

Diagnostiquer les risques écotoxicologiques dans le bassin de la Seine

Le bassin de la Seine est un système hydrologique fortement anthropisé dont les masses d'eaux subissent d'importantes pressions. En effet, les activités humaines comme l'agriculture, les différentes industries, l'aménagement des cours d'eau ou encore les usages domestiques engendrent l'introduction dans l'environnement de nombreux contaminants chimiques et/ou biologiques de natures très variées, qui finissent inexorablement par se retrouver dans le milieu aquatique.

Depuis sa création, le PIREN-Seine a développé différentes approches afin d'étudier la contamination du milieu et ses effets associés. On retrouve ainsi une approche basée principalement sur la chimie, qui consiste à détecter les contaminants en mesurant leurs concentrations au niveau des eaux, du sédiment et des organismes aquatiques. Par ailleurs, cette première approche s'appuie également sur de la modélisation. Une deuxième approche se base sur l'écologie et étudie l'état des communautés d'espèces bioindicatrices à l'aide de recensements et d'inventaires.

Pour compléter ces deux démarches, les scientifiques du PIREN-Seine utilisent une troisième approche : l'écotoxicologie. Cette discipline, à l'interface entre la chimie et l'écologie, consiste à évaluer la contamination d'un milieu par les effets biologiques que cette dernière engendre sur certaines espèces. Parmi elles, la moule d'eau douce *Dreissena polymorpha* s'avère être un organisme d'intérêt pour développer de nouveaux outils d'aide au diagnostic de la qualité du milieu.



Les recherches sur l'écotoxicologie au PIREN-Seine

Depuis le 1^{er} janvier 2020, le PIREN-Seine est entré dans sa phase 8, qui s'achèvera le 31 décembre 2023. L'écotoxicologie est la voie de recherche privilégiée pour faire le lien entre la contamination du milieu et son effet au sein des écosystèmes. Dans l'axe 5, ces interactions sont étudiées pour comprendre la dynamique des contaminants au niveau de sites expérimentaux (l'Orge, l'Orgeval et l'axe Seine). Une thèse est actuellement en cours autour de cette thématique.

AXE 1 : Trajectoires du bassin, de ses tissus urbains et agricoles, et de ses territoires.

AXE 2 : Fonctionnement du bassin soumis à des extrêmes hydro-climatiques.

AXE 3 : Construction de la qualité des milieux aquatiques conciliant risques hydrologiques et biodiversité.

AXE 4 : Ambitions et enjeux pour la Métropole en 2024 et après.

AXE 5 : Dynamique des contaminants : de la compréhension des processus au métabolisme territorial.

AXE 6 : Transfert de connaissances et mise à disposition des données.

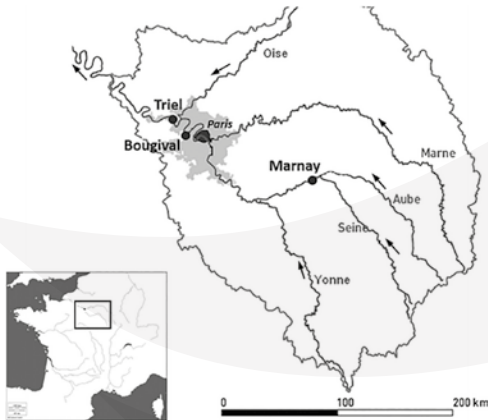


Le bassin versant de la Seine : un laboratoire à ciel ouvert

L'axe Seine, un terrain d'étude idéal

Le bassin de la Seine constitue un terrain d'expérimentation idéal pour des études écotoxicologiques sur les espèces aquatiques. En effet, on y retrouve plusieurs sites ateliers fortement instrumentés et suivis depuis de nombreuses années dans le cadre du PIREN-Seine.

C'est d'ailleurs l'un des premiers enseignements qui ressort des campagnes de terrain menées en 2016 et 2018 par les équipes du programme : la pertinence de l'axe Seine représenté par les trois sites ateliers de Marnay-sur-Seine, Bougival et Triel-sur-Seine. En effet, cet axe présente des pressions anthropiques exercées sur le milieu qui, d'une part, suivent un gradient croissant amont-aval de contamination, et d'autre part, diffèrent également par le type de pressions pour chaque site : rurale à Marnay, urbaine à Bougival et à l'aval des principaux émissaires des stations d'épuration de l'agglomération parisienne à Triel. Il est donc possible d'étudier les réponses des organismes à différentes conditions de contamination.



Cartographie des trois sites ateliers de l'axe Seine : Marnay-sur-Seine, Bougival, Triel-sur-Seine. D'après les données de Barjhoux et al. (2018).

