

Comment réduire l'impact des rejets urbains d'une agglomération sur le milieu récepteur ?

Retours sur les résultats du programme Etiage et sur la prise en compte progressive de la qualité dans le mode de gestion de Bordeaux Métropole

■ T. POLARD¹, H. ETCHEBER², H. BUDZINSKI², G. BLANC², B. SAUTOUR², M. LEPAGE³, M. BAUDRIMONT², A. VENTURA¹, E. BOUCHON⁴, M. LAMOUROUX⁵, M. CHAMBOLLE¹

Mots-clés : estuaire, empreinte urbaine, qualité physique, chimique et écologique, gestion du système d'assainissement, solutions innovantes

Keywords: estuary, urban footprint, ecological, physical and chemical water quality, wastewater management, innovative solution

Introduction

L'estuaire de la Gironde a longtemps été considéré comme préservé, mais des constats alarmants viennent mettre à mal ce postulat : les épisodes d'hypoxie sont mis en évidence par le réseau Magest de mesure en continu [ETCHEBER *et al.*, 2011], les modifications des peuplements aquatiques s'accompagnent d'un effondrement de l'activité de pêche, l'émergence de nouveaux contaminants organiques ou métalliques est observée et l'accumulation de certains de ces composés est mesurée chez des poissons comme l'anguille.

De plus, les menaces qui pèsent sur cet écosystème sont croissantes : l'agglomération bordelaise est en développement (Bordeaux Métropole ambitionne d'accueillir un million d'habitants en 2030) et il est attendu que le changement climatique global se traduise par des précipitations plus hétérogènes et des étiages plus sévères. Il est par ailleurs déjà observé que la durée pendant laquelle le débit est inférieur au

débit minimum d'étiage s'allonge de plus en plus au cours des dernières années [ETCHEBER *et al.*, 2013]. Cet écosystème est complexe, en raison des spécificités des milieux estuariens (variations de débits, de température et de physico-chimie en lien avec les variations saisonnières et la marée) et de la persistance d'un bouchon vaseux au niveau de l'agglomération bordelaise. La diversité des pressions qui s'y exercent s'ajoute à la complexité naturelle avec des apports amont provenant d'un bassin versant de 56 000 km², et des apports locaux issus d'une métropole de plus 700 000 habitants.

Dans ce contexte, et afin de répondre aux objectifs de la directive cadre sur l'eau (DCE) et du SAGE (schéma d'aménagement et de gestion des eaux) Estuaire, Bordeaux Métropole a choisi d'engager avec son gestionnaire du service de l'assainissement, Suez via la Société de gestion de l'assainissement de Bordeaux Métropole, une démarche de reconquête de la qualité du milieu. C'est à ce titre qu'a été déployé le programme de recherche Etiage, portant sur l'ETude Intégrée de l'effet des Apports amont et locaux sur le fonctionnement de la Garonne Estuarienne. Cet article vise à en présenter les principaux résultats puis leur prise en compte progressive dans le mode de gestion de l'assainissement sur le territoire de Bordeaux Métropole.

¹ LyRE, Centre de Recherche de Suez Eaux France – 91, rue Paulin – BP9 – 33029 Bordeaux cedex.

² UMR EPOC 5805 CNRS – Université de Bordeaux – Allée Geoffroy-Saint-Hilaire – CS 50023 – 33615 Pessac cedex.

³ IRSTEA, Bordeaux – 50, avenue de Verdun – 33612 Cestas.

⁴ Direction de l'eau, direction générale haute qualité de vie – Esplanade Charles-de-Gaulle – 33076 Bordeaux cedex.

⁵ Agence de l'eau Adour-Garonne – 4, rue du Professeur-André-Lavignolle – 33300 Bordeaux.

1. Le programme de recherche Etiage

Afin de répondre aux ambitions de Bordeaux Métropole pour la reconquête de l'état de l'estuaire, un consortium s'est formé autour du programme Etiage. Initié en 2010 pour une durée de 4 ans, il était composé de laboratoires de recherche (Epec de l'université de Bordeaux, Irstea, CNRS et le LyRE) et de gestionnaires (agence de l'eau, Bordeaux Métropole, Société de gestion de l'assainissement de Bordeaux Métropole, filiale du groupe Suez) et était financé par Bordeaux métropole, l'agence de l'eau Adour-Garonne, Lyonnaise des Eaux et les fonds européens Feder.

L'objectif de ce programme de recherche était de caractériser l'état actuel de l'estuaire de la Gironde et d'identifier les pressions puis les leviers d'action à mettre en œuvre pour reconquérir le bon état écologique. En particulier, il était important de comparer et de hiérarchiser les différentes pressions et, notamment en tant que gestionnaire, de mettre en perspective l'impact des émissions locales du système d'assainissement par rapport aux autres pressions (apports amont). En effet, la quasi-totalité des rejets du système d'assainissement de Bordeaux Métropole (temps sec et temps de pluie) se retrouve *in fine* dans l'estuaire, *via* des rejets dans la Garonne, la Jalle de Blanquefort ou le ruisseau du Guâ (figure 1). En progressant dans la compréhension de ce milieu récepteur complexe, l'enjeu était d'être en capacité de proposer de nouvelles solutions permettant d'adapter les modes de gestion et de déversements des rejets d'assainissement de l'agglomération.

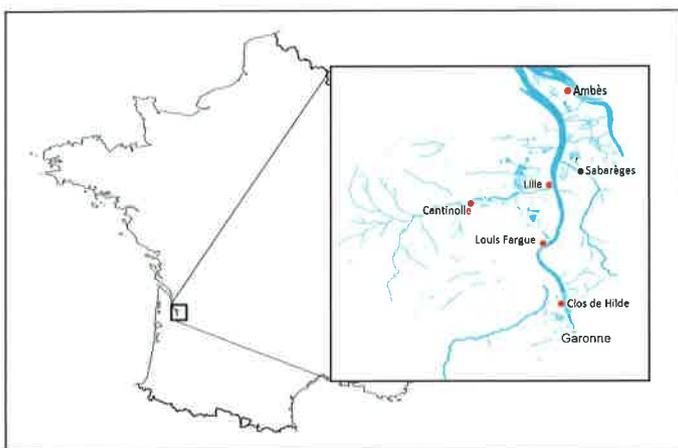


Figure 1. Localisation de Bordeaux Métropole et des points de rejets des stations d'épuration (STEP) du territoire

Les deux attendus de cette recherche étaient donc :

- de livrer un bilan de l'état écologique de l'estuaire, notamment au niveau du territoire de Bordeaux Métropole, et de caractériser les pressions (locales et de l'amont) qui s'y exercent ;
- d'identifier les actions à mettre en œuvre pour limiter les impacts constatés.

