



EXTRAIT DU REGISTRE DES DELIBERATIONS DU CONSEIL MUNICIPAL

Conseillers en exercice : 61

Date de Publicité : 27/10/15

Reçu en Préfecture le : 27/10/15
CERTIFIÉ EXACT,

Séance du lundi 26 octobre 2015
D - 2015/532

Aujourd'hui 26 octobre 2015, à 15h00,

le Conseil Municipal de la Ville de Bordeaux s'est réuni en l'Hôtel de Ville, dans la salle de ses séances, sous la présidence de

Monsieur Alain JUPPE - Maire

Interruption de séance de 17h10 à 17h20

Etaient Présents :

Monsieur Alain JUPPE, Madame Virginie CALMELS, Monsieur Nicolas FLORIAN, Madame Alexandra SIARRI, Monsieur Didier CAZABONNE, Madame Anne BREZILLON, Monsieur Fabien ROBERT, Mme Anne-Marie CAZALET, Monsieur Nicolas BRUGERE, Madame Brigitte COLLET, Monsieur Jean-Louis DAVID, Madame Emmanuelle CUNY, Monsieur Stephan DELAUX, Madame Nathalie DELATTRE, Monsieur Marik FETOUH, Madame Laurence DESSERTINE, Monsieur Jean-Michel GAUTE, Madame Magali FRONZES, Monsieur Pierre LOTHAIRES, Madame Emilie KUZIEW, Monsieur Pierre De Gaétan NJIKAM MOULIOM, Madame Arielle PIAZZA, Monsieur Jérôme SIRI, Madame Elizabeth TOUTON, Monsieur Joël SOLARI, Monsieur Jean-Pierre GUYOMARC'H, Monsieur Michel DUCHENE, Madame Mariette LABORDE, Madame Marie-Françoise LIRE, Monsieur Erick AOUIZERATE, Monsieur Philippe FRAILE MARTIN, Monsieur Benoit MARTIN, Monsieur Gérald CARMONA, Madame Anne WALRYCK, Madame Marie-Hélène VILLANOVE, Madame Florence FORZY-RAFFARD, Madame Constance MOLLAT, Monsieur Alain SILVESTRE, Madame Marie-José DEL REY, Madame Maribel BERNARD, Monsieur Guy ACCOCEBERRY, Monsieur Yohan DAVID, Monsieur Edouard du PARC, Madame Estelle GENTILLEAU, Monsieur Yassine LOUIMI, Madame Stéphanie GIVERNAUD, Mme Laetitia JARTY ROY, Madame Solène COUCAUD-CHAZAL, Madame Cécile MIGLIORE, Madame Michèle DELAUNAY, Madame Emmanuelle AJON, Monsieur Nicolas GUENRO, Madame Delphine JAMET, Monsieur Matthieu ROUYEYRE, Monsieur Jacques COLOMBIER, Madame Catherine BOUILHET,

Excusés :

Madame Ana maria TORRES, Madame Sandrine RENOU, Monsieur Marc LAFOSSE, Monsieur Pierre HURMIC, Monsieur Vincent FELTESSE

**Convention de partenariat entre la Ville de Bordeaux
et l'Institut National de la Recherche Agronomique
sur la définition d'un protocole de phytoremédiation
de sites contaminés. Autorisation. Signature.**

Madame Magali FRONZES, Adjoint au Maire, présente le rapport suivant :

Mesdames, Messieurs,

Le projet urbain de Bordeaux vise la reconquête progressive des friches industrielles situées sur l'arc de développement durable. Ceci concerne en particulier les quartiers de la gare, Bastide Niel, Bastide Brazza et les Bassins à Flot.

Ces friches connaissant fréquemment un niveau de pollution élevé des sols. Leur réhabilitation aux fins de constitution d'espaces publics nécessite d'intégrer cette problématique au titre des contraintes d'aménagement, justifiant ainsi la mise en œuvre d'un processus de phytomanagement pour raisonner les coûts tout en garantissant la sécurité du public et la maîtrise des risques pour l'environnement.

Par délibération n°2013-11 du 25 février 2013, la Ville de Bordeaux a confié à l'Institut National de Recherche Agronomique (Unité Mixte de Recherches BIOdiversité, GENes et Communautés – Université de Bordeaux 1) la mission de réaliser un protocole de phytoremédiation de la pollution dans l'emprise d'aménagement prévue du Parc aux Angéliques. Les engagements respectifs de chaque partie ont été définis par convention de partenariat, signée pour une durée de 24 mois.

Sur la base du diagnostic de la contamination des sols et des risques liés à une exposition à cette pollution, une stratégie de revégétalisation du site, alliant contraintes paysagères et phytomanagement de la contamination a été proposée à la ville de Bordeaux (*Parc des Angéliques - Quai de Brazza – Débouché pont Chaban-Delmas - DIAGNOSTIC DE CONTAMINATION Rapport final : Septembre 2014*).

Cette stratégie a ainsi permis de réaliser un aménagement paysager en limitant l'exposition aux contaminants des publics et des divers récepteurs biologiques (plantes, insectes) et en optimisant les coûts inhérents à la gestion de ces terres contaminées (enlèvement, transport et traitement),

Dans la continuité des travaux d'aménagement réalisés au niveau du débouché du pont Chaban-Delmas, la présence de nouvelles parcelles présentant un niveau de pollution élevé nécessite la poursuite de la collaboration avec l'Institut National de Recherche Agronomique (Unité Mixte de Recherches BIODiversité, GENes et Communautés – Université de Bordeaux 1), afin de permettre la réalisation de nouveaux protocoles de phytoremédiation adaptés aux spécificités des sites considérés.

Le recours à ce partenariat pourra également porter sur toutes les parcelles concernées par un projet d'aménagement public d'espace vert, et confrontées à la même problématique. Le renouvellement de la convention de partenariat est donc proposé pour une nouvelle période de 24 mois, suivant les modalités définies par la convention jointe en annexe.

Dans le cadre de ce nouveau partenariat, la Ville de Bordeaux s'engage à mettre à disposition de l'INRA une subvention de 92 075 euros, correspondant aux frais de salaires du post-doctorant affecté sur ce projet.

En conséquence, je vous demande, Mesdames, Messieurs, de bien vouloir autoriser Monsieur le Maire à :

- signer la convention ci-annexée,
- verser la subvention de 92 075 euros à l'INRA correspondant aux frais de salaire du post-doctorant (y compris les frais de gestion de 4%) affecté par l'INRA (UMR BIOGECO 1202 sur cette mission)

ADOpte A L'UNANIMITE

Fait et Délibéré à Bordeaux, en l'Hôtel de Ville, le 26 octobre 2015

P/EXPEDITION CONFORME,

Madame Magali FRONZES



CONVENTION DE PARTENARIAT ENTRE LA VILLE DE BORDEAUX ET L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE SUR LA DEFINITION D'UN PROTOCOLE DE PHYTOREMEDIATION DE SITES CONTAMINES

Entre

Monsieur Alain Juppé, Maire de Bordeaux, habilité aux fins des présentes par délibération du Conseil Municipal en date du, et reçue à la Préfecture le

Et

L'Institut National de la Recherche Agronomique, ci-après dénommée "INRA", domiciliée au 71 avenue Edouard Bourlaux - 33 833 Villenave d'Ornon Cedex, représenté par Monsieur Hubert de Rochambeau, Président du Centre Bordeaux-Aquitaine

Expose

La politique générale d'aide aux associations ou aux établissements publics de la ville de Bordeaux fait l'objet de conventions de partenariat qui définissent les objectifs et les moyens, les conditions matérielles et financières de l'aide apportée par la ville ainsi que les engagements des deux parties.

Considérant

Que l'INRA, au travers de son équipe Ecologie des Communautés qui fait partie de l'Unité Mixte de recherche UMR BIOGECO 1202, expérimente et développe des procédés de dépollution des sols par les plantes au sein d'un réseau de chercheurs européens à la pointe de la recherche dans ce domaine.

Que la ville de Bordeaux, comme toutes les métropoles européennes, est confrontée dans le cadre de son développement par la reconquête des sites et sols industriels pollués,

Que la phytoremédiation (dépollution des sols par les plantes et les microorganismes associés) constitue une alternative au décapage des terres polluées et à leur confinement par mise en décharge spécialisée, solution lente mais intéressante au point de vue écologique et économique dans les cas de terrains sans affectation d'usage public sur plusieurs décennies,

Que les parcelles destinées à constituer les lanières vertes du futur quartier Brazza en particulier, ou les futurs espaces publics verts en général dans les nouveaux quartiers de l'arc de développement durable, présentent une pollution historique supposée liée aux activités pratiquées sur les parcelles voisines et nécessitent des aménagements adéquats pour limiter l'exposition des récepteurs biologiques aux contaminations.

Il a été convenu :

Article 1 : Objet de la convention.

