

# Diagnostiquer le bassin de la Seine dans un contexte de changement climatique

Colloque annuel  
du PIREN-Seine

6 & 7 octobre

Auditorium Marie Curie du CNRS

2022

Liste des résumés des  
présentations du colloque du  
PIREN-Seine

## Table des matières

Session introductive.....	3
0.1. La chaîne de modélisation du continuum Homme-Terre-Mer .....	3
0.2. Synergie modèle-données pour la simulation de la qualité de l'eau .....	4
0.3. Les nouveaux outils du transfert des connaissances.....	5
Session 1 Santé du socioécosystème Seine .....	6
1.1. Développements dans la simulation de la qualité sanitaire de l'eau à l'aide du modèle ProSe 6	
1.2. Fonctionnement biogéochimique des réservoirs de Champagne : Observations et modélisations.....	7
1.3. Un nouvel outil pour caractériser les dimensions socio-environnementales des rivières urbaines : l'indice socio-environnemental des rivières urbaines (URBS) .....	8
1.4. Bioaccumulation de substances per- et polyfluoroalkylées dans les poissons de la Seine : niveaux, profils et facteurs de contrôle potentiels chez le chevaie .....	9
1.5. L'antimoine, un polluant réémergent dans les sols et rivières urbaines : premières études sur la biogéochimie de l'antimoine urbain .....	10
1.6. Interactions entre dreissènes et phages ARN-F spécifiques : intérêt pour l'évaluation de la qualité des masses d'eau.....	11
1.7. Nouvelles contaminations par les pesticides et leur utilisation comme traceur des masses d'eau.....	12
1.8. Impact des biofilms microbiens sur le devenir des polluants en Seine .....	13
Session 2 Vulnérabilité et adaptation du bassin et de ses territoires.....	14
2.1. Evaluation des flux d'eau et de chaleur sur l'ensemble de l'hydrosystème Seine .....	14
2.2. Influence historique de l'irrigation dans le bassin de la Seine .....	15
2.3. Prise en compte des extrêmes hydroclimatiques dans l'analyse de la continuité écologique : exemple des poissons migrateurs sur l'axe Seine.....	16
2.4. Drivers climatiques large-échelle de la variabilité basse fréquence des niveaux de nappes du bassin de la Seine.....	17
2.5. Sensibilité de l'hydrosystème Seine au changement climatique et à ses composantes de long terme .....	18
2.6. Un scénario post-métropolitain pour le bassin de la Seine : quelle co-évolution des systèmes alimentaires et urbains ? .....	19

# Session introductive

## 0.1. La chaîne de modélisation du continuum Homme-Terre-Mer

V. Thieu<sup>1</sup>, N. Gallois<sup>2</sup>, J. Garnier<sup>1</sup>, N. Flipo<sup>2</sup>, M. Silvestre<sup>3</sup>, G. Billen<sup>1</sup> et al.

<sup>1</sup> UMR 7619 METIS, Sorbonne Université, CNRS, EPHE, Paris, France

<sup>2</sup> Mines Paris - PSL Université, Centre de Géosciences, Fontainebleau, France

<sup>3</sup> FR3020 FIRE, Sorbonne Université, CNRS, Paris, France

### **Résumé :**

Dès son commencement, le programme PIREN Seine s'est engagé à produire des outils et des modèles, permettant de décrire le fonctionnement écologique des socioécosystèmes qui composent le bassin versant de la Seine. Une diversité d'approches méthodologiques (conceptuelles/mécanistes, globales/distribuées, etc.) s'est ainsi développée afin de répondre à des enjeux disciplinaires sur des compartiments ou des interfaces spécifiques du bassin. Les modèles du PIREN couvrent ainsi de façon composite l'ensemble des transferts (latéraux, verticaux et longitudinaux) dans le continuum aquatique, et en interactions permanentes avec les activités humaines qui s'y déroulent.

Si individuellement, chacun de ces modèles offre une spécialisation accrue lui permettant de répondre avec robustesse à des questions complexes telles que les transferts plantes-sol-eaux, la circulation souterraine, ou encore la contamination des rivières, un objectif de la 8<sup>e</sup> phase du programme PIREN est d'identifier les couplages possibles entre modèles afin de répondre à des enjeux mobilisant des compétences et des outils nécessairement pluridisciplinaires.

La pertinence d'un premier schéma opérationnel, articulant les outils STICS, CaWaQS et pyNuts-Riverstrahler pour décrire les transferts d'azote, avait ainsi été présentée lors du colloque 2021. Nous reviendrons cette année sur l'intérêt de la plateforme pyNuts-Riverstrahler (modélisation des rivières) et les possibilités de couplages avec d'autres outils, entre autres : GRAFS (pour les pratiques agricoles), Barman (pour les milieux stagnants) et CGEM (pour les estuaires). L'implémentation de cette chaîne de modélisation Homme-Terre-Mer à l'échelle de la France métropolitaine (cadre du projet nuts-STEauRY), illustrera la capacité des outils développés et/ou appliqués dans le cadre du programme PIREN, à être implémentés de façon générique au-delà des limites du bassin de la Seine.

## 0.2. Synergie modèle-données pour la simulation de la qualité de l'eau

*Flipo, N.<sup>1</sup>, Wang, S.<sup>2</sup>, Hasanyar, M.<sup>1</sup>, Romary, T.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Centre de Géosciences, Mines Paris – PSL

<sup>2</sup>UMR METIS

### **Résumé :**

Le développement des réseaux de suivi de la qualité de l'eau et des techniques numériques permettant d'exploiter les données issues de ces réseaux dans un cadre statistique, d'assimilation de données, permet aujourd'hui un changement de paradigme en termes de compréhension du fonctionnement biogéochimique des réseaux hydrographiques. Ce changement de paradigme fait suite à une première évolution conceptuelle via le développement des modèles centrés sur les communautés de micro-organismes, comme proposé par RIVE (Billen et al., 1994). Traditionnellement, ces modèles étaient calibrés sur une période de temps variant de l'échelle de la saison à l'échelle pluri-annuelle pour les paramètres dont l'estimation par des manipulations en laboratoire était impossible. Cette méthodologie fournit une compréhension statique du système car une fois déterminés les paramètres du modèle sont constants tout au long de la simulation. Les paramètres des modèles sont dorénavant considérés comme étant dynamiques. Il est ainsi possible d'envisager la simulation de changement d'espèces dominantes au sein du système fluvial, ou encore l'évolution du trafic fluvial.