Ce programme était organisé en cinq axes, dont les quatre premiers étaient construits autour de quatre thèses de doctorat [LANOUX, 2013 ; AMINOT, 2013 ; DEYCARD, 2015 ; DINDINAUD 2015], tandis que le cinquième avait pour objet de synthétiser les résultats et faire émerger des recommandations de gestion :

- axe 1 : caractérisation et rôle respectifs des apports organiques amont et locaux sur l'oxygénation des eaux de la Garonne estuarienne ;
- axe 2 : caractérisation et flux des micropolluants organiques dans les eaux de la Garonne estuarienne ;
- axe 3 : qualification et quantification des apports en micropolluants métalliques dans les eaux de la Garonne estuarienne ;
- axe 4 : approche de l'impact des conditions physico-chimiques affectant la masse d'eau estuarienne garonnaise sur les cortèges biologiques ;
- axe 5 : synthèse des pressions et des impacts caractérisant les eaux de la Garonne estuarienne et recommandations de gestion.

2. Les résultats

2.1. Apports organiques amont et locaux et impacts sur l'oxygénation des eaux de la Garonne estuarienne

L'estuaire de la Gironde est caractérisé par la présence d'une zone de forte turbidité, le bouchon vaseux, où la concentration en matière en suspension dépasse 1 g/L. Au sein de celui-ci, la production primaire (processus autotrophe) est limitée par le manque de lumière et est minoritaire vis-à-vis de la dégradation de matière organique (processus hétérotrophe consommateur d'oxygène). Oscillant de l'amont à l'aval de Bordeaux, ce bouchon vaseux reçoit les apports anthropiques et terrigènes amont, mais également les rejets locaux de l'agglomération bordelaise, riches en matière organique dégradable. Aussi, dans certaines conditions, la concentration en

oxygène dissous passe sous le seuil de 4 mg/L, concentration en deçà de laquelle les impacts sur les organismes aquatiques sont avérés.

Si de tels épisodes hypoxiques sont connus depuis 1950, l'analyse des données du réseau Magest (pour : MArel Gironde ESTuaire) a permis de les caractériser. Ce réseau d'observation automatisé pour la surveillance de la qualité des eaux est financé par un consortium et piloté par l'université de Bordeaux. Il enregistre depuis 2004 la température, la salinité, la turbidité et l'oxygène dissous en subsurface à Pauillac, Bordeaux, Portets et Libourne à pas de temps réduit (10 min). Les hypoxies apparaissent préférentiellement centrées sur Bordeaux et, dans une moindre mesure, de Langoiran au Bec d'Ambes. Le travail réalisé dans le cadre du programme Etiage a permis d'en explorer les causes [LANOUX, 2013].

Un suivi a notamment été réalisé sur le système d'assainissement de Bordeaux Métropole : les analyses ont concerné le réseau d'eaux usées partiellement séparatif et unitaire, les deux stations d'épuration (STEP) majeures de l'agglomération en matière de capacité de traitement (Louis Fargue et Clos de Hilde, 300 000 et 408 000 équivalent-habitant (EH) respectivement, soit 70 % des capacités d'assainissement de Bordeaux Métropole) et le plus important déversoir d'orage du réseau, le déversoir du Peugue. Il a ainsi été possible d'évaluer les apports locaux de matière organique et azotée. Ceux-ci ont ensuite pu être comparés avec les apports en provenance du bassin versant amont sur la base de la comparaison des flux avec ceux estimés à La Réole. C'est en période estivale, quand le débit de la

Garonne est au plus bas, que les sources locales sont les plus contributives. Le *tableau I* présente les flux locaux et amont estimés pour ces sources au cours de l'été 2011, en moyenne et en temps de pluie.

Ces résultats mettent en évidence que, malgré les abattements très significatifs que les STEP réalisent sur la matière organique et l'ammonium, les flux locaux représentent des apports significatifs de macropolluants. Les rejets d'assainissement contribuent largement à l'enrichissement du milieu en $N-NH_4^+$. En temps sec, les flux d'ammonium issus des STEP sont entre 12 et 20 fois supérieurs à ceux de la Garonne amont [LANOUX, 2013]. Il faut toutefois préciser que ces résultats portent sur une période d'étude précédant des travaux de réhabilitation réalisés sur la station d'épuration Louis Fargue en 2013. La nouvelle installation va contribuer à faire baisser les flux d'ammonium rejetés et les « by-pass » en période de pluie. En temps de pluie, les déversoirs d'orage sont une source importante de carbone organique, représentant près d'un quart des flux de carbone organique particulaire (COP) [LANOUX, 2013].

La qualité des éléments rejetés a également été investiguée au travers d'expérimentations d'incubation. La matière organique urbaine apparaît plus labile que celle provenant de l'amont, et le taux de consommation en oxygène nettement plus important dans les effluents urbains (apports locaux) que dans les eaux de la Garonne (apport amont). Globalement, la contribution des rejets urbains à la consommation de l'oxygène via le carbone organique et l'ammonium contenus dans les eaux usées a été mise en évidence [LANOUX *et al.*, 2013].

