



**HAL**  
open science

**Etude intégrée de l'effet des apports amont et locaux sur le fonctionnement de la Garonne estuarienne (ETIAGE) : Axe 5 Synthèses des pressions et des impacts caractérisant les eaux de la Garonne estuarienne. Recommandations de gestion**

H. Etcheber, G. Bachelet, M. Baudrimont, G. Blanc, E. Bouchon, H. Budzinski, M. Chambolle, M. Lamouroux, B. Sautour, Mario Lepage

► **To cite this version:**

H. Etcheber, G. Bachelet, M. Baudrimont, G. Blanc, E. Bouchon, et al.. Etude intégrée de l'effet des apports amont et locaux sur le fonctionnement de la Garonne estuarienne (ETIAGE) : Axe 5 Synthèses des pressions et des impacts caractérisant les eaux de la Garonne estuarienne. Recommandations de gestion. irstea. 2014, pp.21. hal-02605341

**HAL Id: hal-02605341**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02605341>**

Submitted on 16 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Etude Intégrée de l'effet des Apports amont et locaux sur le fonctionnement de la Garonne Estuarienne (ETIAGE)**

**Synthèses des pressions et des impacts caractérisant les eaux de la Garonne estuarienne. Recommandations de gestion.**



L'eau est la seule chose la plus nécessaire à l'entretien de la vie, mais il est aisé de la corrompre... car pour la terre, le soleil, les vents, ils ne sont point sujets à être emprisonnés, ni détournés, ni dérobés, tandis que cela peut arriver à l'eau, qui, pour de raison, a besoin que la loi vienne à son secours...

« Les lois » Platon – IV<sup>e</sup> siècle avant Jésus-Christ

« Eau, tu n'as ni couleur, ni arôme, on ne peut pas te définir, on te goûte sans te connaître. Tu n'es pas nécessaire à la vie, tu es la vie. »

St Exupéry

**Partenaires financiers et administratifs**



**Partenaires scientifiques**



Etcheber, H., Bachelet, G., Baudrimont, M., Blanc, G., Bouchon, E., Budzinski, H., Chabolle, M., Lamouroux, M., Sautour, B. et Lepage, M., 2014. Etude Intégrée de l'effet des Apports amont et locaux sur le fonctionnement de la Garonne Estuarienne (ETIAGE). Axe 5 : Synthèses des pressions et des impacts caractérisant les eaux de la Garonne estuarienne. Recommandations de gestion. Laboratoire EPOC, Université de Bordeaux, N°179, Etude Irstea, Bordeaux, 21p.

# 1. Contexte et objectifs de l'axe 5 du programme ETIAGE

➤ L'estuaire de la Gironde connaît actuellement un contexte de changement global: élévation de la température des eaux, baisse des débits fluviaux, « marinisation » de l'estuaire, pression anthropique croissante générant une pollution plus conséquente des eaux, avec notamment l'apparition de nouvelles molécules, dont on ignore l'impact sur les populations biologiques, qui présentent des signes de fragilisation très préoccupants.

Une sous-oxygénation des eaux de la partie estuarienne garonnaise autour de Bordeaux, suivie avec attention (réseau MAGEST), apparaît épisodiquement en période d'étiage estival et a vraisemblablement de l'influence sur le comportement des polluants, mais aussi sur celui des populations biologiques (blocages migratoires, par exemple).

Or cette zone, soumise au balancement des marées très prononcé en période d'étiage (avec un long temps de résidence des eaux prévisible), dans laquelle les apports fluviaux de l'amont, mais aussi ceux urbains d'origine locale vont parvenir, était une zone très peu étudiée. Il existait un manque quasi-total d'information et de certitude concernant le niveau actuel de l'état écologique de cette partie amont d'estuaire et de la hiérarchie des facteurs de dégradation (qualité physico-chimique, hypoxie, toxicité des eaux, absence de diversité d'abris, envasement...).

➤ Les études menées dans le cadre du programme ETIAGE ont apporté des connaissances tant sur la qualité des eaux que sur les populations biologiques en place: recherches faites sur la charge organique, les polluants organiques et métalliques apportés de l'amont ou localement, la présence des différents cortèges biologiques (poissons, macrofaune et méiofaune benthique, organismes planctoniques,...), les niveaux de contamination et les effets écotoxicologiques sur ces composantes biologiques. Les résultats ont été consignés de façon résumée dans des rapports annuels synthétiques.

**Dans la première partie de ce document, axe par axe, une présentation très synthétique des résultats, obtenus sur les quatre années du programme, est donnée:**

- **axe 1** : Caractérisation et rôle respectif des apports organiques amont et locaux sur l'oxygénation des eaux de la Garonne estuarienne;
- **axe 2** : Caractérisation et flux des contaminants organiques (classiques et émergents) dans les eaux de la Garonne estuarienne;
- **axe 3** : Apports métalliques de la CUB à la Gironde;
- **axe 4, actions 1 et 3**: Inventaire et caractérisation saisonnière de la macrofaune présente (poissons et crustacés) dans la masse d'eau sous influence directe des apports de l'agglomération bordelaise; étude des effets des périodes hypoxiques sur les fonctionnements biologiques;
- **axe 4, action 2** : Approche de l'impact des conditions physico-chimiques affectant la masse d'eau estuarienne garonnaise sur les cortèges biologiques;
- **axe 4, action 4** : Evaluation des niveaux de contamination et effets toxicologiques sur les composantes biologiques exposées dans la masse d'eau estuarienne garonnaise.

**Est ensuite rajouté le listing des participants à ce programme**, regroupant 17 chercheurs et enseignants-chercheurs, 13 ingénieurs et techniciens, 6 thésards, 15 M2 et 3 stagiaires de l'Université de Bordeaux, du CNRS et de l'IRSTEA, auxquels s'ajoutent des membres du laboratoire LYRE de la Lyonnaise des Eaux.

- **L'interprétation commune (axe 5) des données acquises dans chacun des axes précités, présentée en trois parties dans ce document, a pour objectifs:**
  - **de livrer un bilan aussi précis et complet que possible de l'état écologique actuel des eaux de l'estuaire garonnais, notamment au niveau de la Communauté Urbaine de Bordeaux, bilan sujet à une variabilité saisonnière certaine;**
  - **de faire la part des apports d'amont et des rejets urbains locaux et de décrire leurs impacts sur la qualité des eaux et sur les populations biologiques;**
  - **d'identifier et de quantifier les facteurs sur lesquels il importera d'agir pour atteindre la qualité des eaux exigée dans le futur (limitation des apports d'amont, soutien d'étiage, degré de traitement et nature des rejets, gestion de leurs émissions, etc...), si l'on veut atteindre un « Bon Etat ou Bon Potentiel Ecologique » des eaux dans ce type de milieu.**

➤ Restera alors à choisir et prioriser les solutions environnementales pertinentes à mettre en oeuvre pour répondre à la DCE de manière efficace et pérenne.

Le but final de ces recherches est bien sûr d'atteindre le « Bon Etat ou le Bon Potentiel Ecologique » des eaux et de mettre au service des gestionnaires des outils pour prendre les décisions les plus adéquates concernant les stratégies d'émissions des effluents et une bonne gestion de cet espace estuarien.

A ces problèmes de gestion locale se rajoute celui de la stratégie à adopter en Garonne amont pour minimiser les apports à l'aval, qui, d'année en année, auront tendance à croître inmanquablement si nos usages ne changent pas, érosion croissante par dénudation des sols et non-entretien des ripisylves en étant des exemples.

Toutes ces questions méritent intérêt et trouvent place dans le cadre:

- de la mise en oeuvre du SAGE Estuaire de la Gironde, où les problèmes posés par la dégradation de la qualité des eaux ressortent nettement,
- de la DCE avec l'objectif d'atteinte d'un « Bon Etat ou d'un Bon Potentiel » de ces masses d'eau, ou la justification de dérogations avec l'engagement d'efforts d'amélioration économiquement supportables,
- des premiers inventaires piscicoles de référence dans ces masses d'eau de transition amont (révélant la rareté des espèces tant locales que migratrices) faisant craindre qu'elles ne constituent une zone très peu favorable au passage (rôle de barrière ?) ou à la présence de poissons et crustacés.

➤ Précisons enfin que la mise à disposition des données acquises aux scientifiques et aux personnels des organismes partenaires, leur sécurisation et l'organisation globale du programme (réunions, site web, séminaire final,...), objets de cet axe 5 ont été gérés par GEO - Transfert et sont consignés dans le rapport synthétique année 4.

## **2. Résultats majeurs axe par axe et listing des participants au programme**

## Axe 1 : Caractérisation et rôle respectif des apports organiques amont et locaux sur l'oxygénation des eaux de la Garonne estuarienne

### OBJECTIFS SCIENTIFIQUES ET ATTENDUS POUR LES GESTIONNAIRES

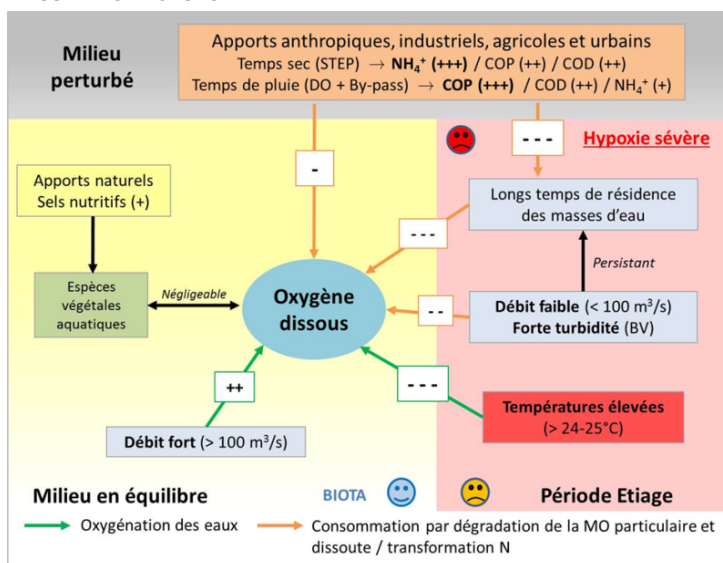
#### OBJECTIFS :

- Connaître la qualité de la matière organique (MO) liée aux effluents de la CUB.
- Mesurer ses flux, comparés à ceux venant du fleuve amont.
- Comprendre son comportement en Garonne et le rôle joué par le bouchon vaseux (BV) sur son devenir.
- Identifier son impact sur la qualité des eaux de la Garonne, notamment son oxygénation.