Au cours de l'année écoulée, les travaux du PIREN Seine ont permis de i) consolider les choix méthodologiques en comparant deux méthodes d'assimilation de données toutes deux implémenter dans ProSe-PA, et ii) démontrer qu'il est également possible d'identifier la portion de matière organique biodégradable présente dans les eaux de surface à partir de l'assimilation de données d'oxygène dissous.

Ces avancées permettent aujourd'hui d'envisager un outil capable d'anticiper les concentrations en oxygène de manière très précise, en incluant également les périodes critiques, à savoir les étiages sévères. Cette méthodologie sera testée en condition réelle pour une année hydrologique avec pour objectif de reconstituer le métabolisme de la Seine pour une période pluri-annuelle. Les développements méthodologiques en cours depuis la phase 7 du programme autour du cycle de l'oxygène, par assimilation de données à l'aide d'un filtre particulaire, paraissent aujourd'hui prêts pour être transférés à d'autres thématiques comme la qualité sanitaire des eaux de baignade. Enfin, à moyen terme, une réflexion sera menée en relation avec le programme MeSeine innovation porté par le SIAAP afin d'envisager une adaptation de l'outil ProSe-PA à la gestion en temps réel des rejets de station d'épuration.

### 0.3. Les nouveaux outils du transfert des connaissances

Alexandre Deloménie<sup>1</sup>, François Mercier<sup>1</sup>, Irina Severin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ARCEAU-IdF

#### **Résumé :**

Depuis fin 2016, le PIREN-Seine s'est doté d'une cellule spécialement dédiée au transfert des connaissances produites par le programme : la « cellule transfert des connaissances », ou « cellule transfert », animée par l'association ARCEAU-IdF. Si dans un premier temps, les missions de la cellule consistaient en la production de documents adressés aux différents partenaires gestionnaires de l'eau dans le bassin et en l'organisation d'événements et d'ateliers propices à la co-construction, celle-ci s'est plus récemment engagée dans de nouvelles approches permettant d'assurer différemment ce transfert. Tout en poursuivant ses missions initiales, la cellule a ainsi développé de nouveaux outils, tant méthodologiques que techniques, afin de favoriser toujours plus la valorisation, la diffusion et la co-production des connaissances entre scientifiques et acteurs de l'eau du bassin de la Seine.

Deux principaux axes ont été explorés et investis par la cellule transfert depuis le début de la phase 8.

Tout d'abord, la crise liée à la pandémie de COVID-19 a obligé chacun à se tourner vers les outils numériques, et aux possibilités que ceux-ci offraient en matière de communication à distance. Tout en revenant aujourd'hui à des rencontres en présentiel bien plus conviviales et propices à la co-construction, le passage par cette crise a cependant permis d'éclairer sur l'intérêt de ces nouveaux outils numériques pour la communication et le suivi d'événements à distance. Le développement d'outils internes de retransmission en direct et de participation à distance a ainsi connu une véritable montée en puissance ces dernières années, permettant aujourd'hui de proposer un suivi à distance du colloque annuel, mais également des journées scientifiques et des ateliers du PIREN-Seine via la mise en place d'une mini-régie mobile.

Toujours sur le numérique, poursuivant son travail de mise à disposition en ligne des ressources du programme, la cellule transfert a procédé à une refonte du site, au référencement et à la mise en ligne des archives du PIREN-Seine depuis 1998, et au déploiement d'une nouvelle bibliographie en ligne, plus accessible et facile à enrichir.

Le deuxième axe sur lequel la cellule transfert a travaillé fut sur les outils méthodologiques du transfert des connaissances directement dans les territoires. Participant activement au collectif pilote « chercheurs-acteurs de la Bassée », intervenant directement sur le terrain à la demande d'acteurs locaux, et proposant la constitution de comités de suivi ad-hoc pour la production de certains documents, la cellule a expérimenté de nouvelles approches favorisant l'échange et l'appropriation collective des connaissances scientifiques. Installant les restitutions des recherches du PIREN-Seine dans un réseau d'acteurs opérationnels et associatifs du bassin, ce travail de fond a permis d'envisager le transfert des connaissances sous un autre aspect, impliquant les territoires, leurs dynamiques propres et leurs enjeux, dans une perspective liant le local et le global. En se faisant outil du dialogue territorial, le transfert des connaissances devient lui-même un des moteurs de la co-construction des savoirs scientifiques.

# Session 1 Santé du socioécosystème Seine

## 1.1. Développements dans la simulation de la qualité sanitaire de l'eau à l'aide du modèle ProSe

J-M. Mouchel<sup>1</sup>, P. Dupain<sup>1,2</sup>, S. Housni<sup>2</sup>, V. Jauzein<sup>2</sup>, V. Rocher<sup>2</sup>

<sup>1</sup>-UMR METIS, Sorbonne-Université, CNRS, EPHE, Paris

<sup>2</sup>-DIE, SIAAP, Colombes

Les projets de baignade en Seine ont permis de mobiliser de nombreux acteurs au cours des dernières années pour parvenir à une meilleure connaissance des teneurs en BIF (bactéries indicatrices fécales) en Seine et en Marne, et dans les apports de temps sec et de temps de pluie, ainsi que dans les affluents. Ces nouvelles données permettent aujourd'hui de questionner les simulations, et de proposer éventuellement des formulations modifiées plus pertinentes.

Les années 2016 à 2019 ont été choisies pour réaliser une série de simulations détaillées. Ces simulations montrent des résultats encourageants, illustrent la variabilité des mesures in situ, qui ne peut pas être totalement expliquée par les processus simulés ni les apports tels qu'on les connaît, et montrent des dérives nettes au cours de certaines périodes. En particulier, au cours de périodes estivales, sans apports de temps de pluie, ProSe surestime les données mesurées, ce qui laisse entendre que les constantes utilisées dans ProSe ou les processus simulés sont insuffisants pour simuler ces périodes.

Plusieurs voies sont explorées pour aboutir à une meilleure paramétrisation voire à une révision de certains processus simulés. L'exploration des simulations réalisées via une analyse de sensibilité permet de proposer de nouvelles valeurs des paramètres, avec le problème qu'ils semblent, devoir varier saisonnièrement. Une série d'essais de laboratoire couvrant une année d'échantillonnage a également permis de ré-évaluer les constantes d'inactivation des *E. coli* au noir et pour différentes températures. Enfin, des essais à la lumière solaire ont montré la très grande importance de la photo-inactivation pour les journées les plus ensoleillées.

