



HAL
open science

Etude intégrée de l'effet des apports amont et locaux sur le fonctionnement de la Garonne estuarienne (ETIAGE) : Rapport de synthèse année 2 Avril 2011 - Mars 2012

H. Etcheber, Mario Lepage

► To cite this version:

H. Etcheber, Mario Lepage. Etude intégrée de l'effet des apports amont et locaux sur le fonctionnement de la Garonne estuarienne (ETIAGE) : Rapport de synthèse année 2 Avril 2011 - Mars 2012. *irstea*. 2013, pp.51. hal-02605339

HAL Id: hal-02605339

<https://hal.inrae.fr/hal-02605339v1>

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)



Rapport année 2 : Avril 2011 – Mars 2012

Editeurs : H. Etcheber et M. Lepage

Etcheber H. et Lepage M. 2013. Etude intégrée de l'effet des apports amont et locaux sur le fonctionnement de la Garonne estuarienne (ETIAGE). Rapport de synthèse Année 2 : Avril 2011- Mars 2012. Laboratoire EPOC, Université de Bordeaux, Etude IRSTEA n°176 , 51p.

Introduction

Face aux problèmes connus dans l'estuaire de la Gironde :

- une sous-oxygénation locale des eaux dans la partie fluviale de l'estuaire, pouvant engendrer des phénomènes épisodiques d'anoxie et de blocages migratoires des populations biologiques,
- une contamination polymétallique affirmée dont le cadmium est l'élément le plus représentatif, mais qui concerne aussi Zn, Cu, As et Hg, affectant les populations biologiques avec des incidences socio-économiques réelles,
- des teneurs en micro-polluants organiques parfois préoccupantes,

le programme ETIAGE a été mis en place avec pour objectif de répondre aux questions suivantes :

- **que représentent les apports des effluents de la Communauté Urbaine de Bordeaux (CUB) par rapport à ceux venant de l'amont en termes de charge organique et de micro-polluants ?**
- **quels rôles sur le devenir des effluents jouent la présence du bouchon vaseux et la stagnation résiduelle des eaux (déplacement net entre mouvement de flot et de jusant) au niveau de l'estuaire fluvial amont en période d'étiage estival ?**
- **réciroquement, à quels moments et jusqu'où s'étend l'impact de ces effluents sur la qualité des eaux de la Garonne estuarienne ?**
- **quelles incidences des effluents sur le comportement des populations biologiques en place ou migratoires dans la Garonne estuarienne ?**
- **quelle tendance évolutive va connaître l'oxygénation des eaux ? Quel sera l'impact sur le comportement des micro-polluants et des populations biologiques ?**
- **quelles recommandations de gestion pourraient être préconisées à partir de la synthèse des pressions exercées sur les eaux de la Garonne estuarienne ?**

Le programme est divisé en 5 axes, dont les bilans de travail sont présentés axe par axe pour l'année 2, couvrant la période Avril 2011 – Mars 2012 :

- 1 caractérisation et rôle respectif des apports organiques amont et locaux sur l'oxygénation des eaux de la Garonne estuarienne;**
- 2 caractérisation et flux des contaminants organiques (classiques et émergents) dans les eaux de la Garonne estuarienne;**
- 3 étude des apports métalliques dans les eaux de la section garonnaise de l'estuaire de la Gironde;**
- 4 approche de l'impact des conditions physico-chimiques affectant la masse d'eau estuarienne garonnaise sur les cortèges biologiques;**

5 synthèses des pressions et des impacts caractérisant les eaux de la Garonne estuarienne. Recommandations de gestion.

A la lecture du tableau regroupant la date de lancement de chacun des 4 premiers axes, il ressort que, dans ce rapport 2011-2012, vont être consignés des résultats correspondants au minimum à plus de 14 mois de recherche.

	Date de lancement	Equipes
AXE1	Avril 2010	H. Etcheber et al.
AXE 2	Novembre 2010	H. Budzinski et al.
AXE 3	Novembre 2010	G. Blanc et al.
AXE 4 Action 1	Avril 2010	M. Lepage et al.
AXE 4 Action 2	Janvier 2011	B. Sautour et al.
AXE 4 Action 3	Avril 2010	M. Lepage et al.
AXE 4 Action 4	Avril 2010	M. Baudrimont et al.
AXE 5	Avril 2012	H. Etcheber, M. Lepage & E. Maneux

Les causes de ces décalages ont été évoquées dans le précédent rapport (Avril 2010 - Mars 2011) : obtentions de bourses de thèse retardées, livraisons de matériel différées, disponibilités d'étudiants problématiques par rapport à la date de départ choisie, entre autres.

Il n'en reste pas moins que, pour chaque axe, la durée des recherches prévues sur 4 ans sera maintenue, ce qui amènera certaines équipes à terminer leurs travaux postérieurement à d'autres.

Ce rapport année 2 sera divisé en deux parties :

- des rapports synthétiques d'avancement axe par axe, proposant de façon concise les résultats majeurs obtenus durant cette deuxième année du programme ETIAGE ;
- un addendum, dans lequel seront précisés: la valorisation scientifique des travaux de la deuxième année; divers rapports où sont exposés de façon plus détaillée les résultats importants acquis dans chacun des axes.

L'axe 5, qui a pour objectif majeur de proposer une synthèse de l'ensemble des recherches menées dans chaque axe, notamment l'impact de la qualité de l'eau sur les cortèges biologiques autour de la Communauté Urbaine de Bordeaux, ne prendra corps que durant les années 3 (Avril 2012 – Mars 2013) et 4 (Avril 2013 – Mars 2014). En effet, si, par exemple, les phénomènes d'hypoxie sont bien documentés dès le démarrage du programme (grâce au réseau MAGEST), il en va différemment des connaissances très fragmentaires sur les polluants métalliques et organiques émergents, comme de celles relatives aux populations biologiques des eaux de la section estuarienne garonnaise.

Précisons enfin que, concernant l'AXE 4 - Action 4, il sera ajouté une version synthétique des résultats enregistrés durant l'année 2010-2011, ce document ayant été omis lors de la remise du rapport année 1 (Avril 2010-Mars 2011).

Pourcentages d'avancement des différents axes du programme au 31 Mars 2012

	Pourcentages d'avancement de l'Axe 1	
	Avril 2010 – Mars 2011	Avril 2011 – Mars 2012
Action 1	50%	80%
Action 2	20%	70%
Action 3	30%	70%
Action 4	0%	0%
Action 5	0%	30%

	Pourcentages d'avancement de l'Axe 2	
	Avril 2010 – Mars 2011	Avril 2011 – Mars 2012
Action 1	10%	50%
Action 2	0%	20%
Action 3	0%	20%
Action 4	0%	10%
Action 5	0%	10%

	Pourcentages d'avancement de l'Axe 3	
	Avril 2010 – Mars 2011	Avril 2011 – Mars 2012
Action 1	35%	70%
Action 2	5%	15%
Action 3	10%	30%
Action 4	0%	20%
Action 5	0%	30%
Action 6	30%	30%
Action 7	0%	40%

	Pourcentages d'avancement de l'Axe 4	
	Avril 2010 – Mars 2011	Avril 2011 – Mars 2012
Action 1	40%	70%
Action 2	10%	50%
Action 3	10%	50%
Action 4	30%	60%

AXE 1



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

Avril 2011 – Mars 2012

A. Lanoux (Doctorante), H. Etcheber (CNRS), P. Anschutz (Pr), G. Abril (CNRS), S. Schmidt (CNRS), A. Sottolichio (MdC), N. Savoye (Ing.)

Contexte scientifique et objectifs de l'étude

Connues de longues dates, des sous-oxygénations des eaux de la Garonne estuarienne ont épisodiquement lieu autour du site de la CUB, où les apports des effluents de ce grand centre urbain jouent vraisemblablement un rôle majeur, surtout en période estivale où les débits fluviaux sont faibles (stagnation conséquente des eaux dans l'estuaire) et les températures des eaux élevées (Abril et al, 1999, 2000, 2002 ; Etcheber et al, 2007). **Alors que les sources et les estimations des apports organiques fluviaux venus de la Garonne amont ont été soigneusement et longuement étudiés** (Etcheber et al, 2007 ; Lemaire et al, 2002; Schäfer et al, 2002; Veyssy et al, 1999), peu de connaissances ont été rassemblées sur la MO d'origine anthropique, notamment urbaine, dans l'estuaire de la Gironde.

Mieux connaître la qualité de la fraction organique liée aux effluents de la Communauté Urbaine de Bordeaux (CUB), ses flux, son comportement dans le milieu aquatique naturel et son impact éventuel sur ce milieu est la finalité de cet axe de recherche, avec pour objectifs premiers de répondre aux questions suivantes :

- **Quelle part des flux de fraction organique transitant dans les eaux de la Garonne autour de Bordeaux représente celle des rejets de la ville ?**
- **Quels processus majeurs affectent ce matériel ? Quel rôle joue le bouchon vaseux sur le devenir de ce matériel et, réciproquement, quel impact ont les processus de dégradation de la MO liée aux rejets sur l'oxygénation des eaux de la Garonne ?**
- **Quelles informations peut-on en déduire concernant la hiérarchie des facteurs forçants influant sur les teneurs en O₂ ?**

Répondre à ces questions sera un outil précieux pouvant aider à la gestion des émissions d'effluents en Garonne sur le site de la CUB, d'autant plus que cet axe de recherche est directement lié avec les quatre autres : les comportements des micropolluants organiques (classiques ou dit « émergents ») et métalliques, ainsi que l'ensemble de la biota (dans son comportement global, y compris sa réponse à ces contaminants) sont, à des degrés divers, liés à la qualité de l'eau estuarienne, dont son taux d'oxygénation.

Concernant l'AXE 1, 5 actions sont prévues :

- **Action 1 : Etude de la charge organique des effluents de la CUB arrivant en Gironde.**
- **Action 2 : Effet du bouchon vaseux sur le devenir de la fraction organique des effluents de la CUB.**
- **Action 3 : Impact des apports organiques des effluents sur l'oxygénation des eaux de la Gironde au niveau de la CUB et relations avec les apports organiques des effluents.**
- **Action 4 : Comparaisons avec d'autres systèmes estuariens.**
- **Action 5 : Etude du devenir des effluents organiques : utilisation des traceurs isotopiques et moléculaires.**

Les résultats majeurs brièvement présentés ici sont ceux de la deuxième année (Avril 2011-Mars 2012) et portent en majorité sur les actions 1, 2, 3 et à un moindre degré l'action 5.

Principaux résultats

Action 1 : Etude de la charge organique des effluents de la CUB arrivant en Gironde (Avancement 80%)

- Les mesures faites en deuxième année d'étude confirment l'efficacité des 2 Stations d'Épuration (STEP), Louis Fargue (LF) et Clos de Hilde (CH), concernant leur charge organique (Fig.1). Il n'en est pas de même pour l'ammonium (NH_4^+), modérément éliminé à CH et faiblement à LF (dans sa version antérieure à sa rénovation actuelle).

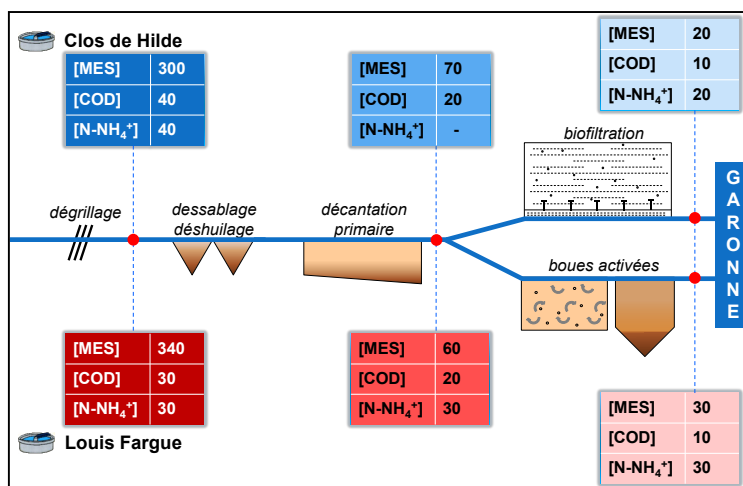


Figure 1 : Teneurs en MES, COD et NH_4^+ en entrée et sortie des STEP de CH et LF.

- Les premiers bilans journaliers de charge organique et d'ammonium entrant et sortant de LF (en moyenne annuelle) montrent que si les flux de COD parvenant en Garonne restent minimales par rapport à ceux venant de l'amont, il n'en est pas de même pour les flux d'ammonium qui eux sont supérieurs à ceux d'origine fluviale (Fig.2). Les résultats sont semblables à CH.

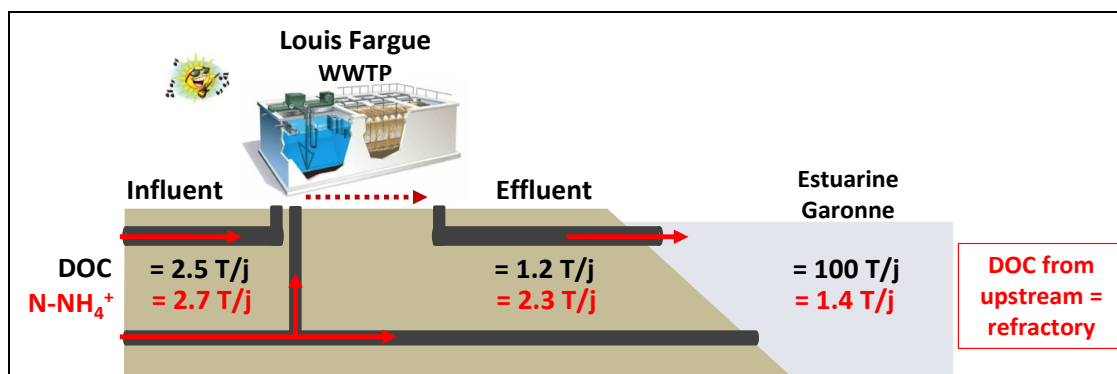


Figure 2 : Flux de COD et NH_4^+ entrant et sortant de LF, comparés à ceux venant de la Garonne fluviale (moyennes annuelles).

Des incubations d'effluents de LF, menées sur 30 jours en milieu oxygéné, montrent que (Fig.3) :

- le COD de ces effluents est très labile, même celui sortant des stations; ce COD sortant des STEP est donc appelé à être minéralisé en Garonne estuarienne, à l'opposé du COD fluvial qui, lui, est quasi entièrement réfractaire ;
- à l'intérieur des STEP, l'ammonium est transformé en nitrite, puis nitrate, suivant un processus de nitrification (Fig.3) ; ce processus, s'il n'est pas complet dans les STEP, se poursuivra en Garonne estuarienne.

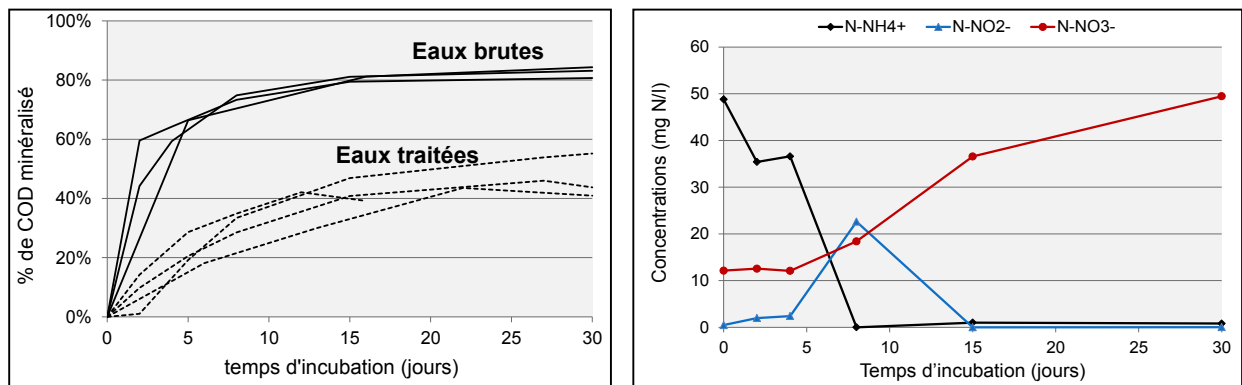


Figure 3 : Minéralisation du COD et transformation de l'ammonium lors d'incubation de 30 jours dans la STEP de CH.

- Les deux arrêts de la STEP de LF en Avril et Juillet 2011 pour travaux de raccordement n'ont pas impacté le milieu naturel, si ce n'est une empreinte marquée de NH_4^+ , rive gauche, qui disparaît dès que la courantologie devient forte (voir rapports donnés en addendum); le fait d'avoir procédé à ces arrêts en période de débits fluviaux suffisamment soutenus en Avril (400-500 m3/s) et lors de coefficients de marée forts en Juillet (> 80) a fait que les rejets, riches en charge organique et en ammonium, n'ont pas impacté la Garonne estuarienne, dont les teneurs en O_2 n'ont pas enregistré de baisses notables par effet de minéralisation de la fraction organique ou de la nitrification du NH_4^+ des effluents.

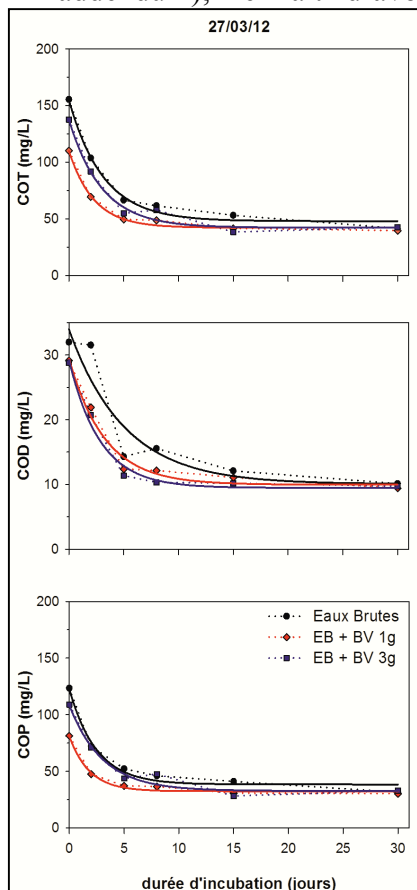


Figure 4 : Minéralisation de la charge organique des effluents en présence de MES du BV à des concentrations différentes.

Action 2: Effet du bouchon vaseux sur le devenir de la fraction organique des effluents de la CUB (Avancement 70%)

- Confirmant les études antérieures des expériences de d'incubation in vitro avec mélange de MES du bouchon vaseux (BV) et d'effluents, il ressort que le BV accélère la minéralisation de la charge organique des effluents, conformément à la labilité du COP (carbone organique particulaire) et du COD des effluents (Fig.4), mais l'influence de la quantité de MES présente (1gl^{-1} , puis 3gl^{-1}) reste peu sensible et ne provoque pas d'accélération significative du phénomène.
- D'août à octobre 2012, la mesure de la respirométrie (vitesse de consommation de O_2) dans les eaux estuariennes, en diverses stations de la Gironde, n'a pas révélé de différences significatives entre les trois stations amont (Fig.5).
 Ces résultats diffèrent de ceux obtenus en 2006 lors d'une hypoxie prononcée sur le site bordelais, où la respiration était beaucoup plus prononcée à Bordeaux qu'en toute autre station de l'estuaire. Les conditions environnementales rencontrées en 2012, où les eaux sont relativement bien oxygénées en tous sites (taux de saturation en $\text{O}_2 > 70\%$), n'ont pas permis de différencier Bordeaux des autres stations.