#### ATTENDUS :

- Estimation journalière des flux de carbone organique dissous et particulaire (COD, COP) et d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) parvenant à la Garonne par croisement des volumes émis d'effluents et de leur contenu en MO.
- Détermination de l'effet auto-épurateur du BV en fonction des saisons.
- Prédiction de l'oxygénation des eaux dans des schémas où température des eaux, hydrodynamique (débits fluviaux, coefficients de marée) et apports organiques sont pris en compte, conduisant à une optimisation de la gestion des émissions en période prévisible d'hypoxie forte des eaux.

### RESULTATS MAJEURS



L'une des caractéristiques de l'estuaire de la Gironde est la présence d'un BV où les **processus hétérotrophes sont favorisés**, contrairement aux processus autotrophes limités par manque de lumière. Ainsi, des déficits en oxygène pouvant être préjudiciables à la vie aquatique se développent parfois dans le BV de la Garonne estuarienne. Les facteurs environnementaux provoquant ces hypoxies ont été étudiés, notamment par un suivi sur le réseau d'eau urbaine de la CUB, de ses stations d'épurations (STEP) et déversoirs d'orage (DO), afin d'appréhender les apports urbains de MO et azotés, comparés à ceux en provenance du bassin versant amont. Bien que **les STEP réalisent des abattements très significatifs sur MO et  $\text{NH}_4^+$** , il s'avère que **leurs flux vers le milieu naturel restent importants**, notamment durant les **périodes estivales, surtout si des orages engendrent des déversements d'effluents non traités**. Des expériences d'incubation ont permis de mettre en évidence le **caractère très labile de cette MO urbaine**. Le **COD et l' $\text{NH}_4^+$** , contenus dans les

eaux usées, sont des composés fortement **consommateurs en oxygène**. Des expériences de respirométrie ont également permis d'estimer les taux de consommation en oxygène nettement plus importants dans les effluents urbains que dans les eaux de la Gironde. Enfin, l'analyse des données du réseau de mesures en continu de la qualité physico-chimique des eaux MAGEST (MAREL GIRONDE ESTUAIRE) a démontré que **l'estuaire subit dans sa section garonnaise des périodes d'hypoxie lors d'étiages prononcés**, la masse d'eau la plus affectée par ces désoxygénations étant celle qui oscille aux alentours de l'agglomération de Bordeaux. Si ces résultats démontrent l'impact significatif de l'agglomération bordelaise, le traitement statistique des données MAGEST pour la période 2005-2011 montre que les **phénomènes de désoxygénation sont accrus en période d'étiage prononcé, en présence du BV et lorsque la température de l'eau est élevée**. Dans ces conditions, l'oxygène dissous, déjà présent en faible quantité, peut être rapidement consommé, surtout si des apports supplémentaires d'eaux urbaines non traitées ont lieu pendant de fortes précipitations orageuses. Le type de traitement biologique des eaux usées employé par les STEP et les capacités de stockage temporaire d'eaux d'orages ont un rôle critique sur les bilans de ces composés rejetés dans le milieu naturel.

### Conclusions – Perspectives

Durant l'étiage estival, dans la section Garonne estuarienne et notamment aux alentours de la CUB, la conjonction du fonctionnement hydrodynamique particulier de l'estuaire, des apports organiques de l'amont et de ceux des effluents de la CUB engendrent des phénomènes d'hypoxie, dont les facteurs forçants ont été parfaitement identifiés.

A l'échéance de quelques décennies à venir, les prévisions d'une élévation de la température des eaux, de la diminution des débits fluviaux, associés à la marinsation de l'estuaire en cours (changement climatique), responsable d'oscillations croissantes des masses d'eau autour du site de la CUB, et à une croissance de la population imposent l'émergence de la modélisation de l'oxygénation de ces eaux. Ce modèle devra servir à mieux cerner les leviers d'action pour remédier à ces phénomènes (voir Axe 5).

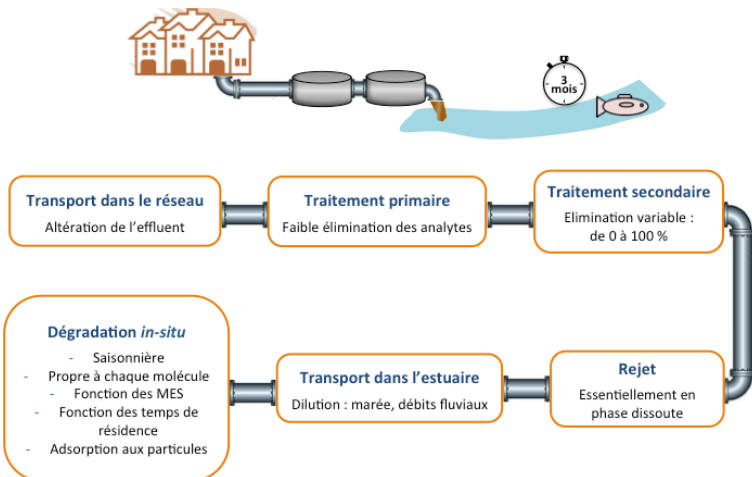
## Axe 2 : Caractérisation et flux des contaminants organiques (classiques et émergents) dans les eaux de la Garonne estuarienne

### OBJECTIFS SCIENTIFIQUES ET ATTENDUS POUR LES GESTIONNAIRES

#### OBJECTIFS ET ATTENDUS :

- Qualifier la contamination organique des effluents des stations d'épuration (STEP) de la CUB avec un focus sur les composés pharmaceutiques.
- Mesurer les flux de ces composés en lien avec les apports via les effluents des STEP, et les comparer à ceux venant du fleuve amont.
- Etudier leur comportement dans le bouchon vaseux (BV) et caractériser leur dégradabilité.
- Caractériser l'exposition des organismes et approcher le risque écotoxicologique.

### RESULTATS MAJEURS



Les objectifs de ces travaux étaient de qualifier et de quantifier la contamination en médicaments selon un continuum effluents urbains-milieu récepteur. Dans un premier temps il a été nécessaire de se doter de méthodes analytiques permettant la caractérisation des molécules d'intérêt dans les systèmes considérés : effluents urbains, eaux de rivières, sédiments et particules. Ces méthodes analytiques mises au point, la problématique de ces travaux a été traitée selon une logique moléculaire d'une part et systémique d'autre part. L'examen global des données de concentrations a montré la grande hétérogénéité de présence et de comportement des médicaments étudiés : (1) Les niveaux de concentrations varient du  $\text{ng.L}^{-1}$  à plus de  $200\,000\ \text{ng.L}^{-1}$  en entrée de STEP (paracétamol), plus de  $3\,000\ \text{ng.L}^{-1}$  en sortie de STEP (hydroxy-ibuprofène) et jusqu'à  $200\ \text{ng.L}^{-1}$  en Garonne (paracétamol) ; (2) Concernant l'affinité pour la phase particulaire dans

l'estuaire, les composés sont plutôt portés par la phase dissoute mais tous les comportements sont observés : certaines molécules comme la caféine sont non détectées en phase particulaire tandis que d'autres comme la fluoxétine sont non détectées en phase dissoute mais retrouvées sur les particules. En dépit de concentrations faibles sur les particules et de coefficients de partage dissous-particulaire globalement en faveur de la phase dissoute, la forte teneur en MES engendre une proportion non négligeable de médicaments fixés sur les particules (acébutolol, cétirizine) ; (3) Les molécules peuvent avoir un comportement conservatif comme la carbamazépine ou très dégradables comme l'abacavir.

Dans le détail, les psycholeptiques, en particulier les benzodiazépines, sont quantifiés à de faibles concentrations (à l'exception de l'oxazépam) mais présentent des comportements conservatifs contrairement aux analgésiques, plus concentrés mais sensiblement plus dégradables. Les dégradations ne sont pas systématiquement équivalentes entre la STEP et le milieu : les  $\beta$ -bloquants sont ainsi globalement réfractaires au traitement en STEP mais se dégradent dans le milieu, comme le montrent les incubations et les rapports moléculaires mesurés lors du suivi des analytes en Gironde. Les antirétroviraux, peu renseignés dans la littérature, regroupent une multitude de comportements et ne peuvent être traités comme une famille unique : l'abacavir est très dégradable et la névirapine est persistante alors que la lamivudine et la zidovudine ont des comportements intermédiaires. Enfin, le ritonavir est hydrophobe mais dégradable.

