de futures analyses ciblées.

Dans cette situation, les analyses chimiques non ciblées servent de point de départ pour identifier des molécules non sélectionnées *a priori*. À la suite de cette première analyse non ciblée, de nouvelles analyses, ciblées cette fois-ci, peuvent être réalisées pour quantifier les molécules identifiées au cours de la première analyse.

Une autre façon d'utiliser les analyses chimiques non ciblées est de détecter une grande partie des molécules présentes dans un échantillon et de permettre ainsi d'obtenir le profil chimique de cet échantillon. Les profils chimiques de différents échantillons peuvent ensuite être comparés entre eux pour mettre en évidence les différences entre les échantillons et ainsi révéler la présence ou l'absence de composés (comparaison entrée/sortie de STEU, par exemple, ou suivi de la contamination le long d'un continuum en comparant des points amont/aval). Dans ce deuxième cas, on ne cherche pas à identifier les molécules. Dans Regard, nous avons utilisé cette approche non ciblée pour comparer les profils chimiques d'échantillons prélevés en entrée et sortie d'une STEU. Environ 6000 composés ont été détectés en entrée de STEU et 3500 en sortie dont 1000 communs avec l'entrée et 2500 nouveaux, soit générés au cours du traitement (sous-produit de dégradation), soit correspondant à des composés qui n'ont pas été détectés dans l'eau brute en entrée à cause d'un effet matriciel important qui les masque lors de l'analyse.

### 5.6.2. Les capteurs passifs/intégratifs

Une alternative à l'échantillonnage classique moyen sur 24 heures est l'utilisation d'échantillonneurs intégratifs tels que les Pocis (*polar organic chemical integrative sampler*), les barreaux SBSE (*stir bar sorptive sampler*), les DGT (*diffusive gradient in thin film*) ou encore le CFIS (*continuous flow integrative sampler*). Plus simples à mettre en œuvre que les préleveurs classiques, ils présentent ainsi des avantages opérationnels, de sécurité et financiers. En revanche, l'analyse en routine de ces outils n'est pas simple et il faut être vigilants au niveau de résultats que l'on souhaite obtenir : en concentration dans l'eau exprimée en ng/L par exemple (ce niveau de résultat nécessite une étape préalable de calibration en laboratoire pour chaque MP et chaque échantillonneur) ou en quantité dans l'échantillonneur exprimée en ng/masse de phase adsorbante de l'outil, par exemple. S'ils sont encore peu appliqués en réseau d'assainissement, certains échantillonneurs passifs tels que les Pocis ou les DGT sont bien connus et utilisés dans le milieu naturel (ex. rivière, lac, pleine mer). Dans Regard, des mini-Pocis ont été spécifiquement développés pour

s'adapter au réseau d'assainissement (réduction de la taille pour limiter l'encombrement et l'impact sur le fonctionnement du réseau, immersion continue de l'outil dans des canalisations où la hauteur d'eau varie au cours de la journée) tout en conservant les propriétés physico-chimiques du Pocis. Les données qui résultent de l'utilisation d'échantillonneurs intégratifs sont très utiles en première approche pour évaluer la présence et le niveau de concentration d'un panel de MP. L'utilisation de ces outils innovants dans le cadre d'un premier niveau de sectorisation permet de limiter le nombre de campagnes de mesures avec des préleveurs classiques.

### 5.6.3. La démarche EDA

Afin d'identifier les MP à enjeux, il est possible d'utiliser l'approche EDA (pour *effect-directed analysis* ou analyse dirigée par l'effet). Cette approche [GARDIA-PAREGE *et al.*, 2019], qui combine analyses chimiques et biologiques, permet d'orienter les analyses chimiques vers l'identification des MP responsables des effets observés avec les bioessais, c'est-à-dire ceux qui sont problématiques. Cette approche présente l'avantage de se baser sur une toxicité avérée (résultats des bioessais), de prendre en compte les effets cocktail et d'intégrer des MP inconnus (ex. produit de transformation) ou non choisis *a priori* pour être étudiés. Néanmoins, elle a comme inconvénients de ne pas être encore disponible en routine, car elle nécessite du temps (bien que les dernières avancées permettent de sérieusement réduire ce désagrément) et des appareils analytiques très perfectionnés ainsi que de disposer de standards analytiques qui ne sont pas toujours disponibles. C'est donc principalement ce dernier point, concernant l'identification finale par spectrométrie de masse haute résolution (HR-MS) des MP dans les fractions biologiquement actives, qui reste limitant pour une application à plus large échelle.