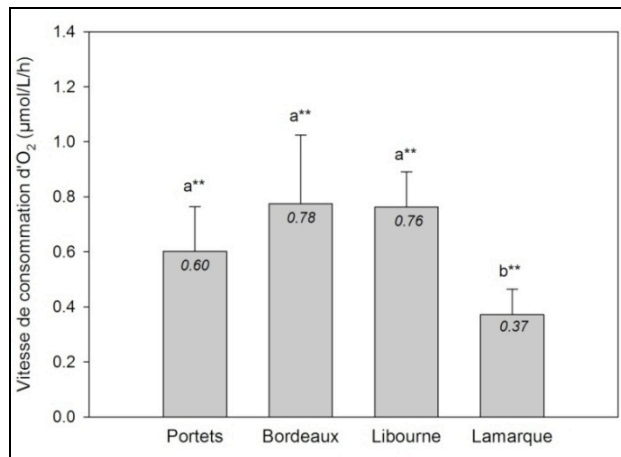


Figure 5 : Comparaison des consommations d'O₂ en fonction des stations. Les valeurs indiquées correspondent aux respirations moyennes et les barres aux écart-types. Les stations non reliées par la même lettre sont significativement différentes.

Action 3 : Impact des apports organiques des effluents sur l'oxygénation des eaux de la Gironde au niveau de la CUB et relations avec les apports organiques des effluents (Avancement 70%).

- Si les phénomènes d'hypoxie se produisent toujours à Bordeaux, il faut des débits faibles conjugués à une température élevée des eaux pour qu'ils apparaissent. Ces conditions correspondent à des périodes d'étiage estival. Toutefois, si on a affaire à un été pluvieux, ces phénomènes disparaissent.
- En étiage estival sévère, les phénomènes d'hypoxie sont alors prononcés et durent plusieurs heures par jour. Le fait qu'ils se déroulent dans les eaux de Bordeaux et de ses environs doit être directement relié à la présence en ces lieux d'effluents riches en charges organiques et en ammonium, consommateurs d'O₂ lors des processus de minéralisation et

de nitrification de ces effluents en Garonne estuarienne, processus maximaux autour des étales de basse mer.

Action 4 : Les comparaisons avec d'autres systèmes estuariens seront réalisées lors de l'année 3 (Avancement 0%).

Cette action est prévue de débuter en année 3.

Action 5 : L'étude du devenir des effluents organiques : utilisation des traceurs isotopiques et moléculaires (Avancement 30%).

- La caractérisation de chacun des pools de fraction organique particulaire présents dans les eaux estuariennes (anthropique, phytoplanctonique, pédologique, détritique litière) a été abordée par identification de leur composition isotopique ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) et élémentaire (C/N) du carbone et de l'azote (Fig.6). L'obtention des premières mesures laisse espérer que l'on puisse différencier la part de chacun de ces pools dans le matériel organique des MES de L'estuaire.

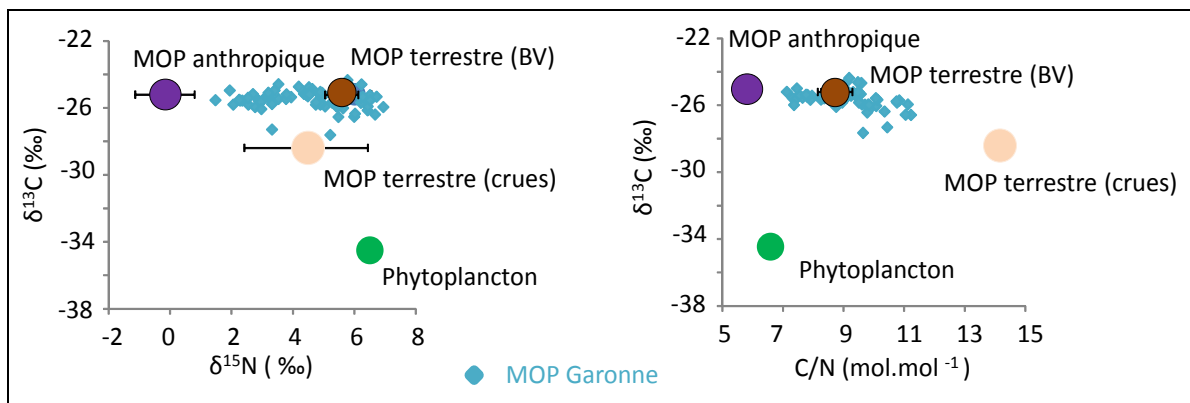


Figure 6 : Composition isotopique des différents pools de MO de l'estuaire.

Avis scientifique et préconisations

L'ensemble des actions sera poursuivi lors de l'année 3:

- Pour l'action 1, les efforts seront portés sur l'étude des effluents lors de temps de pluie, l'estimation de leurs flux, et les corrélations liants DBO et DCO mesurées par la Lyonnaise des Eaux et nos mesures ;
- Pour l'action 2, il sera procédé à la poursuite des manipulations d'incubation et de respiration pour affiner nos connaissances sur les processus de minéralisation et de nitrification des effluents et leur influence sur la respiration dans les eaux de la Garonne estuarienne;
- Pour l'action 3, il est prévu de hiérarchiser les facteurs forçants influençant l'oxygénation des eaux et d'établir un modèle statistique simple de l'oxygénation des eaux;
- Pour l'action 5, l'étude des isotopes du carbone et de l'azote doit permettre de suivre le devenir des effluents dans le milieu naturel des eaux de la Garonne et de la Gironde et de cerner l'intérêt de l'approche spectrofluorométrique sur la fraction organique dissoute des effluents de la CUB.

Références

- Abril G., Etcheber H.,** Le Hir P., Bassoullet P., Boutier B. & Frankignoulle M. (1999). Oxic/anoxic oscillations and organic carbon mineralization in an estuarine maximum turbidity zone (The Gironde, France). *Limnology and Oceanography*, 44: 1304-1315.
- Abril G.,** Riou S., **Etcheber H.,** Frankignoulle M., De Wit R. & Middelburg J.J. (2000). Transient, tidal time-scale Nitrogen transformations in an estuarine turbidity maximum-fluid mud system (The Gironde, France). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 50: 703-715.
- Abril G.,** Nogueira M., **Etcheber H.,** Cabeçadas G., Lemaire E. & Brogueira M.J. (2002). Behaviour of organic carbon in nine contrasting European estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54: 241-262.
- Etcheber H.,** Taillez A., **Abril G.,** Garnier J., Servais P., Moatar F. & Commarieu M.-V. (2007). Particulate organic carbon in the estuarine turbidity maxima of the Gironde, Loire and Seine estuaries: origin and lability. *Hydrobiologia*. 588: 245-259.
- Lemaire E., **Abril G.,** De Wit R. & **Etcheber H.** (2002). Phytoplankton pigments in nine European estuaries: implications for an estuarine typology. *Biogeochemistry*, 59: 5-23.
- Schäfer J., Blanc G., Lapaquellerie Y., Maillet N., **Maneux E. & Etcheber H.** (2002). Ten-years observation of the Gironde tributary fluvial system: fluxes of suspended matter, particulate organic carbon and cadmium. *Mar. Chem.*, 79 : 229-242.
- Servais P. and Garnier J. (2006). Organic carbon and bacterial heterotrophic activity in the maximum turbidity zone of the Seine estuary (France), *Aquat.Sci.*, 68: 78-85.
- Veyssy E, **Etcheber H.,** Lin R.G., Buat-Menard P. & **Maneux E.** (1999). Seasonal variation and origin of Particulate Organic Carbon in the lower Garonne River at La Reole (southwestern France). *Hydrobiologia*, 391: 113-126.

AXE 2



**Caractérisation et flux des contaminants organiques
(classiques et émergents)
dans les eaux de la Garonne estuarienne**

Avril 2011 – Mars 2012

Y.Aminot (Doctorant), H.Budzinski (CNRS), E.Parlanti (CNRS), K.Lemenach (Ingénieur)

Contexte scientifique et objectifs de l'étude

La Garonne estuarienne est un milieu sensible, réceptacle ultime drainant un bassin versant de 56 000 km². La contamination quasi-généralisée des eaux de surface par différentes familles de micropolluants organiques comme l'estuaire de la Seine (résultats du programme Seine-Aval) ainsi que le peu de données existantes sur l'estuaire de la Gironde justifie la nécessité de documenter la contamination de la Garonne estuarienne. Il s'agit, selon les 5 actions définies dans cet axe, de :

- Action 1 : déterminer les contaminants organiques dans les effluents de la CUB arrivant en Garonne
- Action 2 : étudier le comportement de ces composés dans le bouchon vaseux
- Action 3 : comprendre les flux échangés et les approcher par échantillonnage passif
- Action 4 : comprendre les particularités du système estuarien girondin par comparaison avec d'autres systèmes estuariens
- Action 5 : étudier le transfert vers les organismes et approcher le risque écotoxicologique.

A noter que l'étude sera approfondie pour les contaminants émergents étudiés dans le cadre d'un travail de thèse et que les autres contaminants feront l'objet d'un suivi moins fin.

Principaux résultats

Action 1 :

Stratégie d'échantillonnage : le prélèvement en STEP initié l'année 1 s'est achevé année 2. Les prélèvements moyennés 24H d'autosurveillance des STEP ont été récupérés pendant 3 jours consécutifs (lundi, mardi et mercredi) en début de chaque mois de février 2011 à janvier 2012 dans les 2 stations d'épuration Clos de Hilde et Louis Fargue afin de caractériser l'effluent d'entrée et l'effluent de sortie générale (total de 167 échantillons) suivant le protocole mis au point dans le programme national Amperes [1]. L'intégralité des échantillons a été analysée par le protocole à 53 médicaments (dans le cadre de la thèse de Yann Aminot). Les HAP, PCB-PBDE, OCP, phtalates, BTEX, ETBE-MTBE, hormones et alkylphénols ont fait l'objet d'une étude sur un jeu réduit de 20 échantillons. L'analyse des pesticides a été réalisée sur Clos de Hilde pour l'intégralité des campagnes.

Résultats médicaments : 48 des 53 médicaments analysés sont détectés au moins une fois sur l'ensemble des échantillons alors que 30 médicaments le sont systématiquement. La gamme complète des concentrations rencontrées en entrée de STEP est représentée figure 1. Ces concentrations sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans le cadre du projet Amperes pour les 27 molécules communes [2].

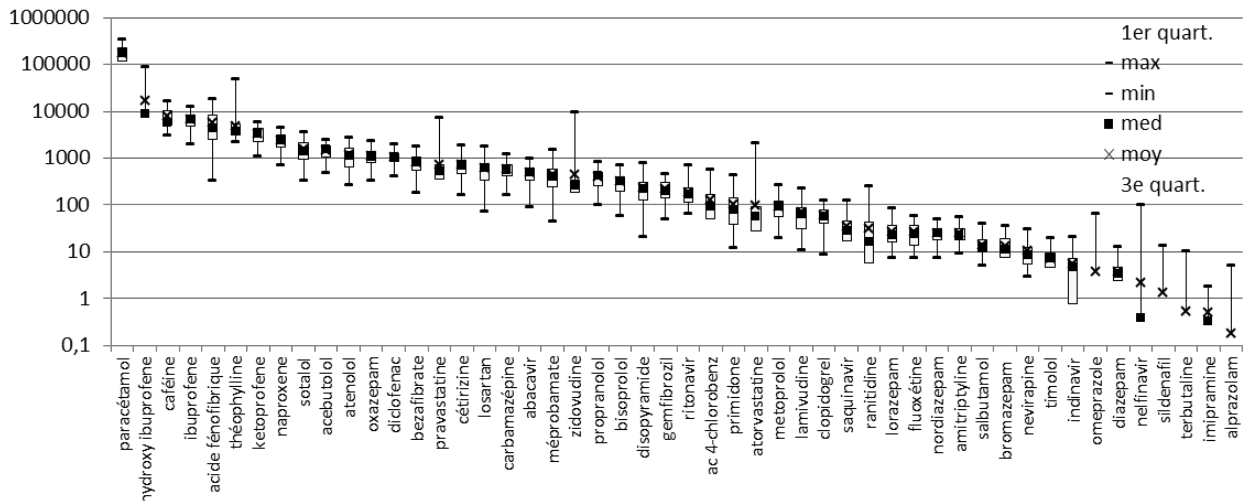


Figure 1 : diagramme en boîte représentant l'étendue des concentrations mesurées en entrée des stations d'épuration CH et LF (n=66). Les concentrations sont données en ng/L.

Le calcul des abattements, basé sur les flux, sera abordé en année 3. Un calcul préliminaire permet d'ores et déjà de qualifier des comportements hétérogènes lors du traitement : le paracétamol est éliminé de la phase dissoute à plus de 99 % ± 1, l'ibuprofène à hauteur de 89 % ± 3 tandis que la carbamazépine et l'oxazepam sont respectivement éliminés à 12 % ± 11 et 3 % ± 18 (valeurs moyennes obtenues à CH tous échantillons confondus).

L'étude de la variation des concentrations au cours de l'année en entrée de station d'épuration ne met pas en évidence une tendance saisonnière (figure 2). En revanche, les jours affectés par un temps de pluie, repérés par une flèche sur la figure 2 montrent une diminution des concentrations relevées.

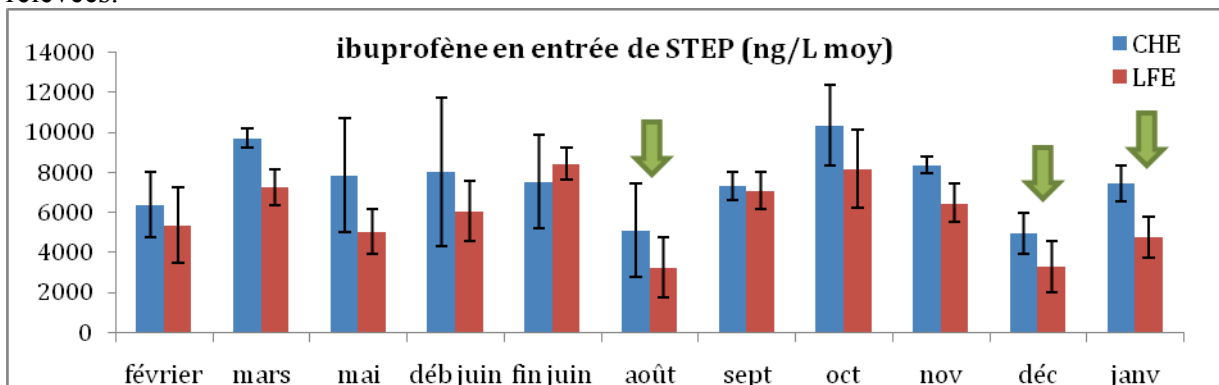


Figure 2 : concentrations moyennes (n=3) relevées en ibuprofène en entrée de la station CH et LF. Chaque mois est décrit par la moyenne des 3 jours de prélèvement effectués.

Résultats pesticides : Les pesticides sont analysés selon deux protocoles : l'un multi-résidus (49 molécules) et un second spécifique à l'analyse du fipronil et de 3 de ses métabolites. 9 pesticides sont détectés dans les effluents urbains avant et après traitement (Figure 3 a.). Les concentrations relevées n'indiquent pas une disparition au cours de l'épuration et témoignent d'une persistance de ces molécules. Le fipronil et deux de ses métabolites sont également détectés et présentent le même comportement.

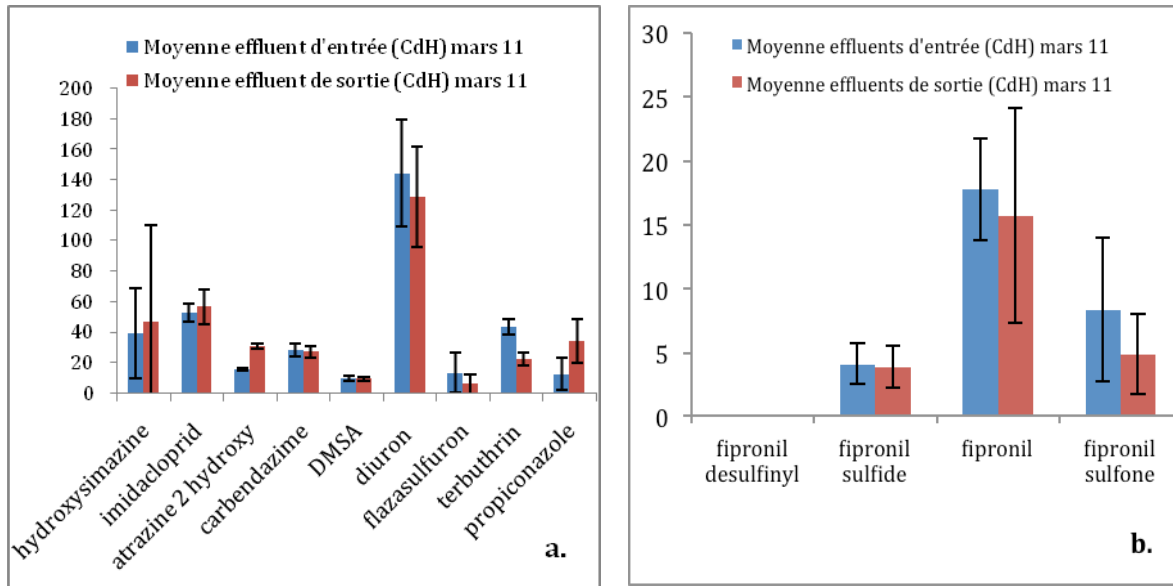


Figure 3 : concentrations moyennes (ng/L) (n=3) relevées en mars 2011 en entrée et sortie de la station Clos de Hilde pour les pesticides détectés (a.) et pour le fipronil et ses métabolites (b.). Le fipronil desulfinyl n'a pas été détecté (limite de détection 2 ng/L).

Résultats sur les autres classes :

Les HAP, PCB-PBDE, OCP, phtalates, BTEX, ETBE-MTBE, hormones et alkylphénols sont présentés en annexe 2.

Pour ces classes de composés on note un abatement significatif entre les concentrations relevées en entrée et celles caractérisées en sortie de STEP. En ce qui concerne les composés les plus hydrophobes comme les PCB et les HAP ou encore certains alkylphénols (OP, NP, NP1EO), ils sont principalement présents en phase particulaire.

De façon tout à fait habituelle on note des concentrations assez élevées en NP1EC dans les effluents de sortie des deux STEP. Ce composé est produit lors de la dégradation des alkylphénols-polyéthoxylates dans le cas des traitements par boue activées ou par biofiltres (dégradation aérobie).

Les teneurs observées en sortie sont dans la gamme des concentrations obtenues dans le cadre de l'ANR AMPERE voire inférieures permettant de conclure que les deux stations étudiées sont tout à fait comparables aux stations d'épuration similaires sur le territoire français et caractérisées par des concentrations en micropolluants que l'on peut qualifier de « classiques » comparable à ce que l'on retrouve habituelle pour des STEP urbaines à traitements biologiques secondaires.

Action 2 :

La Figure 4 présente une étude préliminaire sur la conservativité comparée de deux traceurs moléculaires. On calcule à partir des concentrations relevées dans le milieu le 8 mars 2012 la somme des flux amont, STEP et Dordogne que l'on compare au flux mesuré à Pauillac, compte tenu de la dilution due à l'intrusion saline. Bien que les calculs ne tiennent pas compte des temps de séjour dans l'estuaire amont, on constate une différence de comportement entre l'oxazepam et l'abacavir puisque seuls 31% des apports en abacavir sont mesurés à Pauillac contre 76% pour l'oxazepam. Cela traduit soit une spéciation entre phase dissoute et phase particulaire soit une transformation des molécules dans le réacteur naturel de la Garonne estuarienne.

