



**HAL**  
open science

## **STIMMM: Etude d'un dispositif de STIMulation du Métabolisme Microbien en cours d'eau urbain**

Pascal Breil, M. Lafont, Benoît Cournoyer, L. Schmitt, Yves Perrodin, Ruth  
Angerville

### ► **To cite this version:**

Pascal Breil, M. Lafont, Benoît Cournoyer, L. Schmitt, Yves Perrodin, et al.. STIMMM: Etude d'un dispositif de STIMulation du Métabolisme Microbien en cours d'eau urbain. [Rapport de recherche] irstea. 2009, pp.15. hal-02593274

**HAL Id: hal-02593274**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02593274>**

Submitted on 15 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.



# STIMMM

## Etude d'un dispositif de STIMulation du Métabolisme Microbien en cours d'eau urbain

(Projet 2007-2008 du PROGRAMME INTERDISCIPLINAIRE –  
CNRS Ingénierie Ecologique)

Mars 2009

*P. Breil, M. Lafont , Cemagref Lyon*

*B. Cournoyer, Université de Lyon, UMR 5557, EM*

*L. Schmitt, Université de Lyon, UMR 5600, EVS*

*Y. Perrodin, R. Angerville, ENTPE Lyon, LSE*

Cemagref Lyon, 3 bis Quai Chauveau), 69336 Lyon cedex 09

## TABLE DES MATIERES

<i>Equipes participant au projet:</i> .....	3
<i>Dix principales publications des équipes</i> .....	3
<i>Exposé scientifique du projet</i> .....	3
<i>Objectifs du projet</i> .....	4
<i>Problématique</i> .....	4
<i>Objectifs</i> .....	5
<i>Approche choisie</i> .....	6
<i>Références citées</i> .....	9
<i>Fiche BILAN de fin de projet (2007-2008)</i> .....	10
<i>Interdisciplinarité : quelles sont les disciplines scientifiques impliquées / mobilisées</i> .....	10
<i>Rappel des objectifs</i> .....	10
<i>Principaux résultats</i> .....	10
<i>Perspectives</i> .....	13
<i>« Effet levier » : ce projet vous a t il permis d'accéder à un autre financement ?</i> .....	14
<i>Applicabilité de la recherche (vers l'ingénierie écologique opérationnelle)?</i> .....	14
<i>Publication issues de ce projet</i> .....	14
<i>ANNEXE :Bilan du projet en 5 questions</i> .....	15

## Equipes participant au projet:

Nom de l'équipe	Organisme(s) de tutelle	Nom et prénom du responsable du projet	Statut du responsable
LEM UMR 5557	Univ. Lyon 1, CNRS et ENVL	Cournoyer Benoit	CR1 CNRS
EVS UMR 5600	Univ. Lyon2 CNRS	L. Schmitt	MCf Lyon2
Hydrologie-hydraulique	Cemagref	Breil P.	CR1 Cemagref
L.S.E	ENTPE	Perrodin Y.	DR Equipement
BEA	Cemagref	Lafont Michel	Dr Cemagref

## Dix principales publications des équipes

- Boisson J.C., Boisson S. & Perrodin Y. Impact of road runoff on periphyton in a small upland stream. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, Vol.6, Issue 4, Oct. (2005), 415-425.
- Favre-Bonte S, Ranjard L, Colinon C, Prigent-Combaret C, Nazaret S, Cournoyer B. Freshwater selenium-methylating bacterial thiopurine methyltransferases: diversity and molecular phylogeny. *Environ Microbiol.* 2005 Feb;7(2):153-64.
- Lafont M., 2001. A conceptual approach to the biomonitoring of freshwater : the Ecological Ambience System. *Journal of Limnology*, 60 (Suppl. 1) : 17-24.
- Lafont M. & A. Vivier, 2006. Oligochaete assemblages in the hyporheic zone and coarse surface sediments: their importance for understanding of ecological functioning of watercourses. *Hydrobiologia*, 564: 171-181.
- Lafont M., A. Vivier, S. Nogueira, P. Namour & P. Breil, 2006. Surface and hyporheic Oligochaete assemblages in a French suburban stream. *Hydrobiologia*, 564: 183-193.
- Lavenir R, Jocktane D, Laurent F, Nazaret S, Cournoyer B. Improved reliability of *Pseudomonas aeruginosa* PCR detection by the use of the species-specific *ecfX* gene target. *J Microbiol Methods*. 2007 Mar 30; 70(1):20-29.
- Muller D, Medigue C, Koechler S, Barbe V, Barakat M, Talla E, Bonnefoy V, Krin E, Arsene-Ploetze F, Carapito C, Chandler M, Cournoyer B, Cruveiller S, Dossat C, Duval S, Heymann M, Leize E, Lieutaud A, Lievremont D, Makita Y, Mangenot S, Nitschke W, Ortet P, Perdrial N, Schoepp B, Siguier P, Simeonova DD, Rouy Z, Segurens B, Turlin E, Vallenet D, Van Dorsselaer A, Weiss S, Weissenbach J, Lett, MC, Danchin A, Bertin PN. A tale of two oxidation states: bacterial colonization of arsenic-rich environments. *PLoS Genet.* 2007 Apr 13;3(4):e53
- Schmitt L., Maire G., Nobelis P. and Humbert J., 2007. Quantitative morphodynamic typology of rivers. A methodological study based on the French Upper Rhine basin. *Earth Surface Processes and Landforms*, in press.
- Wagner I., Marsalek J., Breil P. 2007. Editors of „Aquatic Habitat in sustainable Urban Water Management : Science, policy and practice”. Taylor & Francis Group. Hb:ISBN13:978-0-415-45350-9. 250pp.

## Résumé de l'exposé scientifique du projet

Le projet repose sur l'hypothèse que l'activité « autoépuration » en cours d'eau peut être renforcée par des formes artificielles et poreuses au travers desquelles les flux de substances liés aux flux hydriques pourraient être plus efficacement bio-assimilés. Une application particulière concerne l'environnement urbain qui modifie l'hydrologie locale et génère l'apport de matières organiques, de toxiques et d'azote, ce dernier étant considéré comme le carburant du métabolisme. L'action de recherche proposée sur une année porte sur les pré-requis géomorphologiques et hydrodynamiques auxquels un tel dispositif devrait répondre pour assurer une fonction durable, ceci en prenant en considération les contraintes physiques et chimiques de l'installation et les facteurs de la persistance et de la dynamique des populations microbiennes

Mots clés : cours d'eau, urbanisation, bio-assimilation, bioremédiation, qualité microbiologique, sécurité sanitaire

## Exposé scientifique du projet

Au niveau Européen, les méthodes d'évaluation et d'atteinte d'un bon potentiel écologique sont à proposer pour les masses d'eau fortement modifiées (DCEE 2000). Au niveau français,

c'est le cas des environnements périurbains et urbains qui apparaissent comme les principaux facteurs de déclassement de la qualité écologique (Wasson et al. 2006 ) des cours d'eau. A l'échelle de gestion de la collectivité locale, les leviers de préservation ou encore de réhabilitation de ces cours d'eau sont mal connus. Une réponse adaptée consiste à identifier les facteurs de la résilience physique et biotique des écosystèmes et de les préserver ou stimuler (Zalewski & Wagner 2006).