Les niveaux environnementaux des concentrations sont liés aux niveaux des concentrations des effluents et aux comportements conservatifs ou dégradables des analytes. En effet, les molécules apportées en majorité par les STEP de l'agglomération bordelaise sont pour la plupart celles qui se dégradent dans l'environnement. Abstraction faite des temps de transit, les apports amont, considérés en sortie des STEP amont avant leur transport jusqu'à l'estuaire, ne sont donc vraisemblablement pas plus faibles, mais les molécules sont dégradées avant d'arriver à l'entrée de l'estuaire.

L'hydrosystème de la Gironde reçoit des apports amont du bassin versant et des apports locaux de l'agglomération bordelaise. La part respective de ces apports a pu être précisée par molécule. En règle générale les molécules persistantes ont pour source principale l'amont (ex : carbamazépine) et les molécules dégradables les STEP de Bordeaux (ex : abacavir). Il existe en effet une dégradation in-situ de certains analytes, et cela avant même l'arrivée dans l'estuaire. Une fois dans l'estuaire, l'augmentation progressive de la concentration en MES de l'amont vers l'aval engendre une accélération de cette biodégradation, particulièrement notable aux concentrations inférieures à  $1\ \text{g.L}^{-1}$ . Aux concentrations plus élevées, c'est-à-dire dans le bouchon vaseux, les expériences d'incubation d'effluent conduites suggèrent que les cinétiques de dégradation ne sont pas accélérées, ce qui limiterait l'effet auto-épuration du bouchon vaseux vis-à-vis des composés étudiés tel qu'il avait été pensé au début du programme Etiage. L'observation d'une dégradation saisonnière in-situ, mise en évidence dans nos travaux, est donc vraisemblablement plus la conséquence de l'augmentation estivale des temps de résidence des eaux, couplée aux températures plus élevées, que la conséquence de l'augmentation de la concentration en MES.

### Conclusions – Perspectives

La présence de composés pharmaceutiques (plus d'une trentaine de molécules) a été mise en évidence. Les concentrations sont faibles de l'ordre de quelques  $\text{ng.L}^{-1}$  à quelques centaines de  $\text{ng.L}^{-1}$  selon les composés. Les concentrations maximales ont été relevées à Bordeaux en lien direct avec les rejets des stations d'épuration. Les concentrations les plus fortes sont atteintes en période d'étiage et les minimales en période de crue. Ces travaux ont également montré l'intérêt du traitement en STEP pour ces composés puisque les plus fortes concentrations ont été relevées lors d'événements de forte pluviométrie avec le rejet d'eaux usées non traitées. Les flux des différents composés ont pu être calculés avec selon les composés une source amont majoritaire ou bien des apports majoritaires internes via les STEP. La dégradabilité des composés a pu être caractérisée montrant un effet du BV réel bien que limité.

Les voies d'amélioration sont d'un part une meilleure gestion des eaux usées, une amélioration des traitements en STEP mais également une diminution à la source (consommation et traitement à la source).



### Axe 3 : Apports métalliques de la CUB à la Gironde

#### OBJECTIFS SCIENTIFIQUES ET ATTENDUS POUR LES GESTIONNAIRES

##### OBJECTIFS :

- Caractérisation et quantification des entrées fluviales en métaux et métalloïdes concernant les apports du bassin de la Garonne, les apports des zones amont des bassins versants de Bordeaux.
- Quantification des entrées atmosphériques en dépôts secs et dépôts humides
- Quantification des sorties de la CUB, concernant essentiellement les apports à l'estuaire et au niveau des points de rejets du réseau d'assainissement.
- Etude expérimentale des transformations (mobilisation/fixation) des ETM dissous et/ou particulaires d'origine urbaine en contact avec les eaux et les particules (bouchon vaseux) de la Garonne.
- Enregistrement historique de l'activité urbaine dans les sédiments lacustres de Bordeaux.

#### RÉSULTATS MAJEURS

##### • Flux entrant amont à La Réole

L'équipe TGM (EPOC, Université Bordeaux) a mis en place depuis 1990 un suivi d'observation géochimique à très haute résolution temporelle sur la Garonne.

Pour un débit moyen de 525 m<sup>3</sup>/s, les flux annuels sont :

Cd = 8,5 t/an

Ag = 1 t/an

Zn = 800 t/an

Le Cd est une pollution majeure de l'estuaire

La quantité de Cd reste trop forte malgré les efforts pour diminuer la source sur le Lot amont.

L'Ag : on observe l'émergence d'une pollution issue des bassins urbains et péri-urbains garonnais.

##### • Bassins versants (BV) de la CUB

La Jalle, le Peugue et l'Eau Bourde sont pollués soit en Ag, Zn, Cu, As ou Cd. Le tributaire la Jalle, est le plus pollué des 54 affluents bordiers de la Gironde. Les apports d'Ag de la Jalle sont équivalents, voire supérieurs à ceux de l'ensemble des STEPs de la CUB.

##### • STEPs de La CUB

Flux annuels de rejet des STEPs :

Cd = 3 kg/an; Ag = 10 kg/an ; Zn = 3 t/an

Les taux de purification sont de l'ordre de 80%, essentiellement lors de l'étape de décantation. Les métaux se concentrent dans les boues extraites des STEPs, soit :

Cd = 12 kg/an; Ag = 40 kg/an; Zn = 12 t/an

et

Cd = 15 kg/an; Ag = 50 kg/an; Zn = 15 t/an d'apports métalliques de la CUB entrants dans les STEPs.

#### Conclusions – Perspectives : Conséquences sur l'estuaire

Pour des débits de Garonne faibles ( $Q < 200$  m<sup>3</sup>/s), les 7 STEPs de Bordeaux augmentent les flux de métaux de la Garonne de 300% pour Ag, 80% pour Zn, 45% pour Cu et Pb, 5% pour Cd. Pour Ag, cette proportion peut être doublée par les apports de la Jalle. La pollution en Ag n'est pas visible sur le biota dans la masse d'eau devant Bordeaux, car l'Ag dissous biodisponible passe rapidement sous forme particulaire non biodisponible pour des salinités de 0 à 5 en présence du bouchon vaseux. Par contre, les flux d'Ag venant de Bordeaux et des autres villes riveraines, associés à d'autres sources (e.g. canons anti-grêles,...) s'accumulent dans les huîtres, les anguilles et les crevettes de l'estuaire particulièrement lorsque les eaux de salinités de 15 à 20 le dissolvent de nouveau.

\*Flux donnés à titre indicatif

**Axes 4-1 et 4-3 : Inventaire et caractérisation saisonnière de la macrofaune présente (poissons et crustacés) dans la masse d'eau sous influence directe des apports de l'agglomération bordelaise; étude des effets des périodes hypoxiques sur les fonctionnements biologiques.**

**OBJECTIFS SCIENTIFIQUES ET ATTENDUS POUR LES GESTIONNAIRES**

**OBJECTIFS :**

- Comblent un vide d'information de données concernant la macrofaune dans une zone peu étudiée, caractérisée par un milieu instable et la présence d'espèces moins connues des biologistes marins.
- Documenter les effets des périodes hypoxiques, par approche bibliographique et d'expériences in vitro, sur les comportements des poissons, notamment les alosons, espèce sensible aux paramètres température et oxygénation des eaux.

**ATTENDUS :**

- Avoir des inventaires de la macrofaune dans la masse d'eau soumise à des hypoxies ponctuelles
- Mieux cerner si le franchissement de la zone hypoxique autour de Bordeaux est susceptible de générer une mortalité chez les alosons, mais aussi de perturber leur comportement.

**RESULTATS MAJEURS**

Les résultats de pêche pratiquée dans la zone d'étude en Garonne, mais aussi, à titre de comparaison en Dordogne (quasi absence d'événements hypoxiques) révèlent une **faible richesse spécifique**, associée à de **faibles abondances**, à peine plus marquées en Dordogne qu'en Garonne. Si la comparaison des résultats obtenus en Loire et en Seine dans des zones similaires (partie fluviale tidale) montre que la richesse spécifique est moindre en Garonne, l'effet de l'hypoxie est peu net, car les conditions d'oxygénation au moment des pêches étaient acceptables.

Les expérimentations in vitro faites sur les alosons, avec comme variables température et oxygénation des eaux, montrent que l'apparition des perturbations de trois critères de comportement (nage altérée, perte d'équilibre et mort) a lieu dans une gamme de concentrations en oxygène restreinte (4.3 à 3.4 mg l<sup>-1</sup>) à 25 °C, comparée à la gamme (3.4-2 mg l<sup>-1</sup>) à 20°C, soulignant une tolérance plus faible à l'hypoxie. Les seuls minimaux en oxygène pour garantir une probabilité maximale de survie se situent à 4.3 et 3.4 mg l<sup>-1</sup> à 25°C et 20°C respectivement.

Les problèmes d'hypoxie surviennent pour des températures supérieures à 22°C et des débits inférieurs à 200m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, avec des risques maximaux d'hypoxies à partir de 26°C. A partir de ces seuils (<200m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> et >26°C), l'analyse rétrospective des risques d'hypoxie révèle une recrudescence très marquée du nombre de jours d'hypoxie depuis 1983. De quelques unités de jours dans les années 1980, on passe à 29 et 20 jours potentiels d'hypoxie en 2003 et 2006 respectivement.

