

## Accord Cadre ZABR- Agence de l'Eau Fiche résumé

Titre du projet : Quantification de la restauration des écosystèmes lacustres impactés par les polluants organiques persistants et gain écologique associé « POP RESTOLAC »

Personne responsable : Emmanuel NAFFRECHOUX (LCME Université de Savoie)

Equipes de recherche « ZABR » concernées :

LCME (université de Savoie) : E Naffrechoux, P Fanget, N Cottin  
CARRETEL (INRA – université de Savoie) : E Lyautey

Autres partenaires :

- Recherche : Pôle ECOTOX EPFL : B Ferrari
- Institutionnel : CISALB (accord de M Dantin, Président & R Jalinoux, Directeur) : S Cachera

Thème de rattachement ZABR : Polluants Hydrosystèmes Santé  
prioritairement :

transferts de contaminants, devenir et risque  
caractérisation des trajectoires évolutives des systèmes

secondairement :

hiérarchisation des actions de réhabilitation et de protection au regard de leur efficacité et de leur  
efficacité environnementale

Thème de rattachement Agence de l'Eau :

La réduction des pressions par les substances chimiques, notamment :

Q12 :

- caractériser l'effet des pressions et des rejets de substances
- préciser l'influence des pollutions historiques à la contamination de l'eau et des poissons et les  
risques associés à leur remobilisation

Q28 (par extension des résultats obtenus) :

- établir un diagnostic sur la contamination des eaux côtières et de transition par les substances et  
leurs effets sur les communautés aquatiques

Q29 (par extension des résultats obtenus) :

- préciser et dimensionner le rôle du sédiment dans le transfert des polluants, par son rôle  
puits/source en particulier en lagunes

Site ou Observatoire de rattachement ZABR:

SOERE GLACPE : lac du Bourget et ses affluents Leysse et Tillet

Finalités et attendus opérationnels :

Nous avons l'ambition de déterminer (i) l'intensité et la vitesse des processus « naturels » de décontamination des écosystèmes lenticques pollués par les composés organiques persistants semi-volatils COSV (ii) la relation entre la pollution du milieu (eau et sédiments) et la contamination des organismes aquatiques.

L'objectif est aussi de définir un instrument opérationnel pour l'aide à la décision dans la définition des stratégies et des politiques de gestion des sites pollués connectés à des écosystèmes aquatiques en validant un "modèle" applicable à différents polluants organiques (HAP, PCB, PBDE, PFOS, etc).

Ces objectifs sont a priori généralisables par l'étude d'un site pilote, le lac du Bourget et deux affluents contaminés historiquement par les PCB. En effet, la diversité des sources de contamination du lac (ponctuelles via ses affluents ou diffuses via les dépôts atmosphériques) et la diversité des propriétés

physico-chimiques (Koa, Kow, Kaw, etc) des 7 molécules indicatrices de la pollution par les polychlorobiphényles (PCB<sub>i</sub>) permettent de généraliser les résultats à d'autres systèmes aquatiques lenticques ou lotiques (voire littoraux marins).

La finalité opérationnelle de cette recherche est d'adapter les actions à mener pour limiter ou supprimer le transfert aux milieux aquatiques des molécules organiques toxiques et persistantes de sites contaminés en identifiant l'efficacité et les limites des opérations de dépollution conduites sur un des lacs naturels les plus pollués d'Europe par les PCB.

Les données de la littérature relative à l'étude des grands lacs nord-américains montrent que la volatilisation des PCB depuis la colonne d'eau est la voie principale de décontamination d'un lac pollué par des COSV. Toutefois, aucune donnée n'est disponible pour des systèmes lacustres de dimensions comparables aux lacs péri-alpins européens. L'enfouissement des polluants dans le sédiment, suivi de leur dégradation anaérobie, est également une voie connue de « décontamination » du milieu lacustre. Les vitesses de déchloration des PCB sont « site-dépendant ». Elles seront donc déterminées à la fois pour prévoir le temps de retour à un niveau acceptable de concentration en PCB mais aussi en vue d'établir une méthodologie transposable à d'autres sites et d'autres COSV. L'ensemble des résultats de ce projet permettront *in fine* de mieux connaître la dynamique de retour à un bon état chimique/écologique des systèmes lenticques pollués par des composés organiques persistants.

Les travaux réalisés récemment dans le cadre ZABR/agence de l'eau sur les espèces piscicoles du fleuve Rhône se sont focalisés sur la relation sédiment-poisson. Les résultats expliquent une part de la corrélation entre qualité du sédiment et imprégnation PCB du poisson mais ne sont pas extrapolables à la contamination des poissons en milieu marin. Nos récents travaux, menés en mésocosmes sur des organismes « modèle », tendent à montrer une possibilité de contamination directe des espèces aquatiques par la fraction des polluants dissous et colloïdaux dans l'eau. La contamination au PCB d'organismes aquatiques occupant des « positions trophiques » distinctes (invertébrés et poissons) sera étudiée en regard du degré de contamination du sédiment ET de la colonne d'eau.