La présente convention a pour objet de définir le partenariat entre la ville de Bordeaux et l'INRA autour du thème de la dépollution expérimentale des sols pollués des parcelles destinées à constituer les lanières vertes du futur quartier Brazza en particulier, ou les futurs espaces publics verts en général dans les

nouveaux quartiers de l'arc de développement durable. Le projet consiste à définir le protocole le plus adapté sur ce site en matière de dépollution et de recyclage/valorisation des végétaux produits, de la phase de diagnostic initial détaillé jusqu'à l'établissement du modèle de plantation et de la filière de traitement. **Les précisions sur les modalités du partenariat sont décrites dans l'annexe 1.**

Les résultats obtenus lors de la première phase de partenariat ont fait l'objet d'une publication dans une revue scientifique spécialisée qui figure en annexe 2.

Le développement de ces techniques de phytoremédiation s'intègre dans une stratégie plus globale à l'échelle de l'estuaire de la Gironde dont le projet est développé dans l'annexe 3.

Article 2 : Engagements opérationnels et financiers.

La ville de Bordeaux s'engage à mettre à disposition de l'équipe Ecologie des Communautés de l'UMR BIOGECO 1202 les terrains une fois ceux-ci récupérés, à apporter son support logistique et matériel, à prendre en charge les frais d'analyses, de clôtures et de signalétique, à mettre à disposition du public les résultats obtenus et à réaliser le projet de phytoremédiation si toutes les étapes de faisabilité sont confirmées;

Pour la durée du partenariat, fixée à 24 mois, la ville de Bordeaux s'engage à mettre à disposition de l'INRA une subvention de **92 075 euros**, correspondant aux frais de salaires (y compris les frais de gestion de 4%) d'un post-doctorant affecté à ce sujet.

L'INRA, par le biais de l'équipe Ecologie des Communautés de l'UMR BIOGECO 1202 s'engage à assurer l'encadrement scientifique de haut niveau nécessaire à l'établissement du protocole, à héberger dans ses locaux le post-doctorant missionné sur ce projet et à prendre en charge les frais de fonctionnement induits de cet hébergement, à réaliser les différentes étapes, détaillées en annexe 1, de diagnostic initial détaillé, d'identification des solutions possibles et de criblage de ces solutions par les filtres du coût économique et du potentiel de valorisation des végétaux produits en fonction des différentes filières, à rendre compte régulièrement (tous les mois ou sur demande) de l'avancement de ses travaux auprès de la Direction des Parcs, des Jardins et des Rives qui suit ce projet pour la ville de Bordeaux. Un rapport sera fourni pour chacune des trois étapes définies dans le projet.

Article 3 : Mode de règlement

La subvention sera créditée au compte de l'Agent Comptable Secondaire du Centre de Recherche INRA de Bordeaux

RIB : 10071 33000 0000100024 90 TPBORDEAUX

Le versement de sera établi en deux fois, la convention étant établie pour un an renouvelable une fois par tacite reconduction.

Article 4 : Conditions générales.

L'INRA s'engage :

- 1) déclarer sous 3 mois à la ville de Bordeaux tous changements intervenus dans son Conseil d'Administration,
- 2) à ne pas reverser tout ou partie de la subvention à d'autres associations, sociétés ou collectivités de toute nature,
- 3) à adopter un cadre budgétaire et comptable conforme au plan comptable général,
- 4) à restituer à la ville de Bordeaux les sommes éventuellement non utilisées,
- 5) à rappeler sur l'ensemble des outils d'information ou de communication et sur les rapports qu'elle estimera les plus adaptés concernant ce projet, le partenariat avec la ville de Bordeaux, soit sous la forme de la présence du logo municipal, soit sous la forme du texte suivant : "Projet soutenu par la mairie de Bordeaux". Le logo est à retirer à la Direction de la Communication qui devra également être destinataire de la totalité des éléments de communication ou d'information externe (affichettes, plaquettes, dossiers, ...) liée au projet.

Article 5 : Durée et conditions de renouvellement.

La présente convention est conclue pour 12 mois à compter de la date de sa signature., et sera renouvelée une seule fois par tacite reconduction.

Article 6 : Conditions de résiliation.

En cas de non respect par l'INRA de l'une des quelconques dispositions prévues aux présentes, la convention pourra être résiliée de plein droit par la ville de Bordeaux, à l'expiration d'un délai de 15 jours suivant l'envoi d'une lettre recommandée avec accusé de réception valant mise en demeure.

La présente convention sera résiliée de plein droit, sans préavis, en cas de redressement ou de liquidation judiciaire ou d'insolvabilité notoire de l'établissement public.

Article 7 : Contrôle de la ville de Bordeaux sur l'établissement public.

Conformément à l'article L. 1611-4 du Code Général des Collectivités Territoriales, l'INRA s'engage à communiquer aux fins de vérification par des délégués mandatés par le Maire :

- tout élément comptable nécessaire à justifier l'emploi de la subvention allouée,
- tout document faisant connaître les résultats de son activité.

Les deux parties à la présente convention prévoient une réunion mensuelle de suivi des opérations menées.

Article 8 : Election de domicile.

Pour l'exécution de la présente convention, il est fait élection de domicile, à savoir :

- pour la ville de Bordeaux, en l'Hôtel de Ville,
- pour l'INRA, Domaine de la Grande Ferrade, 71 avenue Edouard Bourlaux, 33 883 Villenave d'Ornon

Fait à Bordeaux en 4 exemplaires

Pour la ville de Bordeaux	Pour l'INRA
Pour le Maire	
Madame Magali FRONZES Adjoint au Maire	Monsieur Hubert ROCHAMBEAU Président du Centre

Annexe 3 : projet global à l'échelle de l'estuaire



Projet de Post-Doctorat :

Assemblages végétaux pour la biosurveillance et la restauration écologique de zones humides de l'estuaire de la Gironde

Nom du candidat au Post-Doc: Dr. Lilian Marchand

Partenaire engagé:

- **UMR BIOGECO INRA 1202**

Equipe Ecologie des Communautés, INRA, Bat B2 RdC Est, avenue des Facultés, F-33405 Talence, France et 69 Route d'Arcachon 33612 Cestas. <https://www4.bordeaux-aquitaine.inra.fr/biogeco/>

Responsable scientifique: Dr Michel MENCH, Directeur de recherches INRA, PhD, HdR, qualifié liste des professeurs section 67 Biologies des Populations.

Email: mench@bordeaux.inra.fr

Partenaires sollicités:

- **Agence de l'eau Adour-Garonne**

90 Rue du Feretra 31078 Toulouse Cedex 4
Tel. 05 61 36 37 38

Délégation de Bordeaux

4, rue du Professeur André LAVIGNOLLE
33049 BORDEAUX Cedex

Contact: Mme M.Lamouroux

Chargée de mission "littoral", agence de l'eau Adour Garonne, Délégation de Bordeaux
Tel. 05 56 11 19 92, FAX 05 56 11 63 53

- **Mairie de Bordeaux,**

Hôtel de Ville, place Pey Berland
33077 Bordeaux cedex

Contact: Mr. Eric PESME, Directeur-adjoint,
resp. pôle innovation / qualité / biodiversité
Direction Générale des Services Techniques
Direction des Parcs, des Jardins et des Rives
Tél. 05 56 10 32 78, Fax 05 56 10 32 31

10 janvier 2013

Rédacteurs : M. Mench/L.Marchand

Avant propos : Note synthétique sur l'utilisation de plantes en zones contaminée aux éléments traces en Gironde, Phytoremediation et Biosurveillance

Phytoremédiation

Un enjeu environnemental majeur lié aux activités industrielles et agricoles – dont la viticulture en Bordelais - est la contamination chronique des sols, qui deviennent des sources de contamination diffuse pour les eaux souterraines et de surface. Pour des sites de traitement du bois, il s'agit en particulier d'éléments traces (cuivre, arsenic, chrome (VI)), et de xénobiotiques organiques (ex : HAPs dérivés de la créosote). Pour les traitements en arboriculture et viticulture, d'éléments traces tels le Cuivre et de pesticides. Les zones urbaines et industrielles sont émettrices de poussières (ex: incinération de combustibles fossiles; émissions des sites métallurgiques primaires et secondaires, trafic routier, etc) , contenant des éléments traces, et de xénobiotiques organiques. Des techniques de phytoremédiation sont développées pour les sols des sites et écosystèmes contaminés (Bes et al, 2008, Marchand et al., 2011). Pour les contaminations historiques, leur gestion doit être couplée fréquemment à l'assainissement des eaux souterraines et de surface afin de limiter la contamination des milieux abiotiques environnants et de diminuer les risques pour les récepteurs biologiques. Il est crucial d'innover des solutions fiables, efficaces, persistantes, respectueuses de l'environnement et de la législation, non invasive, et apportant une valeur ajoutée aux sites contaminés. Une stratégie est la restauration écologique, avec mise en œuvre d'options de phytoremédiation, notamment pour les contaminations mixtes en couplant (phyto)rhizodégradation par les microorganismes pour les xénobiotiques organiques et phytoextraction ou phytostabilisation des éléments traces (Mench et al, 2006, Marchand et al., 2010). Ces options biotechnologiques applicables in situ sont des alternatives aux techniques conventionnelles de traitements ex-situ exclusivement physico-chimiques et/ou microbiologiques des matrices contaminées (ex : eaux contaminées, captées en surface ou à pomper sur les sites contaminés). Les procédés de phytoremédiation ont l'avantage d'être respectueux de l'environnement et moins coûteux en énergie et matières premières.