L'établissement d'un calendrier des opportunités migratoires des juvéniles d'alose durant leur période de migration en estuaire (juillet-septembre inclus) a été dressé en tenant compte des trois critères de comportement décrits ci-dessus. Il en ressort que durant les années 2005 et 2006, ce sont respectivement 25.8% et 42.8% de la période de migration d'avalaison des alosons, qui présentent des conditions très défavorables, dont près de la moitié des pourcentages pouvant impliquer la mort des individus. Heureusement toutes les années ne présentent pas les mêmes statistiques (2007 et 2010 notamment : < 5%), mais 2009 et 2012 tournent autour de 20%. Si l'on garde en mémoire que, dans le futur, les débits fluviaux vont baisser (surtout en période estivale) et la température des eaux augmenter, il sera nécessaire de contrôler au mieux tous les apports organiques aux eaux estuariennes et fluviales, pour éviter que, lors de leur dégradation, ils consomment l'oxygène de ces eaux en quantités telles qu'automatiquement cela engendrent des phénomènes d'hypoxie.

Dans la littérature, sont confirmés les impacts sur la biocénose et les comportements des espèces : selon les espèces concernées et leur stade de développement, l'intensité et la durée de l'hypoxie jouent un rôle majeur. Dans le contexte actuel de changement climatique, les seuils létaux et sublétaux auront tendance à croître dans les années à venir.

**Conclusions – Perspectives**

- Si les expériences in vitro ont clairement mis en évidence le rôle néfaste des hypoxies sur les alosons, les suivis faunistiques d'espèces sensibles (alosos, mais aussi crevettes) en Garonne estuarienne méritent d'être étudiés plus avant lors d'événements hypoxiques marqués pour mieux saisir le rôle de ces phénomènes.
- Toute période où la température des eaux est élevée et les débits fluviaux sont faibles doit imposer une gestion attentive des émissions des effluents à Bordeaux, mais aussi un changement d'usage de l'eau dans le bassin versant amont, qui, additionné de soutien d'étiage, même modéré comme fait actuellement, doit éviter des crises hypoxiques trop graves.

## Axe 4 ; action 2 : Approche de l'impact des conditions physico-chimiques affectant la masse d'eau estuarienne Garonnaise sur les cortèges biologiques.

### OBJECTIFS SCIENTIFIQUES ET ATTENDUS POUR LES GESTIONNAIRES

#### OBJECTIFS :

- Etablir un état des lieux des communautés au sein de la Garonne et de la Dordogne estuariennes :
  - Macrofaune et méiofaune benthique, organismes zooplanctoniques.
- Etudier les origines ainsi que la qualité de la matière organique présente dans la partie fluviale de l'estuaire de la Gironde.
- Comprendre la variabilité des communautés benthiques et planctoniques à partir des paramètres environnementaux.
- Caractériser la productivité de l'espèce planctonique dominante en relation avec la qualité du milieu.

#### ATTENDUS :

- Bilan de la biodiversité des groupes cités ci-dessus dans la partie fluviale de l'estuaire de la Gironde.
- Caractérisation de la composition et de la variabilité du pool nutritif disponible pour les organismes.
- Rôle des paramètres environnementaux sur la distribution et/ou la dynamique des biocénoses.

### RESULTATS MAJEURS

L'Estuaire de la Gironde est « pauvre en espèces » (**paucispécifique**) planctoniques et benthiques dans ses zones méso-, oligo-halines mais aussi dans sa partie fluviale (dulcicole mais soumise à la marée). L'estuaire de la Gironde est un environnement turbide et la remontée dans la partie fluviale de l'estuaire du bouchon vaseux en période estivale accentue cette forte turbidité limitant à quelques millimètres la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau inhibant ainsi la production primaire. C'est pourquoi le **phytoplancton autochtone** apparaît peu représenté. Dans cette zone fluviale, le **Copépode** (Crustacé) *Eurytemora affinis* est l'espèce dominante du **zooplancton** (> 98%). Les **communautés benthiques** du domaine intertidal sont caractérisées par une **macrofaune** composée exclusivement d'**Annélides Oligochètes** (principalement *Limnodrilus hoffmeisteri*). En revanche le domaine subtidal est dépourvu de macrofaune (en Garonne et Dordogne estuariennes). Dans les deux domaines (intertidal et subtidal) des deux fleuves la **méiofaune** est représentée par 8 groupes zoologiques dominés par 3 grands groupes : les **Nématodes, les Foraminifères et les Copépodes** qui présentent une forte variabilité saisonnière.

Dans la masse d'eau, la matière organique particulaire (MOP) de l'estuaire fluvial est composée de plusieurs sources distinctes. La principale source qui domine sur l'ensemble de l'année est celle provenant du bouchon vaseux. C'est une matière organique réfractaire d'origine terrestre (caractérisée par du matériel fortement dégradé). Dans un second temps la MOP microphytobenthique ainsi que celle d'origine anthropique (sortie de STEP) contribuent de façon non négligeable, à la composition de la matière organique particulaire en suspension de l'estuaire fluvial. Les analyses des acides gras effectuées sur la MOP ont permis de confirmer ces résultats montrant ainsi la très faible contribution du phytoplancton (notamment des diatomées) et à l'inverse la forte contribution du matériel dégradé. La contribution d'un matériel hétérotrophe (bactéries), participe aussi de façon significative à la composition de la matière organique dans la partie fluviale de l'estuaire.

Des analyses en cours de finalisation montrent la capacité d'adaptation de l'espèce zooplanctonique *Eurytemora affinis* sur l'ensemble de l'estuaire : dans cette partie amont le milieu est dulcicole et cette espèce présente des taux de productivité équivalents aux taux rencontrés dans sa niche écologique « classique » (alors que le *preferendum* halin de l'espèce est aux alentours de 15), et une variabilité saisonnière « habituelle » liée aux variations de **température**. Traditionnellement, la distribution des organismes benthiques est expliquée par les concentrations des sources principales de nourriture (ex. : chlorophylle *a* et matière organique), ainsi que par la granulométrie du sédiment. Dans le cas présent, la qualité de la matière organique benthique est variable : les analyses isotopiques effectuées ont permis d'identifier plusieurs sources, dont l'une est microphytobenthique (principalement classe des *Euglenophyceae*), ce qui se retrouve dans les signatures pigmentaires (chlorophylle *b* et phéophytine *b*) et permet d'expliquer la structuration spatiale des organismes benthiques (notamment les abondances élevées de méiofaune aux stations proches de la CUB).

#### Conclusions – Perspectives

Les communautés benthique et zooplanctonique de la partie fluviale de l'estuaire de la Gironde sont paucispécifiques mais présentent, notamment pour le zooplancton une forte productivité. Alors que le domaine intertidal est caractérisé par une macrofaune typique de ces environnements, le domaine subtidal est dépourvu de macrofaune benthique sans qu'une cause ait pu être identifiée parmi les hypothèses multiples (ex. : remaniement sédimentaire, anoxies ponctuelles, ...). Même si elle est modifiée en termes de composition et d'abondance durant la période estivale, la méiofaune ne semble pas perturbée à moyen terme (sur nos 2 années d'étude) par les fortes variations interannuelles des paramètres environnementaux estivaux. La suite des analyses doit permettre d'approfondir l'impact des paramètres hydro-climatiques et physico-chimiques sur un critère fonctionnel : la productivité du copépode *E. affinis*. Dans le cadre de l'axe 5, une vision plus large intégrant l'écotoxicologie permettra de comprendre davantage la dynamique et la structuration des communautés dans la partie fluviale de l'estuaire de la Gironde, en particulier en relation avec la contamination du milieu.

## Axe 4 - Action 4: Evaluation des niveaux de contamination et effets écotoxicologiques sur les composantes biologiques exposées dans la masse d'eau estuarienne garonnaise.

### OBJECTIFS SCIENTIFIQUES ET ATTENDUS POUR LES GESTIONNAIRES

#### OBJECTIFS :

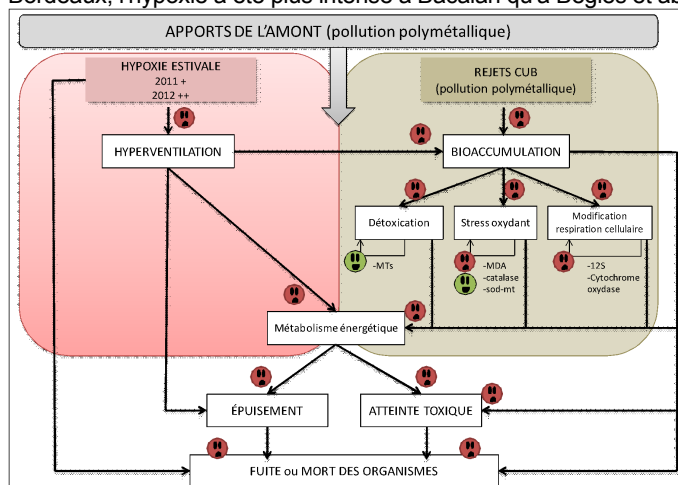
- Évaluation des niveaux de contamination des composantes biologiques exposées à la masse d'eau garonnaise.
- Estimation de l'impact des périodes d'hypoxie sur la bioaccumulation métallique.
- Évaluer les effets toxiques subis au niveau cellulaire.

#### ATTENDUS :

- (1) Mesure directe de la contamination des organismes échantillonnés (poissons et plancton) et détermination des variations temporelles et spatiales.
- (2) Transplantation d'organismes non contaminés sur différents sites dans la Garonne et mesure des effets biologiques et écotoxicologiques.
- (3) Exposition en laboratoire d'organismes à différentes conditions de contamination représentatives de la Garonne.