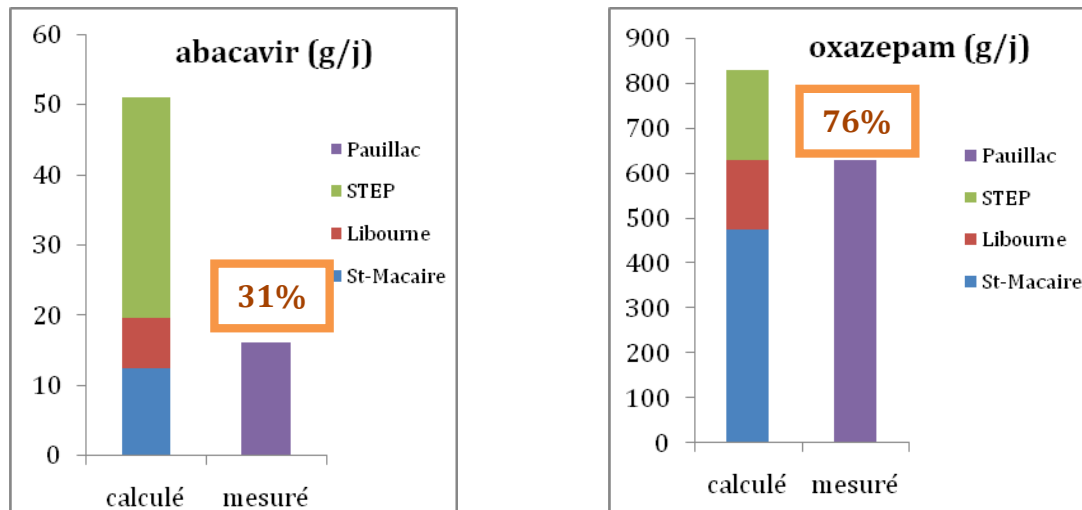


Figure 4 : comparaison des flux calculés et mesurés en abacavir et oxazepam sur les concentrations relevées le 8 mars 2012.

A la lumière de ces résultats préliminaires, l'action 2 va faire l'objet d'expérimentations en laboratoire pour évaluer la dégradabilité des composés d'intérêt dans des conditions de concentrations en particules croissantes. Ces travaux se dérouleront en année 3.

Action 3 :

Stratégie d'échantillonnage : le suivi dans le milieu s'appuie sur un double échantillonnage : intégratif par échantillonneurs passifs de type POCIS et par prélèvement ponctuel. Toutes les 4 semaines depuis juillet 2011 sont prélevés 1L d'eau à Pauillac, Libourne, Bordeaux, Bègles, Cadaujac et Saint-Macaire tandis que des POCIS y sont immergés en continu. L'étude des flux amont fera l'objet d'un échantillonnage spécifique couplant prélèvement ponctuel à fréquence élevée et suivi par POCIS en année 3 afin de qualifier l'apport des fleuves en amont de la marée.

Résultats médicaments : l'interprétation totale des résultats de ce suivi, qui nécessite l'exploitation des résultats de différentes calibrations POCIS également menées en année 2, sera réalisée en année 3.

Préalablement, ces échantillonneurs passifs ont été déployés dans le cadre du suivi des rejets d'eaux brutes en avril 2011. Le rapport complet, en annexe 4 de ce rapport, démontre la faculté des POCIS à séquestrer les contaminants organiques et à tracer le rejet des eaux brutes.

Résultats fipronil : Les POCIS ont également été appliqués à la détection du fipronil en Garonne. En effet, avec une vingtaine de nanogramme par litre rejetés par les stations CH et LF, le taux de dilution moyen en 2011 de 320 fois des STEP vers la Garonne ne permet pas de détecter le fipronil après rejet dans le milieu par échantillonnage ponctuel. La Figure 5 montre que le fipronil et ses métabolites peuvent en revanche être détectés en Garonne grâce à l'échantillonnage intégratif par POCIS aux points suivis. La détection à ces concentrations présente par ailleurs un intérêt écotoxicologique puisque la PNEC de référence (Predicted Non Effect Concentration – ou plus forte concentration estimée de la substance sans risque pour l'environnement) du fipronil est de 0,77 ng/L (symbolisée par la ligne rouge sur la Figure 5) [3].

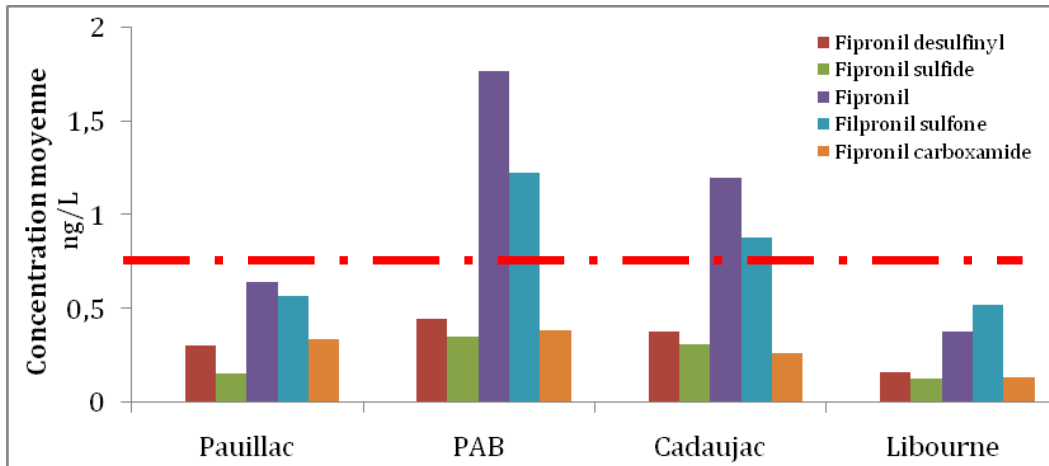


Figure 5 : concentrations (ng/L) en fipronil et métabolites relevées par POCIS du 9 mai au 14 juin 2011. La ligne rouge symbolise la PNEC de référence du fipronil (0,77 ng/L).

Avis scientifiques et préconisations

48 des 53 médicaments suivis ont été détectés au moins une fois en sortie de STEP, à des concentrations pouvant dépasser 1000 ng/L. D'autre part, les concentrations mesurées sur les 9 pesticides d'origine urbaine sont équivalentes en entrée et en sortie. Les traitements secondaires biologiques par biofiltration et boues activées sont donc insuffisants pour l'épuration des micropolluants organiques des effluents. La réduction à la source (diminution de la consommation), l'optimisation des traitements existants en STEP ou la mise en place de procédés tertiaires pourrait contribuer à la diminution des concentrations relevées dans les effluents finaux. Pour certains médicaments (paracétamol, ibuprofène) les concentrations des effluents d'entrée sont bien supérieures aux concentrations de sortie de STEP. Ainsi, lors de l'épisode de rejets d'eaux brutes consécutif à l'arrêt de la station Louis Fargue, les concentrations en paracétamol relevées dans le milieu en rive gauche, à basse mer, ont été multipliées par 2,5. Le rejet d'une eau insuffisamment traitée en Garonne impacte donc directement le milieu. En temps de pluie, le stockage des eaux usées en vue d'un traitement en STEP est à privilégier. La retenue des eaux usées dans le réseau pourrait par ailleurs favoriser une dégradation en amont des stations d'épuration elles-mêmes.

Références

- [1] Coquery M., Pomies M., Martin-Ruel S., Budzinski H., Miège C., Esperanza M., Soulier C., Choubert J.-M., 2011. Mesurer les micropolluants dans les eaux usées brutes et traitées. Protocoles et résultats pour l'analyse des concentrations et des flux. Techniques Sciences Méthodes n°1/2, pages 25-43.
- [2] Soulier C., Gabet V., Lardy S., LeMenach K., Pardon P., Esperanza M., Miège C., Choubert J.-M., Martin S., Bruchet A., Coquery M., Budzinski H., 2011. Zoom sur les substances pharmaceutiques : présence, partition, devenir en station d'épuration. Techniques Sciences Méthodes n°1/2, pages 63-77.
- [3] AGRITOX - Base de données sur les substances actives phytopharmaceutiques – substance fipronil. Mise à jour 06/07/2005

AXE 3



Etude des apports métalliques dans les eaux de la section garonnaise de l'estuaire de la Gironde

Avril 2011 – Mars 2012

G. Blanc (Pr), A. Coynel (MdC), J. Schäfer (Pr), C. Bossy (Ing.), L. Dutruch (Ing.), N. Deycard (doctorante), L. Lanceleur (post-doc), L. Bethke (M2), X. Zhao (M2)

Rappel des objectifs de l'étude

La question centrale à traiter dans le cadre de cette étude est :

Quelle est la proportion des apports locaux par rapport aux autres apports naturels et anthropiques ?

Pour apporter des éléments de réponse quantitatifs à cette question, il faut être capable de faire un bilan quantitatif et qualitatif des entrées et des sorties des métaux transportées en phases dissoutes et particulaires dans cette zone. Pour cela l'Axe 3 du projet ETIAGE est découpé en 7 actions interconnectées dont les intitulés et les pourcentages d'avancement (AV) sont listés ci-dessous:

Action 1 : *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. (AV = 70%)*

Action 2 : *Quantification des entrées atmosphériques en dépôts secs et dépôts humides (AV = 15%)*

Action 3 : *Quantification des sorties de la CUB, concernant essentiellement les apports à l'estuaire à l'exutoire des bassins versants de Bordeaux et au niveau des points de rejets du réseau d'assainissement. (AV = 30%)*

Action 4 : *Cartographie et analyse spatiale par Système d'Information Géographique (SIG) des sources et de la redistribution urbaine des ETM dans les poussières, sédiments de route et sols urbains. (AV = 20%)*

Action 5 : *Qualification des apports liés aux activités industrielles, hospitalières et urbaines. (AV = 30%)*

Action 6 : *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. (AV = 30%)*

Action 7 : *Enregistrement historique de l'activité urbaine dans les sédiments lacustres de Bordeaux. (AV = 40%)*

Ce rapport d'année 2 présente des résultats concernant plus particulièrement les thèmes 1, 3, et 5.

Action 1 : 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. (AV = 70%)

Les recherches en biogéochimie sur l'écosystème estuarien de la Gironde sont motivées socialement par la persistance d'une pollution polymétallique affectant un réel potentiel économique conchylicole. Les concentrations en Cd des huîtres girondines sont à l'origine du classement en « zone D » de l'estuaire, qui aujourd'hui empêche d'envisager un développement économique girondin basé sur la conchyliculture.

1- Ainsi au cours de la deuxième année du projet ETIAGE, les mesures à haute résolution temporelle sur notre site d'observation permanent à La Réole ont été acquises pour enregistrer précisément les concentrations en MES et en concentrations d'Eléments Traces Métalliques (ETM) dont le cadmium (Cd) dissous et particulaire entrant dans l'estuaire de la Gironde via la Garonne (Figure 1).

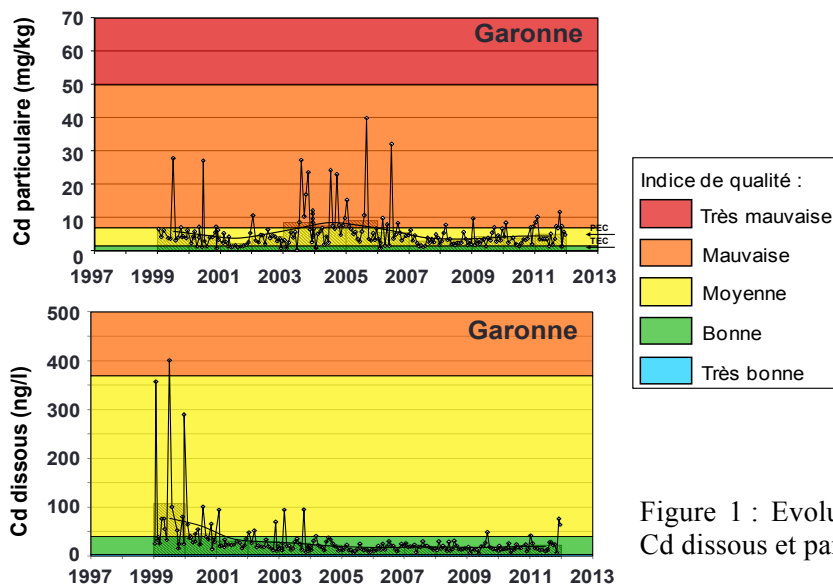


Figure 1 : Evolution temporelle des concentrations en Cd dissous et particulaire à la Réole.

Résultat : Ces données montrent que la qualité de la masse d'eau entrant à La Réole dans l'estuaire de la Gironde reste moyenne malgré le plan de remédiation entrepris en 2007 sur le site de Decazeville principale source de Cd du bassin versant garonnais.

2- Les données de concentrations de métaux particuliers, acquises sur les sédiments transportés en aval des 54 petits bassins versants alimentant directement l'estuaire de la Gironde ont permis de calculer un facteur d'enrichissement en métaux par rapport au bruit de fond géochimique régional du bassin garonnais que nous avons déterminé dans les sédiments de la vasière ouest Gironde (Figure 2).

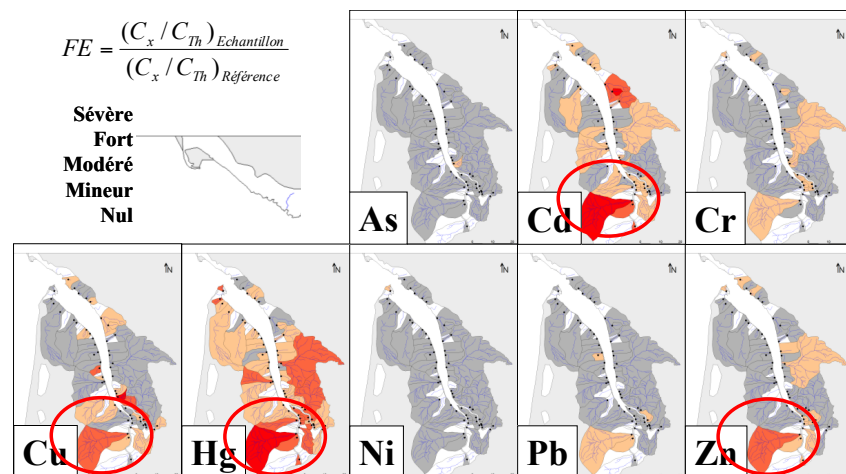


Figure 2 : Cartographie des facteurs d'enrichissement métalliques pour les bassins versants en rives droite et gauche de la Gironde

Résultat : Les cartographies présentées sous SIG montrent que la majorité des bassins versants girondins ont des facteurs d'enrichissement nul à mineur. Toutefois, le bassin versant urbanisé de la Jalle de Blanquefort présente des enrichissements modérés pour Cu et Zn et forts pour Cd et Hg.

3- La caractérisation précise de l'impact du milieu urbain nécessite une bonne connaissance de la qualité initiale de ces cours d'eau. Ainsi, la potamochimie des métaux de la Jalle de Blanquefort, du Peugue et de l'Eau Bourde a été déterminée dans la partie amont du bassin versant de Bordeaux (Thème 1, Figures 3A et 3B) et également dans la partie aval des principaux tributaires de la Garonne traversant l'agglomération Bordelaise (Thème 3). Ces résultats de la qualité des eaux pour les métaux dissous et particuliers font l'objet d'un rapport de Master 2 (Xin Zhao ; juillet 2011).

Résultat : Les concentrations respectivement en Cu, Zn, As et Cd dissous et particulaire (Figures 3A et 3B) dans les têtes de bassin de la Jalle, du Peugue et l'Eau Bourde présentent de larges gammes de valeurs dont les plus fortes valeurs (dissous et particulaire : Cu = 4 µg/L et 300 mg/kg ; Zn = 50 µg/L et 2000 mg/kg ; As = 1,5 µg/L et 50 mg/kg, Cd = 35 ng/L et 4 mg/kg) sont supérieures aux valeurs mondiales de rivières peu anthropisées (dissous et particulaire : Cu = 0,6 µg/L et 76 mg/kg ; Zn = 0,5 µg/L et 208 mg/kg ; As = 0,5 µg/L et 35 mg/kg, Cd = 10 ng/L et 1,5 mg/kg ; (Gaillardet et al., 2001, Viers et al., 2009)). Ces valeurs moyennes sont aussi globalement supérieures ou comparables pour As dissous et Cd particulaire à celles mesurées en 2011 à La Réole, qui est le site de référence permettant de quantifier les apports du bassin versant de la Garonne à l'estuaire de la Gironde. Les valeurs à La Réole sont en dissous et particulaire : Cu = 0,73 µg/L et 74 mg/kg ; Zn = 2,17 µg/L et 736 mg/kg ; As = 2,1 µg/L et 30 mg/kg, Cd = 26 ng/L et 5,15 mg/kg. Ces résultats indiquent que les eaux des têtes des bassins versants de Bordeaux subissent des apports anthropiques de métaux et ne peuvent pas être considérés comme un bruit de fond géochimique anté-urbain.

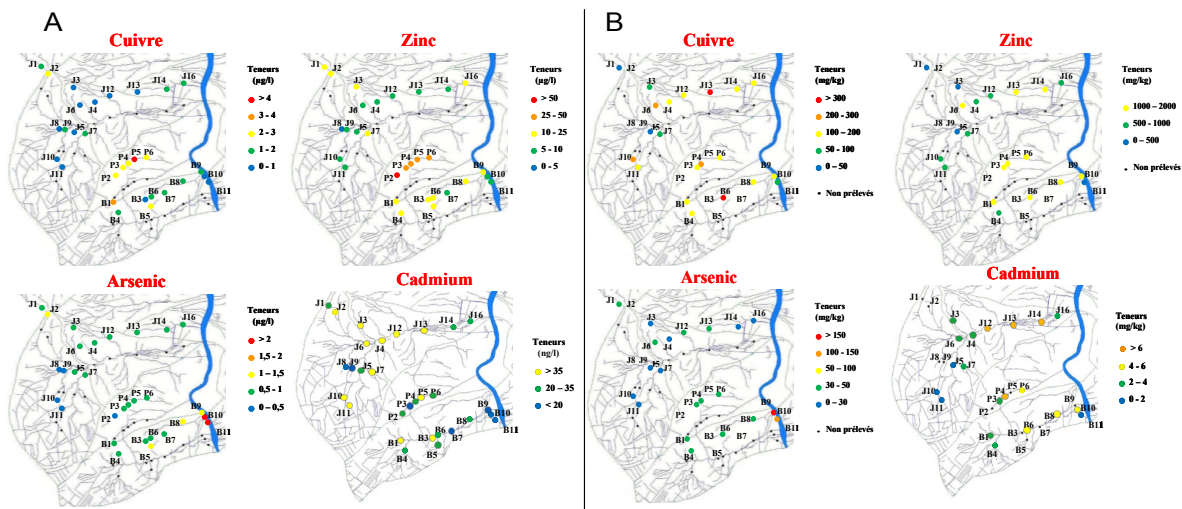


Figure 3A : Cartographie des concentrations en Cu, Zn, et As dissous en µg/L et ng/L pour Cd dissous. Les valeurs des zones amont du thème 1 sont acquises aux points de prélèvement J1, J2, J10, J11, P2, P3, B1 et B4.

Figure 3B : Cartographie des concentrations en Cu, Zn, As et Cd particulaires en mg/kg. Les valeurs des zones amont du thème 1 sont acquises aux points de prélèvement J1, J2, J10, J11, P2, P3, B1 et B4.

Action 3 : Quantification des sorties de la CUB, concernant essentiellement les apports à l'estuaire à l'exutoire des bassins versants de Bordeaux et au niveau des rejets du réseau d'assainissement. (AV = 30%)

Ce thème est essentiellement traité dans le cadre de la thèse de Nicole Deycard (début 01.04.2011), dont l'aspect bilan global est fondamental de part le caractère indestructible des métaux (Figure 4) Le plan de travail de Nicole Deycard est résumé sur la Figure 5.