			Apports amont	Clos de Hilde	Louis Fargue	DO
Été 2011 (moyenne)	COP	t/j	30	0,4	1,6	1,6
	COD	t/j	36	0,5	1,1	0,3
	$N-NH_4^+$	t/j	0,2	1,3	2,1	0,1
Été 2011 (temps de pluie)	COP	t/j	31	0,4	2,5	9,2
	COD	t/j	37	0,7	1,5	1,8
	$N-NH_4^+$	t/j	0,2	1,1	2,4	0,4

Tableau I. Flux moyens journaliers présentés en t/j, de carbone organique particulaire (COP), carbone organique dissous (COD) et azote de l'ammoniaque ($N-NH_4^+$) issus des apports amont et locaux (stations d'épuration et déversoirs d'orage (DO)) en été 2011, et en période de temps de pluie lors de l'été 2011 [Lanoux, 2013]

Ces résultats montrent la contribution de l'agglomération bordelaise aux mécanismes régissant la concentration en oxygène dans le milieu. L'analyse statistique des données du réseau Magest fait quant à elle ressortir l'importance de l'association de trois facteurs aggravants : un étiage prononcé (des débits de l'ordre de 100 m³/s), une eau chaude (température > 26 °C) et un coefficient de marée inférieur à 60 (faible oscillation autour de Bordeaux). Aussi, si de manière générale la concentration en oxygène dans l'estuaire de la Gironde est supérieure au seuil d'impact biologique (> 4 mg/L), la combinaison de ces facteurs induit une baisse de la concentration en deçà de ce seuil, jusqu'à des épisodes d'hypoxie (< 2 mg/L) [LANOUX *et al.*, 2013]. Ces événements demeurent relativement rares : entre 2005 et 2011, le seuil de 2 mg/L a été approché à plusieurs reprises mais franchi une seule fois, pendant 7 jours, au cours de l'été 2006.

2.2. Contamination par les micropolluants

L'empreinte de l'agglomération urbaine a également été examinée au regard de la contamination en micropolluants, organiques (résidus médicamenteux, filtres solaires, pesticides) et métalliques. Ces différentes familles de contaminants ont été investiguées dans le cadre d'Etiage, avec la même démarche de caractérisation des apports locaux et amont.

2.2.1. Polluants organiques

Les micropolluants organiques présentent des structures et des propriétés physico-chimiques très hétérogènes et l'analyse de nombre d'entre eux reste complexe. Aussi, pour être en capacité de réaliser l'analyse de 53 médicaments, d'une cinquantaine de pesticides et de six filtres UV dans les effluents urbains et les eaux de surface, ainsi que pour l'analyse des médicaments et des pesticides dans les matrices solides (sédiments, matières en suspension), il a été nécessaire de développer des protocoles d'analyse multirésidus spécifiques [AMINOT, 2013]. Des échantillonneurs passifs de type POCIS (*polar organic compounds integrative samplers*) ont également été développés pour les médicaments, pesticides et les filtres UV en vue d'un suivi intégratif continu de la Garonne estuarienne.

Les rejets de contaminants organiques par l'agglomération bordelaise ont été évalués par un suivi annuel des rejets des stations d'épuration Louis Fargue et Clos de Hilde et des performances des procédés d'épuration. Les résultats démontrent que l'efficacité des STEP pour abattre des micropolluants, qui ne sont pas ciblés lors de leur conception, est très limitée. En effet, moins de dix molécules médicamenteuses sont abattues à plus de 70 %, et pratiquement aucun abattement n'est mis en évidence pour les pesticides. Ces résultats sont compatibles avec ceux obtenus dans le cadre du programme Amperes [SOULIER *et al.*, 2011]. Par ailleurs, une analyse non ciblée mise en œuvre sur des échantillons prélevés en entrée et en sortie de la STEP de Clos de Hilde a mis en évidence la présence de plus de 7 500 molécules en entrée de la STEP. Parmi ces molécules, plus de 1 900 sont encore présentes en sortie, auxquelles s'ajoutent 2 500 molécules non détectées en entrée. Ces dernières molécules sont globalement de taille plus réduite et sont donc vraisemblablement des produits de dégradation des molécules mères détectées en entrée [AMINOT, 2013].

Par ailleurs, la contribution des by-pass des STEP, qui déversent en temps de pluie des effluents non traités, dépasse 50 % du flux total pour cinq molécules (paracétamol, atorvastatine, ranitidine, pravastatine et ibuprofène). Les apports associés sont d'autant plus importants que les molécules sont significativement abattues en STEP. Pour le paracétamol, 99 % du flux émis l'est au travers de ces déversements. Cette molécule apparaît donc comme un bon traceur de rejets urbains non traités.

Pour évaluer la contribution locale à la contamination environnementale, un suivi a été réalisé sur la Jalle de Blanquefort, affluent rejoignant la Garonne au nord de Bordeaux et recevant les effluents traités d'une station d'épuration de 85 000 EH, ainsi que sur six points de l'estuaire (sur la Dordogne, la Garonne en amont et aval de Bordeaux, et la Gironde). Le suivi sur la Jalle de Blanquefort montre que le rejet d'eaux traitées constitue la source principale de la contamination de la rivière, les médicaments s'adsorbant aux matières en suspension et aux sédiments en faibles proportions.

En ce qui concerne les pesticides dans l'estuaire, l'apport amont est majeur pour les substances agricoles (*S*-métolachlore et ses métabolites), tandis que l'impact de la métropole se traduit principalement par le rejet de pesticides tels que le diuron, l'imidaclopride et surtout le fipronil, un antiparasitaire dont les concentrations dans le milieu atteignent les seuils de toxicité. De nombreux médicaments sont quantifiés dans le milieu en amont de Bordeaux, mais leur concentration est maximale au droit des rejets de l'agglomération – les facteurs d'augmentation entre l'amont et Bordeaux étant propres à chaque molécule. Ainsi, l'abacavir (anti-VIH) et l'ibuprofène (anti-inflammatoire) ont une provenance majoritairement urbaine, tandis que la carbamazépine (antiépileptique) et le lorazépam (antistress) sont principalement issus de l'amont [AMINOT, 2013].

Ces résultats ont pu être interprétés au regard du devenir des molécules dans le milieu. Des expériences de dégradation conduites *in vitro* ont révélé la nature biotique de la dégradation, l'influence de la charge particulaire et ont permis de qualifier la dégradabilité relative des molécules. Globalement, les résultats mettent en lumière la contribution majeure de l'amont pour les molécules persistantes, tandis que la contribution locale concerne les molécules dégradables. Une dégradation saisonnière *in situ* des médicaments en période estivale ainsi qu'une adsorption de certains analytes sur les matières en suspension ont également été observées [AMINOT, 2013].