La phytoremédiation est un bio-procédé émergent basé sur:

- (i) l'utilisation de plantes pour extraire dans les parties récoltables (**phytoextraction**) ou
- (ii) immobiliser dans la rhizosphère (**phytostabilisation**) les éléments traces (métaux, métalloïdes) ou
- (iii) l'association plantes-microorganismes afin de dégrader les xénobiotiques organiques (ex : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, HAPs) (**phyto/rhizodégradation**) d'une matrice environnementale (sol, eau de nappe souterraine, eau de ruissellement) contaminée.

**Exemples de deux zones où une stratégie de Phytoremédiation efficace a été mise en place en Gironde :
Les sites du domaine de Couhins et de Saint Médard d'Eyrans (M. Mench, laboratoire BIOGECO)**



✓ Ancien site de traitement du bois, Saint Medard d'Eyrans



A



B



C

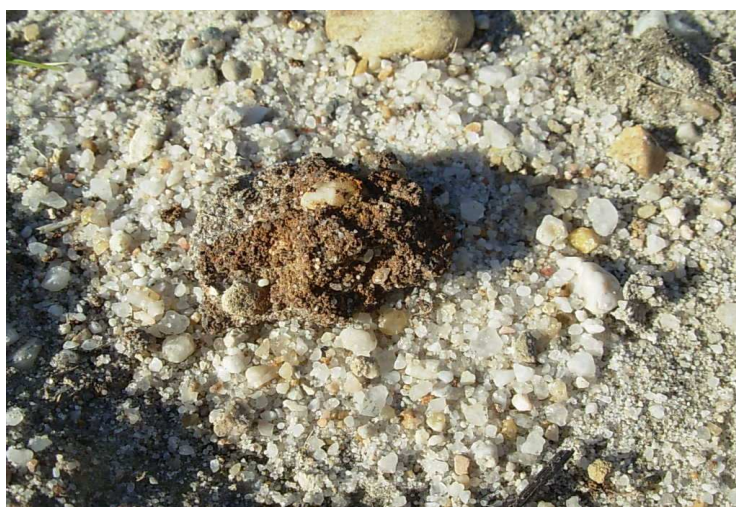


D

A. Conditions initiales du site, sol nu (jusqu'à 1460 mg Cu kg⁻¹ MS dans le sol). **B.** Plantation d'une variété de Tabac *Nicotiana tabacum* tolérant à de fortes concentrations en Cu dans le sol **C.** Plantation de taillis à courte rotation (TCR) composés de peupliers *Populus nigra*, de saules *Salix caprea*, *Salix viminalis* et de faux indigo *Amorpha fruticosa*. **D.** Plantation de peupliers *Populus trichocarpa x deltoides* vs. *Beaupré*. La strate herbacée pour **C** et **D** est principalement composée d'*Agrostis gigantea*. Les espèces sélectionnées sont naturellement présentes sur le site et tolérantes à de fortes concentration en Cu dans le sol. (photos: Juin 2012)

✓ Domaine expérimental de Couhins, Villenave d'Ornon

Les sols du domaine de Couhins sont des *graves sablo-caillouteuses* (4 % d'argile et plus de 80 % de sables, pH initial : 5,3)



Des boues de station d'épuration fortement contaminées en cadmium (1830 mg Cd kg⁻¹ MS dans les boues) et nickel (présence d'une usine de piles et accumulateurs en amont de la station d'épuration) ont été épandues trois fois en 1974, 1976 et 1978, à raison de 100 t/ha MS.

L'Equipe de Mench et al (INRA, Bordeaux) a réalisé entre les années 1990 et 2000 des recherches sur les meilleurs procédés de réhabilitation de sols pollués au Cadmium par immobilisation *in situ* sur les parcelles du domaine de Couhins (Mench et al., 2000a ; 2000b ; 2002) (Photos: Juin 2012)



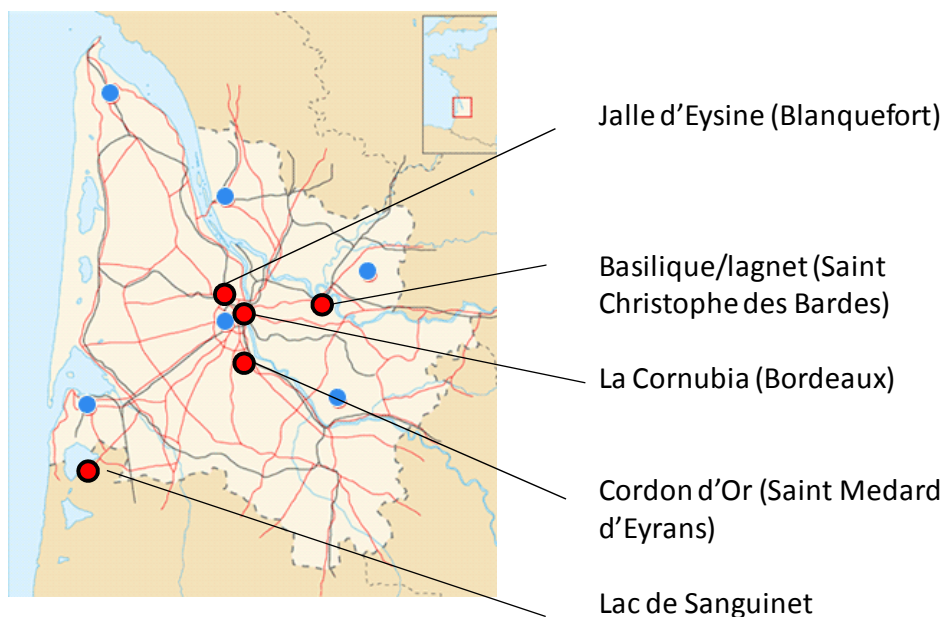
Biosurveillance

La biosurveillance est un ensemble de méthodes utilisées pour détecter et mesurer l'exposition aux contaminants au sein des différents niveaux de l'organisation biologique d'un espace. Cette notion appelle celle de bioindicateurs – organismes biologiques renseignant sur les caractéristiques biologiques/physico-chimiques de leur milieu naturel - utilisés pour le suivi de l'état des milieux.

Michel Mench et Lilian Marchand (UMR BIOGECO, Bordeaux 1/INRA), au travers d'une collaboration avec P. Lecoustumer et F. Huneau (laboratoire EGID, Bordeaux 3) ont établi plusieurs sites de biosurveillance de la qualité des milieux en Gironde via l'utilisation de macrophytes – plantes de zones humides. Les contaminants suivis dans ces travaux sont les éléments traces potentiellement toxiques (*en anglais* PTTE) tels Cu, Cd, Cr, Zn, etc. Une rivière a été considérée comme modèle pour le suivi de l'exposition des macrophytes aux éléments traces: La Jalle d'Eysines (Blanquefort)

Cette étude s'est soldée par la réalisation d'un article soumis à *Environmental Pollution* en 2013: *Macrophytes as biomonitors of trace element exposure along an urban river using a multimetric approach (Jalle d'Eysines River, France).*

Zones en Gironde où des mesures de biosurveillance ont été réalisées en 2011/2012



- ✓ La Cornubia (ancien site de production de sulfate de Cuivre, Bordeaux)
- ✓ Cordon d'Or (Zone humide à proximité directe d'un ancien site de traitement du bois, Saint Médard d'Eyrans)
- ✓ Basilique/Lagnet (Fossés de drainage viticoles, Saint Christophe des Bardes)
- ✓ Sanguinet (Lac à faible pression agricole/industrielle, Sanguinet)
- ✓ Jalle d'Eysine (Rivière soumise à forte pression anthropique, Blanquefort)



Basilique (Saint Christophe des Bardes)

Cordon d'Or (Saint Médard d'Eyrans)