Une des originalités de ce projet consistera donc à évaluer la part de contamination aux PCB (et autres COSV *in extenso*) des peuplements piscicoles via la colonne d'eau. Enfin, ce projet améliorera également les outils de diagnostic de l'état chimique des milieux aquatiques vis à vis de polluants hydrophobes à l'état de traces (du pg/L au ng/L), en mettant notamment à disposition un test de bioaccumulation autorisant la prévision de la contamination de la masse d'eau et des espèces piscicoles.

#### Objectifs et méthodologie :

Les actions prévues visent à :

- évaluer la répartition des PCB<sub>i</sub> dans la colonne d'eau au cours des saisons (dissous, adsorbés sur des fractions de taille différente, stratifiés ou non...)
- estimer les flux entrants (dépôts atmosphériques, re-suspension depuis le sédiment, apports des affluents) et sortants (enfouissement dans le sédiment et volatilisation à l'atmosphère) afin de quantifier la vitesse des processus de "décontamination naturelle" de la masse d'eau
- évaluer la fonction de corrélation entre la concentration en PCB de la masse d'eau et la concentration en PCB<sub>i</sub> d'espèces piscicoles "sensibles" (Omble, Lavaret) en vue de caractériser les facteurs influençant la contamination du poisson
- mettre au point un test de bio-accumulation des PCB dans des larves encagées de chironome (*Chironomus riparius*) et définir la fonction de corrélation entre la contamination de l'organisme et celle de l'eau et du sédiment,
- prédire la date de retour à des seuils acceptables (au sens réglementaire) de concentration en PCB<sub>i</sub> dans l'eau et la chair de poissons.

Nous disposons d'un équipement adapté acquis récemment, tant pour le prélèvement d'échantillons que pour l'analyse des PCB :

- jauge Owen pour les retombées atmosphériques totales de PCB
- capteur passif pour les mesures de PCB en phase gazeuse atmosphérique
- trappe à sédiment adaptée au faible taux de sédimentation lacustre
- trappe à sédiments pour flux particulière en rivière
- bouteille de prélèvement fermante de grand volume
- système de pompage à dépression filtrant pour fraction dissoute des PCB

- GC-PDID pour analyse haute sensibilité des composés organiques halogénés
- GC-MS pour identification des molécules

Les compétences des équipes CARTEL (limnologie, réseau trophique lacustre, microbiologie), LCME (chimie, transfert des POP) et ECOTOX (toxicologie) ainsi que le support technique et logistique du CISALB (prélèvement par bateau, mesure de débit des affluents, connaissance et gestion du milieu) permettront d'assurer la réalisation de ce projet.

Les méthodes mises en œuvre font appel aux disciplines de l'écologie, de la microbiologie et de la chimie. Les actions principales sont programmées comme suit :

1. Quantification des PCB dans l'écosystème lacustre (février 2015 à juin 2016)

i) caractérisation de l'état chimique du lac (février 2015 - mai 2015 - octobre 2015 - février 2016 - mai 2016)

La contamination aux PCB des différentes fractions particulaires en suspension et de la phase dissoute de la colonne d'eau sera mesurée aux périodes caractéristiques de l'écosystème limnique, en quatre points du lac du Bourget selon un transect N-S, à différentes profondeurs. Les concentrations en PCB seront quantifiées par GC-PDID

ii) caractérisation de la contamination piscicole (pêches d'automne 2014, 2015 et 2016)

iii) détermination des flux de volatilisation et d'enfouissement (janvier 2015 à janvier 2016)

iv) biodégradation anaérobie des PCB (février 2015 à mars 2016)

Etude en microcosmes de la cinétique de déchloration réductrice en anaérobiose avec ou sans ajout d'un accepteur d'électrons pour des sédiments contaminés avec de l'Aroclor 1260, pendant une période de 12 mois. L'activité bactérienne sera caractérisée par ciblage de gènes taxonomiques et fonctionnels spécifiques aux bactéries du genre Dehalococcoides, impliquées dans les processus de déshalorespiration ; leur diversité, abondance et activité seront déterminées par séquençage et PCR quantitative en temps réel sur les gènes cibles et leur transcrits.