L'impact de l'urbanisation sur les écosystèmes aquatiques est documenté à l'échelle des bassins versants (Schueler T., 1994, Booth & Jackson, 1997) et met en exergue l'existence d'un seuil d'effet sensible à 10% d'urbanisation puis un changement d'écosystème au-delà de 30%. Des travaux plus récents nuancent ces seuils en fonction du degré de connexion directe des eaux de ruissellement pluvial aux cours d'eau récepteurs (Walsh et al. 2005a et 2005b). De nombreux processus élémentaires abiotiques et biotiques semblent concourir à la capacité d'assimilation globale avec des effets tantôt synergiques tantôt antagonistes (Grimm et al. 2005). L'essentiel de l'activité auto-épuratoire d'un cours d'eau à fond poreux se déroule dans son substrat (Dent & Grimm 1999, Kemp & Dodds 2001, Bernot & Doods 2005, Grimm et al. 2005,...) à l'interface des eaux superficielles et souterraines. Cette interface est qualifiée de milieu hyporhéique. Son activité semble dominée par les caractéristiques de formes et de gradients hydrauliques qui conditionnent les sens, directions et intensités des échanges d'eau au sein du milieu hyporhéique (Cardenas 2004, Schmitt et al. 2006). Le projet propose dans cette perspective d'évaluer les facteurs physiques et toxiques qui vont déterminer le métabolisme d'assimilation. Cette étape doit précéder une expérience de bioremédiation in situ en augmentant la capacité d'échange d'un tronçon de cours d'eau situé à l'aval d'un déversoir d'orage. Peu d'expériences du genre existent mais le principe du « dopage physique » commence à être testé (Kasahara 2005).

## **Objectifs du projet**

### **Problématique**

La gestion des rejets urbains de temps de pluie (RUTP) dans les cours d'eau récepteurs est un problème récurrent pour les gestionnaires des systèmes d'assainissement en France comme à l'étranger (Novatech 2007). En particulier, le principe des valeurs seuils de rejet exprimées par rapport à la DBO5, la DCO et les MES n'est pas sans poser un problème pratique, eu égard à la grande variabilité des charges polluantes véhiculées par les réseaux. La réglementation française fait aussi obligation (Loi sur l'Eau , 1992) d'un suivi des rejets de temps de pluie qui nécessitent des moyens techniques dont les coûts sont prohibitifs, y compris pour de grandes agglomérations qui devraient suivre plusieurs centaines de points de rejets. A cela s'ajoute l'augmentation des flux à faire transiter dans les réseaux d'assainissement existant et connectés aux stations d'épuration du fait du développement périurbain. La caractéristique de ce développement à partir des grands centres historiques liés aux fleuves, est que le réseau hydrographique attenant est de plus en plus soumis aux pressions des RUTP. Les rapports entre les débits déversés et ceux, assez variables, des petites rivières et ruisseaux récepteurs, peuvent être de 2 à 3 ordres de grandeur (X10, X100, X1000). La capacité de dilution n'est plus le facteur dominant. La conséquence de l'évolution urbaine et d'infrastructure sous dimensionnées conduit à une augmentation de la fréquence des rejets polluants dans les milieux naturels récepteurs. Un changement de paradigme pour aborder la gestion des rejets de temps de pluie semble émerger au travers des travaux réalisés sur les écosystèmes aquatiques (Breil & al. 2005, Rossi et al. 2007). Il s'appuie sur la capacité

d'assimilation du milieu récepteur qui peut évoluer d'un site à un autre et au cours du temps. Ainsi la notion de concentration-durée-fréquence est-elle examinée pour mieux intégrer la variabilité des charges polluantes et des risques toxiques des rejets urbains de temps de pluie (Chèvre et al. 2007) face à une capacité d'assimilation elle même variable dans le temps et selon le lieu. Il ne faut cependant pas limiter cette approche à la fraction dissoute dans la colonne d'eau mais bien intégrer les temps de séjour des différents nutriments, polluants et toxiques dans la matrice poreuse des petits cours d'eau, quand elle existe, et qui supporte l'essentiel des bio-réactions (bio-assimilation, dégradation, transformation) du milieu récepteur.

### Objectifs

En matière d'ingénierie écologique des cours d'eau, l'empirisme et les approches corrélatives ont permis d'établir quelques règles de fonctionnement dans le milieu naturel. L'étape suivante consiste à comprendre puis quantifier les processus qui déterminent ce fonctionnement. Dans le cadre du projet, nous regarderons plus particulièrement le processus de l'assimilation ou plus largement l'effet « removal » des substances nutritives et toxiques. La zone hyporhéique est considérée comme un bio-réacteur essentiel des cours d'eau à substrat grossier.

Les premiers résultats obtenus, sur l'Yzeron et la Chaudanne (cette dernière étant un affluent de l'Yzeron), montrent que les impacts des RUTP sur la résilience des écosystèmes aquatiques et la capacité d'auto-épuration de l'eau, toutes deux quantifiées à l'aide d'assemblages d'oligochètes des compartiments superficiels et hyporhéiques, sont notamment liés à la géomorphologie et à l'hydrologie de l'hydrosystème. En effet, ces fonctions apparaissent d'autant plus efficaces que des variables comme la pente, la granulométrie, le pourcentage de faciès d'écoulement lotiques, présentent des valeurs élevées (Vivier, 2006 ; Lafont et Vivier, 2006 ; Schmitt et al., soumis). D'autre part, les résultats montrent qu'une réduction de la pente et un ensablement du lit tendent à réduire les fonctions écologiques (Vivier, 2006 ; Lafont et Vivier, 2006 ; Schmitt et al., soumis). Cependant, les liens fonctionnels entre les processus physiques (flux dans la zone hyporhéique et échanges avec l'écoulement superficiel...) et l'activité microbologique (bio-films...), qui constituent le maillon entre la géomorphologie et les communautés d'oligochètes, sont encore mal connus (Breil et al., sous presse). Or, cette connaissance est indispensable pour pouvoir proposer des méthodes fondées d'ingénierie écologique (Breil et al., sous presse).

Tout en menant par ailleurs des recherches sur le fonctionnement naturel et perturbé de la capacité d'assimilation (projet Ecco-Pnrh 2005, projet EC2CO déposé) les partenaires du présent projet souhaitent développer une réflexion préalable à la réalisation d'un prototype de substrat poreux dont la vocation serait d'augmenter la capacité d'assimilation par le milieu récepteur des rejets polluants d'un déversoir d'orage. La structure serait positionnée à l'aval proximal du rejet et pourrait être répétée si nécessaire. L'objectif principal est bien d'étendre la plage d'efficacité du processus naturel de biodégradation face à une variabilité à la fois des flux de pollutions urbains et des flux d'eau naturels des petits cours d'eau ; en évitant le développement d'agents bactériens indésirables.

Au-delà des facteurs physiques on s'intéressera aux biomasses bactériennes qui vont, en complément des réactions purement chimiques, développer un métabolisme réactionnel de base avec des cinétiques encore mal connues *in situ*. Les à coups des RUTP peuvent-ils créer des dynamiques biotiques particulières? Les richesses spécifiques des populations bactériennes devraient aussi jouer un rôle et ce d'autant que les rejets urbains ensemencent et

nourrissent régulièrement ces populations. Des effets toxiques peuvent également réguler le processus de bio-assimilation, en particulier via des HAP, métaux lourds et métalloïdes. Les effets toxiques, comme les processus de bio-assimilation, sont liés à des temps de transit dans la matrice poreuse du corridor hyporhéique.

On comprend donc ici l'intérêt d'associer quatre disciplines (microbiologie, écotoxicologie, hydrologie et géomorphologie) dans un travail de réflexion collective.