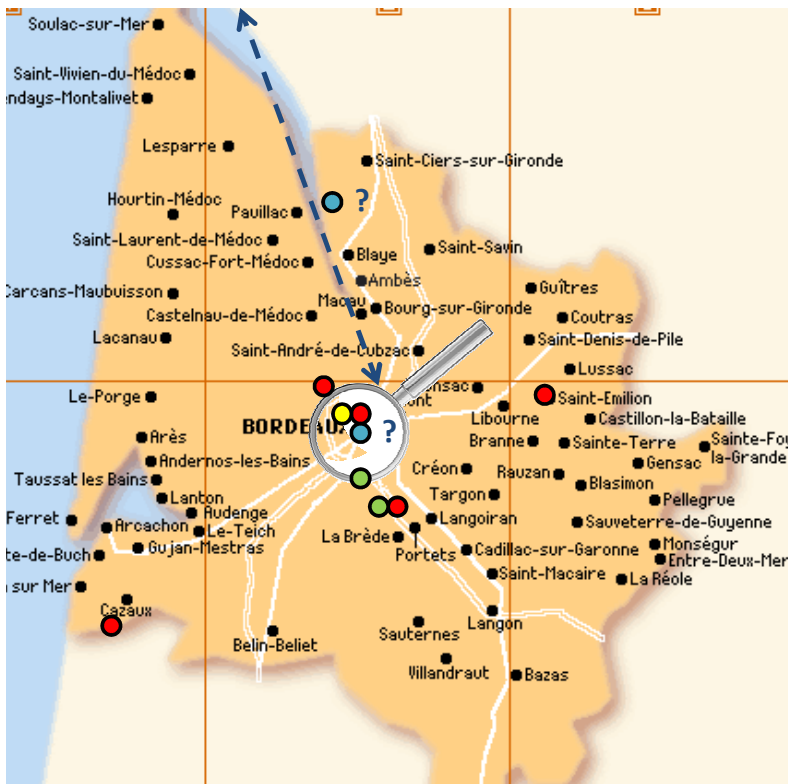
Jalle d'Eysine (Blanquefort)

Cornubia (Bordeaux)



Lac de Sanguinet

Schéma Général des actions engagées et proposées pour 2013/2014



Actions engagées depuis 2010 (décrites ci-dessus)

- **Phytoremédiation/réhabilitation/revégétalisation de sols pollués (Cu, Cd, etc.). UMR BIOGECO**
- **Biosurveillance des contaminations de zones humides aux éléments traces en utilisant les macrophytes comme bioindicateurs. UMR BIOGECO et EA Géoressources et Environnement ENSEIGID – Bordeaux 3**

Actions programmées en 2013/2014 (décrites en annexe)

- **Projet BORIFER: Phytoremédiation/réhabilitation/revégétalisation d'une parcelle (1 Ha) fortement contaminée en Zn, Pb, etc. localisée dans le parc paysagers des Angéliques (en cours de réalisation). Collaboration BIOGECO/Mairie de Bordeaux.**

Actions proposées pour 2014/2015 (décrites ci-dessous)

- ? **Projet EXPOGIRONDE : biosurveillance de l'exposition des macrophytes aux éléments traces, le long de l'estuaire de la Gironde et proposition de scénarii de réalisation de zones humides construites afin de pallier aux potentielles déficiences des stations d'épuration réparties dans l'estuaire. Collaboration Agence de l'eau/BIOGECO/(Mairie ?)**

2010 -2012

2013

2014

2015



Projet Borifer

Projet EXPOGIRONDE

Collaboration BIOGECO/Agence de l'eau: Projet EXPOGIRONDE

Contexte général

Le projet EXPOGIRONDE s'axerait sur la biosurveillance de l'exposition des macrophytes aux PTTE, le long de l'estuaire de la Gironde, entre Bordeaux et Soulac Sur Mer dans le cadre d'un Post-Doctorat réalisé par le Dr L. Marchand.

Ressource humaine : Lilian Marchand a déjà été formé lors de son doctorat à l'Université de Bordeaux 1 sur l'utilisation des macrophytes en tant que biomoniteurs des contaminations en PTTE sur les berges. Il serait sous la responsabilité scientifique du Dr M Mench, Directeur de Recherche INRA et en coordination avec le représentant de l'Agence de l'eau, Mme M. Lamouroux, Chargé de mission « Littoral ». Le post-doctorat débiterait au cours du premier semestre 2014 et se déroulerait sur 12/18 mois.

Ce volet est proposé à l'Agence de l'eau Adour Garonne et au conseil d'estuaire par L. Marchand et M. Mench, par le truchement de Mme Melina Lamouroux, Chargée de mission Littoral, Agence de l'eau Adour Garonne - Délégation de Bordeaux. Un premier contact par mail a été pris entre L. Marchand et M. Lamouroux le 12/11/2012. Suite à ce contact, M. Lamouroux a sollicité une présentation des projets BORIFER et EXPOGIRONDE afin d'évaluer l'intérêt de l'agence de l'eau AG sur cette démarche.

Le projet EXPOGIRONDE (**EXPOsition du couvert végétal aux PTTE dans l'estuaire de la GIRONDE**) s'inscrit dans la suite logique du projet BORIFER. **Le projet BORIFER, a pour objectifs la réduction de la lixiviation et la percolation de Zn, Cd, Pb et autres PTTE ainsi que des HAPs dans la GARONNE via l'utilisation d'une technique verte et de coût financier peu élevé : la phytoremédiation.** Cette approche est à l'heure actuelle encore marginale en Aquitaine. L'expertise apportée par le laboratoire BIOGECO est *de facto* neuve dans ce domaine

Au travers de travaux comme le projet BORIFER, et plus généralement de l'ensemble des actions entreprises par la Mairie de Bordeaux, l'ADEME, la CUB, le CG33, la Région Aquitaine, la DREAL et l'agence de l'eau AG, dans le cadre de la directive cadre sur l'eau (DCE) notamment http://www.eaufrance.fr/?rubrique15&id_article=35, la qualité des milieux aquatiques est en constante amélioration sur l'estuaire de la Gironde (en termes de PTTE et HAPs notamment).

- Dans les eaux de surface
- Dans les eaux souterraines
- Dans les sédiments
- Dans l'eau interstitielle
- Sur la matière organique (notamment la MO en suspension dans l'estuaire)
- Sur et dans le biofilm bactérien
- Sur et dans les organismes (poissons, amphibiens, mollusques)

- Sur et dans les macrophytes représentant l'ensemble du couvert végétal de la zone estuarienne

Cette amélioration est aussi la conséquence directe d'un meilleur contrôle des effluents poly-contaminés d'origine anthropique (ex: agriculture, sites industriels, rejets urbains, etc.) vers la Garonne et ses affluents.

Cependant, pour quantifier le résultat des actions entreprises ainsi que leur devenir dans le temps, un état de référence de l'exposition aux contaminants par les différents compartiments (sols, eaux, vivant) doit être effectué. **Un état T0 doit être réalisé, traduisant le degré d'exposition des compartiments aux contaminants juste à la fin de la DCE, en 2014/2015. Cet état de référence serait un outil fondamental pour suivre l'impact à court, moyen et long terme de la DCE dans le cadre de l'estuaire de la GIRONDE.**

Pourquoi la biosurveillance de l'exposition aux PTTE ?

La concentration totale en éléments traces, dans les eaux de surface ou dans les sédiments, est souvent utilisée comme indicateur de la contamination d'un site aux PTTE. D'autres mesures physico-chimiques telle la mesure des concentrations en PTTE dans l'eau interstitielle ou bien la mesure de la fraction échangeable (sédiments et/ou eaux) à l'aide de capteurs passifs de type DGT renseigne également sur la teneur en PTTE dans un compartiment physique connu (sol/eau).

Cependant, l'impact d'une contamination potentielle en PTTE sur le couvert végétal d'une zone humide tel l'estuaire de la GIRONDE ne dépend pas uniquement des teneurs totales ou échangeables en PTTE dans les compartiments physiques. Elle dépend également de la nature du compartiment (ex: texture du sédiment) tout autant que de la nature du végétal exposé à la contamination (ex: présence de rhizomes ou non). **La résultante de ces deux variables (mobilité de la contamination dans le compartiment physique et mobilité/accumulation dans le compartiment biologique) se traduit par l'EXPOSITION d'un organisme biologique à un contaminant donné** (ex : exposition des macrophytes de l'estuaire de la GIRONDE aux PTTE)

C'est donc bien l'EXPOSITION du vivant qui renseigne sur l'impact de la contamination, et non pas seulement la teneur en PTTE dans le compartiment physique. Cette exposition dépend, chez les macrophytes :

- des caractéristiques physico-chimiques du sédiment (teneur en MO, pH, Potentiel rédox, teneur en sables, teneur en argiles, teneur en hydroxydes, etc.)
- de la capacité de l'espèce à accumuler ou non dans les racines/rhizomes ainsi que de sa capacité à transloquer ou non vers les parties aériennes
- de la plasticité phénotypique de l'espèce considérée, i.e de son aptitude à développer des populations (souvent clonales) plus aptes à tolérer de fortes concentrations en PTTE dans le sol.

Sur la base de travaux déjà réalisés en 2010/2011 par M. Mench et L. Marchand sur la Jalle d'Eysines (utilisé alors sous forme de rivière-modèle du suivi de l'exposition des macrophytes aux PTTE), un modèle de suivi des contaminations et exposition a été développé.