Ces nouveaux éléments fournissent les bases pour une révision rationnelle de la simulation des BIF par ProSe dans le contexte de l'agglomération parisienne.

## 1.2. Fonctionnement biogéochimique des réservoirs de Champagne : Observations et modélisations

*Xingcheng Yan, Josette Garnier\*, Gilles Billen, Shuaitao Wang, Benjamin Mercier, Anun Martinez, Romane Nespoulet, Vincent Thieu*

SU CNRS EPHE, UMR Metis 7619 ; présentation au colloque ; contacts : [josette.garnier@upmc.fr](mailto:josette.garnier@upmc.fr) et [vincent.thieu@upmc.fr](mailto:vincent.thieu@upmc.fr)

### **Résumé :**

Les réservoirs de Champagne ont été étudiés du point de vue de leur fonctionnement hydro-biogéochimique au cours de deux cycles hydrologiques en 2019 et 2010 (thèse de Xingcheng Yan, soutenue en juin 2022). Cette étude a confirmé, comme établi pendant la phase 2 du PIREN-Seine, que ces réservoirs en transformant les éléments nutritifs (azote : N ; phosphore : P ; silice : Si), en éliminent/retiennent une partie, de 20 à 50 % environ. En période de vidange, l'eau restituée contribue ainsi à réduire les concentrations en N, P, Si dans la rivière en aval. Il est important de noter que cette fonction d'élimination/rétention n'a pas été modifiée sur le long terme. Nous avons nouvellement étudié les gaz à effet de serre (GES : protoxyde d'azote -N<sub>2</sub>O-, méthane -CH<sub>4</sub>-, et dioxyde de carbone -CO<sub>2</sub>-) et avons montré que ces réservoirs émettent, en moyenne, moins de GES que les réservoirs documentés dans le monde. Ce sont les émissions de CO<sub>2</sub> qui dominent, à 61%. De ce fait, le cycle du carbone a été également approfondi, car outre l'analyse du carbone organique, le carbone inorganique a fait l'objet d'un module, dernièrement introduit dans le modèle existant (Barman), modèle qui a d'ailleurs été recodé en Python, par souci d'homogénéité avec le modèle du réseau hydrographique PyNuts-Riverstrahler. Barman est aussi basé sur le modèle RIVE des processus biogéochimiques et rend compte de l'hydromorphologie d'une manière simplifiée, les réservoirs étant considérés comme des réacteurs homogènes. Ainsi actualisé, Barman a été appliqué aux trois réservoirs de Champagne, et montre en général une bonne adéquation entre les observations et les simulations tant des concentrations en CO<sub>2</sub> que des principales variables de la qualité de l'eau. La dénitrification benthique est clairement le processus dominant contribuant à l'élimination de l'azote. Production primaire, respiration, précipitation et dissolution du carbonate de calcium, et échange gazeux à l'interface eau-air sont les processus contrôlant les variations de carbone inorganique. Sur la base de ce travail de modélisation, des scénarios ont été explorés et montrent que cette approche pourrait constituer une aide à la gestion des réservoirs, tout en appréhendant leurs impacts sur les rivières en aval.

### 1.3. Un nouvel outil pour caractériser les dimensions socio-environnementales des rivières urbaines : l'indice socio-environnemental des rivières urbaines (URBS)

Laurent Lespez<sup>1</sup>, Marie-Anne Germaine<sup>2</sup>, Frédéric Gob<sup>3</sup>, Evelyne Tales<sup>4</sup>, Nathalie Thommeret<sup>5</sup>, Lucile De Milleville<sup>6</sup>, Manon Letourneur<sup>3</sup> Virginie Archaimbault<sup>4</sup>, Catherine Carré<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de géographie physique : Environnements Quaternaires et Actuels (LGP, 8591 CNRS) & Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne, [laurent.lespez@cnrs.fr](mailto:laurent.lespez@cnrs.fr)

<sup>2</sup>Université Paris Nanterre, UMR LAVUE (7218, CNRS), [marie-anne.germaine@parisnanterre.fr](mailto:marie-anne.germaine@parisnanterre.fr)

<sup>3</sup>Laboratoire de géographie physique : Environnements Quaternaires et Actuels (LGP, 8591 CNRS) & Université de Paris 1 [frederic.gob@lgp.cnrs.fr](mailto:frederic.gob@lgp.cnrs.fr)

<sup>4</sup>Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE, Antony), UR HYCAR [evelyne.tales@inrae.fr](mailto:evelyne.tales@inrae.fr)

<sup>5</sup>Laboratoire Géomatique et Foncier (GeF), Conservatoire National des Arts et Métiers, [nathalie.thommeret@lecnam.net](mailto:nathalie.thommeret@lecnam.net)

<sup>6</sup>Laboratoire de géographie physique : Environnements Quaternaires et Actuels (LGP, 8591 CNRS) & Université de Paris 1 & Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne, [manon.letourneur@gmail.com](mailto:manon.letourneur@gmail.com)

<sup>7</sup>LADYSS (CNRS) & Université de Paris 1

#### **Résumé :**

De nombreuses études ont mis en évidence les altérations hydrogéomorphologiques et écologiques très importantes dues aux conséquences hydrologiques de l'étalement urbain. Le plus souvent, les recherches n'ont pas intégré les dimensions sociales. Nous proposons une approche interdisciplinaire intégrant les enjeux biophysiques et sociaux à partir de l'exemple de l'agglomération parisienne. Dans cet article un indice socio-environnemental des rivières urbaines (URBS) est proposé comme outil pour quantifier la qualité de l'environnement aquatique et la connectivité sociale. L'indice présente une formulation multicritère. Il est constitué de 4 composantes calculées à l'échelle du tronçon (Hydrogéomorphologie ; Macroinvertébrés ; Végétation riveraine ; Connectivité sociale). Cet indice est appliqué pour évaluer l'organisation des tronçons le long du cours d'eau et pour fournir une typologie socio-environnementale fonctionnelle à même d'orienter les décisions de gestion. Pour illustrer la discussion, l'URBS a été appliqué au cas de la rivière Morbras (20 km de long), située en banlieue parisienne pour évaluer la situation actuelle.