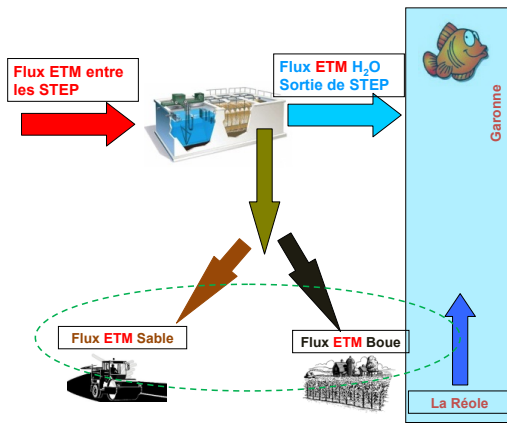


Figure 4 : Schéma synthétique du bilan des flux d'ETM transitant par les stations d'épuration.

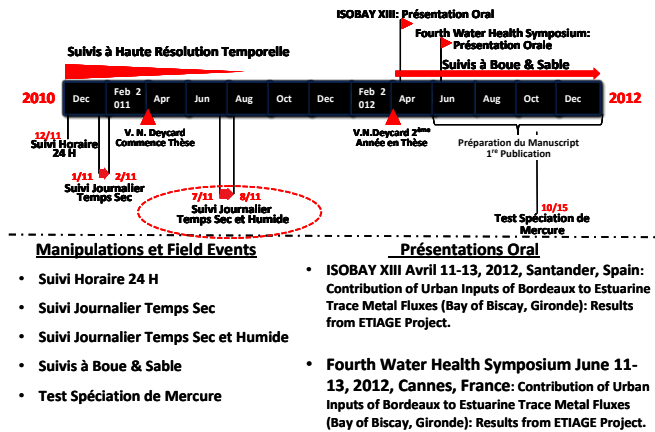


Figure 5 : Résumé des activités de Nicole D. en 2011-2012.

Dans la figure 6 est présenté un bilan des flux entrant dans les stations de Louis Fargue et Clos de Hilde qui représenteraient environ 70% des eaux traitées de Bordeaux. Ce bilan se base sur une période d'observation de juillet-août 2011 incluant des épisodes d'orages estivaux en période d'étiage. Le but de ce travail était de démontrer l'impact des épisodes pluvieux sur les transferts de métaux vers les stations d'épuration.

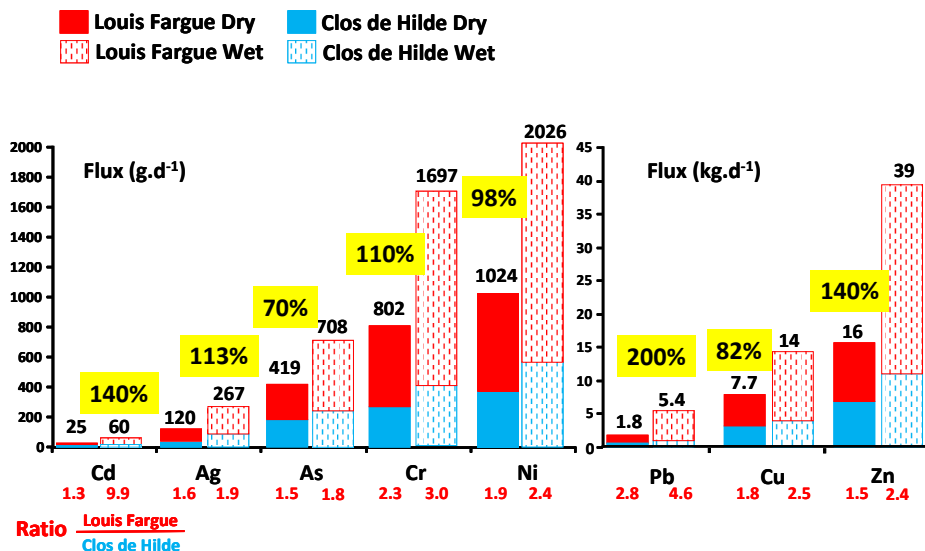


Figure 6 : Diagramme des flux totaux de Cd, Ag, As, Cr, Ni, Pb, Cu et Zn arrivant à Louis Fargue et Clos de Hilde chaque jour par temps sec (DRY), soit pluie < 1mm/j (couleurs pleines), et par temps humide (WET), soit pluie > 1mm/j (couleurs pointillées).

Résultat : Les valeurs des flux métalliques journaliers arrivant aux STEP sont comprises entre quelques centaines de grammes pour Cd à quelques dizaines de kilogrammes pour Zn. Une pluviométrie sur Bordeaux supérieure à 1mm/j augmente les flux métalliques journaliers entrants dans les stations d'épuration d'une proportion spécifique à chaque élément, ici classé par ordre croissant As, Cu, Ni, Cr, Ag, Zn, Cd, et Pb. Ces proportions sont comprises entre 70% et 200% par rapport aux flux déterminés en période sèche (<1mm/j). Les rapports de flux (en rouge sous la figure 6) sont toujours supérieurs à 1 et augmentent fortement en période de pluie. Ce résultat témoigne des apports métalliques importants dans le réseau non unitaires de Louis Fargue.

Action 5 : Qualification des apports liés aux activités industrielles, hospitalières et urbaines. (AV = 30%)

Pour localiser des sources métalliques spécifiques de la CUB, notre première approche consiste à mesurer les concentrations métalliques dans les principaux tributaires drainant les sols de Bordeaux. Ces concentrations en Zn, Cd, Cu et As dissous et particulaires ont été reportées sur la carte des figures 3A et 3B.

Résultat : Cette cartographie montre une augmentation des valeurs de concentrations vers l'aval témoignant des apports ponctuels de la ville. On notera notamment une forte augmentation en As dissous et particulaire dans la zone aval de l'Eau Bourde. Des fortes concentrations en Cu dissous sur le Peugue et en Cu particulaire sur l'eau Bourde et la Jalle sont aussi enregistrées. Les concentrations en Cd restent fortes en aval de la Jalle, alors qu'elles atteignent des valeurs plus faibles en aval de l'Eau Bourde.

L'identification précise des sources nécessitera d'une part l'acquisition de nouvelles données centrées sur les anomalies mises en évidence et d'autre part la possibilité d'échantillonner dans la partie couverte du Peugue, au niveau des émissaires des déversoirs d'orage et d'émissaires spécifiques tels que hôpitaux et industries. Cet échantillonnage ne pourra se faire que par l'intermédiaire des services de la Lyonnaise et de la CUB.

Pour comparer statistiquement, les trois bassins versants, les moyennes, les médianes et les déciles ont été comparés aux valeurs de concentrations moyennes mondiales et de la Garonne (Figure 7).

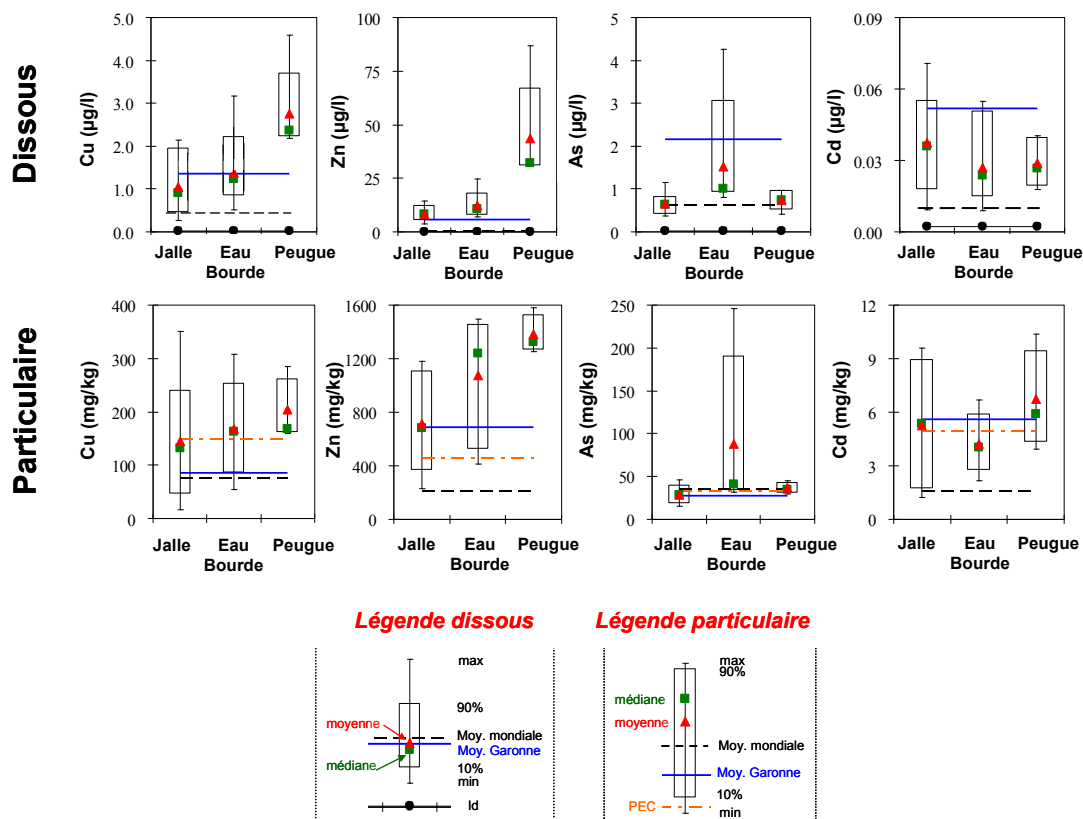


Figure 7 : Diagrammes statistiques des concentrations moyennes, médianes et déciles en Cu, Zn, As, Cd dissous et particulaires pour La Jalle, l'Eau Bourde et le Peugue. Les traits bleu plein, noir et orange pointillés représentent respectivement, les moyennes de la Garonne et moyenne mondiale, et le PEC pour le particulaire (valeurs en dessus de laquelle une atteinte biologique existe).

Résultat : *Ces données montrent que statistiquement les concentrations dans les trois tributaires sont comparables ou au-dessus des valeurs enregistrées en Garonne. Le Peugue semble le plus pollué en Cu, Zn et de façon moindre en Cd. L'Eau Bourde se distingue par ses fortes valeurs en As. La Jalle présente les plus fortes valeurs en Cd. Ces résultats montrent que les eaux arrivant en Garonne via les tributaires de Bordeaux non traitées en stations d'épuration, contribuent à soutenir la pollution métallique dans l'estuaire de la Gironde. La dépollution progressive de l'estuaire en métaux passe par la reconnaissance et la réduction des sources ponctuelles et chroniques. Pour quantifier l'impact de ces sources en terme de flux vers l'estuaire, il sera nécessaire d'envisager au moins sur la Jalle de Blanquefort, un suivi au moins sur une année dans les mêmes conditions que le suivi à La Réole.*

AXE 4



Approche de l'impact des conditions physico-chimiques affectant la masse d'eau estuarienne garonnaise sur les cortèges biologiques

Avril 2011 – Mars 2012

Contexte scientifique et objectifs de l'étude

Considéré comme le plus grand estuaire macrotidal ouest européen, avec ses 635 km² de surface à marée haute et une influence s'exerçant jusqu'à plus de 150 km de la mer, l'estuaire de la Gironde fait partie de ces systèmes d'interface à fortes productivités et fonctionnalités biologiques. Malgré les contraintes qu'y exerce la marée (fort courant, fortes variations de salinité, de turbidité et donc de pénétration de la lumière) et l'importance des activités qui l'affecte (activités et aménagements portuaires, dragages, rejets massifs, pompes nucléaires et industriels, pêche commerciale et de loisir...), sa dimension et sa diversité lui ont permis de conserver encore tout son cortège de poissons migrateurs et d'abriter un certain nombre d'espèces marines (rôle de nurserie ou de zone de reproduction) ou estuariennes.

Mais cette richesse et cette diversité d'espèces présentes s'amenuisent régulièrement sous l'effet d'une surexploitation de certaines espèces, de l'altération de leurs habitats et de la dégradation de la qualité des eaux, dans un contexte global changeant, modifiant les équilibres antérieurs, malgré les efforts conduits depuis des décennies pour réduire les rejets et les impacts.

Deux problèmes majeurs menacent en particulier la qualité biologique de ce système estuarien, notamment dans sa partie amont, la plus étroite et la plus artificialisée, où se concentrent les apports du bassin amont et ceux des activités urbaines et industrielles locales :

- la toxicité du milieu liée à la présence d'un certain nombre de contaminants (notamment organiques, polymétalliques et d'origine médicamenteuse) assimilés par les organismes,
- la sous-oxygénation combinée à l'échauffement des eaux, particulièrement sensibles en période estivale lors d'épisodes pluvieux dans des contextes tidaux favorisant la stagnation des eaux, pouvant provoquer des situations ou des crises hypoxiques, voire anoxiques, défavorables à la survie ou au maintien des espèces locales comme au déplacement des espèces migratrices, contraintes d'emprunter ce corridor

La problématique centrale de cet axe peut donc être résumée comme suit :

- **le fonctionnement particulier de cette zone estuarienne affecte-t-il les cortèges biologiques ?**
- **quelles sont les conséquences des apports de polluants et des déficits d'oxygénation sur la présence, le niveau de contamination, l'état de santé et les migrations des espèces ?**

La réponse à ces questions nécessite de conduire un diagnostic assez large sur les différents compartiments biologiques présents, de la fraction planctonique, benthique, et des poissons, par des inventaires et des analyses, faisant intervenir différentes compétences de biologistes, de pathologistes et d'écotoxicologues, par de l'observation et de l'expérimentation. Elle devrait permettre une première appréciation des impacts des conditions et des événements subis par cette zone sur le fonctionnement des communautés estuariennes. Par ailleurs, les résultats de ces observations permettront de mesurer l'écart existant entre la situation actuelle et la situation de bon état écologique exigée par la Directive Cadre européenne sur l'Eau.

Action 1 : 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.

Mario Lepage (IR), Julien Dublon (IE)

CONTEXTE SCIENTIFIQUE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'étude du peuplement de poisson de la partie fluviale soumise à marée de l'estuaire a été longtemps délaissée par les biologistes fluviaux qui voyaient une contrainte à travailler dans un milieu hautement instable avec un fort marnage et par les biologiste marin qui évitaient de se frotter à des espèces d'eau douce beaucoup moins connues de ces derniers. Il est donc nécessaire d'acquérir les connaissances de base sur le peuplement de poisson par des inventaires dans la masse d'eau soumise à des hypoxies ponctuelles mais également à titre de comparaison sur une masse d'eau similaire, la Dordogne, pour laquelle ces évènements hypoxiques sont absents ou presque.

PRINCIPAUX RESULTATS

Quatre campagnes de pêche menées en été et à l'automne 2011 afin de compléter les échantillonnages réalisés en 2010. Ces campagnes se sont déroulées en juin, juillet, août et novembre 2011 pour inclure la période potentielle d'hypoxie et des périodes normoxiques. Deux engins de pêche ont été utilisés (Figure 6 et Figure 7) afin de prospecter d'une part les berges et d'autre part le chenal et les zones plus profondes du lit du fleuve.



Figure 6 : Verveux jumeaux utilisé pour l'échantillonnage sur les berges

Les résultats de pêche sont globalement décevants en terme de richesse spécifique et en terme d'abondance et ce, particulièrement pour les pêches au chalut et particulièrement en Garonne (Tableau 1). C'est en juillet que les captures sont les plus faibles alors que juin et août ont des résultats équivalents (Figure 8). Les variations de l'oxygène dissous au moment des campagnes de pêche, relevées par les stations du réseau MAGEST, ne permettent cependant pas d'expliquer les captures réalisées (Figure 9, Figure 10, Figure 12) bien qu'il soit vraisemblable que les teneurs en oxygène dissous soient plus faible au fond que les mesures enregistrées en sub-surface par les stations. En novembre 2011, la station Magest de Bordeaux était hors service pendant la campagne mais les mesures ponctuelles d'oxygène nous ont donné un valeur moyenne de 6,3 mg/L au fond, ce qui est normalement bien suffisant pour les poissons à une température de 14°C environ.

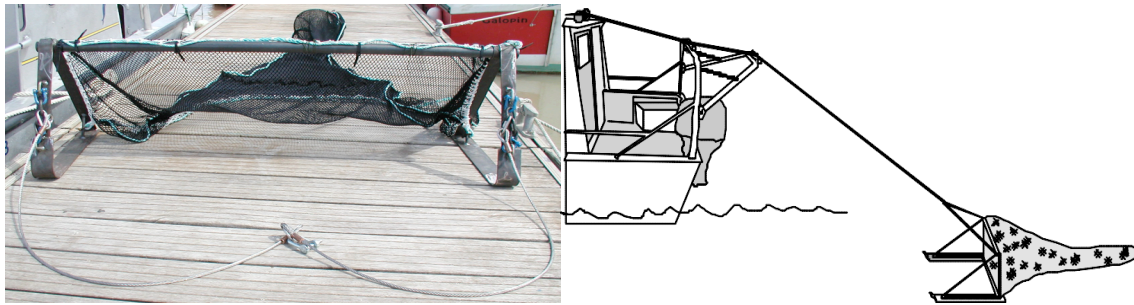


Figure 7 : Petit chalut à perche et mode d'utilisation du chalut sur le fond

A titre de comparaison, nous présentons les richesses spécifiques et les captures par unité d'effort (CPUE) dans les estuaires de la Loire et de la Seine dans la partie fluviale tidale (Figure 11). On remarque que la richesse spécifique de la Garonne passe de 16 espèces en Loire en 2007 à 11 espèces en Seine, 11 espèces en Garonne en 2010 et 9 espèces en Garonne en 2011. La Loire, qui ne présente jamais d'épisodes hypoxiques dans sa partie amont, a la plus forte richesse spécifique alors que la Seine et la Garonne qui ont occasionnellement des hypoxies légèrement en aval de Rouen et au niveau de Bordeaux ont des richesses spécifiques moindre. Pour autant, il est difficile de conclure à un effet de l'hypoxie dans le cas présent car les conditions au moment des pêches étaient acceptables. Cela soulève toutefois la question d'un impact à plus long terme de certains épisodes hypoxiques et de la fréquence de ces évènements sur la résilience du peuplement de poisson.