Ce modèle, basé sur une analyse multivariée (LDA) des concentrations foliaires en PTTE chez 7 macrophytes représentant >80% du couvert végétal le long des berges de la Jalle d'Eysines a permis de traduire l'exposition du couvert végétal de cette rivière aux PTTE en prenant en considération l'interaction entre les variables liées aux compartiments physique (eau/sédiment) et celles liées au compartiment biologique (aptitude à stocker les PTTE dans les racines/rhizomes, aptitude à la translocation vers les parties aériennes, etc.). Ce modèle traduit clairement l'exposition du couvert végétal à une contamination pour un état de référence donné.

Application du modèle de suivi d'exposition au couvert végétal de l'estuaire de la Gironde : le projet EXPOGIRONDE

L'estuaire de la Gironde présente une contamination poly-métallique, dominée par une contamination avérée au Cadmium.

Le modèle développé dans EXPOGIRONDE a pour but de quantifier avec précision, le long d'un transect, l'exposition (la contamination « réelle ») du couvert végétal à l'ensemble de PTTE dans l'estuaire de la Gironde.

Cette biosurveillance s'établirait comme suit :

- Etablissement d'un transect d'échantillonnage dans l'estuaire, de Bordeaux à Soulac. Le transect serait à définir en fonction des attentes – et des études antérieures réalisées sur la qualité des eaux et des sédiments (laboratoire EPOC, Bordeaux 1) – de l'Agence de l'eau.
- Echantillonnage de macrophytes au pic et en fin de saison de végétation sur les stations définies au préalable.
- Mesure des concentrations en PTTE dans les parties aériennes
- **Etablissement du modèle d'EXPOSITION du couvert végétal dans l'estuaire de la Gironde** (Analyse discriminante linéaire, LDA)

Le modèle proposé permettrait :

- **D'établir un état de référence de l'exposition et de la contamination en PTTE des couverts végétaux de la Gironde au sortir de la DCE**
- **De suivre l'évolution de cette contamination dans le temps** (le modèle permet de comparer la contamination entre T0 et T+n). Il permettrait alors de suivre les retombées de la DCE à moyen et long terme par rapport à la situation en 2014/2015.

Ressource humaine et organisation du Post-doc:

Les couts mensuels et annuels (chargés) d'un post-doc sont 3461,08 euro = salaire brut + cotisations patronales + taxe sur les salaires/mensuels, soit 41 532,91/an.

Le post-doctorant serait localisé à l'UMR BIOGECO INRA 1202, sur le site de l'Université Bordeaux 1 (Bat B2, Talence).

Collaboration BIOGECO/Mairie/Agence de l'eau AG : établissement de zones humides construites dans l'estuaire de la Gironde

En parallèle des deux projets BORIFER et EXPOGIRONDE proposés respectivement à la mairie de Bordeaux et à l'agence de l'eau Adour Garonne, M. Mench et L. Marchand, du laboratoire BIOGECO proposent une expertise sur la réalisation d'une/de zone(s) humide(s) construite(s) destinée(s) à décontaminer des eaux ou effluents contaminés en PTTE dans l'estuaire de la Gironde.

Ressource humaine : Lilian Marchand a déjà été formé lors de son doctorat à l'Université de Bordeaux 1 sur l'utilisation zones humides construites (ZHC) en vue de décontaminer des eaux à fortes concentrations en PTTE. Il a – sous l'égide de M. Mench – réalisé un pilote de

ZHC au sein des serres de l'INRA « Grande Ferrade », Villenave d'Ornon) destiné à traiter des eaux à forte concentration en Cu ($150 \mu\text{g L}^{-1}$) avec un taux de réussite avoisinant les 100%.

Des zones humides construites (ZHC) pour traiter des eaux contaminées aux PTTE

La gestion des sites et sols pollués, une nouvelle thématique prioritaire pour la Région Aquitaine, ainsi que la surveillance de la qualité des eaux/sédiments de l'estuaire de la Gironde, au travers du conseil d'estuaire notamment, nécessitent une approche intégrée de gestion et d'assainissement des risques et flux de migration des contaminants tels que les PTTE. Des techniques de phytoremédiation, dont la phytostabilisation, ont été créées et développées avec succès en Aquitaine depuis 7 ans (Doctorat de C. Bes, 2008, Doctorat d'A. Kolbas, 2012 ; Doctorat de L. Marchand, 2012), pour assainir les sols et eaux contaminés (ex : ancien site de traitement du bois où une plateforme de démonstration a été développée avec le soutien d'une entreprise en Gironde).

Le savoir faire acquis dans ce domaine (travaux de l'Action COST 859 et thèse de L. Marchand Phytoremédiation en zone humide construite d'eaux contaminées au cuivre) a permis de développer une nouvelle étape pour **réduire des risques sur ces sites** qui consiste à **traiter les eaux** de ruissellement ou de nappe, contaminées au contact des sols pollués, dans des petites **zones humides construites (ZHC)**.

Pour rappel, le terme zone humide construite (ZHC) définit toute zone (bassin, chenal, etc.) réalisée artificiellement pour traiter une eau contaminée (PTTE, HAPs, produits dérivés de l'industrie pharmaceutique) où le consortium substrat/macrophytes/bactéries est sélectionné de manière à optimiser le piégeage et la dégradation des contaminants.

Un pilote de ZHC a été réalisé en 2011/012 par L. Marchand et M. Mench sous la forme de *BIO-RACKS* – ZHC sur la base de colonnes perforées - plantés de 3 espèces de macrophytes *Phragmites australis*, *Phalaris arundinacea* et *Juncus articulatus* (schéma ci dessous). Ces populations de macrophytes ont été clonées à partir d'individus originaires de la zone humide artificielle jouxtant l'ancien site industriel de la CORNUBIA, à Bordeaux (production de sulfate de Cuivre). Ce site à aujourd'hui été démoli.

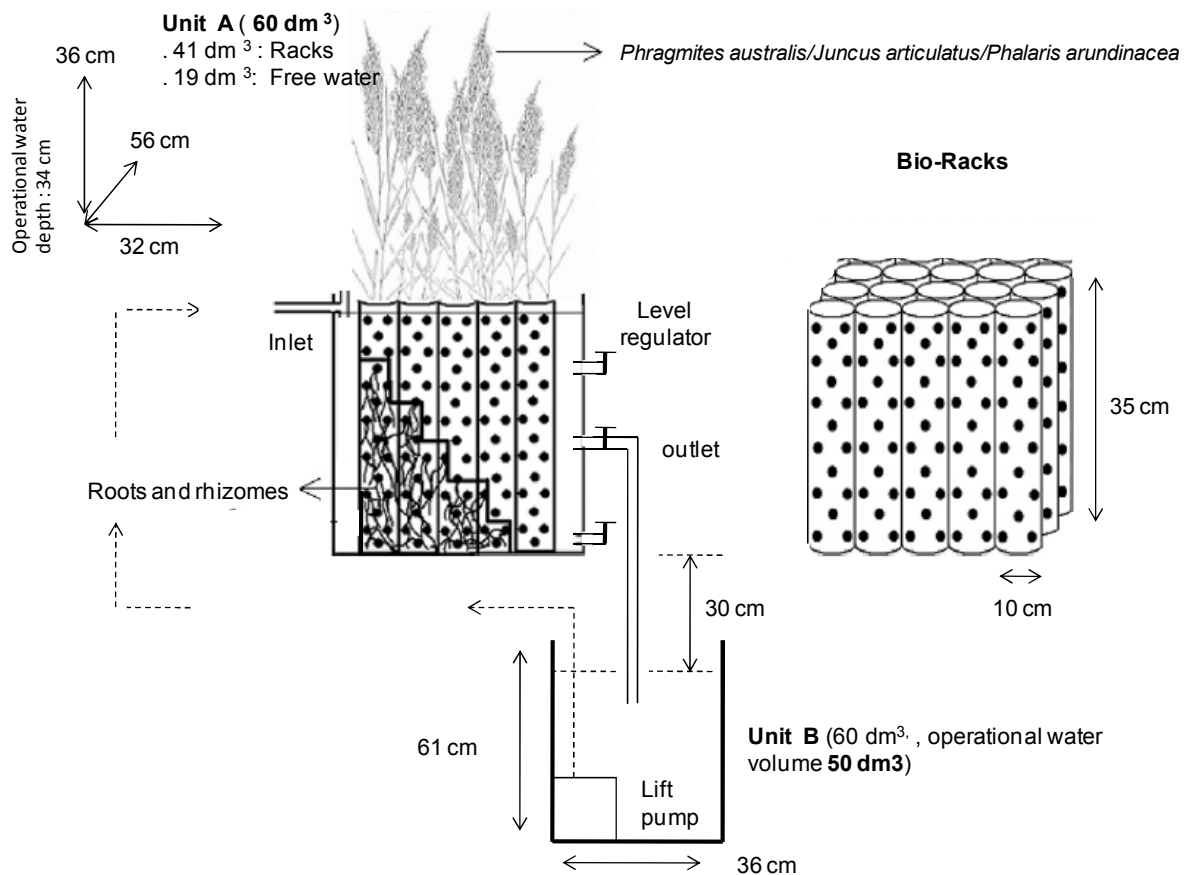


Figure 1 : Schéma d'un pilote de zone humide construite planté de macrophytes (Marchand, 2012)

Ce pilote de ZHC a permis de traiter un volume de 1000 litres d'eau contaminée au **cuivre** (conditions initiales : **150 µg L⁻¹**). Après deux semaines de traitement – en été – **99% du Cu a été piégé dans la ZHC. Les concentrations en Cu dans les eaux au bout de 15 jours étaient dans la gamme 13-20 µg L⁻¹.**

Les ZHC représentent donc une technologie verte, peu couteuse et réellement efficace dans le traitement d'effluents contaminés.