## 1.4. Bioaccumulation de substances per- et polyfluoroalkylées dans les poissons de la Seine : niveaux, profils et facteurs de contrôle potentiels chez le chevaine

*P. Labadie, N. Macorps, K. Le Menach, P. Pardon, S. Guérim-Rechdaoui, V. Rocher et H. Budzinski*

### **Résumé :**

Les organismes aquatiques sont exposés de façon chronique à de multiples micropolluants organiques, notamment dans les cours d'eau sous influence urbaine. Cette action s'inscrit dans ce contexte et se focalise sur une famille de micropolluants d'intérêt émergent partiellement réglementés : les composés fluoroalkylés (PFAS). Elle s'appuie sur l'utilisation d'un organisme sentinelle : le chevaine *Squalius cephalus*, fréquemment employé pour la surveillance chimique des hydrosystèmes continentaux. Les résultats confirment le caractère ubiquiste des PFAS dans le système Seine et illustrent l'influence de la métropole du Grand Paris, avec des niveaux significativement plus élevés chez les poissons collectés sur les sites à l'aval de la zone d'étude. Les profils moléculaires observés dans les sédiments mettent par ailleurs en évidence la présence de composés d'intérêt très émergent jamais recherchés jusqu'à présent dans le cadre du PIREN-Seine (et, plus largement, encore peu recherchés à l'échelle globale). Outre le site de prélèvement, l'écologie trophique des individus apparaît être un facteur de contrôle significatif de la bioaccumulation des PFAS (niveau trophique et exploitation des sources de carbone).

## 1.5. L'antimoine, un polluant réémergent dans les sols et rivières urbaines : premières études sur la biogéochimie de l'antimoine urbain

Sophie Ayrault<sup>1\*</sup>, Maëva Philippe<sup>1,2</sup>, Pierre Le Pape<sup>2</sup>, Claire Da Costa<sup>5</sup>, Yannick Colin<sup>5</sup>, Thierry Berthe<sup>5,6</sup>, Gautier Landrot<sup>3</sup>, Eléonore Resongles<sup>4</sup>, Corinne Casiot-Marouani<sup>4</sup>, Rémi Freydier<sup>4</sup>, Camille Baya<sup>2</sup>, Louise Bordier<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE/IPSL), Unité Mixte de Recherche 8212 (CEA/CNRS/UVSQ), Université Paris-Saclay, Gif-sur-Yvette (France)

<sup>2</sup> Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie (IMPMC) UMR 7590, CNRS-Sorbonne Université – MNHN – IRD, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05

<sup>3</sup> Synchrotron SOLEIL, L'Orme Merisiers, F-91190 St Aubin (France)

<sup>4</sup> HydroSciences Montpellier, Univ Montpellier, CNRS, IRD, Montpellier, France

<sup>5</sup> UMR CNRS, M2C, Normandie Université, 76821 Rouen, France

<sup>6</sup> UMR CNRS METIS, Sorbonne Université

Contact : [sophie.ayrault@lsce.ipsl.fr](mailto:sophie.ayrault@lsce.ipsl.fr)

### **Résumé :**

L'antimoine (Sb) est l'un des éléments les plus enrichis dans l'environnement urbain mais aussi l'un des moins étudiés. Considérant sa potentielle toxicité, il est important d'identifier son impact sur les milieux récepteurs accumulant cette contamination émergente. En effet, des questions scientifiques importantes sont totalement inexplorées en milieu urbain, telles que les contributions relatives des différentes sources de contamination de Sb. Il en est de même pour le comportement biogéochimique du Sb dans et entre les réservoirs sédimentaires, notamment les bassins de rétention des eaux de ruissellement routier qui sont des concentrateurs de Sb comme le montrent nos travaux préliminaires. L'action pluridisciplinaire ANTIMOINE fournit des connaissances innovantes sur la spéciation (*i.e.*, la forme chimique) et les conditions de transfert de ce contaminant émergent dans la zone critique, depuis les sources jusqu'au milieu récepteur, à court et long terme. La stratégie d'études est adaptée à la complexité des processus impliqués et au manque de connaissances fondamentales sur la biogéochimie de cet élément en milieu urbain.

Nos premiers travaux ont été consacrés aux bassins de rétention des eaux routières, qui constituent des systèmes modèles pour étudier les transferts de Sb du trafic routier vers le milieu aquatique. La partition du Sb dans ces milieux, le rapport isotopique de Sb et la minéralogie des phases porteuses ont été documentés et font l'objet d'un article en cours de revue. Une étude spécifique a été dédiée à l'évolution de la diversité et de la structure des communautés microbiennes totales et métaboliquement actives de sédiments prélevés le long d'un continuum route – bassins routiers.

Le nombre de processus potentiels (oxiques et anoxiques, biotiques et abiotiques) régissant le comportement du Sb étant important, nous avons mis en place des expériences contrôlées en laboratoire permettant d'isoler ces processus, sélectionnés sur la base de nos résultats préliminaires : sorption ou incorporation de Sb(III) et Sb(V) sur des minéraux précédemment identifiés dans les bassins routiers (oxyhydroxydes de fer, sulfures) en conditions biotiques (anoxiques et oxiques), impliquant des sédiments collectés sur nos sites.

Les premiers résultats de cette approche globale qui génère de nouvelles informations fondamentales concernant le fractionnement isotopique et les changements minéralogiques accompagnant les processus environnementaux et microbiens dans lesquels Sb est impliqué, vous seront présentés.

## 1.6. Interactions entre dreissènes et phages ARN-F spécifiques : intérêt pour l'évaluation de la qualité des masses d'eau

Do Nascimento J.<sup>1</sup>, Palos Ladeiro M.<sup>1</sup>, Bonnard M.<sup>1</sup>, Boudaud N.<sup>2</sup>, Lopes C.<sup>3</sup>, Gantzer C.<sup>4</sup>, Geffard A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>UMR I-02 SEBIO, Université de Reims Champagne Ardenne, Chemin des rousiers, 51100 Reims

<sup>2</sup>ACTALIA, 310 Rue du Père Popielujko, 50000 Saint-Lô

<sup>3</sup>LBBE, UCB Lyon 1, 43 bd du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne cedex