Tableau 1 : Liste des espèces capturées au chalut et au verveux en Garonne et en Dordogne en 2011 et nombre d'individus capturés par espèce pour chaque engin de pêche

Poissons			
Jun	espece	Garonne	Dordogne
chalut	<i>Alburnus alburnus</i>	0	1
	<i>Anguilla anguilla</i>	3	3
	<i>Barbus barbus</i>	0	1
	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	1	0
	<i>Liza ramada</i>	0	1
	<i>Pomatochistus microps</i>	30	183
	<i>Sander lucioperca</i>	0	1
	total	34	190
	NB espèces	3	6
Verveux	<i>Alosa sp</i>	0	2
	<i>Anguilla anguilla</i>	32	5
	<i>Cyprinus carpio</i>	1	1
	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	4	1
	<i>Perca fluviatilis</i>	0	1
	<i>Platichthys flesus</i>	2	1
	<i>Pomatochistus microps</i>	174	55
	<i>Sander lucioperca</i>	5	1
	<i>Silurus glanus</i>	5	1
total	223	68	
	NB espèces	7	9

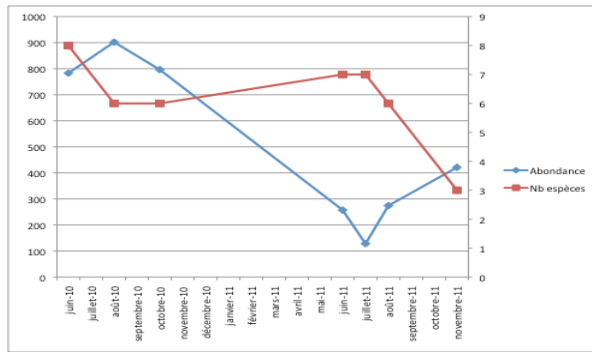


Figure 8 : Evolution des abondances et du nombre d'espèces dans les campagnes d'échantillonnage entre juin 2010 et novembre 2011 en Garonne

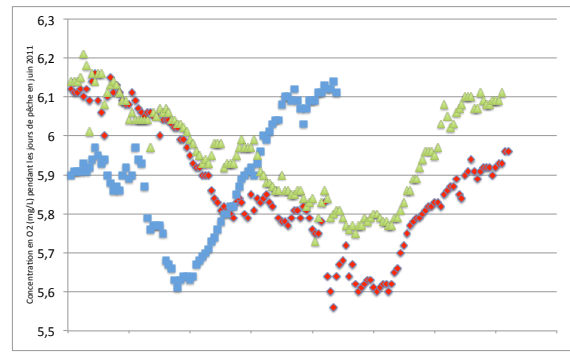


Figure 9 : Variation de l'oxygène dissous à Bordeaux lors des pêches de juin 2011

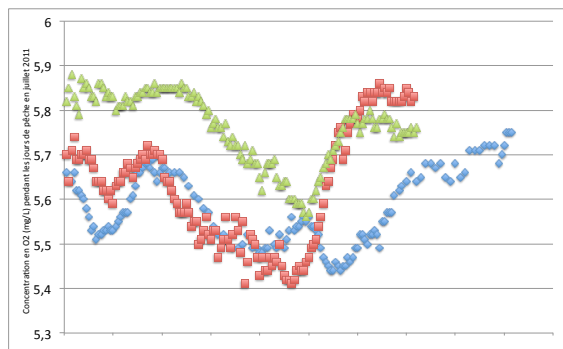


Figure 10 : Variation de l'oxygène dissous à Bordeaux lors des pêches de juillet 2011

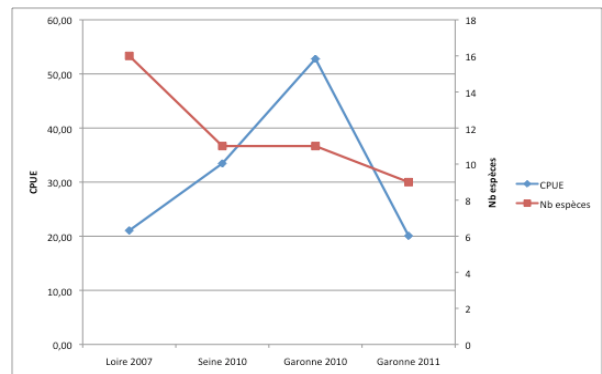


Figure 11 : Comparatif du nombre d'espèces et des captures par unité d'effort en Loire, en Seine et en Garonne

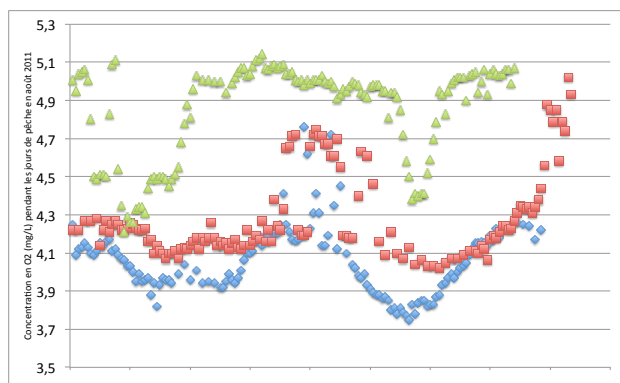


Figure 12 : Variation de l'oxygène dissous à Bordeaux lors des pêches de Août 2011

AVIS SCIENTIFIQUES ET PRECONISATIONS

Il est particulièrement difficile de mettre en évidence avec des pêches ponctuelles des effets des rejets urbains et ou les effets de l'hypoxie surtout sans avoir une situation de référence préalable. La mise en place d'un suivi plus régulier et sur une plus longue période permettrait de mesurer la co-évolution des paramètres du milieu et du peuplement de poisson. Des études plus spécifiques du comportement des poissons en situation expérimentale apporterait des connaissances qui manquent encore aujourd'hui sur la tolérance des espèces aux conditions d'hypoxie à différente température, soumis à des cocktails de métaux, pesticides et médicamenteux tel qu'ils le sont en milieu naturel.

Action 2 : Caractérisation de la composante planctonique et benthique dans la partie fluviale de l'estuaire de la Gironde

B. Sautour (Pr), G. Bachelet (DR), F. Dindinaud (Doctorant)

CONTEXTE SCIENTIFIQUE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Les organismes vivants, et notamment planctoniques, sont extrêmement dépendants de leurs environnements. Ils possèdent un temps de génération court, ce qui leur confère un potentiel de réactivité intéressant en tant que marqueur des modifications qualitatives et quantitatives de leurs habitats (Omori, 1984 ; Beaugrand, 2009). Alors que les populations planctoniques et benthiques ainsi que leurs dynamiques associées sont bien connues dans la zone aval de l'estuaire de la Gironde (à partir du PK 30) (Sautour et Castel 1995 ; David *et al.* 2005 ; Quintin *et al.* 2011), rares sont les informations relatives à la composition de ces communautés biologiques dans la partie fluviale de l'estuaire de la Gironde.

Connaître la variabilité spatio-temporelle des communautés benthiques et planctoniques, ainsi que les patrons responsables de cette variabilité au sein de la partie fluviale de l'estuaire de la Gironde, constitue la finalité recherchée de cette action, avec pour objectifs de répondre aux questions suivantes :

Déterminer la composition des communautés biologiques (benthiques et planctoniques) dans la partie fluviale de l'estuaire de la Gironde (Garonne, zone impactée par la CUB, et Dordogne, zone témoin).

Déterminer la qualité ainsi que la variabilité du pool nutritif essentiel au maintien des communautés.

Etablir un lien avec les paramètres du milieu susceptibles d'agir sur les compositions biologiques.

Les différentes réponses à ces questions fourniront dans un premier temps un état des lieux fondamental des communautés en présence et par la suite, avec la connaissance des patrons de distribution, un outil précieux de gestion.

PRINCIPAUX RESULTATS

1-Communautés benthiques : Méiofaune

Le suivi de la méiofaune benthique a été réalisé en 9 stations intertidales, échantillonnées mensuellement de février à novembre 2011, et 9 stations subtidales, échantillonnées en juin, août et octobre 2011 (position des stations *cf.* rapport année 1).

L'identification de la méiofaune a permis de mettre en évidence une richesse taxonomique similaire entre la Garonne et la Dordogne estuariennes. **Huit groupes taxonomiques ont été identifiés** : Nématodes (contribuant à 80% de l'abondance totale), Copépodes, Foraminifères, Rotifères, Cladocères, Tardigrades, Insectes et Gastéropodes.

La variabilité inter- et intra fleuves est marquée. Quelle que soit la période de l'année, les abondances sont plus élevées dans la Garonne estuarienne que dans la Dordogne estuarienne, avec des moyennes respectives de 1371 ± 193 ind. 10cm^{-2} et 347 ± 86 ind. 10cm^{-2} (Figure 1). **Les stations de Bacalan (G2) et de Bordeaux (G3) se démarquent** par une dynamique différente et des abondances plus élevées que dans les autres stations (Dordogne comprise) (Figure 2). Les analyses statistiques ont montré que les stations de Bordeaux et Bacalan sont caractérisées par un

fort pourcentage en carbone organique particulaire et une concentration en phéophytine *a* élevés dans le sédiment.

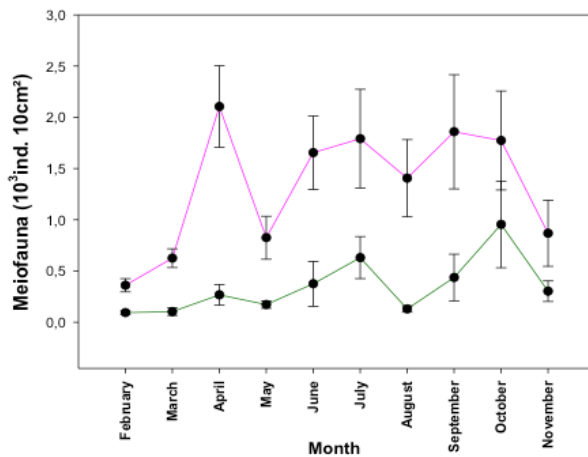


Figure 1 : Variation annuelle de la densité totale de la méiofaune (moyennes ± ES) dans la Garonne (en rose) et la Dordogne (en vert) estuariennes.

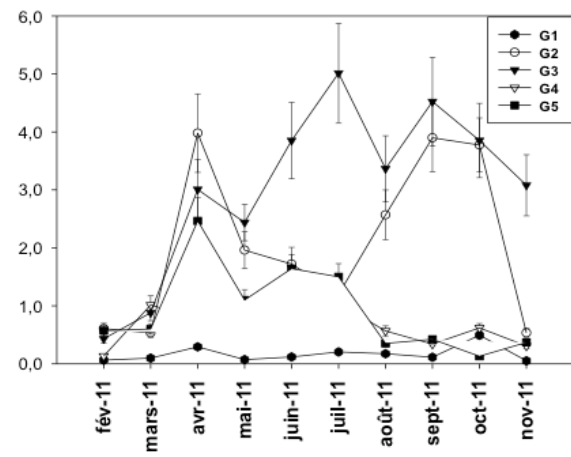


Figure 2 : Evolution spatio-temporelle de la densité totale de la méiofaune (moyennes ± ES) par station dans la Garonne estuarienne (G1 : Ambès, G2 : Bacalan, G3 : Bordeaux, G4 : Bègles, G5 : Langoiran).

2 -Communautés benthiques : Macrofaune

Le suivi de la macrofaune benthique a été réalisé aux mêmes stations et avec la même périodicité que pour la méiofaune. La richesse spécifique de ce compartiment est très faible, mais similaire entre la Garonne et la Dordogne estuariennes. **La macrofaune est constituée uniquement d'oligochètes** (espèces en cours de détermination).

La variabilité inter- et intra fleuves est également marquée, avec des abondances moyennes (sur les 3 dates d'échantillonnage) de $27380 \pm 6154 \text{ ind.m}^{-2}$ et $9614 \pm 2014 \text{ ind.m}^{-2}$ respectivement dans la Garonne et la Dordogne estuariennes (Figure 3). **Les stations de Bacalan (G2) et de Bordeaux (G3) se démarquent** une nouvelle fois par une dynamique différente (station de Bacalan) et des abondances plus élevées que dans les autres stations (Dordogne comprise) (Figure 4). **Aucun organisme macrofaunique n'a été retrouvé dans la zone subtidale des deux estuaires fluviaux, quelle que soit la station.**

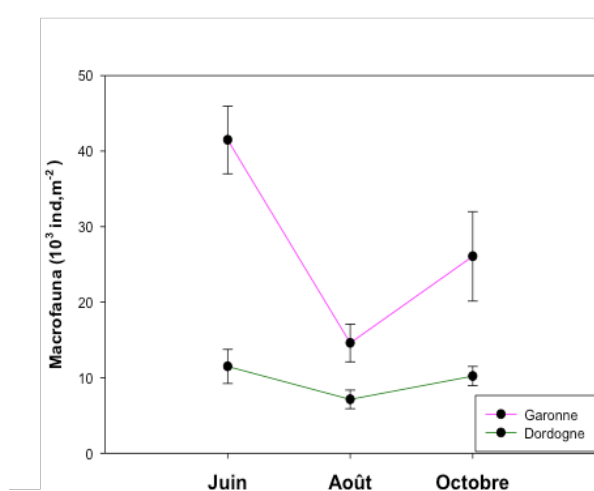


Figure 3 : Variation annuelle de la densité totale de la macrofaune (moyennes ± ES) dans la Garonne (en rose) et la Dordogne (en vert) estuariennes.

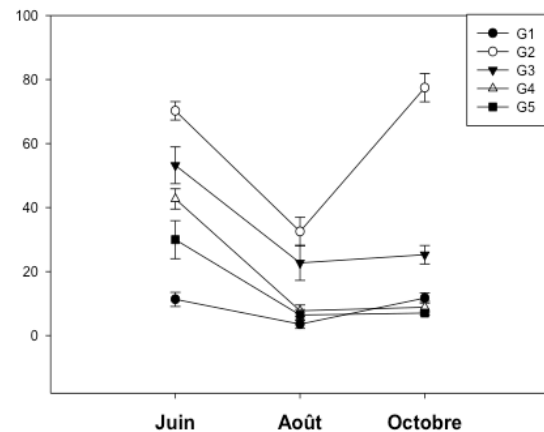


Figure 4 : Evolution spatio-temporelle de la densité totale de la macrofaune (moyennes ± ES) par station dans la Garonne estuarienne (G1 : Ambès, G2 : Bacalan, G3 : Bordeaux, G4 : Bègles, G5 : Langoiran).

3 -Communautés planctoniques : Phytoplancton

Le phytoplancton a été déterminé à partir de la biomasse chlorophyllienne (a, b et c) et d'analyses des acides gras.

La partie fluviale de l'estuaire de la Gironde est un environnement de très faible production primaire. Les chlorophylles sont dominées par la chlorophylle *a*, mais le fait marquant se situe au niveau des concentrations en phéopigments, qui sont plus élevées que celles de la chlorophylle dans les deux fleuves, ce qui indique une très forte dégradation du matériel chlorophyllien. L'analyse des acides gras sur la matière organique particulaire en suspension a permis de confirmer la quasi absence de phytoplancton, notamment de diatomées traditionnellement caractérisées par les acides gras à 16 atomes de carbone. En revanche, on retrouve énormément de débris de végétaux comme en témoignent les fortes concentrations des différents phéopigments.

4 -Communautés planctoniques : Zooplancton

L'échantillonnage du plancton au sein de la Garonne et de la Dordogne estuariennes a permis de recenser des espèces communes aux deux masses d'eau :

- 2 espèces de Décapodes : *Palaemon longirostris* et *Crangon crangon*,
- 2 espèces de Mysidacés : *Mesopodopsis slabberi* et *Neomysis integer*,
- 2 genres de Rotifères : *Lecane* et *Testudinella*,
- 1 espèce de Copépode : *Eurytemora affinis*,
- 1 espèce d'Amphipode : *Gammarus zaddachi*

Une autre espèce d'Amphipode (*Gammarus insensibilis*) et une espèce de méduse (*Craspedacusta sowerbii*) n'ont été échantillonnées que dans la Dordogne estuarienne.

Eurytemora affinis est le copépode dominant (>98%) dans cette partie de l'estuaire. Il est essentiellement présent en période de production (mars-mai), (Figure 5).

Les densités sont relativement équivalentes entre la Garonne et la Dordogne estuariennes ; en revanche, la dynamique n'est pas la même avec une remontée et des densités importantes en amont dans la Garonne estuarienne au mois de juin au niveau de la station G5 (Langoiran).

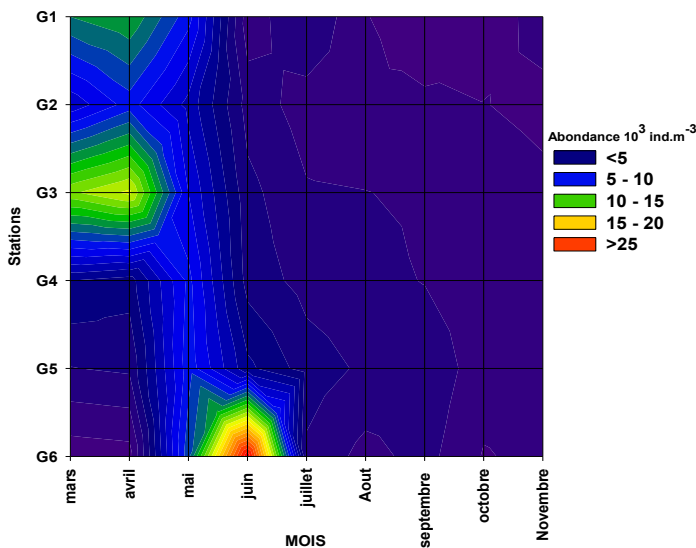


Figure 5 : Evolution spatio-temporelle de la densité d'*Eurytemora affinis* dans la Garonne estuarienne.

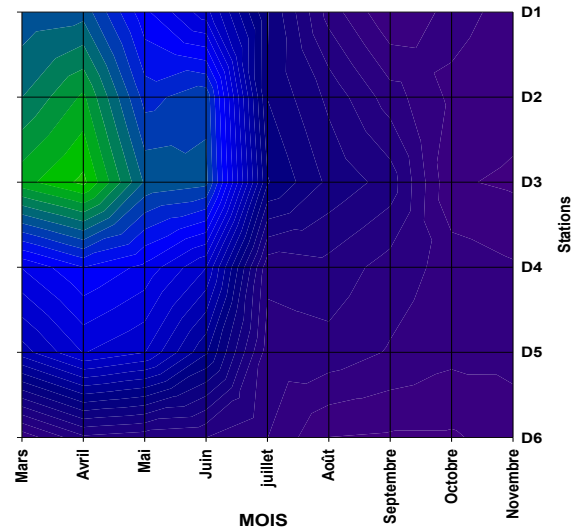


Figure 6 : Evolution spatio-temporelle de la densité d'*Eurytemora affinis* dans la Dordogne estuarienne.

AVIS SCIENTIFIQUES ET PRECONISATIONS

L'échantillonnage ainsi que les analyses sur *Eurytemora affinis* seront poursuivis durant l'été 2012 pour les stations en lien direct avec les rejets de la CUB. En comparaison avec des zones estuariennes similaires, les richesses spécifiques et taxonomiques des compartiments benthiques et pélagiques sont relativement équivalentes. Néanmoins, deux observations sont à relever : (1) l'absence totale de macrofaune dans la zone subtidale et (2) les fortes abondances de la méio- et de la macrofaune au sein des stations intertidales de Bordeaux et de Bacalan en lien avec des valeurs élevées en COP. L'année à venir sera également consacrée à l'étude d'un critère fonctionnel de qualité environnementale de l'espèce dominante (*Eurytemora affinis*), à savoir la production zooplanctonique (efficacité de développement).

RÉFÉRENCES

- Beaugrand G.** (2009) Decadal changes in climate and ecosystems in the North Atlantic Ocean and adjacent seas. *Deep-Sea Research II*, 56:656-673
- David V., Sautour B., Chardy P., Leconte M.** (2005) Long-term changes of the zooplankton variability in a turbid environment: The Gironde estuary (France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 64:171-184
- Omori et Ikeda.** (1984). *Methods in Marine Zooplankton Ecology*. J.W .S. Inc., New York 311.
- Quintin J.Y., Etcheber H. Sottolichio A., Oggian G., Derriennic H., Mallet C., Roux Ducept A., Sautour B., Parra R., Bachelet G., Leconte M.** (2011) Surveillance écologique du site du Blayais, année 2011. Rapp. IFREMER RST DYNECO/AG/12-02,
- Sautour B., Castel J.** (1995) Comparative spring distribution of zooplankton in three macrotidal European estuaries. *Hydrobiologia* 311:139-151

Action 3 : Analyse des effets des périodes hypoxiques sur les fonctionnements biologiques

Mario Lepage (IR), Jérôme de Watteville (CDD), Philippe Jatteau (IR), Rémy Fraty (TR)
Irstea, Unité EPBX

CONTEXTE SCIENTIFIQUE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Le bassin versant Gironde-Garonne-Dordogne est un lieu de passage obligatoire pour l'ichtyofaune migratrice, qui se compose d'un cortège d'espèces migratrices dont font partie deux espèces d'aloses, l'alose feinte (*Alosa fallax*) et la grande alose (*Alosa alosa*) (Béguer, Beaulaton et al. 2007). Ces deux espèces sont parmi les plus exigeantes en terme d'oxygénation des eaux dans l'estuaire (Maes, Stevens et al. 2007, Taverny, Elie et al. 2009).