Les biomasses issues des ZHC peuvent être valorisées en solvolyse comme celles produites sur les sols (collaboration transverse avec l'ICMCB-CNRS Bordeaux 1, pole Energie Environnement, Serani-Loppinet et al ainsi qu'avec les équipes de Bert et al (Verneuil en Hallatte, INERIS), Blaudez et al (Université H Poincaré, Nancy), Boucheron et al (Ecole de Mines- Uni. J Monnet, St Etienne)).

Etablissement d'une ZHC dans l'estuaire de la Gironde

L'estuaire de la Gironde est contaminé aux PTTE, principalement au Cadmium. Cette pollution résulte en partie de la mine de Zinc du bassin de Decazeville. Les valeurs en Cd dans les sédiments peuvent atteindre ponctuellement **>2 mg kg⁻¹ MS** et le facteur d'enrichissement est **>3-5%** dans l'ensemble de l'estuaire (Figures 2 et 3). L'estuaire de la Gironde présente également une pollution importante au Chrome et au Mercure ainsi que, dans une moindre mesure, au Zinc, Cuivre et Plomb (Figure 2 et 3).

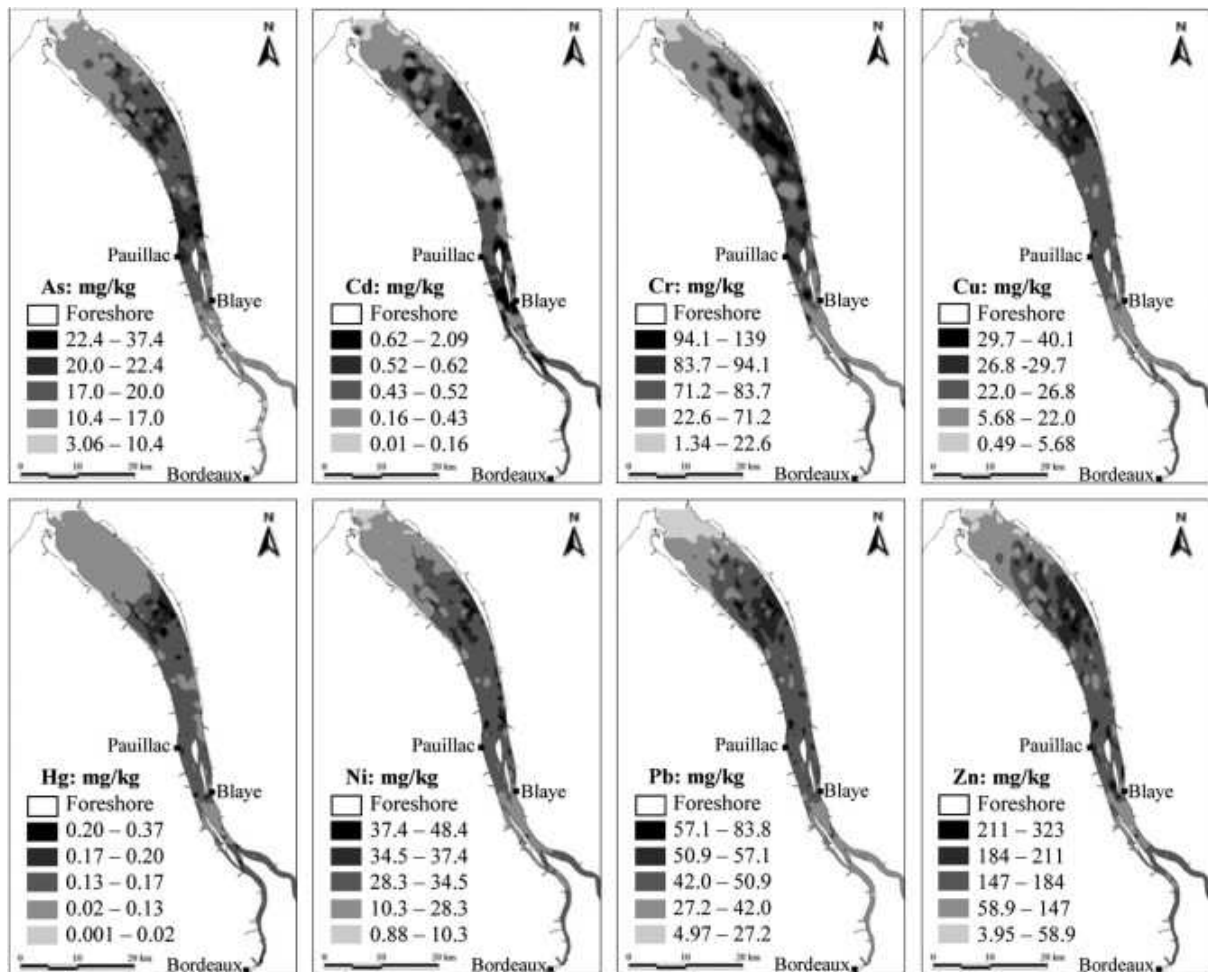


Figure 2 : Concentrations en PTTE dans les sédiments de l'estuaire de la Gironde (Larosse et al., 2010)

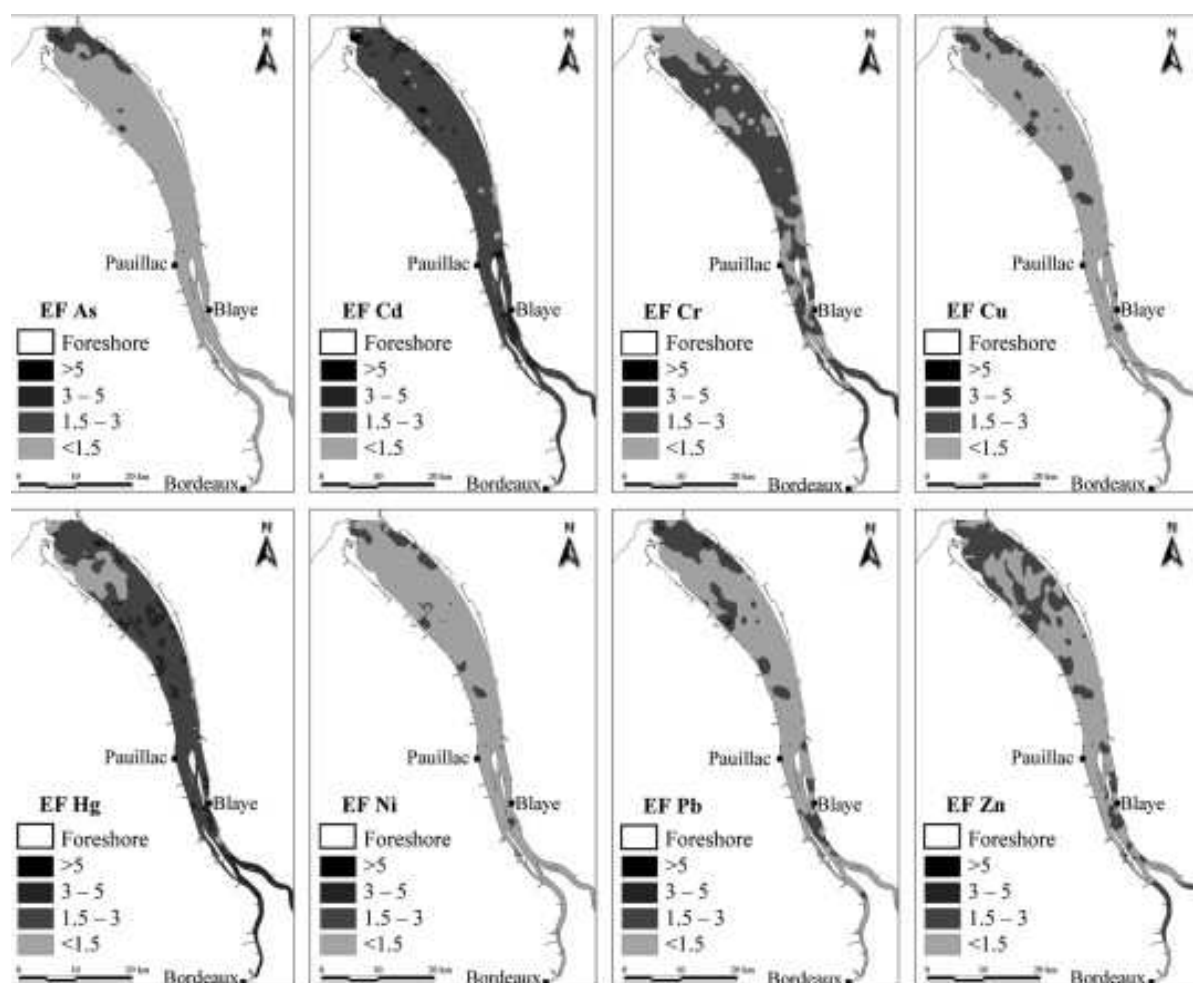


Figure 3 : Distribution spatiale du facteur d'enrichissement (EF, %) dans les sédiments de l'estuaire de la Gironde (Larosse et al., 2010)