<sup>4</sup>LCPME, 405 rue de Vandoeuvre, 54600 Villers-lès-Nancy

### **Résumé :**

La contamination fécale des eaux continentales représente une pollution diffuse potentiellement source de microorganismes pathogènes. Chaque année, les virus entériques responsables d'épidémies d'origine hydrique. Leur détection directe dans l'eau est cependant trop coûteuse et difficile à mettre en place en analyses de routine. Aussi, les indicateurs de contamination fécale utilisés traditionnellement, comme les bactéries, ne sont pas fiables pour estimer le danger viral. Pour remédier à cette problématique, de nombreuses études suggèrent que les bactériophages ARN F spécifiques (FRNAPH) pourraient être utilisés comme indicateurs des virus entériques. Les FRNAPH présentent une morphologie similaire de celles des virus entériques, notamment les norovirus. De plus, les particules infectieuses de FRNAPH peuvent être facilement quantifiables dans des matrices simples (comme l'eau) et complexes (comme les bivalves) par des méthodes standardisées. Néanmoins, le suivi de ce nouvel indicateur viral dans l'eau est soumis à quelques limites : i) la quantité de particules virales, de, ii) de la haute variabilité spatio-temporelle et iii) des conditions physico-chimiques de l'eau durant l'échantillonnage.

Pour améliorer la sensibilité de la détection de cet indicateur potentiel dans les masses d'eau continentales, nous proposons d'utiliser une espèce sentinelle, le bivalve d'eau douce *Dreissena polymorpha*, capable d'accumuler et de concentrer les particules virales. Ce mollusque bivalve est déjà largement utilisé dans les études écotoxicologiques pour détecter la pollution chimique comme les métaux lourds et la contamination biologique (par exemple : bactéries, protozoaires) par transplantation active dans des sites contaminés. L'utilisation de *D. polymorpha* pour la détection de la pollution virale dans les eaux douces *via* les analyses de FRNAPH pourrait fournir une approche innovante pour améliorer la surveillance du risque viral comme déjà souligné par Capizzi-Banas et al (2021).

Nous avons exposé *D. polymorpha* à différentes doses de FRNAPH infectieux en condition de laboratoire. Les résultats confirment la capacité de cette espèce à concentrer les phages à différents niveaux en lien avec la concentration de l'eau. Sur le bassin de la Seine, des dreissènes ont été encagées à différents sites pour déterminer les amplitudes de concentrations pouvant être retrouvées en condition *in situ*, afin de confirmer ces premiers résultats observés en laboratoire. Les résultats suggèrent que la détection des phages infectieux dans la moule zébrée pourrait être plus représentative de la pollution de l'eau. Les cinétiques d'accumulation et plus spécifiquement de dépuración ont été suivies pour pouvoir être utilisées dans un modèle toxicocinétique. Le but étant d'adapter le modèle afin de pouvoir quantifier la relation entre le niveau de FRNAPH accumulé dans les tissus digestifs de *D. polymorpha* et le niveau d'exposition. Un tel modèle sera ensuite utilisé à des fins de biosurveillance pour prédire la concentration dans l'eau en fonction de celle accumulée dans *D. polymorpha*.

## 1.7. Nouvelles contaminations par les pesticides et leur utilisation comme traceur des masses d'eau

*Blanchoud Hélène (1), Blanchouin Arnaud (2), Alliot Fabrice (1), Traoré Sira (1), Ansart Patrick (2), Fulvia Baratelli (1)*

<sup>1</sup>UMR METIS, SU, EPHE Université PSL, CNRS, Paris,

<sup>2</sup>INRAe, UR HYCAR, Antony

### **Résumé :**

Le suivi en continu de la contamination par les pesticides dans le bassin versant de l'Orgeval (France) a été initié en 2008 afin de répondre aux attentes du devenir des pesticides dans les bassins versants sur le long terme et permettre la validation de modèles de transfert des contaminations diffuses développés dans le cadre du PIREN Seine. Ainsi, 12 ans de données de contamination sont maintenant disponibles pour une liste de molécules toujours en évolution en fonction des nouveaux usages. En parallèle, les usages phytosanitaires passés ont été déterminés par le biais d'enquêtes directement auprès des agriculteurs du bassin. Les bilans des usages actuels sont extraits de la BNV-D sur le département de la Seine et Marne.

Un focus est fait sur les molécules emblématiques pour lesquelles la tendance d'évolution peut être directement mise en relation avec la dynamique saisonnière des usages phytosanitaires : l'exportation du chlortoluron est un pesticide modèle des usages en période hivernale, alors que le métolachlor se caractérise par des usages de printemps. L'atrazine et ses métabolites se caractérisent quant à eux par un bruit de fond d'une contamination ancienne alors que la terbuthylazine, nouvellement remise sur le marché, est détectée dans les cours d'eau en lien avec des usages récents. Ainsi, les dynamiques de contamination dans le cours d'eau et dans la nappe permettent de mettre en évidence les changements de contribution des masses d'eau au débit de la rivière et le temps de transfert de chaque substance au sein du bassin versant. Pourtant, en étudiant ces données, certaines incohérences apparaissent, suggérant que certaines substances ont une origine nouvelle.

## 1.8. Impact des biofilms microbiens sur le devenir des polluants en Seine

Alexandre Gélabert<sup>1</sup>, Thierry Berthe<sup>2</sup>, Guillaume Morin<sup>3</sup>, Yannick Colin<sup>2</sup>, Elodie Guigon<sup>4</sup>, Pierre Le Pape<sup>3</sup>, Pierre Labadie<sup>5</sup>, Arnaud Huguet<sup>4</sup>, Claire Da Costa<sup>2</sup>, Valentine Rollot<sup>1</sup>, Fulvia Baratelli<sup>4</sup>, Benjamin Janvier<sup>2</sup>, Fabienne Petit<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université de Paris, Institut de Physique du Globe de Paris, UMR 7154, 1 rue Jussieu, 75005 Paris

<sup>2</sup>UMR CNRS, M2C, Normandie Université, 76821 Rouen, France

<sup>3</sup>Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie (IMPMC), UMR 7590, CNRS-Sorbonne Université-MNHN-IRD, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05

<sup>4</sup>Milieux environnementaux, transferts et interactions dans les hydrosystèmes et les sols (METIS), UMR 7619, Sorbonne Université-CNRS-EPHE, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05

<sup>5</sup>CNRS, Université de Bordeaux, UMR EPOC 5805 CNRS, Talence

### **Résumé :**

Les biofilms microbiens constituent un compartiment majeur des milieux naturels, pouvant impacter de manière importante le devenir des polluants (éléments traces métalliques, polluants organiques, antibiotiques...) dans l'environnement. Du fait de l'organisation particulière de ces structures, semblables à des gels dans lesquels la diffusion de molécules et ions est limitée, les biofilms sont susceptibles de former en leur sein des microenvironnements aux conditions physico-chimiques (pH, conditions d'oxydo-réduction...) très particulières, qui pourraient avoir un impact sur le cycle de plusieurs classes de polluants en Seine. Les données d'une première campagne de prélèvement aux quatre sites du transect Marnay – Bougival – Triel – Poses sont présentées ici, avec en particulier l'analyse de l'évolution des concentrations métalliques, d'antibiotiques et de polluants organiques (PFAS) dans ces structures, ainsi que de la diversité microbienne attachée à ces quatre sites.