## Conclusion

Au terme des quatre ans et demi, Regard s'est confirmé être un projet important, riche en apprentissages tant sur le plan des résultats et que sur celui de la méthodologie. Le partage du retour d'expérience sur ce qui a été fait en matière de diagnostic et de solutions pour réduire les rejets de micropolluants et la contamination des eaux urbaines doit aider d'autres collectivités. Ainsi, celles qui souhaiteraient réaliser un diagnostic de leur territoire ou réduire les rejets de micropolluants peuvent s'inspirer des méthodes présentées dans cet article et

mettre en œuvre directement les actions qui donnent des résultats satisfaisants tout en évitant de reproduire les mêmes « erreurs » ou de se retrouver devant les mêmes questionnements et impasses.

En ce qui concerne le diagnostic, toutes les actions entreprises dans Regard ne sont pas indispensables et il n'est pas concevable de développer un pareil projet de recherche (3,3 M€, plus de 110 personnes impliquées) sur chaque territoire. Différents niveaux de diagnostic, du plus simple (et moins onéreux) au plus complexe, peuvent être mis en œuvre comme par exemple pour le diagnostic amont demandé dans le cadre de l'action RSDE (réduction/suppression des micropolluants dans les systèmes d'assainissement (RSDE), note technique<sup>12</sup> du 12 août 2016). Il convient d'adapter l'ampleur du diagnostic aux questions auxquelles on souhaite répondre. Le niveau d'information apporté par ces différents degrés de diagnostic ne sera pas le même, néanmoins toutes les collectivités n'ont pas besoin de mettre en œuvre la totalité des outils pour se faire une idée du niveau de contamination de leurs eaux urbaines. De plus, certains résultats obtenus grâce à Regard peuvent être extrapolés à l'ensemble de la métropole française, par exemple ceux de l'enquête populationnelle sur Internet concernant le grand public. Une telle enquête sur les représentations et les usages n'apporterait que peu d'informations nouvelles si elle était reconduite, même dans un autre territoire.

En ce qui concerne les actions de réductions, la préconisation de certaines actions pour une application généralisée à l'ensemble du territoire français nécessite de prendre du recul et d'inclure dans la réflexion : le bilan carbone, le coût humain et financier ou encore la pérennité dans le temps de la mise en œuvre de ces actions (par exemple pour les ouvrages de traitement comme les STEU, les techniques alternatives ou la solution de traitement des eaux pluviales). Ces éléments incitent à privilégier les actions préventives, associées à des changements de comportements, plutôt que des solutions de traitement. Ils renforcent ainsi la volonté française de réduire la pollution à la source plutôt que de la traiter, même s'il est probable que ce soit la combinaison des deux qui soit le plus efficace pour protéger l'environnement.

<sup>12</sup> Note technique du 12 août 2016 relative à la recherche de micropolluants dans les eaux brutes et dans les eaux usées traitées de stations de traitement des eaux usées et à leur réduction » du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des Relations internationales sur le climat (<https://www.legifrance.gouv.fr/circulaire/id/41230>)



## Remerciements

Nous remercions l'Office français de la biodiversité (OFB, ex-AFB/ex-Onema) et l'agence de l'eau Adour-Garonne pour leur soutien financier.

Nous remercions tous les étudiants et stagiaires ainsi que les techniciens, ingénieurs et chercheurs qui ont contribué au projet en réalisant les prélèvements, les analyses, les enquêtes/entretiens/questionnaires, le traitement des données et les actions de communication et animation. Nous remercions tout particulièrement : Christophe Chauvin, Damien Granger et Anne-Cécile Michaud du LyRE, Wilfried Dal Cin, Charlie Boechat, Annabelle Gonthier, François Graffin et leurs équipes ainsi que Adeline Bonnet, Virginie Blasco, Matthieu Bonange, Alexandre Eyraud, Céline Pinard, Sylvie Faye Luflade, Bruno Silvestre, Emmanuelle Ampouange, Vanessa Haristoy, Aurélie Landais, Didier Marliac et Emmanuel Cottin de la SGAC, Maritxu Harriet, Mathilde Arnaudeau et Mathieu Guionie de Suez Eau France, Céline Chollet, Karyn Le Menach, Patrick Pardon, Sylvie Augagneur, Emmanuel Geneste et Laurent Peluhet de

l'équipe LPTC de l'UMR EPOC, Cécile Bossy, Clément Pereto, Aude Charrier de l'équipe TGM de l'UMR EPOC, Bruno Etcheverria de l'équipe EA de l'UMR EPOC, Denis Salles de l'Inrae, Emmanuelle Maillot-Maréchal de l'Ineris, Anne-Lise Jacquet, Nicolas Gendreau, Pascal Botzung, Jean-Pierre Rousseau, Nathalie Hivert, Anne Desurmont et Isabelle Petit-Laurent de Bordeaux Métropole, Florian Delerue et Francis Ribeyre de l'Ensegid, Elsa Causse et Geoffrey Rioche de l'Université de Bordeaux, Céline Domenc, Vincent Jouanneau et les équipes de Cap Sciences.