L. Marchand et M. Mench, du laboratoire BIOGECO proposent, sur la base de mesures existantes réalisées par l'agence de l'eau Adour Garonne ainsi que de mesures effectuées *In Situ* au besoin de **réaliser un diagnostic des émissions de PTTE dans les eaux de surface en sortie de l'ensemble des stations d'épurations sur le bassin versant de l'estuaire de la Gironde.**

Ces mesures seraient répétées deux fois dans l'année, en saison hivernale et en saison estivale afin de rendre compte des **fluctuations saisonnières en termes d'émission de PTTE** dans les eaux de surface à l'échelle de l'estuaire (un screening plus fin, avec 3 voire 4 mesures annuelles peut être envisagé).

Le but de cette étude serait d'apporter des éléments de réponse sur la capacité des stations d'épuration à abattre les contaminations en PTTE dans les masses d'eaux qu'elles traitent avant rejet dans le milieu naturel.

L. Marchand et M. Mench avancent l'hypothèse selon laquelle – ponctuellement au cours de l'année – les stations d'épuration sont dans l'incapacité d'abattre la totalité de la contamination en PTTE (et autres xénobiotiques), ceci étant du à une augmentation des teneurs en PTTE massive et soudaine dans les masses d'eaux à traiter (ex : périodes de traitements agricoles, épandage de sulfate de cuivre dans les vignes, etc.).

Après cette première étape de surveillance, et après localisation de potentielles faiblesses de rendement sur des stations d'épuration de l'estuaire de la Gironde, L. Marchand et M. Mench proposent la **mise en place de ZHC en cascade en sortie de station de la station d'épuration considérée afin d'en renforcer le pouvoir épurateur avant rejet des eaux traitées dans le milieu naturel.**

Le design de la **ZHC considérée, plantées d'espèces végétales endémiques, récoltées dans l'estuaire de la Gironde** afin de ne pas perturber le pool génétique des macrophytes de l'estuaire, serait pensé et adapté au cas par cas par L. Marchand.

Les espèces végétales proposées pour l'établissement de la ZHC sont: *Phragmites australis*, *Phalaris arundinacea*, *Iris pseudacorus*, *Typha latifolia*, *Juncus effusus* (et éventuellement *Cana indica*)

Annexe

Collaboration BIOGECO/Mairie de Bordeaux : Projet BORIFER.FIB – Parc aux Angéliques (Z.A. de Queyries, Bordeaux)

Contexte général

Dans le cadre de l'opération d'aménagement de la Bastide, suite à l'acquisition des terrains du Port Autonome, la Ville de Bordeaux a lancé la réalisation du Parc aux Angéliques sur la rive droite de la Garonne.

http://www.bordeaux.fr/portail/portal/pgPresStand8.psml?_nfpb=true&_pageLabel=pgPresStand8&classofcontent=presentationStandard&id=51020

Le Parc aux Angéliques est aménagé essentiellement sur d'anciens sites industriels (Z.A. de Queyries, Bordeaux), en plein cœur de Bordeaux, et donc sur des sols pour partie contaminés (notamment par des éléments traces potentiellement toxiques (PTTE), i.e. Zn, Pb, Cd, etc.). Compte-tenu de l'usage public affecté à ce parc, les terres polluées sont essentiellement décapées et évacuées vers les filières de traitement appropriées.

Suite au classement de la Garonne en site Natura 2000 (lit mineur pour les espèces de poissons migrateurs, ripisylve abritant le(s) cortège(s) végétaux de l'Angélique des estuaires - *Angelica heterocarpa*) l'autorité environnementale a souhaité que soit mise en place une "bande tampon", d'une largeur minimale de 10 m à partir du haut de la berge. L'aménagement du parc commence donc à la limite de cette bande tampon.

En janvier 2012, la Mairie de Bordeaux représentée par la Direction des Parcs, des Jardins et des Rives a contacté l'UMR BIOGECO car elle souhaitait mettre en œuvre un projet de phytoremédiation dans le cadre de l'aménagement du Parc aux Angéliques sur la rive droite de la Garonne.

Sur l'une des parcelles d'environ un hectare qui devrait être libérée par son exploitant (entreprise de peinture industrielle, site Borifer.FIB) d'ici la fin de l'année 2012 (31/12/2012), située en bord de Garonne, la Mairie de Bordeaux souhaiterait mettre en œuvre des pratiques de dépollution par la phytoremédiation. L'espace créé serait une zone non ouverte au public. Il permettrait à la fois le suivi scientifique de la dépollution et l'élargissement ponctuel de la zone tampon en faveur de la biodiversité (les berges sont classées Natura

2000 sur cette zone). Des actions pédagogiques et de sensibilisation pourront accompagner ces deux objectifs.

l'UMR BIOGECO a une forte expérience des solutions de phytoremédiation appliquées aux sites et sols contaminés (dont ceux avec des PTTE), reconnue aux niveaux local, national et international. Des travaux appliqués sont développés *in situ* depuis 2003 en Aquitaine, notamment dans un partenariat avec l'ADEME (Service Friches Urbaines et Sites Pollués, Angers), i.e. projets PHYTOdemo et CWdemo.

L'équipe Ecologie des Communautés a aussi pour partenaire le Conseil Régional d'Aquitaine pour des phytotechnologies éco-innovantes de dépollution d'eau et d'assainissement de sols contaminés en Cu. Elle fait partie du Réseau National de sites ateliers de démonstration de solutions de phytoremédiation coordonné par l'ADEME (Safir) et du Réseau Aquitaine sur la Pollution des Sols d'Origine Diffuse (RAPSODI).

Elle est membre du projet Européen FP7 Greenland (Gentle remediation of trace element-contaminated land, <http://www.greenland-project.eu/>). À ce titre, elle bénéficie du réseau conseil de 17 partenaires gérant des solutions de phytoremédiation *in situ* en Allemagne, Belgique, Suède, Autriche, Suisse, France et Espagne. L'équipe porte des travaux appliqués à la fois sur la phytoremédiation de sols contaminés (notamment par les éléments traces potentiellement toxiques -PTTE) et l'assainissement en zones humides construites d'eaux contaminées.

Contamination du site BORIFER

Lors d'une visite sur le site Borifer.FIB en octobre 2012, les 2 partenaires (Mairie représentée par D. Butin et E. Pesme/laboratoire BIOGECO représenté par M. Mench et L. Marchand) ont pu établir :

- ✓ une utilisation actuelle de peintures industrielles (dont certaines à base de Zinc) pour éviter l'oxydation de pièces métalliques, qui expliquerait en partie les concentrations en PTTE extrêmement élevées (i.e. **14 100 – 335 900 mg Zn et 740- 2 400 mg Pb par kg sol, horizon 0-20 cm**) mentionnées dans un rapport d'intervention daté de 2010.

Conformément à la note du 8 février 2007 - Sites et sols pollués - Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Note-du-8-fevrier-2007-Sites-et.html>), ces concentrations doivent être comparées aux valeurs fréquentes du fonds pédogéochimique pour des sols de même texture (probablement sablo-argileux). Pour mémoire, la gamme de valeurs maximum pour des horizons labourés s'échelonne de 100 à 250 mg Zn et 50 à 90 mg Pb par kg de sol (<http://etm.orleans.inra.fr/gammes3.htm>) selon la texture et la (bio)géochimie. En l'état des données produites, l'horizon 0-20 cm du site Borifer.FIB est très fortement contaminé en Zn et Pb (sans préjuger de la présence d'autres dangers). L'élément Zn est mobile et peut occasionner des impacts sur les végétaux (aucune végétation n'est présente sur la zone d'utilisation des peintures et de stockage des pièces métalliques ; des chloroses sont constatées sur les limbes de *Carex* sp. implantés sur des pelouses en marge des activités du site), la faune du sol et les herbivores. Compte tenu des concentrations en Zn, il y a lieu de suspecter la présence également de cadmium (Cd) souvent associé au Zn. La présence élevée de Pb amène à considérer la voie d'exposition par *pica* (ingestion de sol et de poussières).

Parallèlement, les activités de grenailage ont pu entraîner une contamination des sols et de l'eau de ruissellement par Cu et Ni (de par la composition des grenailles d'acier) qui reste à évaluer.