Ces données mettent en évidence des coefficients de partage biofilm/eau très élevés, à la fois pour les polluants organiques mais aussi pour les métaux. Ceci montre, et permet de quantifier, les capacités d'accumulation forte des biofilms microbiens, résultant certainement du caractère poreux de ces structures qui présentent par ailleurs des densités de sites fonctionnels très élevées. Ainsi, des éléments comme Fe, mais aussi Pb ou Zn, sont enrichis de 4 à 6 ordres de grandeur dans les biofilms par rapport à la colonne d'eau, et d'environ 3 ordres de grandeur pour les polluants organiques (PFAS).

Pour la plupart des métaux, les concentrations dans les biofilms suit une évolution différente des éléments dans la colonne d'eau (fraction dissoute) pour le transect Marnay – Bougival – Triel – Poses. Ainsi, les concentrations à Marnay et à Triel sont globalement plus élevées que sur les deux autres sites. On retrouve ce comportement pour les micropolluants organiques et les antibiotiques avec une concentration associée aux biofilms toujours plus forte sur le site de Triel, concentration qui rediminue ensuite à Poses.

Un changement important de la spéciation chimique a été observé, notamment pour les métaux. Ainsi, la présence de pyrite ( $\text{FeS}_2$ ) a pu être mise en évidence dans les biofilms des quatre sites étudiés. La présence de ce minéral est un indicateur potentiel de la formation de microenvironnements anoxiques et de processus de sulfato-réduction dans l'épaisseur du biofilm. Simultanément, des précipités riches en Mn, vraisemblablement des oxydes de Mn, ont eux aussi été mis en évidence dans ces mêmes biofilms soulignant ici la mise en place de conditions locales très oxydantes. Ainsi, ces changements des conditions oxydo-réductrices à l'échelle locale constitue un élément majeur de la réactivité biofilms vis-à-vis du cycle environnemental des éléments chimiques.

Enfin, l'évolution des communautés microbiennes sur le transect Marnay – Bougival – Triel – Poses, montre une perte importante de richesse bactérienne à Triel, certainement en lien avec une teneur en polluants plus élevée à cet endroit. Par ailleurs, une analyse multivariée permet de mettre en évidence des similitudes entre deux campagnes de prélèvement successives pour la composition des communautés bactériennes (profils d'ASVs).

## Session 2 Vulnérabilité et adaptation du bassin et de ses territoires

### 2.1. Evaluation des flux d'eau et de chaleur sur l'ensemble de l'hydrosystème Seine

Agnès Rivière, Deniz Kilic, Nicolas Gallois, Agnès Ducharne, Shuaitao Wang, Philippe Peylin, Nicolas Flipo

#### **Résumé :**

Véritable bien commun, l'eau est indispensable à de nombreux usages liés aux activités développées par l'homme : les besoins domestiques (dont l'alimentation en eau potable), les usages agricoles, les usages industriels, Les usages énergétiques et les usages liés aux loisirs. Le changement climatique et les besoins croissants en eau et en énergie ont une incidence sur la gestion durable des ressources en eaux à long terme. La compréhension précise de l'impact du changement climatique sur le cycle de l'eau nécessite l'inclusion du bilan énergétique, car les processus inhérents au cycle de l'eau sont dépendants de celui-ci.

Dans ce cadre, les équipes du PIREN-Seine développent un outil de modélisation intégrée visant à simuler des échanges d'eau et de chaleur entre l'atmosphère et la surface (sol, rivière et lac) et les systèmes aquifères en passant par les interfaces (zone non saturée, interface nappe-rivière et aquitard). Ces développements ont permis le couplage entre la plateforme ORCHIDEE (développée par l'IPSL) et la plateforme CaWaQS (développée par MINES Paris, PSL Université). Un outil de transport originale basée sur la résolution de l'équation de transport de diffusion/advection a été développée afin de simuler le transfert de chaleur dans les réseaux hydrographiques et les systèmes aquifères en pseudo-3D. Une solution analytique est utilisée pour simuler le transport de chaleur à travers les aquitards et l'interface nappe-rivière.

L'outil permet d'établir un premier bilan d'eau et de chaleur de l'hydrosystème de la Seine. Les résultats permettent d'estimer l'évolution de la température dans chaque compartiment de l'hydrosystème et d'évaluer le bilan thermique des rivières qui repose principalement sur les rayonnements solaire ( $109,3 \text{ W.m}^2$ ), les flux d'échange nappe-rivière ( $48,1 \text{ W.m}^2$ ) et le ruissellement de surface ( $22,7 \text{ W.m}^2$ ).

## 2.2. Influence historique de l'irrigation dans le bassin de la Seine

Agnès Ducharne, Pedro Arboleda-Obando, Lucia Rinchiuso, Luiza Vargas, Aurélien Baro, Amen Al-Yaari, Frédérique Cheruy, Eric Sauquet

### **Résumé :**

L'irrigation est une technique visant à augmenter les rendements agricoles, mais aussi à les stabiliser, ce qui explique par exemple l'irrigation de la pomme de terre dans le nord du bassin de la Seine. Il en est souvent conclu que l'irrigation augmente la résilience aux sécheresses, dont on attend l'intensification sous l'effet du réchauffement climatique. Ceci justifie notamment les forts investissements pour l'irrigation dans le document de conclusion du "Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique" paru en février 2022. A partir de l'exemple de l'été 2022, nous soulignons cependant que les bénéfices potentiels de l'irrigation dépendent fortement des ressources en eau et de leur évolution. L'analyse des variations historiques de l'irrigation et des débits jusqu'en 2020 ne révèle pas de relation évidente entre ces deux variables dans le bassin de la Seine, et nous terminons en présentant la description de l'irrigation dans le modèle ORCHIDEE. Ces développements nous permettront prochainement d'explorer par la modélisation (hydrologique et climatique) les interactions entre irrigation, ressources en eau, et changement climatique au cours des prochaines décennies.