2.2.2. Polluants métalliques

Afin de caractériser les apports locaux et amont en micropolluants métalliques, les flux issus des STEP de huit contaminants définis comme prioritaires par l'Union européenne (chrome, Cr ; cuivre, Cu ; cadmium, Cd ; mercure, Hg ; nickel, Ni ; plomb, Pb ; zinc, Zn ; arsenic, As) ainsi que ceux d'un contaminant métallique émergent, l'argent Ag, ont été examinés au cours de campagnes d'échantillonnage de 3 semaines, centrées sur les périodes d'étiage (juillet/août). Ils ont été comparés avec les flux

provenant de la Garonne amont. Ces résultats viennent combler un déficit de connaissances. En effet, si des données du « défi cadmium » de l'agence de l'eau Adour-Garonne renseignaient sur ce contaminant, il n'existait aucune donnée sur les apports de métaux issus des stations d'épuration de Bordeaux Métropole.

Les résultats montrent les bonnes performances de rétention des métaux dans les boues des stations d'épuration. En effet, les taux d'abattement totaux (dissous + particulaires) sont généralement compris entre 60 et 80 % [DEYCARD, 2015]. Ce résultat est conforme à ceux obtenus sur d'autres STEP [BUZIER *et al.*, 2006]. Seul Ni présente des taux inférieurs, proches de 30 %. L'abattement des métaux en STEP est principalement le fait de l'étape de décantation qui transfère la majorité des métaux urbains vers les boues d'épuration : les taux d'abattement des métaux particuliers sont supérieurs à 80 % pour les métaux étudiés (à l'exception de Ni). La fraction dissoute est moins purifiée, avec des taux d'abattement inférieurs à 60 % pour tous les métaux testés. Les abattements sont très variables pour Zn et As, et même majoritairement négatifs pour Ni, ce qui traduit un transfert depuis la phase particulaire vers la phase dissoute. Ainsi, le passage des eaux usées bordelaises en station d'épuration augmente la biodisponibilité de Ni.

Les flux issus des stations de traitement ont été comparés avec ceux provenant de l'amont estimés à La Réole. Il en ressort que si les concentrations particulières sont généralement plus faibles en sortie de STEP qu'à La Réole, les apports urbains contribuent à l'enrichissement de l'estuaire en métaux. L'augmentation des flux de métaux dans l'estuaire causée par les rejets des STEP a été estimée pour la période d'étiage (débit < 200 m³/s à La Réole) lorsque le facteur de dilution des rejets de STEP dans le milieu est proche de 30 [DEYCARD *et al.*, 2014]. Les résultats sont présentés dans le *tableau II*.

	As	Cd	Cr	Ni	Pb	Cu	Zn	Ag
Taux d'augmentation par les STEP (%)	2	5	12	28	48	48	83	300

Tableau II. Augmentation des flux de métaux dans l'estuaire causé par les rejets de stations d'épuration (STEP)

La contribution de l'agglomération bordelaise apparaît significative pour cinq des métaux recherchés, le résultat le plus significatif étant l'identification de l'émergence d'une pollution à l'argent des bassins urbains et périurbains. Cette contribution participe à la contamination mesurée chez les huîtres en aval de la Gironde [LANCELEUR *et al.*, 2011]. L'argent est absent de la liste des métaux de la DCE, mais ses effets sur la faune bactérienne et piscicole sont documentés [RATTE, 1999 ; ASHARANI *et al.*, 2008]. Depuis les années 2000 il est de plus en plus utilisé pour ses propriétés biocides sous forme de nanoparticules dans les produits du quotidien : vêtements, linge de maison, cosmétiques, appareils ménagers, traitement de l'eau, produits nettoyants et désinfectants, etc. Par ailleurs, ce travail qui s'est intéressé au flux de contaminants métalliques *via* les STEP révèle également que la majorité des métaux est concentrée dans les boues d'épuration, et est donc potentiellement dispersée dans l'environnement lors des épandages.

2.3. Impact des conditions physico-chimiques sur les cortèges biologiques

Afin d'associer les pressions mises en évidence et l'état écologique de l'estuaire, un état des lieux de celui-ci a été réalisé, puis l'impact des pollutions sur le compartiment biologique a été exploré.

Les inventaires naturalistes ont révélé le faible nombre d'espèces vivant dans l'estuaire de la Gironde [DINDINAUD, 2015]. Dans le secteur aval de la Garonne, la production primaire phytoplanctonique est limitée du fait de la forte turbidité, et cette contrainte a un impact sur l'ensemble du réseau trophique. Par exemple, une seule espèce de petits crustacés copépodes, *Eurytemora affinis*, représente 98 % du zooplancton observé, les communautés benthiques de la zone de marnage sont caractérisées par une macrofaune composée exclusivement de vers annélides oligochètes (principalement *Limnodrilus hoffmeisteri*) et le domaine subtidal (toujours immergé) est dépourvu de macrofaune en Garonne et Dordogne estuariennes. Enfin, deux espèces de crustacés parmi les trois espèces répertoriées sont des espèces exotiques et potentiellement envahissantes (crabe chinois *Eriocheir sinensis* et crabe japonais

Hemigrapsus takanoi). Quant aux poissons, leur abondance est en moyenne quatre fois inférieure à celle mesurée dans l'estuaire de l'Escaut pour un secteur semblable sous l'influence d'une zone urbaine (Anvers).

La contribution de l'état chimique du milieu à la faible biodiversité a été investiguée par l'évaluation des niveaux de contamination et des effets toxicologiques. Des mesures ont ainsi été réalisées sur des individus prélevés *in situ* (poissons et plancton) ou transplantés (bivalves). Globalement, celles-ci ont révélé une accumulation métallique plus importante au niveau de Bordeaux qu'en amont, ainsi qu'une variation saisonnière marquée. L'accumulation paraît plus importante en période estivale. Ce résultat peut être interprété au regard de la concentration en métaux, moins dilués dans la colonne d'eau en période d'étiage, ou de la baisse de concentration en oxygène dans le milieu qui induit une augmentation de la ventilation des organismes à même d'amplifier la contamination par voie directe [LEGEAY *et al.*, 2005, PIERRON *et al.*, 2007]. L'étude de certains biomarqueurs (méthallothionéines, stress oxydant et niveau d'expression de gènes) étaye par ailleurs la survenue d'un impact des épisodes d'hypoxie sur la faune de la Garonne estuarienne.