### RESULTATS MAJEURS

Considérant qu'une concentration en O<sub>2</sub> inférieure à 5 mg.L<sup>-1</sup> commence à être ressentie chez certaines espèces et qu'en dessous de 3 mg.L<sup>-1</sup> les conséquences chez les poissons sont graves, nous avons choisi de qualifier la période hypoxique à partir de valeurs inférieures à 4 mg.L<sup>-1</sup>. A partir des mesures de la sonde MAGEST et des sondes terrain, aucune hypoxie en 2010 n'a été enregistrée, contrairement à 2011 et 2012. En 2012, l'hypoxie a été plus précoce (dès juillet) et plus forte qu'en 2011. Au niveau de Bordeaux, l'hypoxie a été plus intense à Bacalan qu'à Bègles et absente à St. Macaire.



(1) Parmi les prélèvements directs d'individus dans la Garonne, peu d'espèces de poissons ont été récupérées (essentiellement des gobies et des anguilles). En 2010, seul un effet sur l'accumulation du Hg est observé en fonction des espèces. En 2011, des anguilles ont été prélevées sur 2 sites (au niveau de Bègles et Pont d'Aquitaine) et à 3 périodes (juin, août et novembre) dont l'une hypoxique (août). Un effet saisonnier a d'abord été mis en évidence avec des accumulations métalliques plus fortes en période estivale qui sembleraient être liées à une hyperventilation des organismes. De plus, une tendance à l'augmentation des concentrations d'Al, Ag et Cu dans les anguilles à l'aval de Bordeaux est observée. La génétique confirmerait cette hypothèse par l'induction de gènes impliqués dans la détoxification (corrélés avec une augmentation significative des MTs) et dans la lutte contre le stress oxydant.

Malgré le caractère pionnier de l'étude portant sur le plancton, un effet saisonnier de l'accumulation en Cd avec des concentrations maximales en septembre et octobre 2011 correspondant aux faibles salinités et à la phase d'hypoxie sont observées. Un effet spatial est également mis en évidence, avec Bacalan et Ambes représentant les sites les plus contaminés par rapport à l'amont de Bordeaux et à Libourne. Cette pression métallique a aussi été observée au niveau de la concentration en MTs, qui augmente à cette période, parallèlement à l'apparition d'un stress cellulaire important à Bacalan détecté en juillet 2011 grâce aux analyses génétiques.

(2) Les transplantations *in situ* réalisées en 2010, 2011 et 2012 avec le bivalve *Corbicula fluminea* pour une période de 3 mois ont montré des accumulations métalliques marquées au niveau de Bordeaux d'Al, Ag, Cd, Mn, Ni, Pb, V. De plus, une mortalité et inhibition de croissance des individus lors des hypoxies estivales sont observées. Les réponses des MTs et de la génétique marquent les phases d'hypoxie avec la génération d'un stress oxydant marqué et des perturbations du métabolisme mitochondrial. Lorsque l'O<sub>2</sub> est faible dans la Garonne, les organismes seraient donc plus vulnérables aux conditions physicochimiques du milieu. Chez l'anguille *Anguilla anguilla*, l'accumulation métallique n'a pas été différente entre Bacalan et St Macaire (site non contaminé) en période estivale durant la période de transplantation de 3 mois en 2011. Par contre, un effet hypoxique a été révélé par les réponses génétiques qui montrent la présence d'un stress oxydant et des modifications dans le métabolisme lipidique durant la période estivale avec une baisse du métabolisme énergétique. Après hypoxie, les organismes récupèrent un métabolisme quasi normal et montrent donc leur capacité d'adaptation.

(3) Les expériences en laboratoire se sont intéressées à l'effet du Ni et de l'hypoxie. Le Ni, métal peu étudié et très présent dans la Garonne, a été significativement accumulé par les Corbicules en fonction du temps et des concentrations d'exposition mais régulé par les organismes dans les branchies. De plus, l'exposition à une hypoxie a favorisé son accumulation et sa régulation a été retardée. Les effets du Ni conduisent à une répression de l'ensemble des gènes étudiés impactant donc l'ensemble du métabolisme énergétique. Par contre, après cet épisode hypoxique, un effet important du stress oxydant et une perturbation du métabolisme mitochondrial sont observés. L'hypoxie seule génère les mêmes effets que ceux observés *in situ*, et les effets couplés du Ni et de l'hypoxie conduisent à une aggravation des impacts sur les organismes. L'exposition au Ni et au Pb a montré une accumulation significative des corbicules en fonction du temps et des concentrations d'exposition. Cependant, seul le Ni est régulé par les organismes. La présence simultanée des deux métaux entraîne des modifications de la bioaccumulation de chacun d'eux, avec notamment une augmentation de l'accumulation du Ni en présence de Pb. Au contraire, une légère baisse de l'accumulation du Pb en présence du Ni est observée. Ceci démontre de fortes interactions entre les contaminants. Les deux métaux génèrent également un stress oxydant et une perturbation du métabolisme mitochondrial sans effet clairement additif ou synergique.

### Conclusions – Perspectives

L'agglomération bordelaise est marquée par des rejets métalliques bioaccumulables par les organismes aquatiques. Les métaux accumulés significativement sont l'Al, Ag, As, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb et V, surtout en aval de la CUB. Les phases hypoxiques estivales entraînent une augmentation de l'accumulation et des effets délétères des métaux sur les organismes aquatiques. Cette période est donc la plus critique pour les organismes. Au vu des résultats, il semblerait nécessaire de limiter les rejets de métaux provenant de la CUB ou des activités amont du bassin versant en période d'étiage. De plus, l'amélioration du traitement des métaux dans les stations limiterait leur rejet dans l'environnement.



### 3. Participants au programme ETIAGE

**Axe 1** : Coordinateur **H. ETCHEBER**, chercheur honoraire Université Bordeaux

[henri.etcheber@u-bordeaux.fr](mailto:henri.etcheber@u-bordeaux.fr), tel : 06 95 82 67 50

Ses travaux portent sur les cycles du carbone et de l'azote en milieux estuariens et fluviaux avec une attention toute particulière prêtée à l'oxygénation de leurs eaux présente et future en réponse aux changements climatiques environnementaux dans le futur.

**Participants** : **H. Etcheber (CNRS)**, **P. Anschutz (Pr)**, **G. Abril (CNRS)**, **S. Schmidt (CNRS)**, **A. Sottolichio (Mdc)**, **P. Parlanti (CNRS)**, **N. Savoye (Ing)**, **A. Lanoux (Doctorant)**, **E. Nzimandoukou (M2)**.

**Axe 2** : coordinateur **H. BUDZINSKI**, CNRS EPOC

[helene.budzinski@u-bordeaux.fr](mailto:helene.budzinski@u-bordeaux.fr), tél : 05 40 00 69 98

Spécialiste en chimie de l'environnement et écotoxicologie, ses travaux portent sur l'écodynamique des contaminants chimiques organiques et sur leur impact toxique sur les écosystèmes environnementaux. Ils s'inscrivent dans une logique d'intégration et d'appréhension des effets mélangés et des effets cumulés associant plusieurs types de pressions anthropiques.

**Participants** : **H. Budzinski (CNRS)**, **E. Parlanti (CNRS)**, **P. Mazellier (Pr)**, **K. Lemenach (Ing)**, **P. Pardon (Ing)**, **Y. Aminot (doctorant)**, **C. Gardia-Parege (Doctorante)**, **M. Collard (M2)**, **J. Cruz (M2)**, **L. Fuster (M2)**, **V. Gal (M2)**, **L. Girolli (M2)**, **M. Lobez (M2)**.

**Axe 3** : coordinateur **G. BLANC**, Pr Université Bordeaux

[gerard.blanc@u-bordeaux.fr](mailto:gerard.blanc@u-bordeaux.fr), tél : 05 40 00 88 34

Ses travaux concernent l'étude des transferts des contaminants métalliques à l'interface continent-océan. Il étudie le comportement biogéochimique et la spéciation des métaux présents dans les hydrosystèmes fluviaux et estuariens.

**Participants** : **G. Blanc (Pr)**, **A. Coynel (Mdc)**, **J. Schäfer (Pr)**, **C. Bossy (Ing)**, **L. Dutruch (Ing)**, **N. Deycard (Doctorante)**, **K. Kessaci (Doctorante)**, **L. lanceleur (post-doc)**, **L. Bethke (M2)**, **JB. Marty (M2)**, **X. Zhao (M2)**.

**Axes 4.1 - 4.3** : coordinateur **M. LEPAGE**, IR IRSTEA

Bordeaux [mario.lepage@irstea.fr](mailto:mario.lepage@irstea.fr), tél : 05 57 89 08 10

Biologiste de l'Unité Ecosystèmes Estuariens et Poissons Migrateurs Amphihalins, il est spécialisé dans les études des populations piscicoles et du fonctionnement écologique des milieux estuariens. Il contribue à la définition d'indicateurs hydrobiologiques nécessaires à l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau.

**Participants** : **M. Lepage (IR)**, **P. Jatteau (IR)**, **F. Daverat (IAE)**, **J. Dublon (IE)**, **R. Fraty (TR)**, **J. DE Watteville (M2)**.

**Axe 4. 2** : coordinateur **B. SAUTOUR**, Pr Université Bordeaux

[benoit.sautour@u-bordeaux.fr](mailto:benoit.sautour@u-bordeaux.fr), tél : 05 56 22 39 01

Spécialiste de l'étude de la structure spatio-temporelle des communautés zooplanctoniques et des transferts de matière dans les réseaux trophiques dans le contexte actuel de modification des environnements marins et côtiers sous l'influence du changement global.