## 2.3. Prise en compte des extrêmes hydroclimatiques dans l'analyse de la continuité écologique : exemple des poissons migrateurs sur l'axe Seine

M.-L. Merg<sup>1</sup>, S. Wang<sup>3</sup>, A. Bordet<sup>2</sup>, N. Flipo<sup>2</sup>, C. Le Pichon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INRAE, HYCAR, Antony

<sup>2</sup>Centre de Géosciences, MINES Paris, Université PSL, Fontainebleau

<sup>3</sup>UMR METIS

### **Résumé :**

Les cours d'eau, de par leur organisation en réseau hydrographique au sein de bassins versants, sont des milieux fortement contraints et particulièrement sensibles aux pressions anthropiques. L'aménagement des cours d'eau et les modifications de l'occupation du sol et des activités humaines ont déstabilisé les équilibres naturels et fragmenté les habitats aquatiques, isolant et fragilisant certaines populations. À ces pressions, vient s'ajouter aujourd'hui l'impact croissant du changement climatique qui constitue un facteur de déséquilibre supplémentaire pour ces écosystèmes.

Les poissons grands migrateurs, du fait de leur cycle biologique original qui leur impose des déplacements de parfois plusieurs milliers de kilomètres entre le milieu marin et les cours d'eau, constituent un groupe d'espèces particulièrement sensibles à la fragmentation des rivières et la perte de continuité écologique. Historiquement, onze espèces de poissons occupaient une large partie du bassin de la Seine. Mais l'aménagement du fleuve, ainsi que la pollution de l'eau ont fragilisé ces espèces, au point d'en faire disparaître certaines du bassin de la Seine au cours du 20<sup>e</sup> siècle. Aujourd'hui, grâce à l'amélioration de la qualité de l'eau, l'aménagement et l'effacement de certains ouvrages, on observe une recolonisation progressive de plusieurs de ces espèces.

Cette étude s'intègre au projet CONSACRE « Continuité écologique piscicole et intérêt des acteurs pour sa restauration » et a pour objectif 1) d'évaluer la disponibilité des frayères potentielles de 4 espèces de grands migrateurs (saumon Atlantique, grande alose, truite de mer et lamproie marine) sur 5 affluents de la Seine (Austreberthe, Eure, Andelle, Epte et Mauldre) et 2) d'évaluer leur accessibilité depuis l'estuaire. Pour cela, les différents éléments du paysage pouvant contraindre la continuité écologique des parcours migratoires (obstacle physiques, qualité physico-chimique dégradée, vitesse de courant, etc.) ont été compilés sous SIG à partir de diverses sources de données (ROE et modèles ProSe-PA sur la Seine, MARS3D dans l'estuaire). Un coefficient de coût a ensuite été attribué à chacun des éléments du paysage en tenant compte des caractéristiques des espèces (seuil de tolérance, capacité de nage, etc.). Le coût total de la migration a été évalué par une approche de chemin de moindre coût pour chaque espèce et l'effet de deux scénarios de changement climatique (RCP4.5 et RCP8.5) a été testé pour l'horizon 2100.

L'étude montre que bien que la qualité de l'eau se soit nettement améliorée et que les ouvrages s'équipent progressivement de dispositifs de franchissement piscicole, la continuité écologique reste fragile dans un contexte de changement climatique : les températures dans la Seine dépasseraient dans plus de 70% du temps le seuil de tolérance des salmonidés (20°C) durant leur période de migration estivale. Les concentrations en oxygène seraient elles aussi impactées, passant ponctuellement sous le seuil de tolérance de ces espèces (6 mgO<sub>2</sub>/L). Les résultats montrent également que les espèces ne répondent pas avec la même intensité aux scénarios. La grande alose qui migre au printemps semble être moins impactée, que la truite de mer ou encore la lamproie marine.

**Mots clés :** changement climatique, continuité écologique, coût de la migration, poisson grand migrateur, scénarios

## 2.4. Drivers climatiques large-échelle de la variabilité basse fréquence des niveaux de nappes du bassin de la Seine

Lisa BAULON<sup>1,2</sup>, Nicolas MASSEI<sup>1</sup>, Bastien DIEPPOIS<sup>3</sup>, Manuel FOSSA<sup>1</sup>, Delphine ALLIER<sup>2</sup>, Hélène BESSIERE<sup>2</sup>, Matthieu FOURNIER<sup>1</sup>, Kwok Pan CHUN<sup>4</sup>, Luminita DANAILA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Univ Rouen Normandie, Univ Caen Normandie, CNRS, M2C, UMR 6143, F-76000 Rouen, France

<sup>2</sup> BRGM, 3 av. C. Guillemin, 45060 Orleans Cedex 02, France

<sup>3</sup> Centre for Agroecology, Water and Resilience (CAWR), Coventry University, UK

<sup>4</sup> Department of Geography, Hong Kong Baptist University, Hong Kong

### **Résumé :**

Dans le bassin de la Seine, bon nombre d'aquifères présentent des niveaux piézométriques dominés par une variabilité basse fréquence interannuelle (~7 ans) à interdécennale (~15 ans). Cette variabilité basse fréquence est observée dans toutes les variables hydroclimatiques (débits, précipitations, températures, évapotranspiration, niveaux piézométriques) et est induite par la circulation atmosphérique et océanique large-échelle (Massei et al., 2010). La proportion de variance des niveaux piézométriques expliquée par cette variabilité basse fréquence dépend quant à elle des propriétés physiques des bassins versants et des aquifères (Gudmundsson et al., 2011 ; El Janyani et al., 2012). Compte tenu de la large prédominance de la variabilité basse fréquence dans le signal piézométrique du bassin de la Seine, elle peut par conséquent être partiellement, voire totalement, responsable de l'atteinte des hauts et bas niveaux piézométriques menant à des sécheresses hydrogéologiques et à des inondations par remontée de nappe (Baulon et al., 2022b). Le travail présenté dans cette présentation a donc pour but d'identifier les drivers climatiques large-échelle de la variabilité interannuelle à interdécennale des niveaux piézométriques du bassin de la Seine. Pour se faire, la variabilité interannuelle et interdécennale sont isolées du signal piézométrique à l'aide d'une méthode de traitement de signal, puis une analyse composite avec les hauteurs géopotentielles et les vents à 500hPa est réalisée pour chacune des échelles afin d'identifier les patterns atmosphériques associés à ces variabilités dans la piézométrie. Les principaux résultats de cette étude montrent que les patterns climatiques associés aux échelles interannuelle et interdécennale diffèrent, et donc que les processus atmosphériques associés à ces deux échelles de variabilité ne sont pas les mêmes. En revanche, les patterns climatiques associés respectivement à la variabilité interannuelle ou interdécennale des niveaux piézométriques sont identiques à l'échelle du bassin de la Seine et entre les différents aquifères, mais ce lien n'est pas stationnaire au cours du temps. L'identification des drivers climatiques de la variabilité basse fréquence des niveaux piézométriques peut permettre à terme de dériver des indices de ces patterns climatiques pour améliorer la prédiction des niveaux piézométriques du bassin de la Seine.