La population de grande alose subit un fort déclin depuis le début des années 2000, conduisant à un moratoire sur les pêches en 2008. Les conditions de ce déclin sont encore incertaines mais l'analyse de l'évolution du stock reproducteur et de l'abondance des juvéniles d'alose dans l'estuaire montre une distorsion pour les années 2001 à 2005 : le niveau de recrutement est en chute malgré un stock reproducteur stable à un niveau élevé (environ 150 000 individus).

De l'incubation jusqu'à l'arrivée dans l'estuaire, les alosons sont très exposés aux modifications du milieu, notamment en termes de température et d'oxygène dissous, ces deux paramètres pouvant avoir un effet négatif sur la survie des juvéniles d'alose. De plus, les alosons doivent traverser au cours de leur dévalaison vers l'estuaire, une zone fortement turbide située aux alentours de Bordeaux: le bouchon vaseux. Les réactions biogéochimiques ainsi que l'activité microbienne au sein du bouchon vaseux, peuvent ainsi provoquer de sévères chutes du taux d'oxygène dissous dans l'eau. Ainsi les alosons sont potentiellement soumis à de mauvaises conditions d'oxygénation (hypoxie) lors de leur dévalaison qui survient en général entre la mi-août et la mi-octobre.

Dans le contexte d'une population de grandes aloses en difficulté sur le bassin versant Gironde Garonne Dordogne, la question est de savoir si le franchissement de cette zone hypoxique est susceptible de générer une mortalité chez les alosons, de quantifier cette mortalité ajoutée et d'estimer les conséquences sur la force des cohortes et plus largement de voir l'impact des hypoxie sur leur comportement.

Dans un second temps nous avons cherché à quantifier ces événements hypoxiques et à identifier les conditions d'apparition de ces événements au vue des résultats obtenus sur les alosons.

PRINCIPAUX RESULTATS

Expérimentation sur les alosons

Les expérimentations sur les alosons en microcosme ont été réalisées sur des juvéniles d'alose vraie (*Alosa alosa*) de $4,6 \pm 0,1$ cm et de 950 ± 4 mg qui correspondent à peu près à la taille des individus lorsqu'ils arrivent dans le secteur de Bordeaux. Cette expérience a été réalisée dans 4 enceintes expérimentales et répétée pour deux températures (20°C et 25°C) et pour cinq paliers d'oxygénation (70, 55, 40, 30 et 20% de saturation) pendant 60 min par palier. Au cours des observations le comportement des poissons a été enregistré selon trois critères : l'altération du comportement natatoire, la perte d'équilibre et la mort.

A 20°C, les premiers signes d'altération du comportement surviennent en moyenne à $3,5 \text{ mg.L}^{-1}$ d'oxygène, niveau significativement différent de ceux où ont été enregistrés les pertes d'équilibre et les morts, respectivement $2,2$ et 2 mg.L^{-1} (Figure 13). Il n'y a pas de différence significative

dans l'apparition des premiers signes d'altération du comportement à 20 et 25°C (Test U Mann-Whitney, $p=0,195$). Par contre les pertes d'équilibre et la mort surviennent à des concentrations en oxygène significativement plus faibles à 20°C (Test U Mann-Whitney, $p=0$ et $p=0,007$).

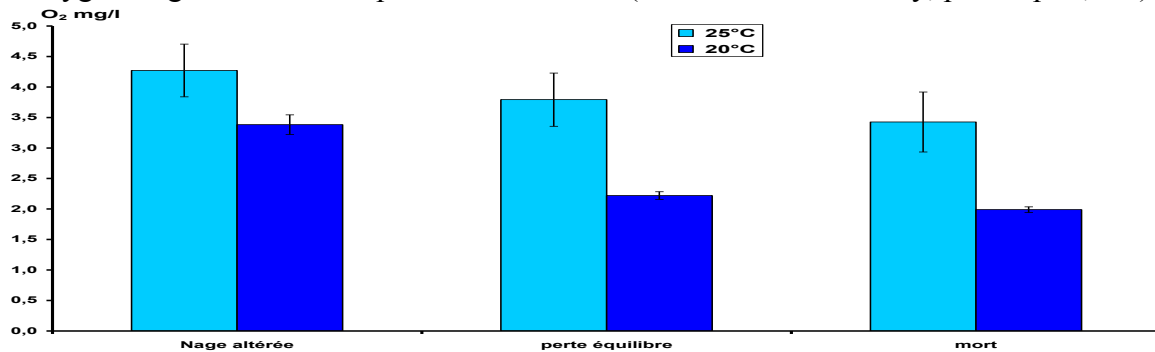


Figure 13 : Concentrations moyennes en oxygène, relevées pour les 3 critères d'analyse, à 20°C et 25°C. Les erreurs standards sont mentionnées

Tous les poissons ayant subi les tests à 25°C sont morts durant l'expérimentation, alors que plus de 50% ont survécu à 20°C. Les cinétiques de mortalité montrent qu'à 25°C le phénomène apparaît dès le début du test et s'étale sur toute la durée de celui-ci. A 20°C les mortalités apparaissent qu'à partir d'une concentration de 2,2mg.L⁻¹ et se concentrent donc en fin de test. La tolérance des juvéniles de grande alose à l'hypoxie apparaît logiquement plus importante à 20°C qu'à 25°C.

A 25°C l'apparition des 3 critères s'effectue dans une gamme de concentrations en oxygène restreinte (de 4,3 à 3,4 mg.L⁻¹) comparée à 20°C (3,4 à 2 mg.L⁻¹), soulignant une tolérance plus faible à l'hypoxie.

Une altération de la nage peut avoir des effets négatifs sur les individus sans forcément avoir un effet risquant d'entraîner la mort. La perte d'équilibre est considérée comme l'indicateur d'une désorganisation fonctionnelle et métabolique, empêchant les individus de fuir une zone dangereuse et les conduisant rapidement à la mort. Si l'on considère que l'altération de la nage est la limite à ne pas atteindre pour ne pas nuire aux alosos en migration de dévalaison, les seuils minimaux en oxygène pour garantir une probabilité maximale de survie se situent à 4,3 et 3,4 mg.l-1 à 25°C et 20°C respectivement.

Quantification et évaluation des risques d'hypoxie, influence des paramètres physico-chimiques sur l'oxygène

Les données physico-chimiques proviennent des réseaux MAGEST pour la Garonne et SYVEL pour la Loire. Les sites du réseau MAGEST et du réseau SYVEL sont instrumentés avec un système de mesure en temps réel de quatre paramètres physico-chimiques : température, turbidité, salinité et oxygène dissous.

En Gironde seule la station de Bordeaux est affectée par les crises hypoxiques ($O^2 < 3\text{mg.L}^{-1}$) avec 22 jours d'hypoxie observés en 2006. A la station de Bordeaux on retrouve chaque année des moyennes journalières inférieures à 5mg.l⁻¹ caractérisant une eau pauvre en oxygène. La seconde station la plus touchée par les faibles valeurs d'oxygène est la station de Portets située en amont de Bordeaux avec 62 jours en 2006 où l'oxygène était inférieur à 5mg.l⁻¹. 2006 est l'année où l'oxygène était le plus bas pour la totalité des stations avec un minimum de 1,9mg.L⁻¹ à Bordeaux. Les problèmes d'oxygénation des eaux sont concentrés autour de la communauté urbaine de Bordeaux, et ne reste qu'exceptionnels dans les stations de Pauillac et Libourne.

A titre de comparaison, la Loire est beaucoup plus touchée par les crises hypoxiques que la Garonne, tant au niveau de la longueur des périodes de sous-oxygénation qu'au niveau de leur sévérité. Tous les ans les stations de Paimboeuf et de Cordemais sont touchées par des phénomènes d'hypoxies voire d'anoxie ($O^2 < 1\text{mg.L}^{-1}$) comme en 2010. La station de Cordemais

est la plus touchée avec respectivement 25 et 21 jours d'hypoxie en 2008 et 2010. Le minimum d'oxygénation des eaux a été relevé à la station de Cordemais en 2010 avec 0.3mg.l^{-1} soit des conditions anoxiques totalement impropres à la vie estuarienne. Cette station présente chaque année des valeurs d'oxygénation proches de l'anoxie, la situation à la station de Paimboeuf est similaire avec un minimum observé en 2011 à 1mg.l^{-1} soit des conditions quasi-anoxiques. La station du Pellerin a elle aussi été gravement touchée par les problèmes d'oxygénation notamment en 2010 avec 27 jours d'hypoxies et une concentration moyenne journalière minimale de 0.7mg.l^{-1} . Les stations de Trentemoult et de Bellevue situées plus en amont ne présentent aucun phénomène hypoxique sur la période étudiée.

La zone hypoxique est beaucoup plus étendue dans la Loire et s'étend de la station de Paimboeuf à la station du Pellerin soit sur une section de l'estuaire de plus de 25km de long. La zone hypoxique en Garonne est concentrée autour de Bordeaux et s'étale quelques peu en amont et en aval de Bordeaux (jamais d'hypoxie simultanée sur les stations de Bordeaux et de Portets distantes de 20km) du fait du déplacement de la masse d'eau sous les effets de la marée. Ainsi les crises hypoxiques sont plus longues, plus sévères et plus étendues en Loire qu'en Garonne.

Nous avons réalisé un modèle linéaire généralisé mixte (GLMM) sur les données MAGEST de 2006 à Bordeaux afin de dégager les principaux facteurs affectant l'oxygène dissous et leur contribution respective à la variabilité de l'oxygénation. Ce modèle nous a permis de dégager des seuils à partir desquels les risques d'hypoxie sont forts (Figure 14). En 2006, la température est le facteur principal et explique 74% de la déviance du modèle, vient ensuite le coefficient de marée (proxy de la turbidité, 25%) et le débit (1%).

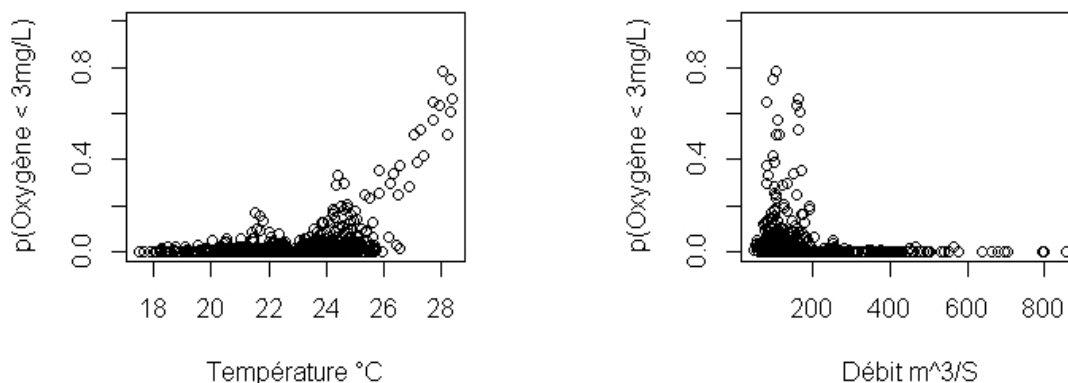


Figure 14 : Probabilité d'avoir une moyenne journalière d'oxygénation des eaux inférieure à 3mg.L^{-1}

Les sorties du modèle nous donnent les probabilités d'avoir un phénomène d'hypoxie en fonction de la température, le coefficient de marée et le débit, on peut ainsi établir des seuils à partir desquels les risques d'hypoxie sont importants. On remarque que les problèmes d'hypoxies surviennent pour des températures supérieures à 22°C et pour des débits inférieurs à $200\text{m}^3.\text{s}^{-1}$. Les risques d'hypoxies sont maximums à partir de 26°C .

A partir des seuils calculés par le modèle ($\text{Débit} < 200\text{m}^3.\text{s}^{-1}$; $\text{Température} > 26^{\circ}\text{C}$) nous avons effectué une analyse rétrospective des risques d'hypoxie à partir des données de débit et de température. Depuis 1983 on recense au total 106 jours où les risques d'hypoxie sont élevés. La pire année étant 2003 avec 29 jours où la concentration en oxygène était potentiellement inférieure à 3mg.L^{-1} . On remarque une recrudescence du nombre de jours d'hypoxies depuis 1983 avec seulement 4 jours dans les années 80, 48 dans les années 90 et 54 dans les années 2000. Les épisodes d'hypoxie sont les plus sévères en 2003 et 2006 avec respectivement 29 et 20 jours d'hypoxie potentiels.

AVIS SCIENTIFIQUE ET PRECONISATIONS

A l'échelle européenne la plupart des espèces de poissons migrateurs sont actuellement considérées en danger. Le bassin de la Garonne se situe parmi ceux qui ont la plus forte biodiversité en poissons migrateurs d'Europe (Béguer et al. 2007). Toutes les espèces le fréquentant historiquement y sont encore présentes (Lobry, Mourand et al. 2003). A la vue des résultats obtenus sur les alosons, les phénomènes d'hypoxie de la Garonne sont préoccupant, et peuvent potentiellement impacter la population d'alse vrai. Comme cela a été montré sur l'estuaire de l'Escaut en Belgique (Maes, Van Damme et al. 2004) l'oxygène est un facteur prépondérant pour la présence et la survie des poissons et particulièrement pour les espèces sensibles comme l'alse. Une amélioration du traitement des eaux usées dans l'Escaut a conduit à une amélioration significative de l'oxygénation des eaux qui s'est poursuivi par une amélioration de la qualité biologique de cet estuaire. Concernant la Garonne, la gestion des rejets des eaux usées, notamment des rejets non traités par temps d'orage pourrait possiblement être optimisé. Etant donné que les minima d'oxygénation sont observés à marée basse, il serait plus judicieux de rejeter entre la marée haute, et deux heures avant la basse mer. Ceci favoriserait une évacuation plus rapide vers la mer et pourrait probablement diminuer les risques d'hypoxie autour de l'agglomération bordelaise.

REFERENCES

- Béguer, M., L. Beaulaton and E. Rochard (2007). "Distribution and richness of diadromous fish assemblages in Western Europe: large-scale explanatory factors." Ecology of Freshwater Fish **16**(2): 221-237.
- Lobry, J., L. Mourand, E. Rochard and P. Elie (2003). "Structure of the Gironde estuarine fish assemblages: a comparison of European estuaries perspective." Aquatic living resources **16**(2): 47-58.
- Maes, J., M. Stevens and J. Breine (2007). "Modelling the migration opportunities of diadromous fish species along a gradient of dissolved oxygen concentration in a European tidal watershed." Estuarine Coastal And Shelf Science **75**(1-2): 151-162.
- Maes, J., S. Van Damme, P. Meire and F. Ollevier (2004). "Statistical modeling of seasonal and environmental influences on the population dynamics of an estuarine fish community." Marine Biology **145**(5): 1033-1042.
- Taverny, C., P. Elie and P. Boët (2009). La vie piscicole dans les masse d'eau de transition : proposition d'une grille qualité pour la température, l'oxygène dissous, la salinité et la transparence. Etude Cemagref, groupement de Bordeaux, n°131. 51p.

Rapport Action 4 année 1 (Avril 2010-Mars 2011)

Action 4 : Evaluation des niveaux de contamination et effets écotoxicologiques sur les composantes biologiques exposées dans cette masse d'eau estuarienne.

M. Baudrimont (Pr) , S. Bureau du Colombier (CDD), V. Duflo (Ing.), B. Etcheverria (Ing)

CONTEXTE SCIENTIFIQUE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Sur la globalité du programme ETIAGE, les travaux de l'action 4 ont été regroupés autour de 3 approches :

1. La mesure directe de la contamination des organismes inventoriés lors des actions 1 et 2.
2. La réalisation d'expositions *in situ* pour mesurer les effets tant biologiques qu'écotoxicologiques de ces expositions (approche dite de transplantation).
3. L'exposition d'espèces indicatrices aux rejets urbains en structures expérimentales, pour évaluer les phénomènes d'accumulation en fonction par exemple des conditions normoxiques ou hypoxiques et les effets toxiques éventuels.

RESULTATS MAJEURS

Les approches 1 et 2 ont commencé à être abordées en année 1. En voici les principaux détails et résultats :

Mesure directe de la contamination polymétallique des poissons inventoriés lors de l'action 1

Organismes étudiés et résultats des analyses

Les pêches menées au cours de l'action 1 ont permis de prélever quelques échantillons d'anguilles (*Anguilla anguilla*) en juin, août et octobre 2010 ainsi que de barbeaux (*Barbus barbus*), flets (*Platichthys flesus*) et gobies (*Pomatoschistus microps*) en juin. Ces échantillons ont été soumis à différentes mesures : biométrie (longueur, poids, indice de condition), concentration en cadmium (muscle et foie) et mercure (muscle), et teneur en malondialdéhyde (MDA, indicateur de la peroxydation des lipides, foie) (Tableau 1).

Il existe une différence de concentration musculaire en mercure entre espèces, à savoir de plus fortes valeurs chez les anguilles et gobies que chez les barbeaux et flets (Figure 1). Ce résultat n'est pas surprenant vu les variabilités liées au mode de vie, métabolisme et temps de résidence en estuaire de ces organismes. Si ce n'est une différence de biométrie bien sûr, les autres analyses effectuées ici n'ont pas mis en évidence de différence entre espèces. Dans le cas de

Tableau 1. Concentrations en cadmium, mercure et MDA des poissons. Les valeurs sont sous la forme « moyenne ± écart type ». « MS » signifie masse sèche.

	Cadmium (µg/kgMS)		Mercure (ppm)	MDA (µmol/g protéines)
	Muscle	Foie	Muscle	Foie/viscères
Anguille Juin	38,35 ±33,17	692,35 ±217,06	0,25 ±0,03	/
Anguille Août	15,24 ±14,01	1601,30 ±665,62	0,28 ±0,03	0,20 ±0,01
Anguille Oct	12,11 ±6,01	1674,64 ±790,08	0,30 ±0,05	0,14 ±0,05
Barbeau Juin	25,53	/	0,15 ±0,01	/
Flet Juin	11,55 ±8,64	1084,88 ±467,94	0,17 ±0,04	/
Gobie Juin	31,81 ±11,43	/	0,26 ±0,04	/

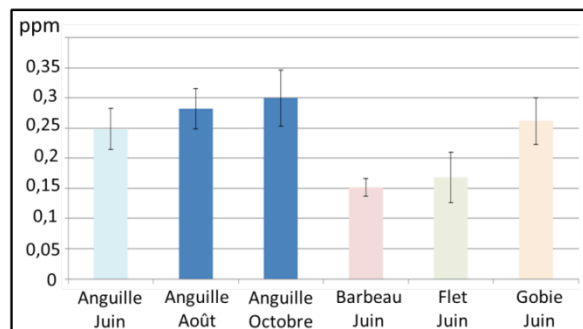


Figure 1. Concentrations musculaires en mercure par espèce et par campagne de pêche.

l'anguille, seul poisson pour lequel cela a été possible, une comparaison spatiale et saisonnière a été réalisée mais rien ne ressort de significatif.

Les rares études précédemment menées sur les niveaux de contamination des poissons au niveau de l'agglomération bordelaise (Durrieu et al., 2005 ; Pierron et al., 2008) ne nous permettent pas de faire une comparaison fine avec nos résultats. Toutefois, dans le cas l'anguille et du flet, elles montrent des teneurs en mercure et cadmium équivalentes ou supérieures à celles mesurées lors de nos présents travaux, l'âge des individus étudiés pouvant expliquer en partie les différences observées.