C'est d'ailleurs grâce à cet axe Seine que les chercheurs et chercheuses du PIREN-Seine ont pu développer, depuis plusieurs années, des connaissances et des analyses robustes sur les réponses biologiques d'espèces aquatiques d'intérêt pour refléter les niveaux de contamination des masses d'eau.

Des espèces particulières

Ces espèces d'intérêt, appelées espèces sentinelles, servent comme support de la mesure de la toxicité du milieu à travers leurs réponses biologiques à une contamination (communément appelées biomarqueurs). Parmi les espèces identifiées comme telles par les chercheurs du PIREN-Seine on retrouve notamment un poisson, le chevesne *Squalius cephalus*, un crustacé, le gammare *Gammarus pulex* et une moule d'eau douce, la dreissène *Dreissena polymorpha*.

Ces espèces appartiennent à des groupes zoologiques différents, possèdent des régimes alimentaires qui leurs sont propres et sont présentes de manière ubiquiste sur le bassin de la Seine. Ainsi, l'étude de ces espèces complémentaires permet de couvrir différentes sensibilités inter-espèces et voies d'exposition aux contaminants, tout en restant représentative du biote du bassin de la Seine.

Parmi elles, la dreissène, grâce à ses caractéristiques biologiques, se révèle être un organisme de choix à la fois pour les études d'écotoxicologie et pour la détection de contaminants de différentes natures par des mesures d'accumulation. Un intérêt croissant lui est donc porté dans ce type d'approches menées dans le cadre du PIREN-Seine depuis plusieurs années.

La dreissène, carte d'identité

La moule zébrée, *Dreissena polymorpha* ou encore dreissène, est un mollusque bivalve continental, sessile et possédant une forte capacité de filtration et de bioaccumulation des contaminants. Ce caractère intégrateur fait d'elle un bon révélateur du degré de contamination chimique et/ou biologique des milieux qu'elle occupe. Par ailleurs, sa taille (entre 0,5 et 5 cm) et sa capacité d'adaptation au milieu dans lequel elle se trouve font d'elle un organisme facilement utilisable sur le terrain via des approches de transplantation par encagement. De nombreuses études et campagnes de terrain ont permis de caractériser chez la dreissène des biomarqueurs sensibles qui traduisent le caractère génotoxique, immunotoxique ou reprotoxique des contaminants environnementaux.



La moule zébrée, *Dreissena polymorpha*.

Des résultats importants et des avancées méthodologiques

Lors de la phase 7 du programme PIREN-Seine, deux actions spécifiques ont été menées autour de la dreissène. Durant les campagnes de 2016 et 2018, elles ont été exposées par encagement sur des périodes de 3, 8 et 13 semaines sur les trois sites ateliers de l'axe Seine. Les résultats qui en sont ressortis permettent plusieurs avancées majeures.

Une évolution méthodologique

Un résultat important issu de ces expériences concerne l'aspect méthodologique des campagnes d'encagement. En effet, ces études ont montré qu'un temps d'exposition de trois semaines est suffisant pour permettre une bioaccumulation des contaminants dans les tissus de la dreissène, mais aussi pour observer des modulations des réponses biologiques chez celle-ci consécutives à cette bioaccumulation. Il est donc possible de voir un signal précoce de dégradation du milieu au bout de cette période de trois semaines chez cette espèce.

Par ailleurs, cette courte durée permet de s'assurer que l'organisme répond bien à la pression du milieu et non pas à d'autres facteurs extérieurs pouvant survenir avec un délai plus long comme le manque de nourriture, par exemple. Ce temps d'exposition sera donc conservé pour les futures campagnes de terrain de la phase 8 du programme.

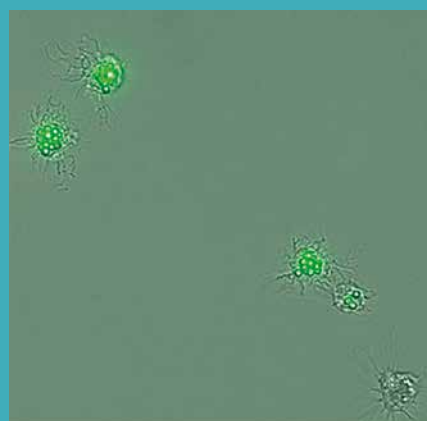
Différents gradients de toxicité

Parmi les différentes réponses biologiques mesurées, les scientifiques du programme ont mis en évidence le caractère génotoxique et immunotoxique des contaminants présents en Seine. Ces effets ont été observés en mesurant d'une part des dommages à l'ADN et d'autre part une perturbation du système immunitaire des dreissènes, suivant un gradient amont-aval le long des sites de l'axe Seine. Ces différentes observations ont été faites sur un type particulier de cellule de l'animal : les hémocytes. Ces cellules spécifiques se révèlent ainsi être un outil support des réponses biologiques particulièrement pertinent pour étudier les effets écotoxicologiques chez la dreissène (cf. encart).