### **Approche choisie**

L'approche est basée sur le croisement et la mise en cohérence des connaissances des différentes disciplines impliquées dans le projet ainsi que sur l'expérience acquise sur le site expérimental. Il s'agit d'établir les relations entre le fonctionnement hydrologique et géomorphodynamique d'un tronçon de cours d'eau soumis à des rejets urbains de temps de pluie, et l'état écologique du milieu, en se focalisant principalement sur le compartiment bactérien et les populations d'oligochètes. Des extrapolations seront nécessaires depuis des études sur le milieu terrestre et souterrain. Des études avec substrat artificiel seront réalisées pour combler certaines lacunes dans la compréhension du dispositif, en prévoyant des moyens d'échantillonnage ou encore de mesure in situ et pour des conditions de conductivité hydraulique et de géomorphologie connues en 3D, ce qui est difficile en substrat naturel.

1. La première étape du projet concerne une synthèse des connaissances sur les conditions et la capacité d'assimilation du milieu hyporhéique d'un cours d'eau, et d'analyse des compartiments bactériens de la zone hyporhéique du dispositif
2. La deuxième étape vise à définir les contraintes auxquels devrait répondre le substrat artificiel.
3. La troisième étape consistera à dimensionner le dispositif.

Pour le dimensionnement, les données de cadrage des flux à traiter sont issues d'un dispositif expérimental. La rivière expérimentale, la Chaudanne, a un débit moyen de 30 L/s et draine un bassin versant de 2.7 km<sup>2</sup> urbanisé en son aval. Ce débit dépasse quelques centaines de litres lors des gros orages et de l'ordre de 1500 L/s pour les grandes crues du bassin. Son débit est en moyenne nul pendant les 4 mois d'été mais avec un sous écoulement permanent. Les rejets du déversoir d'orage peuvent varier d'une situation d'infiltration sur place à celle d'un transfert plus ou moins distant dans le tronçon aval du cours d'eau. Le site expérimental de l'OTHU a été construit autour de cette problématique. Il est composé de trois unités d'échantillonnage réfrigérées qui prélèvent dans la rivière à 50 m en amont du déversoir, dans le déversoir et dans la rivière à 120 m en aval du déversoir. Les prélèvements sont asservis au fonctionnement du déversoir. Cette organisation permet de faire un bilan entrée/sortie des charges polluantes déversées et a permis de confirmer la résilience biologique selon le modèle « oligochètes » (une validation devant être effectuée dans cette étude en utilisant le compartiment bactérien) dans certains faciès morphologiques mais ne permet pas de comprendre les réels déterminants des processus de l'assimilation des charges polluantes et les cinétiques associées. Le projet utilise et s'organise autour des acquis et des inconnues de ce dispositif.

La morphologie des cours d'eau est impactée par les RUTP (Booth 1990 ; 1991). Cependant peu de travaux sont consacrés à la dynamique hydrogéomorphologique des tronçons de rivière impactés qui reçoivent des eaux à faible charge solide avec des énergies importantes pouvant créer des conditions de transport du substrat et de tri granulométrique tout à fait particulier. Il

s'agit donc de caractériser à partir d'observations sur le tronçon pilote les différences géomorphologiques et granulométriques qui peuvent apparaître pendant et entre des RUTP. De ces informations il sera possible d'émettre des hypothèses sur les conséquences pour l'habitat physique et la biocénose du cours d'eau, comme par exemple l'évolution de la conductivité hydraulique, l'apparition de sur-pentes transitoires durant le charriage de fond, les profondeurs et distributions des arasements et recharges sédimentaires, les modifications des composantes biologiques, la sélection de populations bactériennes indésirables, etc. On retiendra comme caractéristiques, la granulométrie de la couche superficielle et de la sous-couche, épaisseur de la couche active, distance de transport des particules grossières (Liebault et al., 1999 ; Grosprêtre et Schmitt, 2007).

L'hydrologie visera à préciser l'évolution temporelle des gradients hydrauliques dans le tronçon soumis au RUTP. Les RUTP sont caractérisés par des débits forts et de courte durée par comparaison aux débits courant d'un petit cours d'eau. Il s'ensuit des élévations et descentes rapides du niveau d'eau sur quelques centaines de mètres. Cela crée des gradients hydrauliques particuliers dans le cours d'eau, dans le substrat et dans les berges. Les flux hydriques et de matières sont conditionnés à la fois par ces gradients hydrauliques et la conductivité hydraulique du milieu. Celle-ci peut aussi évoluer de manière significative avec la température de l'eau. Les court-circuits hydrauliques irriguent le substrat et les berges des cours d'eau. L'interaction entre les flux hydriques et la dynamique géomorphologique de ces systèmes peut créer des conditions particulières de sollicitation du substrat.

Des tests d'écotoxicité sont en cours et seront complétés dans le cadre d'une thèse du L.S.E. (ENTPE, thèse de Angerville R.) à partir des effluents déversés ainsi que d'effluents échantillonnés dans la zone hyporhéique. Ces bioessais auront notamment pour objectif de déterminer les zones d'accumulation des matières toxiques ainsi que de suivre leur détoxification (ou l'inverse), au cours du temps.

Des échantillons de substrat placés dans des colonnes et soumis à différents gradients hydrauliques et d'effluents échantillonnés dans le substrat de la rivière serviront de support de colonisation. Le principe de ces expériences fera l'objet de la première année du projet.

Des études de la dynamique spatio-temporelle des communautés bactériennes de la zone hyporhéique de la rivière expérimentale (la Chaudanne) seront réalisées.

*A) analyse globale des compartiments bactériens:* Le compartiment bactérien de la zone hyporhéique sera analysé dans sa globalité par des approches moléculaires permettant d'étudier les relations entre diversité bactérienne, contraintes hydro-géomorphologiques et contaminations par déversoirs d'orage. La méthode d'analyse de la structure génétique des communautés bactériennes utilisée sera la méthode ARISA (Ranjard et al., 2001). Cette méthode implique une étape d'extraction de l'ADN bactérien directement à partir des échantillons d'eau, de sédiments, matières en suspension, puis une amplification par PCR (polymerase chain reaction) d'un fragment de l'opéron ribosomique entre les gènes *rrs* et *rrl*, et une analyse par séquenceur automatique des produits PCR obtenus. Cette méthode ARISA (Automated Ribosomal Intergenic Spacer Analysis) exploite le polymorphisme de la longueur de cet espace intergénique (IGS) qui varie pour la grande majorité des espèces de procaryotes entre 74 pb (espèces appartenant aux Firmicutes à bas GC) et 1529 pb (sous-division des  $\alpha$ -Proteobactéries) (Garcia-Martinez et al., 2001, Nucleic Acids Res., 29, 178-180).

*B) analyse de populations bactériennes indicatrices de perturbations*



Les bactéries pathogènes opportunistes telles que les *Pseudomonas aeruginosa*, et les *Aeromonas hydrophila* et *A. caviae* sont des bactéries fortement liées à l'urbanisation. Les populations de ces espèces présentent dans la zone hyporhéique feront donc l'objet d'un suivi particulier. Nous étudierons la relation entre la présence de ces populations bactériennes, les contraintes hydro-géomorphologiques et contaminations par déversoirs d'orage. Nous chercherons à évaluer l'effet de la granulométrie de la zone hyporhéique sur la persistance de ces espèces. L'effet des déversoirs d'orage sur la présence de ces populations sera étudié. Ces études seront entreprises en utilisant une stratégie de détection et de quantification ne reposant pas sur la culture de ces bactéries du fait de différents biais liés à l'état viable non cultivable des cellules et à la semi sélectivité des milieux. Pour cela nous appliquerons une approche basée sur la détection par PCR quantitative en temps réel de séquences cibles spécifiques des différents pathogènes étudiés à partir des ADN extraits directement des échantillons du milieu. Ces études seront complétées par des campagnes d'isolement et d'analyses plus fines de certaines souches de ces populations bactériennes, pour pouvoir clairement établir si nous avons des renouvellements de ces populations ou plutôt la présence de populations résidentes, variant en effectif selon les conditions/nutriments de la zone hyporhéique.