Les conditions d'hypoxie ont fait l'objet de travaux spécifiques en conditions contrôlées afin d'évaluer leur impact sur la faune piscicole, et en particulier sur les juvéniles d'aloose vraie (*Alosa alosa*). En effet, le cycle de ce poisson anadrome conduit les jeunes individus à dévaler l'estuaire en fin d'été pour rejoindre l'océan Atlantique. Il apparaît que des impacts sont induits dès une concentration en oxygène inférieure à 4,3 mg/L pour une température de 25 °C et que la mort peut survenir à des concentrations de 3,4 mg/L. Ces valeurs sont fréquemment rencontrées dans l'estuaire en été. L'examen des conditions d'oxygénation lors de périodes de dévalaison a ainsi révélé des conditions défavorables sur presque toute la période estivale de l'année 2006. Ces expérimentations ont donc mis en évidence un impact potentiellement important des hypoxies sur les populations de cette espèce en déclin.

Enfin, des expérimentations en conditions contrôlées ont investigué les interactions potentielles entre les

différentes pressions. L'effet de l'hypoxie sur l'impact de Ni (métal peu étudié, mais présent dans la Garonne) sur les corbicules (*Corbicula fluminea*) a ainsi été examiné. Il a ainsi été possible de mettre en évidence un effet de l'hypoxie favorisant l'accumulation de Ni et retardant sa régulation par l'organisme. Il en résulte un stress oxydant et une perturbation du métabolisme mitochondrial. L'hypoxie subie seule génère les mêmes effets que ceux observés *in situ*, et les effets couplés de Ni et de l'hypoxie conduisent à une aggravation des impacts sur les organismes. Enfin, des interactions causées par la coexposition à deux métaux (Ni et Pb) ont été démontrées : augmentation de l'accumulation de Ni en présence de Pb, et baisse de l'accumulation du Pb en présence de Ni. Les deux métaux génèrent également un stress oxydant et une perturbation du métabolisme mitochondrial sans effet clairement additif ou synergique.

2.4. Synthèse des résultats

Les résultats scientifiques acquis dans le cadre du projet Etiage ont permis d'identifier les pressions qui s'exercent sur l'estuaire et de caractériser leur source. Ainsi, il a été mis en évidence que les rejets urbains de Bordeaux Métropole participent à induire les épisodes d'hypoxie quand les conditions y sont favorables (débit, température, marée). Cette contribution est particulièrement significative lors des épisodes orageux en période estivale qui s'accompagnent de déversement de matière organique labile. La part relative des apports en micropolluants provenant des STEP par rapport à l'amont a également été révélée. Cette contribution des STEP est significative, voire majoritaire pour certaines substances dégradables (abacavir, Ibuprofène, diuron, fipronil) et pour certains métaux. L'argent, en particulier, apparaît comme un contaminant métallique émergent. Les substances persistantes sont quant à elles majoritairement issues de sources amont.

L'examen du compartiment biologique a mis en évidence la faible biodiversité au sein de l'estuaire fluvial dans les conditions actuelles. L'impact des épisodes d'hypoxie sur la dévalaison des jeunes poissons migrateurs (aloses) et sur l'accumulation et l'impact de métaux (aluminium, cadmium, nickel) dans les organismes au niveau de Bordeaux a été documenté.

3. La prise en compte des résultats dans l'action du gestionnaire

Au-delà du constat de l'état du milieu et du diagnostic des pressions, l'enjeu du programme Etiage, qui associait dans le consortium des compétences scientifiques et des compétences opérationnelles, était d'identifier les actions à même de contribuer à la reconquête de la qualité du milieu. Parmi les actions identifiées, certaines ont vocation à porter sur l'ensemble du bassin versant, ou au niveau du territoire de Bordeaux Métropole qui est le périmètre d'intervention du gestionnaire.

3.1. Les recommandations à l'échelle du bassin versant

Les travaux réalisés ont mis en lumière la place centrale qu'occupe la question du débit sur la qualité de la Gironde. Celui-ci est impliqué directement dans la survenue des hypoxies, et indirectement dans les impacts toxiques des micropolluants – dans les deux cas, un débit faible s'accompagne d'effets aggravés. Or, d'après les prévisions du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), les débits fluviaux sur le bassin Adour-Garonne sont orientés à la baisse pour les décennies à venir. La gestion collective des quantités prélevées sur le bassin versant apparaît donc essentielle pour soutenir le débit d'étiage. C'est un axe de travail majeur pour l'ensemble des acteurs impliqués dans la préservation de l'estuaire.

La préservation de la qualité de l'eau en provenance de l'amont permettrait également de progresser vers le bon état de l'estuaire. Pour cela, des actions telles que la suspension des activités susceptibles d'augmenter la turbidité des eaux en période critique (dragage et travaux sur le lit mineur des cours d'eau), ou la modification de certaines pratiques viticoles sources de micropolluants (comme les canons anti-grêle, sources d'argent) pourraient être envisagées. L'étude prospective Garonne 2050 conduite par l'agence de l'eau Adour-Garonne avait révélé le besoin d'une modification profonde et partagée des usages sur l'ensemble du bassin versant de la Garonne pour faire face aux changements à venir. Le programme Etiage renforce cette conclusion, et, de façon

complémentaire, met en lumière des leviers d'action à l'échelle de Bordeaux Métropole, pour lesquels le gestionnaire de l'assainissement joue un rôle moteur.