Teneur en oxygène de l'eau au moment des campagnes de pêche

Une sonde Magest présente à Bacalan a permis de suivre l'évolution de la teneur en oxygène de l'eau au moment où les organismes ont été prélevés. Les poissons n'ont pas tous les mêmes exigences vis-à-vis de l'oxygène mais il est généralement considéré qu'une teneur en oxygène dans l'eau inférieure à 5 mg.l⁻¹ commence à être ressentie par certaines espèces et qu'en dessous de 3 mg.l⁻¹ les conséquences sur les poissons sont graves. Arbitrairement, pour l'action 4, il a été décidé de parler d'hypoxie en dessous de 4 mg.l⁻¹. En juin et octobre, les jours concernés par les pêches, 100% des valeurs issues de la sonde sont supérieures à 5 mg.l⁻¹. En août, 39,1% des valeurs sont supérieures à 5 mg.l⁻¹ et 60,9% entre 4 et 5 mg.l⁻¹. On ne parlera donc pas d'hypoxie lors des campagnes de pêches de 2010.

Conclusions

Les résultats des analyses issues des pêches poisson réalisées en 2010 ont permis de montrer des différences de concentrations musculaires en mercure entre les différentes espèces, ce qui est principalement lié à des modes de vie et de nutrition différents. Aucune autre différence significative n'a été révélée concernant les autres paramètres mesurés. Plusieurs contraintes sont toutefois à noter : le faible nombre d'individus issus des pêches en 2010, les inconnues concernant le déplacement de chaque individu en estuaire, l'impossibilité d'étudier l'impact de l'hypoxie cette année-là. Cette étude sur les poissons mérite donc d'être reconduite en 2011, en espérant que le nombre de poissons issus des pêches sera plus conséquent et qu'il sera possible d'étudier des échantillons prélevés en période d'hypoxie.

Expositions in situ de mollusques (corbicules : *Corbicula fluminea*) et mesure des effets biologiques et écotoxicologiques

Organismes étudiés et résultats des analyses

Des corbicules provenant d'un site considéré comme peu impacté par la contamination métallique (St Seurin sur l'Isle) ont été mis en cage à l'amont et à l'aval de l'agglomération bordelaise (Bègles et Bacalan respectivement) pour une durée de 4 mois, de fin juin à fin octobre 2010. En parallèle, des individus témoins, c'est-à-dire des corbicules prélevés en même temps à St Seurin sur l'Isle mais sacrifiés rapidement sans avoir séjourné dans l'estuaire, ont été mis de côté. Après les 4 mois d'expérimentation, les individus (témoins inclus) ont été soumis à différentes mesures : biométrie (longueur, poids, indice de condition), concentration de 11

Tableau 2. Masse fraîche (MF), longueur (L), facteur de condition (F.cond.) et concentrations en aluminium (Al), argent (Ag), arsenic (As), cadmium (Cd), cobalt (Co), chrome (Cr), cuivre (Cu), manganèse (Mn), nickel (Ni), plomb (Pb), zinc (Zn), mercure (Hg) et malondialdéhyde (MDA) des corbicules. Les valeurs sont sous la forme « moyenne ± écart type ». « MS » signifie masse sèche.

	MF (g)	L (mm)	F.cond.	(µg/gMS)											Hg (ppm)			MDA (µmol/g protéines)		
				Al	Ag	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Branchies	Masse Viscérale	Reste	Masse Viscérale		
				Corps entier																
Témoins	0,77 ±0,08	25,30 ±0,57	/	31,01 ±7,13	0,12 ±0,02	8,89 ±0,68	0,31 ±0,03	1,27 ±0,17	62,21 ±21,06	42,84 ±8,27	14,87 ±2,58	41,26 ±13,03	0,37 ±0,03	113,40 ±12,62	0,18 ±0,06	0,12 ±0,03	0,10 ±0,02	/		
Bègles	0,95 ±0,13	27,56 ±1,43	2,54 ±0,13	398,27 ±127,14	0,40 ±0,02	10,29 ±0,36	1,46 ±0,08	1,22 ±0,19	39,13 ±15,69	44,03 ±3,18	41,92 ±8,05	25,42 ±10,46	1,12 ±0,35	136,26 ±5,46	0,23 ±0,09	0,14 ±0,06	0,08 ±0,02	0,27 ±0,07		
Bacalan	0,73 ±0,08	26,53 ±1,28	1,96 ±0,24	347,43 ±201,50	0,35 ±0,03	12,12 ±0,84	2,23 ±0,24	2,47 ±0,56	112,22 ±32,77	76,32 ±17,47	47,98 ±18,53	73,89 ±22,62	1,40 ±0,71	139,55 ±9,37	0,28 ±0,12	0,28 ±0,10	0,12 ±0,03	0,37 ±0,03		

métaux (organisme entier) et de mercure (branchie, masse viscérale, reste du corps), marqueurs génétiques (branchies et masse viscérale) et teneur en MDA (masse viscérale) (Tableaux 2 et 3).

Les résultats montrent une accumulation de métaux chez les organismes mis en cage en estuaire. En effet, comparés aux témoins et quel que soit le site où ils ont été mis en cage, ils sont plus concentrés en Al, Ag, As, Cd, Mn, Pb, Zn et Hg (Anova, $p > 0,05$). Les analyses mettent aussi en évidence une induction de la majorité des marqueurs génétiques étudiés, ce qui montre une réponse adaptative des organismes à cette accumulation de métaux, en terme de détoxification (*mt*, *gst*) et de lutte contre le stress oxydant (*cat*, *sod*), mais également des atteintes toxiques au niveau du métabolisme mitochondrial (*cox1*).

Les résultats soulignent également des différences entre les corbicules ayant séjourné dans l'estuaire. En effet, comparés aux organismes de Bègles, ceux de Bacalan ne montrent pas de croissance, ils sont en moins bonne condition physiologique et ont globalement accumulé plus de métaux (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni et Hg). Le seul métal présent à une plus forte concentration dans les tissus des individus de Bègles est Ag. De façon surprenante, la surexpression des marqueurs génétiques est plus forte à Bègles qu'à Bacalan.

Tableau 3. Niveau d'expression des gènes suivants : catalase (*cat*), superoxyde-dismutase (*sod*), glutathion-S-transférase (*gst*), métallothiononéine (*mt*), sous-unité 1 de la cytochrome c oxydase (*cox1*) et 12s, chez les corbicules de Bègles et Bacalan en comparaison avec les témoins. Une valeur $< 0,5$ indique une répression des gènes et > 2 une induction.

	Rapport Bègles / Témoins		Rapport Bacalan / Témoins	
	Branchies	Masse viscérale	Branchies	Masse viscérale
<i>cat</i>	9,67	0,64	4,50	8,08
<i>sod</i>	7,60	4,96	2,70	2,89
<i>gst</i>	3,73	0,97	1,31	0,57
<i>mt</i>	15,19	13,68	6,12	2,12
<i>cox1</i>	14,81	43,14	5,38	24,97
12s	7,22	183,77	4,43	24,35

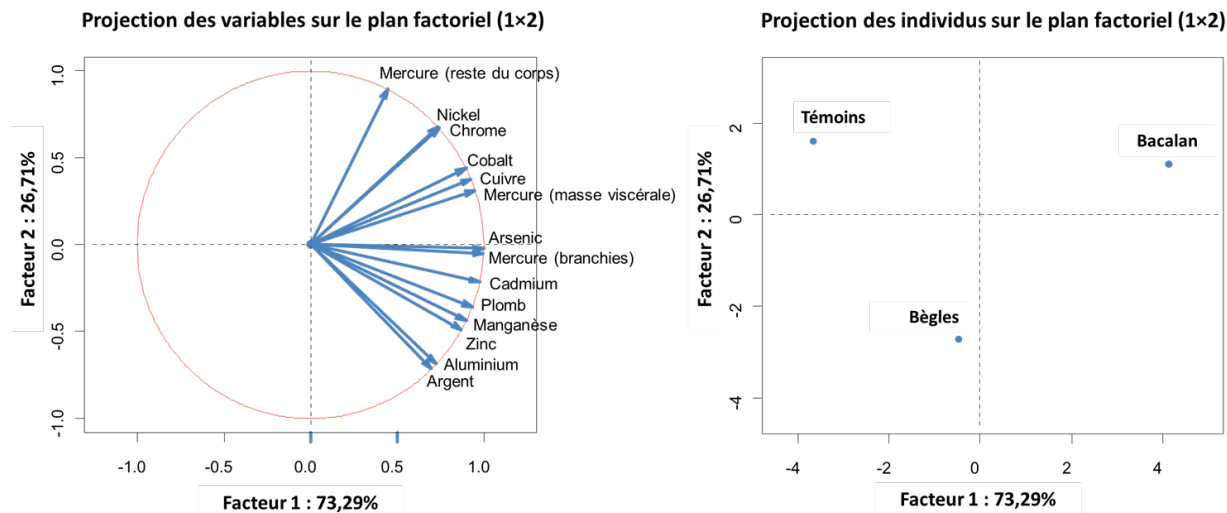


Figure 2. Analyse en composantes principales, basée sur les concentrations en métaux mesurées chez les individus témoins ainsi que ceux mis en cage à Bègles et Bacalan.

A Bordeaux et Bègles, des corbicules avaient également été mis en cage pour une durée de 3 mois lors du programme Défi Cadmium sur une période de 3 ans (Baudrimont et Fichet, 2009). En comparaison avec cette précédente étude, les teneurs en métaux des corbicules mis en cage à Bacalan et Bègles en 2010 sont sensiblement les mêmes, avec des accumulations significatives sur ces 2 sites comparativement aux témoins, sans montrer d'évolution marquante en fonction des années.

Une analyse plus poussée des corrélations a été réalisée dans le cas des concentrations en métaux (Figure 2) et de l'expression des gènes (Figure 3).

Ce type d'analyse montre bien que les individus témoins sont indépendants de toute contamination, alors que ceux de Bacalan sont les plus touchés, surtout au niveau Ni, Cr, Co, Cu et Hg (reste du corps et masse viscérale principalement). Concernant les métaux associés au site de Bègles, à Ag il faut ajouter Al qui lui est fortement corrélé. Si une surexpression de la majorité des gènes est induite par le séjour des individus en estuaire, principalement à Bègles, 2 des marqueurs étudiés au niveau viscéral sortent du lot, la catalase (*cat*) et la glutathion-S-transférase (*gst*).

Teneur en oxygène de l'eau au moment des campagnes de pêche

D'après les données de la sonde Magest de Bacalan sur la teneur en oxygène de l'eau, en 4 mois d'expérimentation, 85,5% des valeurs mesurées sont supérieures à 5 mg.l⁻¹, 14,2% sont entre 4 et 5 mg.l⁻¹ et seulement 0,3% sont inférieures à 4 mg.l⁻¹. Selon notre critère (seuil d'hypoxie à 4 mg.l⁻¹), les corbicules mis en cage sur la Garonne en 2010 n'ont donc pas subi une hypoxie très prononcée.

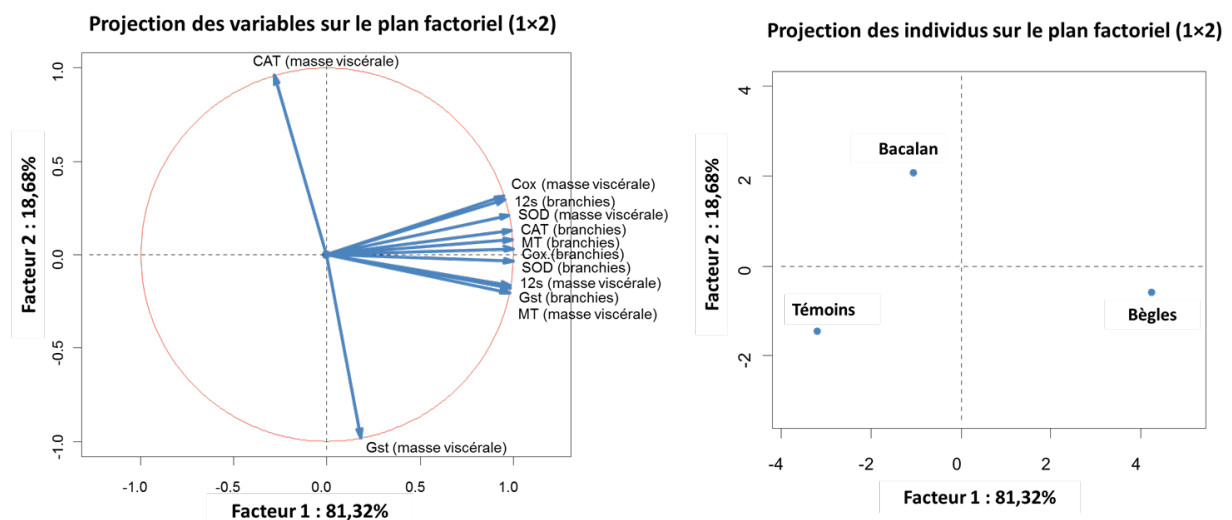


Figure 3. Analyse en composantes principales, basée sur l'expression des gènes chez les individus témoins ainsi que ceux mis en cage à Bègles et Bacalan.

Conclusions

Les résultats ont mis en évidence un impact de la qualité de l'eau de l'estuaire sur l'indice de condition, la croissance, l'accumulation en métaux et la réponse génétique des corbicules. Une étude plus poussée de la teneur en métaux de l'eau et des paramètres physicochimiques nous permettrait de mieux comprendre ces résultats. L'absence d'hypoxie prononcée en 2010 n'a pas permis d'étudier l'impact de la baisse d'oxygénation de l'eau sur les paramètres étudiés.

PERSPECTIVES POUR L'ANNEE 2

- Reconduire les études et analyses menées en année 1 (approches 1 et 2) en prévoyant des échantillonnages supplémentaires en période d'hypoxie durant l'été 2011.

- Y ajouter la mesure directe de la contamination polymétallique des organismes planctoniques et benthiques inventoriés lors de l'action 2 (approche 1).
- En parallèle des corbicules, mettre en cage des anguilles (*Anguilla anguilla*) en estuaire (approche 2).
- Dans le cas de l'approche 2, ajouter un site référence bien plus à l'amont de l'agglomération bordelaise (Saint Macaire).
- Ajouter une sonde mesurant la teneur en oxygène de l'eau à Bègles en continu lors des périodes d'expérimentations sur le terrain (approches 1 et 2), grâce à nos collègues de la cellule G.E.O. Transfert.
- Commencer les expérimentations en laboratoire (approche 3).
- Ajouter des analyses protéiques telles celles des métallothionéines pour mieux comprendre l'impact de l'accumulation de métaux chez les organismes.

REFERENCES

- Baudrimont M. et Fichet D. (2009) Suivi biologique de l'élément cadmium et de plusieurs autres métaux (zinc, cuivre, mercure,...) dans le continuum (Riou-Mort/Lot/Garonne/ estuaire Gironde/bassin de Marennes-Oléron/Seudre et Charente). Programme Défi Cd de l'AEAG (2006-2009).
- Durrieu G., Maury-Brachet R., Rochard E., Girardin M., Boudou A. (2005) Contamination by heavy metals (Cd, Zn, Cu, Hg) of eight fish species in the Gironde Estuary (France), *Estuaries*, 28, 581-591.
- 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, 10-19.

Rapport Action 4 année 2 (Avril 2011- Mars 2012)

Action 4 : Evaluation des niveaux de contamination et effets écotoxicologiques sur les composantes biologiques exposées dans cette masse d'eau estuarienne.

M. Baudrimont (Pr), S. Bureau du Colombier (CDD), V. Duflo (Ing), B. Etcheverria (Ing)

CONTEXTE SCIENTIFIQUE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Les objectifs de l'action 4 sont l'évaluation des niveaux de contamination des composantes biologiques exposées à la masse d'eau garonnaise, l'estimation de l'impact des périodes d'hypoxie sur la bioaccumulation métallique et sur les effets toxiques subis au niveau cellulaire. Dans ce but, différentes approches ont été développées : **(1)** une mesure directe de la contamination des organismes échantillonnés (poissons, benthos et plancton) et la détermination des variations temporelle et spatiale ; **(2)** la transplantation d'organismes non contaminés sur différents sites dans la Garonne et la mesure des effets biologiques et écotoxicologiques ; **(3)** l'exposition en laboratoire d'organismes à différentes conditions de contamination représentatives de la Garonne.

RESULTATS MAJEURS

Etat d'oxygénation de l'eau au cours de l'été 2011

L'oxygénation de l'eau de la Garonne a été suivie en continu par la sonde MAGEST au port autonome de Bordeaux (Bacalan) et par une sonde terrain au port de Bègles. La limite inférieure de la teneur en oxygène supportée est différente entre les organismes aquatiques. Généralement, il est considéré qu'une teneur en dessous de 5 mg.L⁻¹ commence à être ressentie chez certaines espèces et qu'en dessous de 3 mg.L⁻¹ les conséquences chez les poissons sont graves. Ainsi, nous avons fixé le seuil d'hypoxie à partir de valeurs inférieures à 4 mg.L⁻¹. En août 2011, l'hypoxie a été plus marquée à Bacalan qu'à Bègles et les jours présentant des valeurs inférieures au seuil choisi représentaient respectivement 10 % et 3 % des données mesurées. En septembre, elle a été aussi marquée aux deux sites mais plus intense qu'en août, avec des valeurs passant à 32 % à Bacalan et 76 % à Bègles.

Prélèvement direct d'individus dans la Garonne(1)

Pêches poissons

Sur le peu d'anguilles pêchées en 2010, les analyses n'ont montré aucune différence entre les sites. En 2011, de nouvelles anguilles ont été pêchées à trois périodes, y compris en période d'hypoxie, par des verveux posés au niveau du pont d'aquitaine (aval de Bordeaux) et de Bègles. Au vu des résultats de l'année 1, ces analyses ne nous ont pas paru prioritaires. Elles sont donc encore en cours.

Prélèvement de benthos

Les pêches de benthos menées n'ont pas permis de récolter suffisamment d'échantillons pour réaliser les mesures prévues.

Pêches de copépodes

Des échantillons de copépodes ont été collectés en collaboration avec l'action 3 une fois par mois de mai à novembre 2011 et à des moments tidaux différents (pleine mer (PM) et basse mer (BM)) pour étudier l'influence des apports continentaux et océaniques sur le copépode *Eurytemora affinis*. Les quatre sites de prélèvement ont été (1) **Libourne à PM** (site de référence sur la Dordogne), (2) **Bacalan à PM et BM** (Garonne), (3) **Langoiran à BM** (site de référence en amont de la Garonne) et (4) **Ambès à PM** (côté Garonne).

Parmi les métaux accumulés, l'étude s'est portée sur le Cd (métal majoritairement présent dans la Garonne et connu pour sa toxicité). Les résultats ont été traités par une analyse en composante principale (ACP) prenant en compte la bioaccumulation du Cd, la salinité, la température, l'oxygénation et la concentration en matières en suspension (figure 1). Cette analyse révèle tout d'abord une corrélation forte entre l'accumulation de Cd, la salinité du milieu et les MES, qui influent grandement sur la répartition des stations de septembre et d'octobre. En particulier, la corrélation entre bioaccumulation et salinité s'explique par une désorption des ions Cd²⁺ des MES avec l'augmentation de la salinité, favorisant l'accumulation de la forme la plus biodisponible de ce métal (Castagnet, 2003).

D'autre part, un effet saisonnier de la bioaccumulation en Cd est observé, avec une plus forte accumulation aux mois de septembre et octobre. Un maximum de 13,75 mg Cd.kg⁻¹ de poids sec a été observé par exemple en septembre sur les copépodes échantillonnés à Ambès. De plus, l'hypoxie observée en septembre entrainerait une augmentation de la ventilation des organismes (Legeay et al., 2005, Pierron et al., 2007) et amplifierait la contamination par voie directe. Les résultats de l'ACP montrent également une variation spatiale de la contamination en Cd. En effet, les copépodes prélevés aux sites d'Ambès et de Bacalan sont les plus contaminés. Un apport en Cd de la CUB dans cette masse d'eau pourrait l'expliquer.