2. Mise au point d'un test de bioaccumulation (février 2015 à mars 2016)

L'intérêt croissant pour ce genre d'outils s'explique en partie par la réalisation d'expositions semi-contrôlées et réalistes sur le plan environnemental, limitant les difficultés à extrapoler les données obtenues en laboratoire, mais également par sa complémentarité aux approches de surveillance des populations et des communautés autochtones. Le chironome est choisi ici pour sa pertinence source trophique dans les lacs et comme acteur dans le cycle de la matière organique particulaire sédimentée. Le protocole utilisé sera inspiré de celui décrit par Ferrari et al. (2014). Brièvement, des larves de chironomes provenant d'un élevage seront élevées jusqu'au début du stade IV. Les chironomes seront distribués dans des dispositifs de contenance 1000 mL avec une ouverture fermée par un tamis de maille 0,3 mm et contenant soit du sable, soit du sédiment du site d'étude sur  $\approx 1$  cm d'épaisseur. L'ensemble sera sécurisé dans des caisses ajourées disposées au fond ou maintenues dans la colonne d'eau. Au terme de la période d'exposition (max 7 jours), la concentration en PCB des chironomes sera déterminée (relation tâche 1) ; une analyse de traceurs isotopiques (C, N) sera également réalisée (relation tâche 3). Les expositions pourront être répétées en fonction des saisons afin de prendre en compte l'influence de la température et la nature de la matière organique. L'encagement d'organismes invertébrés au contact du sable non-contaminé permettra de déterminer la part de la bioaccumulation dû à l'adsorption/absorption de PCB dans la colonne d'eau (matières en suspension et dissous) par rapport à celle du sédiment lacustre (cage contenant le sédiment). Enfin, des tests de cinétique d'accumulation sur des échantillons de sédiment et d'eau brute (MES et dissous) du lac seront réalisés au laboratoire afin de modéliser la bioaccumulation et de comparer les approches *in situ* vs *ex-situ*.

3. Détermination de la fonction de corrélation de contamination aux PCB (février 2015 à mars 2016)

L'analyse des relations entre contamination aux PCB et comportement trophique, à l'échelle des espèces (ombles versus corégones) et des individus sera réalisée par utilisation de marqueurs trophiques. La variabilité inter et intra-spécifique habitats (pélagique, littoral ou benthique) et comportements trophiques (plus ou moins prédateurs) sera évaluée pour les deux espèces cibles (ombles et lavarets) selon une combinaison de traceurs isotopiques (H, C, S et N) et lipidiques (acides gras des lipides neutres). Les échantillons seront récoltés sur une centaine d'individus de chaque espèce, de préférence en fin d'été et les mesures de marqueurs trophiques et de PCB<sub>i</sub> seront réalisées conjointement pour chaque individu. Une

estimation de la variabilité isotopique spatiale des sédiments sera réalisée en relation avec la tâche 1. La modélisation statistique permettra d'évaluer dans quelle mesure la variabilité dans les taux de contaminations des poissons peut être attribuée aux comportements et aux habitats trophiques (Lopes et al, 2011). La comparaison des concentrations en PCB<sub>i</sub> de la chair de poissons avec les concentrations dans la colonne d'eau apportera une information complémentaire à la voie trophique de contamination.

#### 4. Interprétation des données et rédaction des livrables (juillet 2016 à novembre 2016)

Budget global du projet, durée et aide annuelle demandée : voir fichier excel

Publications du consortium sur les 4 dernières années en lien avec ce thème :

LOPES C, PERGA ME, PERETTI A, ROGER MC, PERSAT H, BABUT M. (2011) Is PCBs concentration variability between and within freshwater fish species explained by their contamination pathways? *Chemosphere* 85(3):502-508.

COTTIN N., PERGA M.-E., CACHERA S., GIREL C., JALINOUX R., JENNY J.-P., NAFFRECHOUX E. (29-31 octobre 2012) La contamination historique aux PCB et aux HAP du bassin versant du lac du Bourget : quel impact sur la ressource en eau? GRUTTEE, Aix en Provence, France.

LYAUTEY E., HALLIN S., TEISSIER S., IRIBAR A., COMPIN A., PHILIPPOT L., GARABETIAN F. (2013) Abundance, activity and structure of denitrifier communities in phototrophic river biofilms (River Garonne, France). *Hydrobiologia*, 716:177–187.

CLEMENT B., NAFFRECHOUX E., COTTIN N., FERRARI B., VERNEAUX V., CLAPPE S., LYAUTEY E., CACHERA S. (12-16 mai 2013) POPs fluxes from Tillet, a tributary of Lake Bourget, and their effects on aquatic biota through chemical, biological and ecotoxicological studies. SETAC Europe 23rd Annual Meeting, Glasgow, Ecosse.

NAFFRECHOUX E. (25-28 juin 2013) Fate of PCB in aquatic ecosystems: cold case or hot topic? EuCheMS 14th International Conference on Chemistry and the Environment, Barcelone, Espagne.

FERRARI B.J.D., VIGNATI D.A.L., DOMINIK J. (2014) Bioaccumulation kinetics and effects of sediment-bound contaminants on chironomids in deep waters: new insights using a low-disturbance in situ system. *Environmental Technology*, 35(4): 456-469.