3.2. Les recommandations à l'échelle de Bordeaux Métropole

Bordeaux Métropole est déjà engagée dans une démarche de préservation du milieu récepteur. Celle-ci se traduit notamment par la mise en œuvre d'une « Gestion dynamique » du système d'assainissement. Il s'agit d'un dispositif de gestion en temps réel, globale, optimale et prédictive, du bassin versant unitaire de la STEP de Louis Fargue. Ce bassin de collecte est le plus important de l'agglomération. Son objectif est de réduire les déversements au milieu récepteur par temps de pluie en optimisant les capacités de stockage du réseau (bassins de rétention, stockage dans les collecteurs), puis en le redistribuant à la station d'épuration à un débit compatible avec son dimensionnement. Sur la base de ce socle opérationnel, le programme Etiage a permis d'identifier plusieurs axes d'amélioration et de nouvelles actions à mettre en œuvre.

3.2.1. Connaissance et réduction des flux de macropolluants

- Connaissance du système d'assainissement

Pour un gestionnaire du service de l'assainissement impliqué dans la préservation du milieu récepteur, la connaissance des flux déversés est le premier maillon de la chaîne. Pour faire face à ce besoin et disposer en continu des informations relatives au fonctionnement du système d'assainissement et des différents rejets (eaux traitées, rejets directs d'effluents unitaires et d'eaux pluviales, etc.) Suez Eaux France a développé le DiagPerm (diagnostic permanent). Cet outil, alimenté par les données de l'autosurveillance et de l'ensemble de suivis réalisés sur le système d'assainissement, permet de quantifier les flux déversés sur l'ensemble du périmètre géré et offre à l'exploitant une vision fine et actualisée du système. Il peut alors proposer à la collectivité des mesures ou actions correctrices.

Pour aller plus loin dans la connaissance des déversements, un programme d'instrumentation (QualiDO) est en cours pour équiper des déversoirs d'orage de capteurs de mesure en continu de la quantité et de la

qualité des flux déversés. Actuellement, cinq déversoirs (représentant 70 % des volumes d'effluents unitaires déversés) sont instrumentés afin de mesurer en continu la turbidité, la température, le pH et la conductivité des volumes déversés. À l'issue d'une phase d'étalonnage, l'objectif est de disposer d'une connaissance en temps réel des flux de matières en suspension (MES), demande chimique en oxygène (DCO) et NH_4^+ déversés sans traitement dans le milieu — et pour lesquels le programme Etiage a démontré l'implication dans les hypoxies estivales observées dans la Garonne. Couplé à cette démarche d'observatoire, ce programme sert de support à des tests technologiques évaluant la mise en œuvre de mesure UV pour la mesure de la demande biochimique en oxygène (DBO) et de la DCO dans le contexte particulièrement contraignant des déversoirs d'orage.

- Le suivi en temps réel de la qualité du milieu

Le réseau Magest de mesure en continu de la qualité de l'estuaire utilisé dans le cadre de ce programme a montré tout son intérêt pour caractériser les réponses du milieu naturel aux pressions qui s'y exercent. Afin de mieux suivre la qualité du milieu récepteur pour améliorer notre gestion, il apparaît nécessaire de se doter des outils permettant de prendre en compte la qualité du milieu. Un observatoire est ainsi en cours de déploiement dans les cours d'eau de l'agglomération, articulé autour de mesures en continu des paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité, potentiel redox, turbidité, concentration en oxygène). Deux sondes sont déjà installées depuis 2013 sur la Jalle de Blanquefort et les mesures en continu sont rapatriées sur le télécontrôle Ramses qui gère le système d'assainissement. Les données acquises sont exploitées pour explorer les dynamiques impacts-pression associées au fonctionnement du système d'assainissement. Pour compléter ce dispositif, cinq nouvelles sondes ont été installées en juillet 2015, et le déploiement de cinq sondes complémentaires est à l'étude.

- La prédiction de l'état du milieu

Les résultats du programme Etiage ont révélé les enjeux écologiques associés à l'état d'oxygénation de la Garonne (impacts directs et indirects, *via* une toxicité accrue des micropolluants). L'importance

des conditions initiales du milieu sur sa capacité à recevoir des rejets urbains riches en matière organique dégradable avec plus ou moins d'impact a également été mise en évidence. Ainsi, des moments critiques quant aux déversements ont été identifiés (lorsque le bouchon vaseux stagne au droit de Bordeaux), mais également des moments où le déversement apparaît plus opportun (à marée descendante, par exemple). Afin de préciser ces moments et de poursuivre, dans une vision intégrée des phénomènes hydrodynamiques et sédimentaires en jeu au sein de l'estuaire, un travail sur le développement d'une modélisation hydrodynamique et de qualité de la Garonne a été lancé en 2014. Le modèle développé permettra de prédire l'état d'oxygénation de la Garonne estuarienne en fonction des conditions environnementales et donc de guider le gestionnaire vers des modes de gestion et de traitement des eaux compatibles avec une qualité des eaux estuariennes satisfaisante. L'enjeu de la démarche est de tendre vers une gestion des flux d'assainissement reposant sur la qualité du milieu récepteur et articulée autour de la qualité des effluents.

3.2.2. Connaissance et réduction des flux de micropolluants

La contribution des rejets de Bordeaux Métropole en ce qui concerne les rejets de micropolluants a été mise en évidence. La part de ces micropolluants émis après avoir traversé les STEP pourrait être réduite par la mise en œuvre de traitements complémentaires permettant de traiter ces composés. Différents procédés existent (filtration sur membranes, ozonation, charbon actif) et font l'objet de recherches actuelles au sein de la communauté scientifique et du groupe Suez (Armistiq, Micropolis, Zhart, etc.). Compte tenu des coûts importants associés, cette solution technologique n'est pas d'actualité sur le territoire de Bordeaux.