### **Références :**

Baulon, L., Massei, N., Allier, D., Fournier, M., Bessière, H., 2022b. Influence of low-frequency variability on high and low groundwater levels: example of aquifers in the Paris Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(11), 2829-2854. <https://doi.org/10.5194/hess-26-2829-2022>

El Janyani, S., Massei, N., Dupont, J.-P., Fournier, M., Dörfli, N., 2012. Hydrological responses of the chalk aquifer to the regional climatic signal. *Journal of Hydrology*, 464-465, 485-493. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.07.040>

Gudmundsson, L., Tallaksen, L. M., Stahl, K., Fleig, A. K., 2011. Low-frequency variability of European runoff. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(9), 2853-2869. <https://doi.org/10.5194/hess-15-2853-2011>

Massei, N., Laignel, B., Deloffre, J., Mesquita, J., Motelay, A., Lafite, R., Durand, A., 2010. Long-term hydrological changes of the Seine River flow (France) and their relation to the North Atlantic Oscillation over the period 1950-2008. *International Journal of Climatology*, 30(14), 2146-2154. <https://doi.org/10.1002/joc.2022>

## 2.5. Sensibilité de l'hydrosystème Seine au changement climatique et à ses composantes de long terme

*Flipo, N.<sup>1</sup>, Gallois, N.<sup>1</sup>, Boé, J.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Centre de Géosciences, Mines Paris – PSL

<sup>2</sup>UMR CECI CNRS/CERFACS

### **Résumé :**

Nous présentons ici des trajectoires possibles du bassin sous changement climatique. Les projections du modèle MIROC5 sous scénarios de changement climatique « laisser faire » (RCP8.5) et d'adaptation modérée (RCP4.5) sont évaluées avec la nouvelle application CaWaQS-Seine. Cette application intègre l'ensemble des principaux aquifères du bassin de la Seine et a fait l'objet d'un travail important de mise en cohérence avec les estimations de flux internes au système (recharge des aquifères, ruissellement rapide de surface) réalisés ces dernières années.

Ces trajectoires futures sont mises en perspective d'une trajectoire passée débutant au début du XXI<sup>ème</sup> siècle dont la quantification hydrologique s'appuie sur des réanalyses (Bonnet, 2018) qui reconstruisent les variables hydroclimatiques du bassin de la Seine depuis 1850.

Les trajectoires sont caractérisées à l'aide de plusieurs indicateurs : (i) piézométrie à l'affleurement, (ii) contribution des eaux souterraines au débit des rivières, (iii) débit et durée de l'étiage, ainsi que (iv) le régime hydrologique de la Seine à Paris Austerlitz. Suivant les modélisations MIROC5, le bassin de la Seine connaîtra une crise de l'eau sans précédent, quel que soit le scénario retenu, avec des assèchements d'aquifères pour les formations géologiques tertiaires. Si cette crise apparaît à la fin du siècle pour le scénario médian, RCP4.5, elle s'établit à la mi-siècle pour le scénario le plus défavorable, RCP8.5, ne laissant qu'une vingtaine d'années pour nous adapter. Le scénario RCP8.5 se poursuit avec des évolutions hydrologiques préoccupantes, notamment avec une augmentation significative des débits hivernaux susceptibles de nécessiter un autre type d'adaptation.

Ce travail basé sur l'analyse de trajectoires relatives à un même modèle de circulation générale se base sur les anciens travaux du GIEC. Il sera mis à jour d'ici la fin de la phase 8 du PIREN Seine pour proposer une analyse, sur la même base méthodologique, de 5 modèles de circulation mobilisés dans les derniers travaux du GIEC.

## 2.6. Un scénario post-métropolitain pour le bassin de la Seine : quelle co-évolution des systèmes alimentaires et urbains ?

Sabine Barles, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, UMR Géographie-Cités

Xavier Poux, Sarah Lumbroso, ASCA

Rafaël Devey-Bardinet, Ilona Dietrich, Fanny Lefebvre, Manon Plessy, Marion Nader-Burck, Samuel Rabaté, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Fabienne Barataud, INRAE, Aster

Caroline Petit, INRAE, Sadapt

Josette Garnier, Gilles Billen, CNRS, UMR METIS

Fabien Esculier, École des Ponts Paris Tech, UMR LEESU

### **Résumé :**

Après avoir déployé, au cours de la phase 7 du PIREN-Seine les scénarios « Paris, le nouveau Londres », et « Les villes en leur bassin », respectivement associés au scénarios agri-alimentaires « ouvert spécialisé » et « autonome, reconnecté, demitarrien », il a paru important d'explorer un scénario de transformation radicale. Le scénario « Post-métropolisation » prend ainsi acte des limites du modèle métropolitain, particulièrement mises en valeur par les crises actuelles (sanitaires, climatiques, géopolitiques), comme de l'existence d'une demande pour des modes de gouvernance alternatifs et un renouvellement des relations unissant les sociétés humaines et la biosphère, et de la multiplication des initiatives fondées sur des modèles politiques ascendants ou horizontaux, misant sur la décroissance, le local et la sobriété. Ce nouveau scénario mise donc sur une re-répartition de la population à l'échelle nationale voire européenne, conduisant à une diminution de la population de 5 millions d'habitants dans le bassin. Associée à un régime alimentaire plus sobre en protéines animales, il permet la diminution de la surface agricole au profit de la forêt et de la féralité. La biorégion, fondée sur un modèle politique d'inspiration municipaliste, est la base de l'organisation territoriale. Ce scénario est en cours de consolidation.