## Résultats attendus

Plus précisément, il s'agit d'apporter des réponses aux questions suivantes:

- quel est le rôle de la granulométrie de la zone hyporhéique, pour une même granulométrie superficielle ou pas, vis-à-vis :
  - o des flux hydriques parcourant ce compartiment ?
  - o du stockage et de la dégradation de la MO dans ce compartiment ?
  - o de l'évolution de l'écotoxicité des matières stockées dans ce compartiment,
  - o des dynamiques spatio-temporelles des communautés bactériennes ?
  - o des communautés d'oligochètes (observations acquises)?
- quel est le rôle de l'épaisseur et de la fréquence de mobilisation de la couche active vis-à-vis des facteurs écologiques de la zone hyporhéique (granulométrie, flux hydriques, dynamiques bactériennes, stockage-assimilation de la MO, oligochètes) ?

Les réponses à ces questions permettront d'accroître notablement les connaissances sur l'écologie fonctionnelle des petits hydrosystèmes périurbains, en valorisant à la fois des résultats innovants, un dispositif complet de suivi original mis en place dans le cadre de l'OTHU, et l'intégration de la dimension micro-biologique.

Il en découlera la formulation de principes d'ingénierie écologique novateurs, scientifiquement fondés, ce qui reste relativement rare pour l'instant pour les petits hydrosystèmes péri-urbains.

Le produit attendu est un cahier des charges pour la conception (forme, dimension) et le test d'une structure poreuse (type gabion). L'implantation dans un cours d'eau pilote avec suivi des facteurs physiques et du métabolisme pourrait être proposé aux appels d'offre suivants. Cette réflexion et l'expérimentation associée seraient complémentaire d'un projet EC2CO soumis en juin sur le même site expérimental.

## Références citées

- Angerville R. (2007). Evaluation des risques écotoxicologiques liés aux rejets d'eaux pluviales dans les cours d'eau périurbains. Thèse en cours, laboratoire L.S.E. de l'ENTPE.
- Bernot MJ, Dodds WK. 2005. Nitrogen Retention, Removal, and Saturation in Lotic Ecosystems. *Mini review- Ecosystems* (2005) 8: 442–453
- Booth D.B. 1991 . "Urbanization and the natural drainage system - impacts, solutions, and prognoses". *Northwest Environmental J.*, 7pp.93-118.
- Booth D.B., Jackson C.R. 1997 . "Urbanization of aquatic systems: degradation thresholds, storm water detection, and the limits of mitigation". *J. American Water Resources Association*, 33 5 pp.1077-1090.
- Booth, D.B. 1990 . "Stream-channel incision following drainage-basin urbanization". *Water Resources Bulletin*, 26 3 pp.407-417.
- Breil P, Grimm N.B., Vervier Ph. (in press). Surface water groundwater exchange processes and fluvial ecosystem function: An analysis of temporal and spatial dependency. In "Hydroecology and Ecohydrology : past, present and future. ", chapter 13. Edited Paul. J Wood, David M. Hannah and Jonathan P. Sadler. Wiley & Sons Inc.
- Cardenas M.B., Wilson J.L.. 2004. Impact of heterogeneity, bed forms, and stream curvature on subchannel hyporheic exchange. *Water Resources Research*, VOL. 40,
- Dent L.C, Grimm N.B., 1999. Spatial Heterogeneity of stream water nutrient concentrations over successional time. *Ecology*, 80(7), 1999, pp. 2283–2298
- Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. J.O. L327 du 22/12/2000.
- Grimm N.B., Sheibley R.W., Crenshaw C. L., Dahm C.N., Roach W. J, Zeglin. 2005. N retention and transformation in urban streams. L. H., J.N. *Am. Benthol. Soc.* , 2005, 24(3): 626–642.
- GROSPRETRE L. et SCHMITT L., Mai 2006. Etude hydro-géomorphologique de l'Yzeron et définition d'indicateurs de suivi Rapport d'avancement n°3. Université Lyon 2 CNRS/UMR 5600. Réalisé pour le compte du Grand Lyon et du S.A.G.Y.R.C. 127 p. + ann.
- Kasahara T., Hill A.R. Effects of riffle–step restoration on hyporheic zone chemistry in N-rich lowland streams. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* (63): 120-133
- Kemp M.J., Dodds W.K. . Comparison of nitrification and denitrification in prairie and agriculturally influenced streams. *Ecological Applications*: Vol. 12, No. 4, pp. 998–1009.
- Lafont M. & A. Vivier. 2006. Oligochaete assemblages in the hyporheic zone and coarse surface sediments: their importance for understanding of ecological functioning of watercourses. *Hydrobiologia*, 564: 171-181.
- Liébault F., Clément P., Piégay H., Landon N., 1999 : Assessment of bedload delivery from tributaries: The Drôme river case, France. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, vol. 31, n°1, pp. 108-117.
- Patra AK, Abbadie L, Clays-Josserand A, Degrange V, Grayston SJ, Guillaumaud, N, Loiseau P, Louault F, Mahmood S, **Nazaret** S, Philippot L, Poly F, Prosser JI, Le Roux X. Effects of management regime and plant species on the enzyme activity and genetic structure of N-fixing, denitrifying and nitrifying bacterial communities in grassland soils. *Environ Microbiol.* 2006 Jun;8(6):1005-16.
- Ranjard L, Poly F, Lata JC, Mougel C, Thioulouse J, **Nazaret** S. Characterization of bacterial and fungal soil communities by automated ribosomal intergenic spacer analysis fingerprints: biological and methodological variability. *Appl Environ Microbiol.* 2001 Oct;67(10):4479-87.
- SCHMITT L., LAFONT M., TREMOLIERES M., VIVIER A., JEZEQUEL C., BREIL P., PERRIN J.-F., NAMOUR P., VALIN K. and VALETTE L., soumis. Use of hydro-geomorphological typologies in functional ecology: first results in contrasted hydrosystems. *Physics and Chemistry of the Earth*.
- Schueler T. 1994. The importance of imperviousness. *Watershed protection Techniques*. 1(3): 100-111.
- Vivier, A., 2006. Effets écologiques de rejets urbains de temps de pluie sur deux cours d'eau périurbains de l'ouest lyonnais et un ruisseau phréatique en plaine d'Alsace. Thesis, L.P. University, Strasbourg : 208 pp. + annexes.
- <sup>b</sup>Walsh C.J., Roy A.H., Feminella J.W., Cottingham P.D., Groffman P.M., Morgan R.P. 2005. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 2005, 24(3):706–723
- <sup>a</sup>Walsh C.J., Fletcher T.D., Ladson A.R. 2005. Stream restoration in urban catchments through redesigning stormwater systems: looking to the catchment to save the stream. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 2005, 24(3):706–723
- Wasson, J.G., Villeneuve, B., Dobiasova, M., Bacikova, S., Murray-Bligh, J., Timm, H. and Iital, A. (2006). Large scale models: How land cover pressures determine ecological status of rivers across European countries and Hydroecoregions? Examples with invertebrate indices from France, Estonia, Slovak Republic and United Kingdom. *Actes colloques Man and river systems II Man and River Systems II "Interactions among Rivers, their Watershed and the Sociosystem"*, Paris,
- Zalewski M. & Wagner I. 2006. Ecohydrology - the use of water and ecosystem processes for healthy urban environments. *Aquatic Habitats in Integrated Urban Water Management. Ecohydrology & Hydrobiology*. Vol. 5. No 4, 263-268

## Fiche BILAN de fin de projet (2007-2008)

### Interdisciplinarité : quelles sont les disciplines scientifiques impliquées / mobilisées

Ecologie microbienne, biologie aquatique, écotoxicologie aquatique, chimie des eaux, hydro-géomorphologie, hydrologie-hydraulique.