Face à cette question, Suez accompagne en revanche la collectivité dans une démarche orientée vers la réduction à la source des émissions de polluants. Pour cela, un « plan micropolluants » a été lancé en 2013 dès les premiers résultats d'Etiage. Son objectif est de caractériser l'ensemble des émissions de micropolluants dans le réseau d'assainissement de l'agglomération. Ainsi, ce sont 350 substances organiques

et inorganiques qui sont suivies au moyen d'échantillonnages ponctuels classiques et intégratifs (Pocis). De plus, depuis début 2015, ce plan micropolluant est renforcé par le déploiement du projet Regard (REduction et Gestion des micropolluants sur le territoire Bordelais), lauréat de l'appel à projet « Micropolluants dans les eaux urbaines » de l'Onema et des agences de l'eau. Dans le cadre de ce projet, l'ensemble des sources d'émission de micropolluants est considéré (sources domestiques, industrielles, pluviales et hospitalières, jusqu'au milieu récepteur). L'objectif de ce diagnostic est d'être en mesure de hiérarchiser les risques et de proposer des stratégies de réduction les plus adaptées, dont certaines seront mises en œuvre puis évaluées. Les solutions examinées sont à la fois individuelles et collectives — orientées vers le grand public, les collectivités et les établissements de santé. Au travers une approche pluridisciplinaire impliquant sciences sociales et techniques, elles impliquent des leviers réglementaires, techniques (solutions alternatives d'infiltration de l'eau pluviale, traitement à la source) ou de sensibilisation et de changement de pratiques (accompagnement au changement, campagnes d'information, soutien aux associations, sensibilisation des scolaires).

4. Perspectives

Les pressions auxquelles doit faire face l'estuaire de la Gironde devraient s'accroître dans les années à venir. En effet, le scénario d'évolution attendu par le GIEC prévoit une augmentation de la température et une baisse des débits fluviaux, induisant une plus grande stagnation des masses d'eau autour de Bordeaux (GIEC, 2007 cité dans LANOUX [2013]). Dans le même temps, il est attendu que la densité de population augmente dans l'agglomération bordelaise. L'enjeu de l'oxygénation des eaux sera donc plus en plus prégnant. Face à ce constat, l'approche globale d'étude de la qualité physique, chimique et biologique mise en œuvre dans le programme Etiage a permis d'explicitier les facteurs responsables de la qualité de l'estuaire et de cibler les bonnes pratiques de gestion à mettre en place afin d'améliorer l'état de l'estuaire, comme notamment de réduire en priorité les rejets lors des situations à risque d'hypoxie. Certaines actions sont déjà en place, mais d'autres

restent encore à développer ou nécessitent des travaux de recherche complémentaires avant d'être totalement opérationnelles. Ainsi, en complément des innovations déjà déployées sur le territoire pour optimiser les capacités de stockage par le système d'assainissement de Bordeaux Métropole (gestion dynamique des flux hydrauliques), les solutions techniques de stockage complémentaire et/ou d'émission préférentielle à marée descendante restent encore à développer. D'autres solutions sont bien entendu également envisageables en dehors du périmètre du système d'assainissement pour lutter contre les épisodes d'hypoxie, et devront engager l'ensemble des acteurs du bassin versant. D'ici 2030, il semble raisonnable et responsable d'envisager des études

permettant une récupération des métaux (polluants indestructibles) dispersés dans l'environnement par les activités urbaines, en associant des développements technologiques visant une dégradation ultime des médicaments et des biocides organiques. Dans un contexte où les pressions sont croissantes, il paraît en effet urgent de redoubler de vigilance quant à la qualité globale des eaux et de gérer au mieux les priorités d'actions, de manière collective et responsable. À ce titre, le programme de recherche collaboratif Etiage représente une étape majeure dans la démarche engagée par Suez pour prendre en compte la qualité des effluents dans le mode de gestion des rejets de Bordeaux Métropole et faire émerger un pilotage par l'aval du système d'assainissement.

Bibliographie

AMINOT Y. (2013) : *Étude de l'impact des effluents urbains sur la qualité des eaux de la Garonne estuarienne : application aux composés pharmaceutiques et aux filtres UV* [thèse]. Bordeaux : Université de Bordeaux 1. 500 pp.

ASHARANI P.V., WU Y.L., GONG Z., VALIYAVEETIL S. (2008) : *Toxicity of silver nanoparticles in zebrafish models*. *Nanotechnology* ; 19 : 11-8.

BUZIER R., TUSSEAU-VUILLEMIN M., MARTIN DIT MERIADEC C., ROUSSELOT O., MOUCHEL J.M. (2006) : *Trace metal speciation and fluxes within a major French wastewater treatment plant: Impact of the successive treatments stages*. *Chemosphere* ; 65 : 2419-26.

DEYCARD V.N., SCHAFFER J., BLANC G., COYNEL A., PETIT J.C.J., LANCELEUR L., et al. (2014) : *Contributions and potential impacts of seven priority substances (As, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, and Zn) to a major European Estuary (Gironde Estuary, France) from urban wastewater*. *Marine Chemistry* ; 167 (20) : 123-34.

DEYCARD V.N. (2015) : *Étude de la réactivité et de l'efficacité de rétention des éléments traces métalliques dans les stations d'épuration de Bordeaux et leurs apports métalliques dans les eaux de la section Garonnaise de l'estuaire de la Gironde* [thèse]. Bordeaux : Université de Bordeaux 1. 346 pp.

DINDINAUD F. (2015) : *Approche intégrée des conditions physico-chimiques affectant les cortèges biologiques de la partie fluviale de l'estuaire de la Gironde* [thèse]. Bordeaux : Université de Bordeaux 1.

ETCHEBER H., SCHMIDT S., SOTTOLICHIO A., MANEUX E., CHABAUX G., ESCALIER J.M., et al. (2011) : « Monitoring water quality in estuarine environments: lessons from the MAGEST monitoring program in the Gironde fluvial-estuarine system ». *Hydrology and Earth System Sciences* ; 15 : 831-40.

ETCHEBER H., COUPRY B., COYNEL A., SAUQUET E., BARON J., BERNARD C., et al. (2013) : « Disponibilité des

eaux de surface », In : Le Treut H. (ed.) : *Les impacts du changement climatique en Aquitaine. Un état des lieux scientifique*. Presses Universitaires de Bordeaux : p. 265-74.

LANCELEUR L., SCHAFFER J., CHIFFOLEAU J.F., AUDRY S., AUGER D., RENAULT S., et al. (2011) : Long-term (30 years) records and relationships of cadmium and silver contamination in sediment and oyster from the Gironde fluvial-estuarine continuum. *Chemosphere* ; 85 : 1299-305.