**Participants** : **B. Sautour (Pr)**, **G. Bachelet (CNRS)**, **N. Savoye (Ing)**, **F. Dindinaud (Doctorant)**.

**Axe 4. 4** : coordinateur **M. BAUDRIMONT**, Pr Université Bordeaux

[magalie.baudrimont@u-bordeaux.fr](mailto:magalie.baudrimont@u-bordeaux.fr), tél : 05 56 22 39 27

Spécialiste en écotoxicologie des éléments traces et nanoparticules métalliques, elle travaille sur la caractérisation des mécanismes de bioaccumulation, de détoxification et d'impacts toxiques sur les organismes aquatiques, par des approches intégrées du niveau moléculaire à celui de l'organisme.

**Participants** : **M. Baudrimont (Pr)**, **S. Bureau du Colombier (CDD)**, **PY. Gourves (CDD)**, **A. Legeay (MCF)**, **P. Gonzalez (CR CNRS)**, **V. Duflo (Ing)**, **B. Etcheverria (Tech)**, **P. Dranguet (M2)**, **L. Payton (M2)**, **A. Deroubaix (M2)**, **C. Tissandier (M2)**.

**Axe 5** : coordinateurs **H.ETCHEBER** et **M. LEPAGE**

**Participants** : l'ensemble des participants et **E. Maneux (Directeur GEOTRANSFERT)**

**Participants Laboratoire LYRE** (Lyonnaise des Eaux) aux axes 1, 2, 3 et 5

**X. Litrico, M. Chambolle**

## 4. Etat écologique des eaux de l'estuaire garonnais au niveau de la Communauté Urbaine de Bordeaux

- Des baisses de teneurs en oxygène (hypoxie) ont été observées dès les années 1960 dans les eaux de la Garonne à Bordeaux, en période estivale, mais sont restées très peu documentées. La mise en place du réseau MAGEST, en 2005, a permis de suivre en continu ce paramètre et en déterminer sa cyclicité. Mais, aucune étude poussée n'a précisé l'état écologique des eaux dans cette section estuarienne, très importante pour le fonctionnement global de l'estuaire, et le comblement de cette lacune est un des objets majeurs du programme ETIAGE.
- En été, les déficits en oxygène des eaux les plus marqués sont centrés sur Bordeaux, mais, de façon plus atténuée, ce phénomène est sensible de Langoiran au Bec d'Ambes. La conjonction de température des eaux élevées, débits fluviaux et coefficients de marée faibles induit les baisses les plus prononcées. Comme sur la branche Dordogne de l'estuaire fluvial, on enregistre, dans des conditions environnementales similaires, des baisses d'oxygène beaucoup plus modérées, on doit faire appel à des apports organiques locaux très dégradables et donc consommateurs d'oxygène lors de leur dégradation (effluents de STEP) pour expliquer ces hypoxies locales. Un tel processus a été confirmé lors du programme ETIAGE (Fig.1).

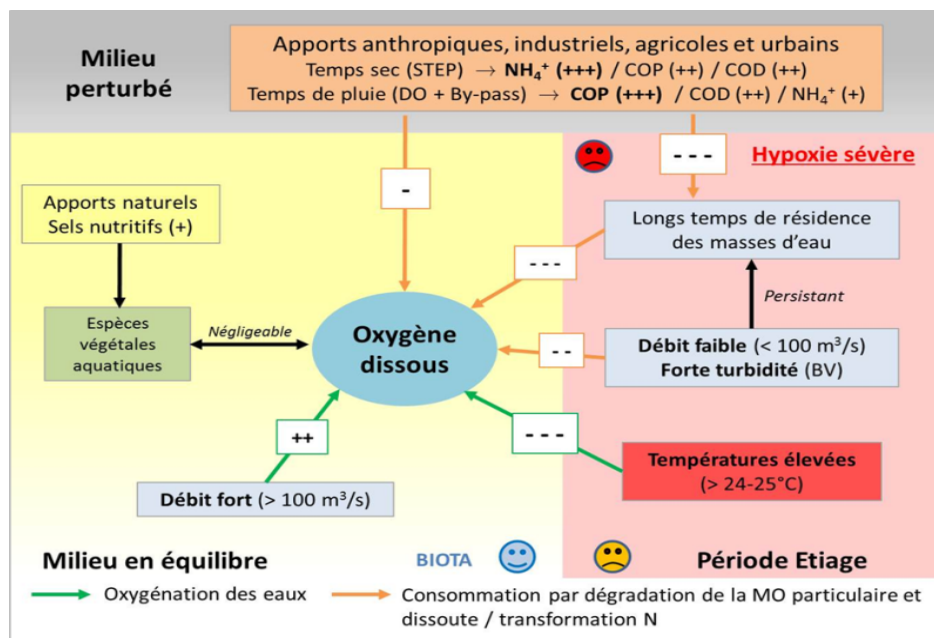


Figure 1 : Liens entre les caractéristiques du milieu, les processus physico-chimiques et la biologie en rapport avec l'oxygène dissous dans l'eau.

- De même, la période d'été apparaît comme la plus favorable à l'augmentation des teneurs en micropolluants: en réponse au fort contenu des effluents en ces composants (soit métalliques, soit organiques, classiques ou dits émergents, comme pesticides ou médicaments), il apparaît un enrichissement notable des eaux de la Garonne estuarienne, essentiellement au niveau de Bordeaux, en dépit des traitements pratiqués dans les STEP. Toutefois, cela dépend de l'identité du composé et de son comportement en milieu aqueux : affinité pour la phase dissoute ou particulaire des eaux, sensibilité à l'influence des paramètres physico-chimiques (température, oxygénation, turbidité).
- L'étude des suivis faunistiques des populations biologiques en Garonne estuarienne ne permet pas de démontrer clairement d'influence néfaste des effluents : soit les populations considérées présentent des variations plus sensibles à d'autres paramètres (température, potentiel nutritif : cas des communautés planctoniques et benthiques); soit les numérations ont été trop faibles et/ou faites en dehors de périodes à risques (cas des poissons et crustacés). Néanmoins, des études sur des anguilles et du plancton prélevés (étude à caractère pionnier dans ce dernier cas) révèlent des enrichissements en métaux, renforcés en périodes hypoxiques.



## 5. Apports d'amonts et rejets urbains locaux : impacts sur la qualité des eaux et du milieu

- Si les flux issus du domaine fluvial en matière organique et en micropolluants métalliques étaient bien étudiés avant le programme ETIAGE, il a fallu procéder à des premières estimations concernant les flux de micropolluants organiques, très peu étudiés en milieu fluvial.
- En période d'étiage, si les apports en charge organique issus du milieu fluvial amont sont très supérieurs à ceux de la CUB, ce matériel est très peu dégradé et les flux d'ammonium y sont très réduits. En conditions normales de fonctionnement des STEP, les émissions d'effluents amènent: peu de matière organique solide, mais du matériel organique dissous très dégradé et de très fortes concentrations en ammonium. Il s'en suit une forte consommation de l'oxygène des eaux de la Garonne lors de la dégradation de ces apports. En conditions d'orage (temps de Pluie, TP), processus de by-pass, arrivées de déversoir d'orage et d'eaux pluviales amènent de fortes charges organiques solides, de nature dégradé dans l'estuaire, facteur aggravant les déficits en oxygène de ces eaux (Fig.2).

### Flux moyens journaliers en TP et en été 2011

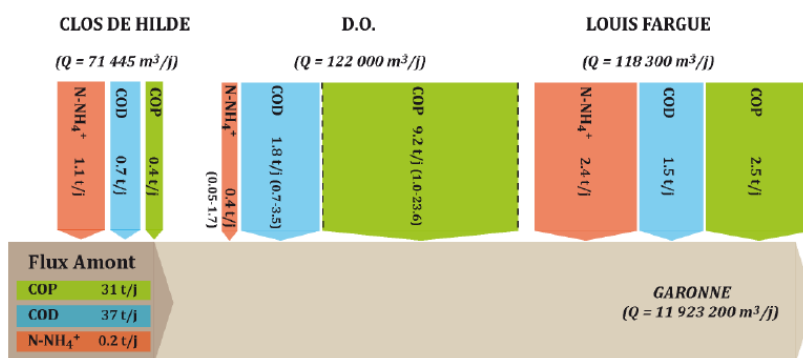


Figure 2 : Flux moyens journaliers en temps de pluie durant l'été 2011

- Les premières caractérisations des flux sortant des STEP en métaux et en micropolluants organiques montrent l'importance de certains d'entre eux par rapport aux flux parvenant de l'amont: en période d'étiage ( $< 200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), les flux des STEP peuvent représenter plus de 50% des apports à l'estuaire pour certains d'entre eux (Fig.3). Si l'efficacité des STEP a été mise en évidence et des coefficients d'abattement ont été mesurés, il reste que bien des micropolluants organiques médicamenteux et métalliques (Ni et Al, par exemple, plus forts en sortie qu'en entrée de STEP) ne sont pas bien traités (Fig.4).
- En période d'étiage, l'impact sur la qualité de l'eau estuarienne d'un événement d'orage et des apports induits a été démontré (Fig.4). De plus, l'estimation des flux des apports des principaux cours d'eau de l'agglomération de la CUB (exemple de la Jalle) a permis de révéler des flux très importants d'Ag et de tout un panel de micropolluants organiques.
- Les études basées sur des transplantations in situ par caging (Bivalves et anguilles) dans les eaux de la Garonne à Bordeaux ont révélé des bioaccumulations de métaux (Fig.5) et ont démontré l'impact sur les organismes de la contribution relative aux effluents locaux, avec leurs effets toxiques associés (inhibition de croissance, réponses cellulaires et moléculaires, mortalité), phénomène aggravé des effets générés par la température et la présence du bouchon vaseux pendant les périodes hypoxiques estivales (Fig.6).
- Les expériences menées en laboratoire sur les alosons, avec pour variables température et oxygénation des eaux, conduisent à des conclusions, qui témoignent de troubles comportementaux très clairs des populations étudiées : nage altérée, perte d'équilibre en conditions hypoxiques moyennes, menant même à la mort dans les périodes hypoxiques prononcées ( $4,3$  à  $3,4 \text{ mg l}^{-1}$  à  $25 \text{ °C}$  et  $3,4$  à  $2 \text{ mg l}^{-1}$  à  $20\text{°C}$ ).