*Mots clés : cours d'eau, urbanisation, pathogènes, écotoxicité, bioremédiation*

### Rappel des objectifs

Le corridor hyporhéique ou encore la zone d'échange active entre un cours d'eau et sa nappe est un bio-réacteur essentiel des cours d'eau à substrat grossier. L'impact des rejets urbains de temps de pluie sur les petits cours d'eau étant une source de dégradation importante, le projet vise à améliorer les conditions de leur biodégradation, en complément de tout effort réalisé par ailleurs pour limiter la pollution à la source.

L'objectif général est d'étendre la plage d'efficacité du processus naturel de biodégradation face à la variabilité des flux de pollutions urbains en limitant au possible le développement des facteurs d'atténuation. Ces facteurs sont *a priori* les effets toxiques liés aux métaux lourds, métalloïdes et aux HAP ainsi qu'aux micro-organismes (et virus) pathogènes qui constituent en sus des facteurs de risque pour l'homme.

L'objectif finalisé de ce projet est de cerner les facteurs de la biodégradation naturelle dans un petit cours d'eau. Cette connaissance doit permettre de poser les bases d'un prototype de substrat poreux *in situ* dont la vocation serait d'augmenter la capacité de biodégradation des rejets polluants d'un déversoir d'orage. La structure serait positionnée à l'aval proximal d'un déversoir d'orage et pourrait être répétée si nécessaire.

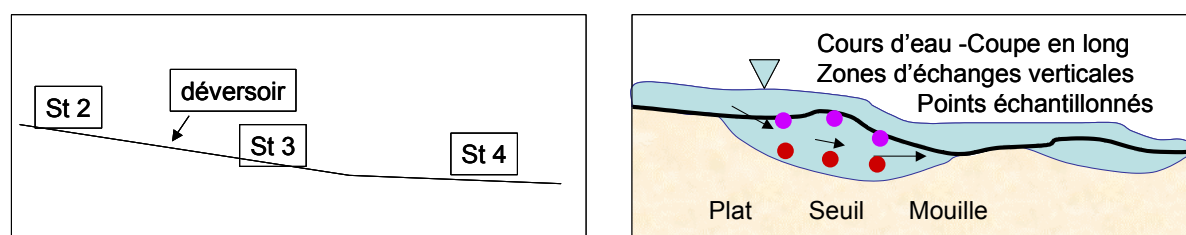
### Principaux résultats

Nous tentons ici de préciser les facteurs qui vont déterminer le processus de l'assimilation ou plus largement les effets de transport, transformation, stockage et transfert des substances nutritives, toxiques et pathogènes. Pour atteindre cet objectif, nous avons réalisé un état de l'art, revisité des données acquises, acquis de nouvelles données et dégagé les caractéristiques fonctionnelles que devrait assurer le pilote.

En bref résumé pour l'état de l'art, l'essentiel de l'activité auto-épuratoire d'un cours d'eau à fond poreux se déroule dans son substrat (Dent & Grimm 1999, Kemp & Dodds 2001, Royer et al., Bernot & Doods 2005, Grimm et al. 2005,...) à l'interface des eaux superficielles et souterraines. Cette interface est qualifiée de milieu hyporhéique. Des mécanismes abiotiques et biotiques interdépendants concourent à la capacité d'auto-épuration globale des nutriments et des polluants par la biocénose interstitielle des cours d'eau. Ces mécanismes ont des effets tantôt synergiques tantôt antagonistes (Grimm et al. 2003). En l'absence de crue un gradient spatial des processus d'auto-épuration se met en place dans le corridor hyporhéique (Dent & Grimm, 1999, Breil & al. 2007) dans les directions latérale et verticale (Fisher et al. 1998, Dent et Grimm, 1999). Les crues tendent à rallonger les temps et parcours des processus de l'assimilation par homogénéisation. La matière organique et en particulier les substances dissoutes sont véhiculées par les flux d'eau en des zones spécifiques du substrat via les chemins de l'eau, ce qui crée des « hot spots » d'activité métabolique (Clement et al. 2002). Ces zones spécifiques sont conditionnées par la géomorphologie locale et les débits qui imposent les sens, directions et intensités des échanges d'eau au sein du milieu hyporhéique (Kasahara & Wondzell 2003, Grimaldi & Chaplot 1999, Cardenas 2004). La matière organique apportée par les flux urbains renforcent la capacité de dénitrification mais les conditions de son accumulation et de son aération sont peut stables dans des cours d'eau urbains sujets à des variations de débit renforcées et une géomorphologie très actives (Groffman & al., 2005). L'apport de particules fines peut réduire l'infiltration de l'oxygène et des eaux riches en nitrates limitant ainsi l'efficacité de la zone hyporhéique à dénitrifier (Kasahara & Hill, 2006). La concentration finale en nitrate dans les cours

d'eau périurbains et urbains dépendra finalement de l'équilibre entre les processus de production et consommation des nitrates. La combinaison des facteurs physiques que sont les débits et la géomorphologie locale est donc déterminante dans les processus d'auto-épuration en cours d'eau à fond perméable.

L'étude de terrain où il est prévu de tester le pilote a été organisée en trois stations : une station située 100 m en amont d'un déversoir d'orage (station 2), une station située 110 m en aval (station 3) et une station située 300 m en aval (station 4). Les deux stations amont sont de pentes comparables et prononcées alors que la station aval est située dans un replat morphologique. Des échantillons d'eau ont été prélevés dans les zones benthiques et hyporhéiques (respectivement les 5 premiers cm puis la zone à -50 cm dans le substrat). Trois verticales échantillonnées pour les deux stations aval au déversoir à raison d'un faciès plat, d'un seuil et d'une mouille. Seul le seuil a été échantillonné pour la station amont déversoir.



### Géomorphologie

Les pentes locales des sites juste amont et juste aval du déversoir sont comparables, de l'ordre de 3%. Le site plus aval présente une pente de 1%. Des analyses réalisées sur les sédiments de surface et de la zone hyporhéique ont été réalisées au granulomètre laser. La comparaison des modalités des distributions permet de formuler trois hypothèses concernant la fraction fine (0-10mm):

- la couche superficielle du substrat est sensiblement plus grossière juste à l'aval du déversoir (0.83mm) qu'à son amont (0.18). Cela témoignerait de l'énergie délivrée par les débits supplémentaires liés au déversoir d'orage.
- la couche hyporhéique amont est nettement plus grossière (0.7mm contre 0.5mm) marquant peut être un phénomène de mobilisation profonde moins fréquent qu'à l'aval immédiat du déversoir.
- la station aval présente des distributions granulométriques très proches entre ses deux couches avec un mode marqué à 0.5mm. La rupture de la pente générale du cours d'eau semble pouvoir expliquer la dissipation de l'énergie.