LANOUX A. (2013) : *Caractérisation et rôle respectif des apports organiques amont et locaux sur l'oxygénation des eaux de la Garonne estuarienne* [thèse]. Bordeaux : Université de Bordeaux 1, 295 pp.

LANOUX A., ETCHEBER H., SCHMIDT S., SOTTOLICHIO A., CHABAUD G., RICHARD M., ABRIL G. (2013) : « Factors contributing to hypoxia in a highly turbid, macrotidal estuary (the Gironde, France) ». *Environmental Science : Processes & Impacts* ; 15 : 585-95.

LEGEAY A., ACHARD-JORIS M., BAUDRIMONT M., MASSABUAU J.C., BOURDINEAUD J.P. (2005) : « Impact of cadmium contamination and oxygenation levels on biochemical responses in the asiatic clam *Corbicula Fluminea* ». *Aquatic Toxicology* ; 74 : 242-53.

PIERRON F., BAUDRIMONT M., LUCIA M., DURRIEU G., MASSABUAU J.C., ELIE P. (2008) : « Cadmium uptake by the European eel: Trophic transfer in field and experimental investigations ». *Ecotoxicology and Environmental Safety* ; 70 : 10-9.

RATTE H.T. (1999) : « Bioaccumulation and toxicity of silver compounds: a review ». *Environmental Toxicology and Chemistry* ; 18 (1) : 89-108.

SOULIER C., GABET V., LARDY S., LEMENACH K., PARDON P., ESPERANZA M., et al. (2011) : « Zoom sur les substances pharmaceutiques : présence, partition, devenir en station d'épuration ». *Techniques Sciences Méthodes* ; 1/2 : 63-77.

Résumé

T. POLARD, H. ETCHEBER, H. BUDZINSKI, G. BLANC, B. SAUTOUR, M. LEPAGE, M. BAUDRIMONT, A. VENTURA, E. BOUCHON, M. LAMOUROUX, M. CHAMBOLLE

Comment réduire l'impact des rejets urbains d'une agglomération sur le milieu récepteur ? Retours sur les résultats du programme Etiage et sur la prise en compte progressive de la qualité dans le mode de gestion de Bordeaux Métropole

La préservation de l'estuaire de la Gironde représente un enjeu majeur. En effet, malgré les innovations déployées sur le territoire de Bordeaux Métropole, il fait l'objet de constats alarmants dans un contexte où les pressions sont croissantes (démographie de l'agglomération, changement climatique, etc.). Pour répondre aux ambitions de Bordeaux Métropole et l'accompagner dans la reconquête d'un état écologique acceptable de l'estuaire, un consortium s'est formé autour du programme Etiage (pour : étude intégrée de l'effet des apports amont et locaux sur le fonctionnement de la Garonne estuarienne). Il était composé de laboratoires de recherche et de gestionnaires, afin de croiser réponses scientifiques et résultats opérationnels. Ce programme a permis d'explicitier les facteurs responsables de la qualité biogéochimique de la Gironde. Les apports amont et locaux (stations d'épuration (STEP) et déversoirs d'orage (DO)) de macro- et micropolluants (organiques et métalliques) ont été estimés. De même, les conditions physico-chimiques (présence du

bouchon vaseux, variations saisonnières de température et de débit, etc.) de la Garonne estuarienne et l'impact des apports sur le compartiment biologique ont été documentés. L'enjeu était de comprendre les facteurs régissant la qualité de ce milieu récepteur complexe afin de proposer de nouvelles solutions, basées notamment sur la gestion des rejets d'assainissement de l'agglomération. Les connaissances acquises ont ainsi permis au gestionnaire de l'assainissement de soutenir un plan d'action global qui vise à réduire l'empreinte de la métropole. Celui-ci porte conjointement sur la réduction des flux de micro- et macropolluants. Les micropolluants (métaux et composés organiques) font l'objet d'une démarche de réduction à la source. Les macropolluants sont adressés au travers du déploiement d'outils de diagnostic, de suivi en temps réel (dans le réseau et les milieux) et de modélisation pour progresser vers l'objectif d'une gestion du système d'assainissement pilotée par l'aval, basée sur la qualité des effluents et du milieu.

Abstract

T. POLARD, H. ETCHEBER, H. BUDZINSKI, G. BLANC, B. SAUTOUR, M. LEPAGE, M. BAUDRIMONT, A. VENTURA, E. BOUCHON, M. LAMOUROUX, M. CHAMBOLLE

How to reduce the impact of an urban area on the receiving environment? Feedback on the outputs of the Etiage project, and on their integration into Bordeaux Métropole wastewater management

The preservation of the Gironde estuary is a major challenge. Indeed, in spite of numerous innovations, it is subject to several alarming reports in a context of growing pressure (population growth, global climate change, etc.). In order to help Bordeaux Metropole to reach its ambitious goal, and to go along with the collectivity toward the restoration of the estuarine ecological quality, a research consortium was set up around the Etiage program ("étude intégrée de l'effet des apports amont et locaux sur le fonctionnement de la Garonne estuarienne" - for "Integrated study of the effects of upstream and local inputs on the functioning of the estuarine Garonne"). It was composed of both research laboratories and managers, in order to address together scientific issues and operational recommendations. These significant research efforts have made possible to explicit the factors responsible of the Gironde biogeochemical quality. Upstream and local (wastewater treatment plant (WWTP) and combined

sewer overflow (CSO)) inputs of macro- and micropollutants (organic and metallic) were examined, as well as the influence of physico-chemical conditions (presence of the turbidity maximum zone, seasonal variation of temperature and river discharge, etc.) and their impacts on the biota. The goal was to understand the current status of this complex receiving environment in order to provide new solutions based on sanitation discharge management. The knowledge acquired enabled to set up an integrated action plan, aiming at reducing the urban footprint on the estuary. It deals with the reduction of micro and macropollutant flows. The first ones are targeted by a source reduction strategy, while the latter are addressed through the deployment of diagnostic tools, real time monitoring (into the network and the aquatic ecosystem), and modeling in order to progress toward the goal of a sanitation system driven by downstream data, based on sewage and receiving environment qualities.