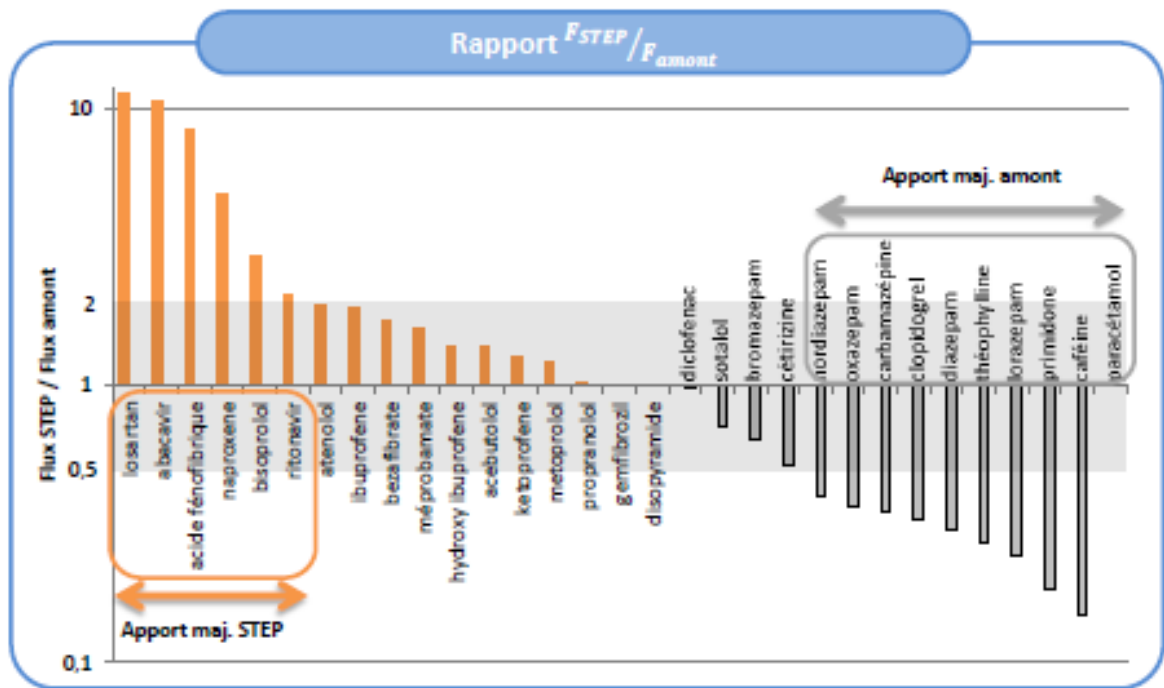


Figure 3 : Comparaison des flux amont et locaux (STEP) de contaminants médicamenteux

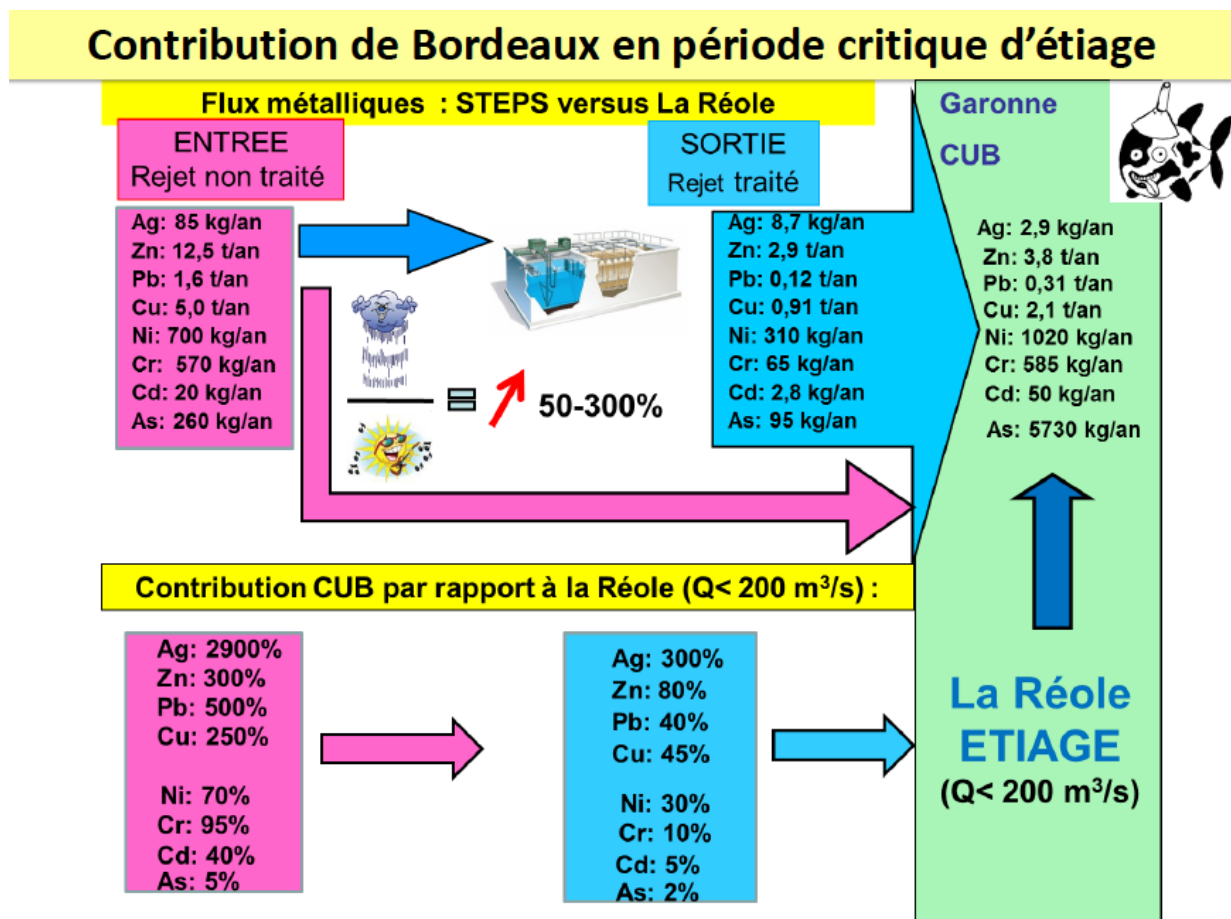


Figure 4 : Flux de polluants métalliques entrant et sortant des STEPs comparés aux flux venant de l'amont

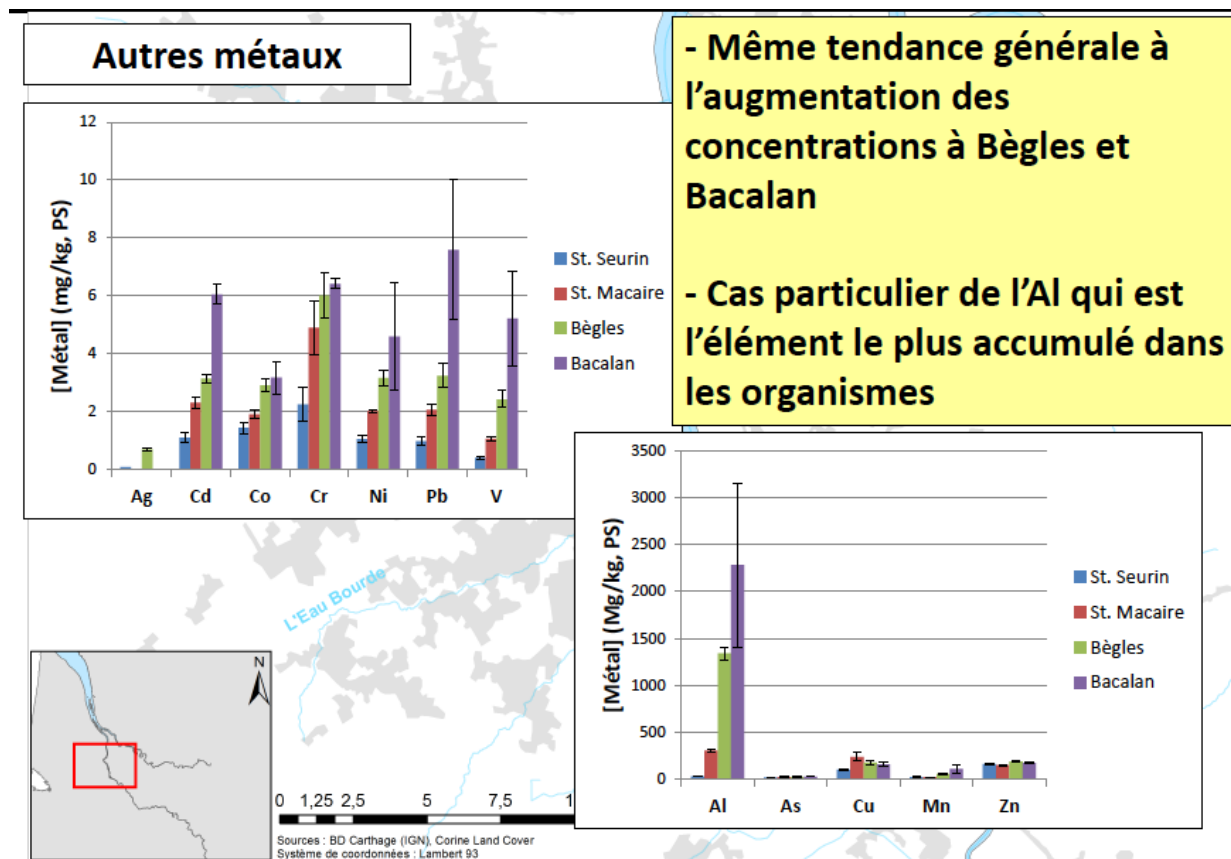


Figure 5 : Bioaccumulation des métaux dans les mollusques bivalves (*Corbicula fluminea*) pour trois stations en Garonne et un témoin à St-Seurin sur Isle