Ces trois hypothèses sont complémentaires d'amont en aval. La différenciation marquée des couches en amont cède place à l'aval du déversoir à un malaxage plus fréquent et plus profond des deux couches dont seule la fraction grossière est sélectionnée sur la station plus aval. Le tri granulométrique longitudinal résulte sans doute de l'énergie développée par le déversoir d'orage et s'exprime en fonction de la pente. L'augmentation de la section d'écoulement entre l'amont et l'aval du déversoir atteste aussi de l'énergie développée. Elle passe ainsi de 0.38 à 0.49 m<sup>2</sup>.

### Flux d'eau

Les débits mesurés à l'aval du déversoir indiquent qu'aucune crue ne s'est produite depuis le mois qui a précédé le jour de l'échantillonnage des eaux benthiques et hyporhéiques sur le terrain. La comparaison des débits entre l'amont et l'aval du déversoir montre une évolution nette de l'intensité et de la fréquence des crues. A titre d'exemple, la crue de plein bord considérée comme morphogène passe de 0.8 à 1.15 m<sup>3</sup>/s, et l'occurrence de la crue 3 ans devient annuelle avec un débit de 0.75 m<sup>3</sup>/s. La nature de la charge de fond ne changeant pas, la sollicitation du substrat est plus fréquente à l'aval du déversoir. Ces résultats corroborent ceux de la granulométrie.

La conductivité indique un mélange homogène de 350 micro-siemens dans les stations 2 et 3. Cette valeur est représentative de celle des eaux de surface. Ce n'est pas le cas de la station 4, où seule la conductivité du seuil tend vers celle de l'eau de surface. Les valeurs amont et aval à ce seuil sont fortement minéralisées (850 micro-siemens en moyenne). Cela peut témoigner d'un phénomène d'infiltration lors de l'arrivée des premiers flux d'orage plus minéralisés.

La température de surface est à environ 5°C, valeur vers laquelle tendent les températures des eaux hyporhéiques au niveau des trois seuils, ce qui marque l'infiltration. On trouve par contre des eaux plus froides en amont et en aval du seuil de la station 3 quand elle sont plus chaudes pour la station 4. La chronique de température de l'air du jour précédent permet d'expliquer cette variation par un temps de transit plus long de l'eau hyporhéique de la station 4. On peut évaluer à 12h le temps de transfert de l'eau depuis la surface dans le seuil de la station 3 et à 36h pour celui de la station 4.

### Physico-chimie

Les analyses ont porté sur les eaux benthiques et hyporhéiques des 3 seuils pour les paramètres suivants : COT, le COD, le NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> et PO<sub>4</sub>.

Par rapport à la station 2, la zone hyporhéique des stations 3 et 4 présente une chute importante de NO<sub>3</sub> mais une augmentation du COT et une baisse du COD à la station 3. Le métabolisme qui s'y développe est plutôt aérobie avec une moyenne de 8 mg/l. Pour la station 4, avec une pente moins prononcée, la teneur moyenne en oxygène est de 5 mg/l avec des minima à 2 mg/l en amont et aval du seuil, témoignant d'un métabolisme anaérobie qui explique la présence de NH<sub>4</sub>.

Les métaux ont été dosés dans les fractions dissoute et sédimentaire des eaux hyporhéiques des stations 3 et 4. Dans la fraction dissoute, les concentrations en Cr, Cu et Ni sont faibles, mais le Zn est présent à 0,1 mg/L à l'aval du seuil de la station 4. Pour la fraction sédimentaire, on retrouve des concentrations importantes en Pb et surtout en Zn (jusqu'à 200 mg/kg MS pour ce dernier). On conclut à une pollution métallique essentiellement localisée dans la fraction sédimentaire.

### Ecotoxicité

Les essais écotoxicologiques sélectionnés (*Daphnia magna* 24h et 48h, *Vibrio fischeri* 30 mn (Microtox®), *Brachionus calyciflorus* 48h et *Heterocypris incongruens* 6 j) ont été réalisés sur les échantillons moyens (S3-H et S4-H) et sur l'échantillon S4-H3. Si l'on se réfère à la proposition de classification établie par Santiago *et al.* (2002), la fraction « eau + sédiments » peut être qualifiée de toxique vis-à-vis de *B. calyciflorus* pour les échantillons S3-H, S4-H, et S4-H3, et de toxique vis-à-vis de *V. fischeri* pour les échantillons S4-H et S4-H3. En ce qui concerne les essais sur ostracodes (*Heterocypris incongruens*), réalisés spécifiquement sur la fraction sédimentaire, l'échantillon S4-H3 se révèle le plus toxique des 3 échantillons testés.

Cette étude exploratoire a montré la toxicité potentielle des particules accumulées dans la zone hyporhéique pour certains organismes qui y vivent. Il est à noter que cette toxicité pourra d'autant plus s'exprimer que les temps de séjour des polluants dans ce compartiment seront plus importants que dans le cours d'eau lui-même. L'origine de cette toxicité reste à déterminer, mais on peut d'ores et déjà faire l'hypothèse d'une implication significative des métaux lourds (Zn, Pb, Cu,...), très présents dans les rejets et retrouvés dans les échantillons de la zone hyporhéique prélevés en aval du déversoir d'orage ; métaux dont on commence à montrer les interactions possibles entre eux lorsqu'ils agissent en mélange (Angerville *et al.*, 2007 ; Angerville *et al.*, 2008). La compréhension de cette toxicité passera aussi par une meilleure connaissance de la spéciation (qui peut influencer fortement la toxicité) des métaux lourds, et de son évolution au cours du temps dans les compartiments du cours d'eau.

### Les pathogènes

Les analyses de la microbiologie de sédiments et eaux du site expérimental de la Chaudanne ont permis d'observer une contamination significative de ce milieu aquatique. Des bactéries de contamination fécale hors période de déversement ont pu être détectées. Les dénombrements les plus significatifs ont été obtenus pour le sédiment benthique mais des valeurs positives ont également été obtenues en profondeur à partir du sédiment hyporhéique. Ces résultats préliminaires confortent notre

hypothèse d'une contribution probable des contaminants microbiens apportés par les rejets de déversoir d'orage dans la dégradation des contaminants chimiques introduits par ce même déversoir d'orage. Ces travaux suggèrent également une forte probabilité de transferts d'agents pathogènes humains dans l'environnement par les déversoirs d'orage. L'OMS indique qu'une concentration d'environ 200 UFC d'entérocoques par 100 mL peut provoquer entre 1 et 5% de cas de gastro-entérite chez les baigneurs. Dans ce travail, nous avons observé des concentrations au-dessus de ce seuil, suggérant une entrée importante d'agents pathogènes dans ce milieu. Des travaux seront prochainement réalisés dans le cadre du projet CES INVASION pour permettre l'identification des principaux agents pathogènes introduits dans cette rivière par le déversoir d'orage. Ces agents pathogènes seront par la suite recherchés dans les sédiments de la rivière, avec pour objectif d'évaluer les effets de forces sélectives de ce milieu sur leur évolution dont leur virulence et propriétés de résistance aux antibiotiques.