- ✓ les eaux de ruissellement sur le site sont 'avalées' dans un regard au droit de l'unité de grenailage. La visite laisse supposer :

(1) une infiltration des eaux de ruissellement et un lessivage du Zn (et d'autres PTTE dont Cd) notamment dans la zone de graviers grossiers au droit de la zone de peinture, avec une contamination potentielle du sous-sol,

(2) un rejet d'eaux non-traitées directement dans la Garonne (avec la courte traversée d'une bande de zone humide naturelle classée Natura 2000)

(3) un écrasement des graviers recouverts de peintures contenant du Zn et une dispersion des poussières par les agents naturels (eau, vent) et les activités industrielles (passages fréquents d'engins de manutention, contamination des pneus, etc.)

(3) une dispersion des grenailles oxydées sur le site.

- ✓ l'échantillonnage du site est insuffisant pour avoir une idée précise des dangers présents, de leur localisation et variabilité spatiale. Un travail d'évaluation initiale des risques doit être mené pour évaluer les options de phytoremédiation possibles ou non. Dans ce contexte, cette parcelle nécessite une réhabilitation afin d'être intégrée dans le cadre paysagé du Parc aux angéliques, tout en ne présentant aucun risque pour l'environnement et les bénéficiaires du parc (même si la parcelle à une restriction d'usage, e.g. pose d'une clôture). Les données disponibles suite à l'étude 2010, parcellaires, ne permettent pas de statuer avec précision sur la nature et la répartition dans l'espace des contaminants.

Les informations sur la gestion de l'eau et son éventuel besoin de collecte et traitement, inexistantes à ce jour, sont à obtenir pour le projet.

L'analyse du substrat sous la dalle peut entraîner la découverte d'autres contaminations.

Les intervenants sur le site doivent se prémunir de l'envol (contamination des vêtements), inhalation et ingestion de poussières, exposition par le liquide lacrymal (port de lunettes et masques à prévoir), etc.

Collaboration BIOGECO/Mairie de Bordeaux

L'équipe Ecologie des Communautés de l'UMR BIOGECO INRA 1202 (INRA-Université Bordeaux 1) accueillerait un post-doctorant financé sur une convention R&D appliquée au site Borifer.FIB, avec pour partenaire la Mairie de Bordeaux. Ce post-Doctorant serait Lilian Marchand (Doctorat Université de Bordeaux 1, 2012)

Ressource humaine : Lilian Marchand a déjà été formé lors de son doctorat à l'Université de Bordeaux 1 sur l'analyse des risques et les solutions de phytoremédiation. Il serait sous la responsabilité scientifique du Dr M Mench, Directeur de Recherche INRA et en coordination avec le représentant de la Mairie de Bordeaux, Mr E. Pesme, Direction des Parcs, des Jardins et des Rives. Le post-doctorat débiterait au cours du premier trimestre 2013 et se déroulerait sur un an. Il serait potentiellement reconductible 6 mois à l'issue de la première année.

Les travaux à réaliser seraient :

✓ **Etape 1 - dans le cadre de l'évaluation initiale des risques :**

* interprétation des données (PTTE: Zn, Cd, Pb, Cu, Ni, etc. ; hydrocarbures, HAPs, autres POPs) issues des nouveaux échantillonnages et analyses de sols et d'eaux (variabilité spatiale et verticale).

* Mesures de l'intensité de l'exposition : Collecte des solutions du sol, analyses et interprétation (fonctionnement à budgétiser en plus du post-doc ou bien factures prise en charge directement par la Mairie de Bordeaux) ; collecte et préparation de matrices pour tests avec plantes.

* Tests sur végétaux (e.g. ligneux, miscanthus, graminées, macrophytes) pour connaître la phytotoxicité des matrices (et déjà sélectionner des options de phytoremédiation possibles)

* devenir de l'eau in situ : évaluation des eaux (surface, sous-sol) à traiter.

✓ **Etape 2 – Faisabilité des options de phytoremédiation et gestion du site**

* options de phytoextraction (en se basant sur la présence probable d'une forte exposition aux Zn et Cd) : e.g. taillis à courte rotation (TCR) de peupliers, saules, graminées pérennes type Miscanthus, (éventuellement cultures annuelles d'accumulateurs secondaires, mais solutions moins satisfaisantes sur le plan de la main d'œuvre et des dégâts potentiels du public). Une option couplant ornement paysager et phytoremédiation peut être étudiée.

(Pour mémoire, la phytoextraction est surtout adaptée pour Cd, Zn, Tl et Ni, et selon l'exposition et les conditions climatiques pour As, Cu, et Se).

* dans les zones éventuellement non adaptées à la phytoextraction, envisager les autres options faisables (dont la phytostabilisation)

(Pour mémoire : une solution de phytoextraction de Zn peut être efficace pour phytostabiliser en même temps Pb dans la rhizosphère, si celui-ci est présent dans la zone prospectée par les racines)

* **solutions pour traiter les eaux de ruissellement et/ou les lixiviats drainés à partir des avaloirs ou du sous-sol afin d'assainir ces eaux avant leur collection par la Garonne. Une ou des zones humides construites, selon le cas, peuvent être mises en place pour assainir les eaux. (L. Marchand est formé à l'assemblage des macrophytes en zone humide construite et à leur fonctionnement pour l'assainissement).** (détails en partie III)

Un premier axe de travail évoqué avec L. Marchand, E. Pesme et D. Butin serait **l'agrandissement de la zone tampon** (5 mètres entre la Garonne et le site où poussent naturellement des plantes de zones humides) **via la plantation de plantes de zones humides, répertoriées comme tolérantes aux contaminants.** Cette bande peut contribuer à un traitement de l'eau (surface, sous-sol) s'écoulant vers la Garonne. L'impact potentiellement invasif des espèces proposées serait à prendre en considération vis-à-vis de la zone Natura 2000.

Les PTTE dont Zn peuvent avoir migré dans le profil du sol et être en partie hors de la zone racinaire explorée par exemple par les racines des arbres ; dans ce cas un rabattement et un traitement local de la nappe serait à étudier.

Pour mémoire, les solutions de phytoextraction et de phytostabilisation ont une action de (phyto)rhizodégradation vis-à-vis des contaminants organiques (qui sont dégradés par l'action des enzymes extra-racinaires et celle des microorganismes du sol facilités par les racines)

* valorisation et cycle de vie des biomasses non-alimentaire produites : l'étude comprendra un volet sur la récolte des biomasses, leur valorisation (et ses limites) dans certaines filières (ex : compostage, pyrolyse, oxydation hydrothermale, co-génération de vapeur/électricité avec des installations type Clos de Hilde, production de catalyseurs organiques, fibres et éco-matériaux, etc.). Les partenaires INERIS, ATOn, et ICMCB/Université Bordeaux 1 dans le projet Greenland peuvent être consultés sur ce point.

* l'impact des solutions de phytoremédiation en termes de services écosystémiques et d'effet non-intentionnel sera à évaluer (e.g. séquestration du C et des matières organiques, habitat pour les rongeurs et autres ravageurs (ragondins), devenir des contaminants en fonction des modes de gestion, etc.).

Pour ces étapes des cultures de végétaux en mésocosmes seront à réaliser en concertation avec les équipes gérant les serres au Haillan.

L'étape 2 aboutirait à la **proposition d'un scénario d'aménagement de la parcelle** (selon les résultats des étapes 1 et 2) avec des **solutions adaptées à la variabilité de l'exposition aux contaminants et des matrices**, efficaces pour l'assainissement des voies d'exposition, basées sur l'utilisation de plantes tolérantes aux contaminants (phytotechnologies), durables, peu coûteuses et sans effet non-intentionnel. Ce travail s'effectuerait en collaboration avec D. Butin afin de respecter au maximum le plan paysagé déjà prévu à cet endroit.

- ✓ **Etape 3 – mise en place de(s) solution(s) de phytoremédiation** (stratégie probablement en 'cluster' selon les résultats des étapes 1 et 2, avec mise en place par clusters (= zones à définir sur le site en fonction de la contamination, des usages choisis et des parties prenantes extérieures) de la solution optimale au regard de l'usage choisi par la Mairie de Bordeaux et les parties prenantes.

* zones terrestres (on distinguera les zones selon l'intensité de l'exposition et la localisation des contaminants)

* zones humides pour traiter les eaux

* proposition d'un programme de maintenance et biosurveillance selon les solutions à mettre en place.

* calcul de coûts et revenus pour l'analyse du cycle de vie.

Ressource humaine et organisation du Post-doc:

Les couts mensuels et annuels (chargés) d'un post-doc sont 3461,08 euro = salaire brut + cotisations patronales + taxe sur les salaires/mensuels, soit 41 532,96/an augmentés de 4% de frais de gestion soit 1661,32/an .

Le post-doctorant serait localisé à l'UMR BIOGECO 1202, sur le site de l'Université Bordeaux 1 (Bat B2, Talence).