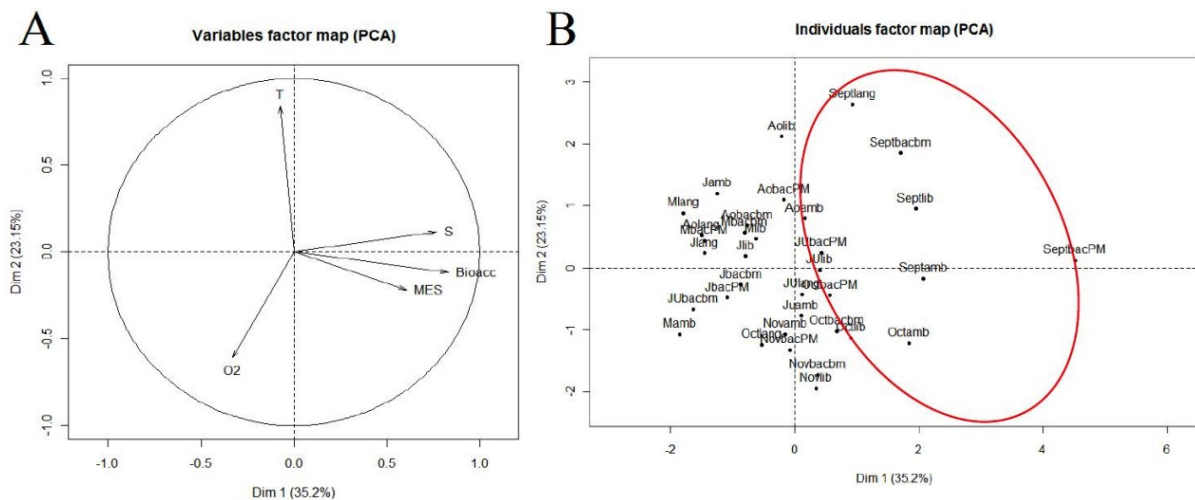


Figure 15- Analyse en composantes principales (ACP) basées sur les bioaccumulations en Cd (*bioacc*) chez *Eurytemora affinis* ainsi que les paramètres physico-chimiques (température (T), oxygène (O), salinité (S) et matières en suspension (MES) de l'eau de Garonne et de la Dordogne sur la période d'échantillonnage.

Code de la projection des individus : (1) le mois: mai (M), juin (J), juillet (Ju), août (Ao) et octobre (Oct) et novembre (Nov) ; (2) le site : Ambès (amb), Libourne (lib), Bacalan (bac) et Langoiran (lang) ; (3) Le moment de la marée : pleine mer (PM) et basse mer (BM).

Les mesures de métallothionéines (MTs), protéines de détoxication des métaux, ont montré deux pics de synthèse protéique. Le premier a été observé sur la période juin-juillet-août alors que la bioaccumulation n'y est pas la plus forte. Cependant, la reproduction des copépodes serait déclenchée à cette période et l'augmentation des MTs pourrait donc y être corrélée (Baudrimont et al. en 1997). Le second pic observé à Bacalan, Ambès et Libourne en septembre-octobre serait

quant à lui, déterminé par une augmentation de la bioaccumulation du Cd sur ces sites, montrant la capacité de ces organismes à répondre à la contamination métallique.

Parallèlement à ce travail, pour la première fois des gènes ont été caractérisés chez *Eurytemora affinis*. Différentes fonctions métaboliques (la protection contre le stress oxydant, contre un choc thermique et la métabolisation lipidique) ont pu être quantifiées. Le niveau d'expression de ces gènes a montré une variation temporelle avec des différences entre les mois de mai et juillet. A Bacalan PM, la surexpression des gènes *HSP 70* et *HSP 90* par rapport au site référence (Langoiran) semble montrer un stress général subi par *E. affinis*. Ces résultats très préliminaires restent à approfondir afin de mieux comprendre les réponses observées.

La transplantation d'organismes dans la Garonne (2)

Schéma des transplantations

Des corbicules et des anguilles venant de sites non contaminés (respectivement de St. Seurin et du domaine de Certes) ont été transplantés dans la Garonne en amont (Bègles¹) et en aval de Bordeaux (Bacalan) ainsi qu'au niveau d'un site « de référence » (St. Macaire). Ils ont été exposés selon trois périodes de 1 mois (juillet, août et septembre) ou sur les trois mois en période estivale en 2011 (figure 2). Avant chaque transplantation, des organismes témoins non exposés à l'eau de Garonne ont été prélevés et analysés (St. Seurin).

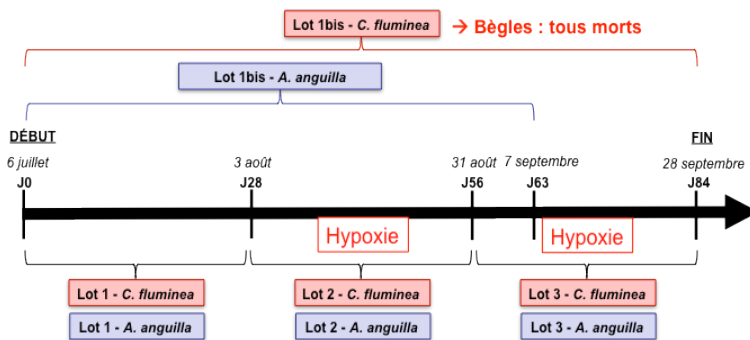


Figure 16- Schéma de la transplantation de *Corbicula fluminea* et d'*Anguilla anguilla* en période estivale dans la Garonne à Bacalan (amont de Bordeaux), Bègles (aval de Bordeaux) et St. Macaire (site référence) entre un et trois mois.

Une mortalité progressive des anguilles transplantées à Bacalan pour trois mois nous a obligés à les retirer prématurément afin de garder un échantillonnage suffisant pour les analyses prévues. L'absence de mortalité à St. Macaire sur la même période nous permet de supposer un impact des conditions physico-

¹ Seules des corbicules y ont été transplantées chimiques de la masse d'eau au niveau de Bordeaux, d'autant plus que les indices de condition ont diminué progressivement. Les mêmes inhibitions de croissance ont été observées chez les corbicules pendant les transplantations. Enfin, la mortalité soudaine des corbicules restées trois mois à Bègles est inquiétante et laisse penser à un apport ponctuel nocif visiblement non ressenti à Bacalan.

Le bivalve filtreur (*Corbicula fluminea*)

Une ACP prenant en compte la totalité des paramètres mesurés chez *C. fluminea* a permis de dégager, selon les plan factoriels 1 et 2 représentant 63% de la variabilité totale (figure 3A et 3B) des concentrations métalliques fortement corrélées d'une part entre Mn, V, Co et Pb, d'autre part entre Ni, Cr, et Cd et enfin entre Hg, Cu et As. Le site de Bacalan représente des accumulations marquées en Cd, Ni et Cr, parfaitement corrélées à la réponse des MTs, alors que le site de Bègles est beaucoup moins influencé par ces contaminants. Ceci montre un impact non négligeable de la CUB sur la contamination métallique des organismes aquatiques. D'autre part, les corbicules ayant le moins accumulé présentent une activité ATPasique élevée (St Seurin). L'indice de condition (relatif aux conditions environnementales) et la bioaccumulation en Zn sont corrélées mais indépendantes des autres éléments, et piloté principalement par le site de St

Macaire en juillet. Hg, Cu et As semblent corrélés à la production de MDA, notamment le Hg, ce qui avait déjà été mis en évidence en 2010. Ces accumulations semblent marquer le site de Bacalan en septembre, mais surtout le site de St Macaire après 3 mois de transplantation, caractérisant les apports originaires de l'amont du bassin versant. En effet, cette région agricole utilise potentiellement des fongicides à base de Hg et de Cu (bouillie bordelaise) ou encore des traitements pour le bois contenant de l'As (Molénat et al., 2000) et des biocides à base d'arsénite de sodium utilisés jusqu'en 2001 en viticulture (rapport INRS, 2004) et très rémanents dans l'environnement. Aussi, les activités anthropiques situées en amont de notre site « de référence » représentent de nombreuses sources potentielles de contamination.

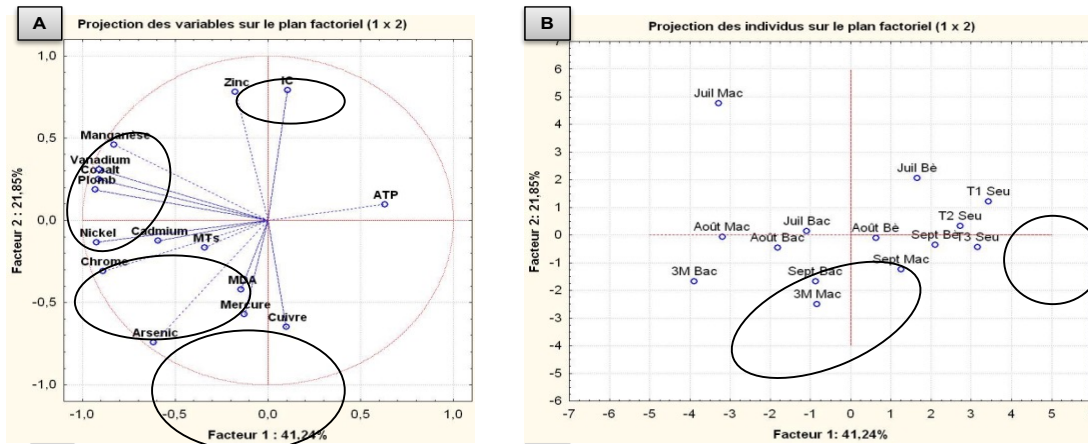


Figure 17- Analyses en composantes principales (ACP) basées sur la bioaccumulation polymétallique, l'indice de condition (IC), l'activité ATPasique (ATP) et les concentrations en malondialdéhyde (MDA) chez *Corbicula fluminea*. Les projections des individus sur les plans factoriels 1 x 2 (C) et 1 x 3 (D) ont été associées à leurs cercles des corrélations (respectivement en A et B).
Code de la projection des individus : (1) le mois: Juillet (Juil), août (Août) et septembre (Sept) ; (2) les sites : St. Macaire (Mac), Bègles (Bè), Bacalan (Bac) et St. Seurin (StSeu). Les témoins associés au lot 1 (ou lot 1bis), lot 2 et lot 3 sont respectivement nommés T1 StSeu, T2 St Seu et T3 StSeu.

Contrairement à la bioaccumulation, la génétique a permis de caractériser les phases d'hypoxie chez les corbicules. En effet, les niveaux d'expression génétique sont similaires voire plus faibles à Bègles et Bacalan qu'à St Macaire durant les mois d'août et septembre (tableau 2A), avec une majorité de répressions caractérisant la période d'hypoxie. Ces résultats traduisent une diminution du métabolisme énergétique et donc une diminution de l'activité des espèces. Lorsque l'hypoxie est moins sévère au mois d'août, des inductions ciblées de gènes participant à la lutte contre le stress oxydant et à la détoxification sont observées. Après trois mois d'exposition à Bacalan, les corbicules surexpriment les gènes *mt1* et *I2S* impliqués respectivement dans la lutte contre la contamination métallique et le maintien de la respiration mitochondriale, avec une disparition de la plupart des répressions géniques. Ces résultats semblent montrer un retour à un état métabolique normal et donc une adaptation métabolique transitoire des corbicules aux conditions physico-chimiques et de contamination de la Garonne.

Tableau 2- A : Niveau d'expression des gènes dans la masse vicérale chez les corbicules de Bègles et Bacalan en comparaison avec St. Macaire: catalase (*cat*), superoxyde-dismutase (*sod*), glutathion-S-transférase (*gst*), métallothionéine (*mt*), sous-unité 1 du cytochrome c oxydase (*cox1*) et *12s*,

B : Niveau d'expression des gènes dans le foie de l'anguille à Bacalan en comparaison avec St. Macaire: 6-phosphogluconate (*6PGD*), glucose-6-Phosphate désydrogénase (*G6PD*), acétyl-CoA carboxylase (*ACC*), triglycéride lipase (*TGL*), ATP synthase 6, sous-unité 1 du cytochrome c oxydase (*cox1*), catalase (*cat*), superoxyde-dismutase (*sod*), métallothionéine (*mt*), et le cytochrome P450 (*cyp450*).

Les répressions génétiques sont représentées en violet et les inductions en vert.

BACALAN				
A	Juillet	Août	Septembre	Juillet à Septembre
<i>sod</i>	/	/	33,46333895	2,45957653
<i>gst</i>	/	/	2,298072086	/
<i>mt1</i>	/	1,948282183	/	3,246179671
<i>cox1</i>	/	/	5,713916792	/
<i>12s</i>	/	4,696178984	/	3,732063793
BEGLES				
	Juillet	Août	Septembre	Juillet à Septembre
<i>cat</i>	/	/	7,516826816	morts
<i>sod</i>	/	2,286397239	/	
<i>gst</i>	/	/	1,985589307	
<i>mt1</i>	/	2,589853252	1,7327641	
<i>cox1</i>	/	/	/	
<i>12s</i>	/	3,701949589	3,576136748	

BACALAN				
B	Juillet	Août	Septembre	Juil.->Sept.
<i>6pgd</i>	/	/	/	/
<i>g6pd</i>	/	/	/	/
<i>acc</i>	8	/	/	6
<i>tgl</i>	47	25	/	/
<i>atp synthase 6</i>	/	/	/	/
<i>cox1</i>	/	/	/	/
<i>catalase</i>	1,8	/	/	/
<i>sod</i>	/	1,6	3,5	/
<i>mt1</i>	/	/	/	/
<i>cyp450</i>	/	/	/	/

L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*)

Les concentrations sont faibles pour la plupart des métaux dans le foie de l'anguille (organe impliqué dans la régulation du métabolisme) et les réponses génétiques présentent les mêmes tendances que celles des corbicules (tableau 2B). Les résultats obtenus avec l'anguille étant proches de ceux mesurés chez les corbicules, mais de façon beaucoup moins marquée, nous avons choisi de ne pas renouveler les transplantations en 2012 avec cette espèce menacée.

Exposition des organismes en laboratoire (3)

La forte accumulation du nickel (Ni) lors des transplantations en 2010 et le peu d'informations dans la littérature ont conforté notre choix portant sur l'étude de l'effet du Ni couplé à l'hypoxie en laboratoire. Ainsi, deux séries de bivalves ont été exposées durant 21 jours à deux niveaux de contamination (4 ppb et 40 ppb) encadrant ceux retrouvés dans l'hexagone (absence de données dans la Garonne). Après 7j d'expérience, une seule série de corbicules ont subi 7j d'hypoxie transitoire, suivie de 7j de retour à la normoxie. Les analyses de bioaccumulation ont permis de montrer d'une part la régulation des concentrations en ce métal réalisée dans les tissus de *C. fluminea* notamment dans les branchies et la masse viscérale, et d'autre part, l'impact de l'hypoxie diminuant l'efficacité de cette régulation. La toxicité du Ni révélée dans les tissus est proche de celle connue avec le Cd (stress oxydant) et cet effet est amplifié par l'application de 7j d'hypoxie, ce qui démontre l'effet néfaste cumulé de la contamination métallique et des conditions hypoxiques.

AVIS SCIENTIFIQUES ET PRECONISATIONS

Les différentes analyses réalisées sur les poissons, copépodes et bivalves ont montré une variation spatio-temporelle de l'accumulation métallique avec une plus forte contamination en aval de la CUB et en période d'hypoxie la plus marquée (août/septembre). Sur trois mois d'exposition en période estivale, les anguilles et les corbicules montrent une certaine capacité d'adaptation aux conditions hypoxiques et de contamination métallique de la Garonne. Néanmoins, les stress oxydant et métallique subis par les organismes aquatiques affectent leurs dépenses énergétiques au détriment de leur croissance, voire de leur survie. Au vu de ces résultats, il semble nécessaire de limiter les rejets de métaux provenant des STEP ou des activités amont du bassin versant, notamment en période critique d'étiage estival.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Castagnet S. (2003). Etude expérimentale de la contamination par le cadmium de la crevette blanche (*Palaemon longirostris*) en fonction de la salinité, 19pp.
- INRS (2004). Exposition à l'arsenic en viticulture : apport biométrie. INRS, documents pour le Médecin du Travail, n°100, 4^e trimestre 2004, 499-507.
- 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, 242–253.
- Molénat N., Holeman M. and Pinel R. (2000). Arsenic as a pollutant of the environment: Origins, repartition, biotransformations and ecotoxicity. *L'actualité chimique*, 6, 12-23.
- 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, 10-19.

AXE 5



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^e 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

Avril 2011 – Mars 2012

Dans cet AXE 5, le principe est de procéder à la synthèse des observations de la qualité des eaux de cette zone et de la compréhension des mécanismes biogéochimiques et du comportement des cortèges biologiques abordés dans les axes précédents, à la lumière des nouvelles données acquises dans cette zone trop rarement étudiée en dépit de son importance primordiale.

Il s'agit en effet d'une 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 et ceux urbains d'origine locale vont subir de multiples transformations pouvant générer une dégradation notable de la qualité des eaux et avoir d'importantes répercussions sur les communautés biologiques présentes.

Cet axe 5 doit donc être considéré comme un axe de consolidation et de synthèse des données ayant pour objectif de connaître le milieu récepteur et les interactions des différents facteurs étudiés dans ce milieu, d'en connaître son état écologique actuel et de dégager des axes de travail pour atteindre un retour au bon état écologique du milieu.

L'impact socio-économique devra à terme être intégré suite à ces recherches afin de pouvoir choisir et prioriser les solutions environnementales pertinentes à mettre en œuvre pour répondre à la DCE de manière efficace et pérenne.

Pour le moment il existe un réel manque d'information et de certitude concernant le niveau actuel de l'état écologique de cette partie amont d'estuaire garonnais et la hiérarchie des facteurs de dégradation (qualité physicochimique, hypoxies, toxicité, absence de diversité et d'abris, envasement...).

La mise en commun des données acquises dans les 4 axes de recherche précédemment décrits et portant au moins sur les deux premières années de recherche doit aider à combler cette lacune, qui ne permet pas actuellement d'avoir une caractérisation précise des masses d'eau présentes dans cette section d'estuaire.

Les objectifs affichés à cet égard sont donc :

- de livrer un bilan précis et complet 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 mettre à disposition l'ensemble des données acquises aux scientifiques et aux personnels des organismes partenaires et de les sécuriser ;
- 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 leur émission, etc...), si l'on veut atteindre un « Bon Etat ou Bon Potentiel Ecologique » des eaux dans ce type de milieu.

Bien sûr, il sera possible d'appliquer localement les critères d'appréciation du « Bon Etat ou Bon Potentiel Ecologique », choisis au niveau national, sur ces milieux spécifiques que forment les eaux estuariennes soumises à l'influence de la marée en proximité de zone urbaine. Mais cette étude devrait permettre d'apprécier plus finement l'état des compartiments biologiques de même que l'origine et les niveaux de pression subis, pour faciliter l'intégration des priorités d'action nécessaires dans la décision publique d'investissement et de gestion et restauration de ces masses d'eau, au-delà du programme de surveillance réglementaire.

Tout ceci nécessite d'avoir des jeux complets de données sur la qualité des eaux de la section estuarienne garonnaise et sur les cycles d'abondance et d'état des populations biologiques en place et/ou migratoires, ce qui passe par l'acquisition d'au moins deux années de données. L'avancement de cet axe ne peut donc être vraiment envisagé qu'au cours de l'année 3. Des réunions régulières entre chercheurs, tous présents à Bordeaux, ne devraient pas poser de problèmes et permettre de répondre, plus ou moins complètement, aux questions soulevées dans cet axe.