#### La biocénose : communautés d'oligochètes

Une analyse comparée des associations d'espèces d'oligochètes et de l'historique des débits observés aux stations 3 et 4 a permis d'expliquer les dynamiques d'évolution contrastées. A partir de 22 campagnes, il a été identifié des contextes hydrologiques dégradants pour la qualité biotique ainsi que des contextes favorables à son amélioration. La station 4 reste dans un état général dégradé tout au long de l'année qui est particulièrement bien corrélé avec le nombre de rejets du déversoir dans les mois qui ont précédé. La persistance d'un état dégradé dans l'horizon hyporhéique marque la domination d'un flux polluant de la surface vers le fond du substrat de cette station. Les améliorations temporaires de l'horizon benthique sont corrélées à des mouvements d'eau importants et un débit naturel soutenu après une crue conséquente. Pour la station 3, un état moins dégradé mais plus variable dans le temps est constaté. Il est corrélé à la variabilité ainsi qu'à l'intensité des débits des mois qui précèdent. L'entraînement de la couche benthique par les crues semble expliquer une partie de l'amélioration pour la zone benthique. Le temps de retour à un état biologique satisfaisant a été estimé, sans rejet du déversoir, à 2 mois pour la station 3 et à 3 mois pour la station 4.

#### Les caractéristiques requises du pilote sont :

- de favoriser les processus aérobie qui présentent un rendement épuratoire plus efficace que les processus anaérobies. Ce rendement s'exprime en particulier en cinétique de réaction ;
- de limiter le colmatage de surface par les matières en suspension et par les colloïdes de manière à maintenir le flux des substances dissoutes ou particulières assez fines. Cela revient à étaler au mieux les substances pour éviter une accumulation pouvant créer une anoxie locale ainsi qu'à maintenir un courant de surface suffisant pour entraîner les particules les plus grossières plus à l'aval.
- de limiter l'effet d'homogénéisation spatiale des processus successifs de la biodégradation qui s'installent dans le sens de l'écoulement dans le substrat. Cette homogénéisation résulte de l'augmentation des gradients hydrauliques. Il faut donc stabiliser au mieux le flux hyporhéique.

#### Les dimensions seront à considérer en fonction :

- des flux de nutriments qui ne doivent pas dépasser la capacité d'assimilation du milieu. Au vu des résultats, cela reviendrait à maîtriser les apports qui dépasseraient la dynamique de croissance des populations bactériennes et cela jusqu'à un optimum à déterminer.
- des facteurs pouvant diminuer le rendement épuratoire comme les toxiques et des effets pathogènes encore peu considérés pour les écosystèmes aquatiques.

### **Perspectives**

Les premières observations réalisées confirment les résultats de l'état de l'art mais apportent aussi un nouvel éclairage sur les facteurs potentiels d'atténuation et d'amélioration de la capacité d'auto-épuration d'un cours d'eau. L'objectif sera de diminuer ces facteurs et de favoriser un équilibre entre les nutriments et la biocénose en place dans le pilote. Le protocole d'investigation prévu dans le projet ANR-CES « INVASION » est conçu pour explorer la dynamique conjointe des flux d'eau et des substances nutritives et toxiques, de la géomorphologie et de la biocénose bactérienne interstitielle. Cette dynamique sera mesurée en phases de hautes eaux, transition et basses eaux en incluant dans chacune le rôle des événements de crue. Elle fera l'objet du développement d'un modèle conceptuel de

circulation des flux verticalement et latéralement par rapport au chenal principal. Ce modèle sera inspiré du « telescoping ecosystem model » développé sur le corridor hyporhéique (Fisher et al. 1998) et permettra de préciser les dimensions du pilote.

### « Effet levier » : ce projet vous a-t-il permis d'accéder à un autre financement ?

La réflexion menée au sein du groupe interdisciplinaire a permis d'obtenir trois projets en 2008 :

- ANR-08-PCES-00 « Contaminants, Ecosystèmes et Santé ». Le titre du projet est : « Les contaminants microbiens introduits lors d'évènements pluvieux dans les rivières en milieu péri-urbain: conséquences écologiques et dangers pour la santé »
- « Zone Atelier du Rhône-Agence de l'Eau RMC » sur la thématique Gestion des petites rivières périurbaines. Titre du projet : « Evaluation du potentiel écologique dans une rivière urbaine fortement modifiée ».
- « Zone Atelier du Rhône-Agence de l'Eau RMC » sur la thématique Gestion des petites rivières périurbaines. Titre du projet : « Identification, caractérisation et devenir des différentes composantes des eaux pluviales potentiellement toxiques pour les milieux aquatiques ».

### Applicabilité de la recherche (vers l'ingénierie écologique opérationnelle)?

Un premier pilote sera testé à l'aval du déversoir d'orage de cette étude préliminaire. Ce projet sera réalisé conjointement à la stabilisation d'un processus actif d'érosion de berge. Il sera mené en partenariat avec la structure porteuse d'un contrat de rivière. Le seuil sera donc conçu en fonction des contraintes géométriques préconisées. Sa performance auto-épuration sera suivie dans le cadre d'un projet de recherche en cours de montage.

### Publication issues de ce projet

- Angerville R., Emmanuel E. et Perrodin Y. (2007). Potential ecotoxic impact of metals in mixture in run-off water on the aquatic receiving mediums". Novatech 2007, Lyon (France), juin 2007.
- Angerville R., Emmanuel E. et Perrodin Y. (2008). Toxicity of binary mixtures of heavy metals against the freshwater algae *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Toxicology Letters*, Volume 180 (2008), Supplement 1, October 2008.
- Breil P., Lafont M. 2008. Chapter 9 : assessing stream bio-assimilation capacity to cope with combined sewer overflows.. In "aquatic habitats in integrated urban water management". Edited by wagner i., marsalek j., breil p. Taylor & francis group. P 53-61.
- Breil P., lafont M., Fletcher T.D & Roy A., 2008: aquatic ecosystems. In: Fletcher T.D & Deletic A. (eds) Data requirements for integrated urban water management, chapter 20, Taylor & Francis group, London: 262-274.
- Datry T., Dole-Olivier M.J., Marmonier P., Claret C., Perrin J.F., Lafont M., Breil P (accepté Ingénieries EAT). La zone hyporhéique, une composante à ne pas négliger dans l'état des lieux et la restauration des cours d'eau.
- Namour Ph., Fournier T., Thollet F., Lagouy M., Breil P. 2008. Métrologie des hydrosystèmes et méthodologies d'observations : Présentation du site de Grézieu-la-Varenne de l'Observatoire de terrain en hydrologie urbaine. TSM numéro 2 - 2008 - 103e année. PP 33-48.
- Lafont M., Marsalek J. & Breil P. 2008. Urban aquatic habitat characteristics and functioning. In: Wagner, I., Marsalek, J. And Breil, P.(eds.) Aquatic habitats in integrated urban water management, chapter 2, Taylor & Francis group, London: 9-16.
- Schmitt L., Lafont M., Tremolieres M., Vivier A., Jezequel C., Breil P., Valin K., Valette L., Perrin J.F., Namour Ph.,(accepté Physics and Chemistry of the Earth). Use of hydro-geomorphological typologies in functional ecology: first results in contrasted hydrosystems.

## ANNEXE :Bilan du projet en 5 questions

Questions posées par les évaluateurs du colloque de restitution.