Nous remercions aussi toutes les personnes qui ont participé à ce projet : les familles de « Familles EAU Défi », les membres du personnel et de la direction du CHU de Bordeaux, les agents de Bordeaux Métropole et des communes de la métropole, le Sigdu, le personnel des laboratoires et des restaurants de l'université de Bordeaux, les professionnels qui ont répondu à nos entretiens/interviews, les particuliers qui ont répondu à nos questionnaires, les personnes qui ont participé au Living Lab.

## Bibliographie

ÂÏT-AÏSSA S., MAILLOT-MARÉCHAL E., CREUSOT N., GARDIA-PARÈGE C., BUDZINSKI H. (2017) : *Détection de composés perturbateurs endocriniens et dioxin-like à l'aide de bioessais in vitro dans les eaux usées, pluviales et naturelles*, rapport du projet Regard. Disponible en ligne : [http://fichiers.bordeaux-metropole.fr/divers/regard/livrables/REGARD\\_Livrable\\_sous-tache-1-3-3\\_bioessais-in-vitro\\_V2017-12-22\\_VF\\_synthese-inclue\\_Charte-Copie.pdf](http://fichiers.bordeaux-metropole.fr/divers/regard/livrables/REGARD_Livrable_sous-tache-1-3-3_bioessais-in-vitro_V2017-12-22_VF_synthese-inclue_Charte-Copie.pdf)

BERTUCCI A., PIERRON F., GOURVES P.Y., KLOPP C., LAGARDE G., PERETO C., DUFOUR V., GONZALEZ P., COYNEL A., BUDZINSKI H., BAUDRIMONT M. (2018) : « Whole-transcriptome response to wastewater treatment plant and stormwater effluents in the Asian clam, *Corbicula fluminea* ». *Ecotoxicology and Environmental Safety* ; 165 : 96-106.

CARRÈRE G. (2017) : « L'hôpital face la contamination des milieux aquatiques par les médicaments : vers une nouvelle responsabilité environnementale ? ». *Cahiers de Géographie du Québec* ; 61(174) : 513-27.

GARDIA-PARÈGE C., DUFOUR V., CHOLLET C., CRUZ J., MAILLOT-MARÉCHAL E., ÂÏT-AÏSSA S., BUDZINSKI H. (2019) : *Développement de nouveaux outils d'échantillonnage passif, de diagnostic basé sur les effets biologiques, d'extraction automatisée et d'analyses non ciblées*, rapport du projet Regard. Disponible en ligne : [http://fichiers.bordeaux-metropole.fr/divers/regard/livrables/REGARD\\_Livrable\\_sous-tache-1-3-3\\_nouveaux-outils\\_V2019-07-23\\_VF\\_Charte-Copie.pdf](http://fichiers.bordeaux-metropole.fr/divers/regard/livrables/REGARD_Livrable_sous-tache-1-3-3_nouveaux-outils_V2019-07-23_VF_Charte-Copie.pdf)

regard/livrables/REGARD\_Livrable-134\_sous-tache\_1-3-1\_nouveaux-outils\_V2019-07-23\_VF\_Charte-Copie.pdf

KRIEGER S.J., GOMBERT-COURVOISER S., DOMINIQUE A., FELONNEAU M.L. (2020) : « S'approprier la transition écologique grâce à la participation citoyenne. Exemple du dispositif d'accompagnement "Familles EAU défi" », p. 237-256 (chapitre 10), in : Bouisset C., Vaucelle S., eds. *Transition et reconfigurations des spatialités*, collection EcoPolis, Vol. 33, Peter Lang Publishing, 344 p.

PERETO C., COYNEL A., LERAT-HARDY A., GOURVES P.Y., SCHÄFER J., BAUDRIMONT M. (2020) : « *Corbicula fluminea*: A sentinel species for urban rare earth element origin ». *Science of the Total Environment* ; Volume 732 : 138552.

RAMBONILAZA T., PHAM T., DACHARY-BERNARD J. (2019) : « Household willingness to pay for micropollutant removal in domestic wastewater: A choice experiment study ». *Revue Économique* ; 70(5) : 695-715.

SYNTEAU (SYNDICAT NATIONAL DES ENTREPRISES DU TRAITEMENT DE L'EAU), INRAE (INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE POUR L'AGRICULTURE, L'ALIMENTATION ET L'ENVIRONNEMENT) (2020) : *Les conséquences des micropolluants rejetés dans les eaux usées*. Syndicat national des entreprises du traitement de l'eau, 16 p. Disponible en ligne : [https://eau-entreprises.org/wp-content/uploads/2020/06/MICROPOLLUANTS\\_INRAE\\_SYNTEAU.pdf](https://eau-entreprises.org/wp-content/uploads/2020/06/MICROPOLLUANTS_INRAE_SYNTEAU.pdf)