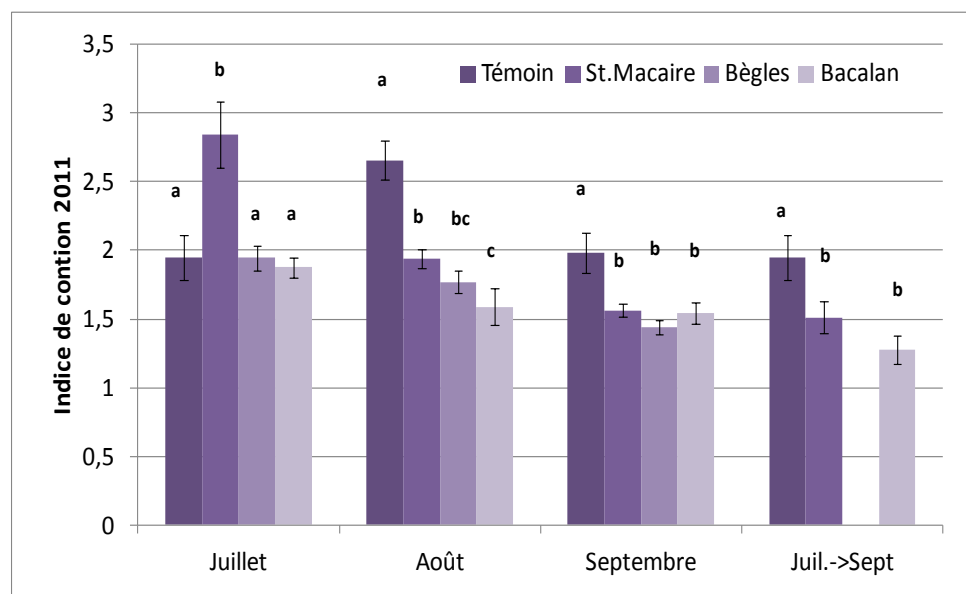


Figure 6 : Inhibitions de croissance sur tous les sites en comparaison des témoins, surtout en août 2011, et de façon plus marquée à Bacalan qu'à Bègles ou St Macaire

## **6. Recommandations en matière de gestion à l'échelle du bassin versant et de la CUB**

Les scénarios évolutifs de l'estuaire nous conduisent à penser que les conditions environnementales risquent de se dégrader fortement dans les années à venir. A l'augmentation des températures prévues par le GIEC sont associées une diminution progressive des débits fluviaux, une baisse des teneurs en oxygène dans les eaux et une stagnation plus marquée des masses d'eau autour de Bordeaux. A ceci, se surajoutent l'apparition de nouveaux produits de tout type avec les nouveaux modes de consommation et une croissance attendue de la population sur la CUB augmentant la pression sur la ressource en eau. L'impact des rejets d'effluents de l'agglomération sur l'estuaire ne peut que se renforcer.

Il paraît donc urgent de redoubler de vigilance sur la qualité globale des eaux et de gérer au mieux les priorités d'actions, de manière collective et responsable.

### **Préconisations de gestion**

Au vu des facteurs aggravants les conditions d'impact de l'agglomération sur le milieu aquatique, l'effort principal doit se porter sur ces moments de crises hypoxiques.

En premier lieu, il convient de consolider les débits de soutien d'étiage afin de ne pas descendre en dessous de la valeur critique pour laquelle l'estuaire n'est plus en capacité « d'assimiler » ces rejets urbains sans créer de crise dystrophique. Une meilleure gestion collective de la quantité (prélèvements d'eau) et de la qualité des eaux venant de l'amont en période d'étiage est vitale pour cette partie aval de l'estuaire. En terme de qualité, on peut par exemple, en période de crise hypoxique, limiter les activités susceptibles d'augmenter la turbidité des eaux (dragages et autres activités d'entretien d'ouvrages) et modifier certaines pratiques agricoles sources de micropolluants (canons anti-grêle par exemple, source de pollution à l'argent).

Au niveau de Bordeaux, il faut chercher à minimiser l'intensité des hypoxies. Ceci est primordial au vu de l'impact direct sur les populations biologiques, mais aussi sur le comportement des micropolluants en présence d'hypoxie.

Une solution serait de pouvoir modifier et gérer les moments de rejet des effluents des stations d'épuration par rapport aux périodes hypoxiques et au moment de la marée. Il serait également souhaitable de limiter les déversements en temps de pluie par le stockage temporaire de l'eau dans les réseaux. Certains moments critiques ont été définis grâce au projet ; les rejets doivent être privilégiés notamment en période de jusant pour favoriser leur dispersion vers l'aval. Si des solutions techniques sont à inventer, une bonne prévision des périodes critiques (prévision de la température des eaux et des débits) permettrait de mieux gérer les situations de crises hypoxiques et réduire l'impact potentiel sur les cortèges biologiques.

Concernant les micropolluants, améliorer les traitements dans les stations d'épuration en vue de leur élimination reste un objectif pertinent, au moins pour les plus abondants ou les plus toxiques, mais, au rythme où de nouveaux produits sont créés et utilisés couramment, il est utopique de penser traiter ces derniers de façon très efficiente. Aussi, diminuer les débordements sans traitement en période de pluie, source de pollution importante, et réduire à la source les émissions de polluants (consommation et traitement à la source) sont des voies judicieuses à explorer.

Si, en dépit des efforts, les crises hypoxiques s'intensifiaient, il faudrait alors penser à ouvrir des zones de lagunage extensives ou encore procéder à une oxygénation artificielle des eaux (comme pratiquée en Tamise).

### **Préconisations de changements de pratiques et de comportements**

**Au niveau collectif (industries, établissements de santé, collectivités, artisans, etc...),** il paraît nécessaire d'identifier les sources émettrices de micropolluants, de préciser les usages et les produits qui sont problématiques en termes d'impact sur le milieu aquatique pour favoriser la collecte voir le traitement à la source. Des actions de communication envers les acteurs, afin de les conduire à des changements de pratiques ou de process et à la mise en place de traitement localisé, sont autant de solutions qui permettront de réduire à la source les émissions. Ces actions pourront être accompagnées d'évolutions réglementaires si nécessaire.

**Au niveau individuel,** des changements de comportements sont aussi possibles. Ceux-ci passent obligatoirement par de la sensibilisation en amont, nécessaire car les personnes n'ont pas conscience des pollutions qu'ils engendrent sur le milieu aquatique. Des campagnes de sensibilisation adaptées au grand public, des formations

auprès des scolaires via l'éducation nationale ou des associations spécialisées, sont à prévoir. L'enjeu est de faire prendre conscience à chaque citoyen de l'impact écologique de chacun de ses choix de consommation dans sa vie courante de tous les jours, sur ces lieux de travail ou à son domicile.

Ces différents changements demandent aussi des efforts au niveau de l'étape de production industrielle des produits : un étiquetage simple et clair devrait permettre de connaître et comprendre l'impact potentiel des produits utilisés au quotidien. Enfin, il serait souhaitable de développer de nouveaux produits alternatifs non toxiques pour l'environnement aquatique.

Le projet ETIAGE, en associant chercheurs et gestionnaires, contribue à cette prise de conscience collective nécessaire à toute action.

### **Besoins de connaissances supplémentaires**

Le projet fait ressortir certains besoins en connaissances ou développements complémentaires :

Acquérir de nouvelles connaissances sur la nature et les spécificités des effluents eux-mêmes, ceci en améliorant la connaissance des sources, en étudiant les produits de transformation et les métabolites, en développant la connaissance sur les boues, en identifiant les contaminants les plus toxiques pour les organismes (qui ne sont pas forcément les plus bioaccumulés dans les tissus).

Poursuivre les suivis terrain, à la fois en remontant aux sources dans le réseau d'assainissement pour étudier notamment la dissémination urbaine des métaux émergent (platinoïdes, sélénium, tellure, argent, Terres Rares, tantale, vanadium...), ou encore certaines sources importantes comme les hôpitaux et les industries, mais aussi au niveau des rejets de stations d'épuration par une biosurveillance active afin de mesurer les impacts toxiques au cours de l'année.

En terme de traitement, il serait intéressant de documenter les performances de la nouvelle station Louis Fargue et de tester des traitements pilotes moins classiques comme des lagunages ou des zones végétalisées pour une source avérée de polluant, afin d'étudier les piègeages de métaux et les dégradations des produits médicamenteux.

Enfin, parfaire nos connaissances sur les réponses des populations biologiques à ces diverses formes de pollution en se livrant à des études plus poussées, comme par exemple poursuivre les expériences in vitro sur d'autres espèces (crevettes) et d'autres micropolluants, acquérir des données de numération d'espèces présentes en Garonne en période à risque.