1. Comment votre projet s'insère-t-il dans le contexte plus général de l'ingénierie écologique en France?

*Des techniques de réhabilitation (renaturation) des rivières existent mais elles concernent essentiellement le "reprofilage" des cours d'eau pour leur donner un aspect plus naturel. Cela consiste à imposer une sinuosité souvent bloquée par des points durs à l'aide d'enrochements. Cet objectif esthétique peut être complété par des techniques de végétalisation des berges pour stabiliser ces dernières, souvent à l'aide d'espèces exotiques. L'objectif écologique n'est alors pas une priorité, tout au plus une conséquence. De même la reprise morphologique du profil en long d'un cours en voie d'incision (d'origine naturelle ou artificielle) consiste à créer des seuils. Les techniques mises en oeuvre ne sont pas toujours propices à un effet filtrant qu'il faudrait pourtant favoriser. La prise en compte de la fonction écologique pourtant reconnue de la matrice poreuse nécessite un travail concerté sur les relations débit-géomorphologie pouvant favoriser le fonctionnement de ce "poumon" en ingénierie écologique.*

**2. Quels liens, déjà réalisés ou éventuels, voyez-vous entre votre projet et, a) les autres projets soutenus par le programme CNRS/CEMAGREF d'Ingénierie Ecologique (ci-joint le bilan provisoire des projets financés en 2007 et 2008), b) d'autres projets d'ingénierie écologique qui se déroulent en dehors de ce programme et dont vous pourriez avoir connaissance ?**

L'objectif du projet STIMM est bien de stimuler les échanges entre le cours d'eau et sa matrice poreuse (si elle existe) pour favoriser la biodégradation. La réduction de ces échanges se manifeste souvent par la présence d'espèces polluo-résistantes. Le projet BIOCEI vise un objectif similaire mais au travers d'une stimulation électrique dans le sol. Nous n'avons aucune notion sur la possibilité d'application de cette technique au milieu aquatique mais la question vaut la peine d'être posée. Par ailleurs, le projet STIMM a permis le montage de trois projets à finalité d'ingénierie écologique dont une méthodologie d'évaluation du "bon potentiel écologique (DCE)".

**3. Quels sont les résultats majeurs que vous avez obtenus (3 au maximum), et pourquoi les considérez-vous comme tels ? (dans le cas des coordinateurs de projets financés en 2008 et si aucun résultat n'a encore été obtenu, merci d'indiquer les 3 principaux attendus du projet)**

- Un état de l'art qui a permis de constater la nécessité de développer une recherche finalisée.
- Une étude de terrain qui a révélée les situations contrastées des échanges dans un cours d'eau naturel et le rôle du tandem débit-géomorphologie sur les caractéristiques des échanges.
- Des relations entre localisation d'effets écotoxicologiques et sanitaires et les zones d'échange du substrat
- Une méthode d'évaluation de la dynamique d'assimilation au travers de bio-indicateurs du fonctionnement écologique du milieu hyporhéique.
- Une première liste de caractéristiques requises pour le dimensionnement d'un pilote de terrain.



**4. Quels sont les freins, avérés ou envisageables, à une application opérationnelle de vos résultats (lacunes de connaissances intra- ou inter-disciplinaires, contraintes techniques, sociales ou politiques, etc.) ?**

En l'état il s'agit de démontrer sur le terrain l'efficacité autoépuration d'une structure de stimulation des échanges qui serait placée à l'aval d'un point d'entrée de pollution organique dans un cours d'eau. Sur le plan sociologique, il est toujours difficile de faire comprendre ce qui ne se voit pas : la biodiversité microscopique en fait partie.

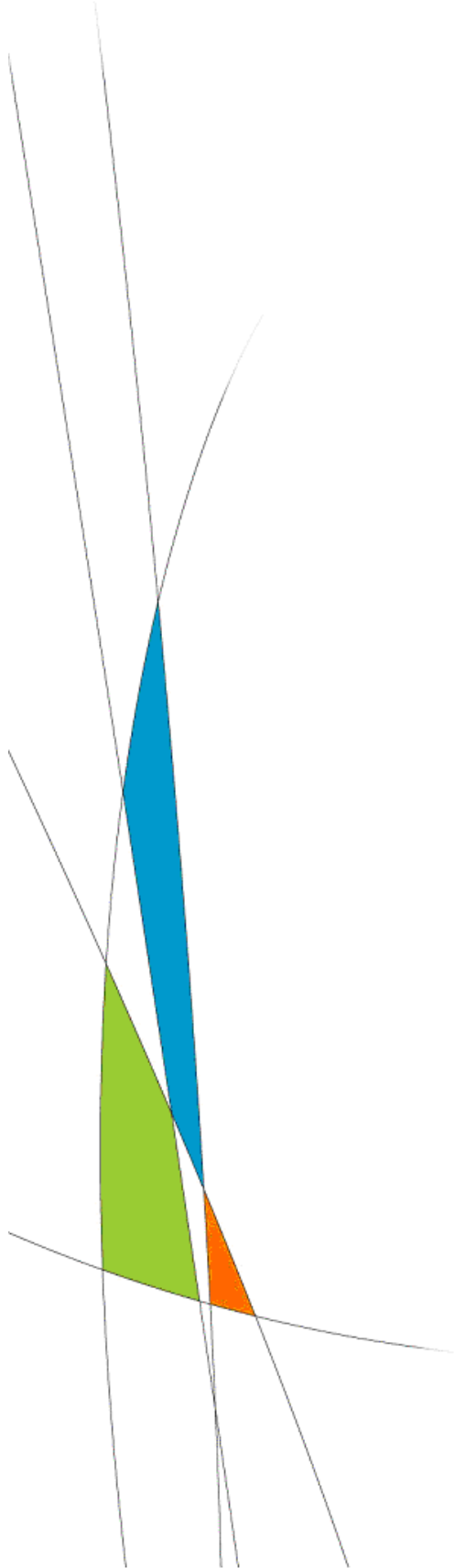
**5. Quels sont les verrous (méthodologiques, conceptuels, etc.) auxquels vous vous êtes trouvés confrontés, et quels sont selon-vous les deux principaux points sur lesquels des efforts restent à produire pour faire progresser votre travail dans le domaine de l'ingénierie écologique ?**

Les verrous sont essentiellement d'ordre métrologique : il s'agit d'accéder à des mesures *in situ* et de manière continue pour évaluer la dynamique de biodégradation en fonction des conditions de flux. Une métrique de la résilience (ou élasticité) du milieu stimulé semble incontournable pour dimensionner le dispositif. Une proposition ANR ECOTECH est en cours pour développer des micro-capteurs adaptés à l'immersion dans le substrat.

## Résumé

Le corridor hyporhéique ou encore la zone d'échange active entre un cours d'eau et sa nappe est un bio-réacteur essentiel des cours d'eau à substrat grossier. L'impact des rejets urbains de temps de pluie sur les petits cours d'eau étant une source de dégradation importante, le projet vise à améliorer les conditions de leur biodégradation, en complément de tout effort réalisé par ailleurs pour limiter la pollution à la source.

L'objectif finalisé de ce projet est de cerner les facteurs de la biodégradation naturelle dans un petit cours d'eau. Cette connaissance doit permettre de poser les bases d'un prototype de substrat poreux *in situ* dont la vocation serait d'augmenter la capacité de biodégradation des rejets polluants d'un déversoir d'orage. La structure serait positionnée à l'aval proximal d'un déversoir d'orage et pourrait être répétée si nécessaire.



Direction générale  
Parc de Tourvoie  
BP 44 - 92163 Antony cedex  
Tél. 01 40 96 61 21  
Fax 01 40 96 62 25  
[www.cemagref.fr](http://www.cemagref.fr)