Ces résultats confirment l'intérêt majeur d'utiliser ces outils biologiques pour suivre un milieu sous forte pression anthropique, et marquent une étape essentielle vers le développement d'un indicateur fiable et innovant d'évaluation de la contamination.

De nouveaux biomarqueurs d'intérêt

Les cellules circulantes de l'hémolymphe, ou hémocytes, sont impliquées dans de multiples rôles physiologiques de la dreissène : immunité, maintien de l'équilibre osmotique, réparation des tissus, détoxification, etc. Elles peuvent à ce titre contribuer à refléter l'état de santé des individus, notamment face à la contamination de leur milieu de vie. Les hémocytes étant disponibles tout au long de l'année, ils constituent un support d'intérêt pour mesurer des réponses biologiques variées permettant de mettre en évidence la toxicité des contaminants environnementaux (chimiques ou biologiques). Par exemple, il est proposé de mesurer des biomarqueurs de dommages à l'ADN représentant le caractère génotoxique des contaminants, ou de perturbations de l'immunité qui traduisent un affaiblissement des défenses de l'organisme exposé à la contamination. L'objectif des travaux au cours des phases 7 et 8 du PIREN-Seine est de proposer une évaluation de la pression écotoxique via l'analyse des réponses hémocytaires de la dreissène après leur transplantation sur différents sites du bassin de la Seine (en amont et aval de l'agglomération parisienne) et d'intégrer l'ensemble de ces biomarqueurs dans un indice intégrateur et qui soit utile pour les gestionnaires du milieu.



Photographie d'hémocytes de dreissène après 1h de contact avec des billes de latex fluorescentes (Fluoresbrite® YellowGreen Carboxylate Microspheres, 2 µm, PolySciences) par microscopie inversée (Image obtenue par le système d'imagerie Invitrogen™ EVOS SL Auto 2™, objectif apochromatique 40X - plateforme de cytométrie environnementale Mobicyte - URCA).



Vers une approche « poids de l'évidence »

Les travaux menés sur les biomarqueurs chez la dreissène viennent nourrir des enjeux cruciaux pour la surveillance des milieux aquatiques.

A moyen terme, l'un des objectifs de ces recherches est de combiner ces résultats avec d'autres issus de méthodes et de disciplines complémentaires développées dans le PIREN-Seine, chimiques et biologiques notamment, dans une approche appelée « poids de l'évidence » (*Weight-of-Evidence*, ou *WoE* en anglais).

Son principe consiste à rassembler différents résultats, tel un faisceau de preuves, révélant ou non un risque de contamination pour un organisme et d'y attribuer une note. On peut par exemple mesurer la concentration de contaminants dans l'eau et dans les tissus, les effets écotoxicologiques grâce à des biomarqueurs ou des bioessais en laboratoire, etc.

Une fois cette synthèse faite, il est alors possible de tirer une conclusion globale sur l'état écologique de l'écosystème aquatique en se basant sur une ou plusieurs espèces, mais aussi d'effectuer des comparaisons entre sites et campagnes.

Un outil déjà existant chez le gammare

L'approche du « poids de l'évidence » a déjà été développée autour du gammare lors de la phase 6 du programme. Les travaux entamés dans la phase 8 poursuivent le développement de cette démarche autour de la dreissène.

À terme, le développement de cette approche « poids de l'évidence » chez plusieurs espèces sentinelles permettra d'avoir une synthèse harmonisée des données acquises dans un contexte de biosurveillance sur l'ensemble du bassin versant de la Seine.



Pour plus d'informations, rendez-vous sur www.piren-seine.fr

Contact : alexandre.delomenie @arceau-idf.fr



Crédits photos : P1, Bandeau : MDE, Encart : PIREN-Seine - P2, Moule zébrée : domaine public - P3, Hémocytes : Marc Bonnard - P4 : Chevesne : domaine public

Edition : ARCEAU-Idf 2022 - www.arceau-idf.fr

Création graphique : id bleue (Sablé) www.idbleue.com

ISSN : 2610-0916



Résultats de l'analyse intégrative de type *Weight-of-Evidence* des données de contamination du milieu, de bioessais en laboratoire, de bioaccumulation et de biomarqueurs (chez le gammare exposé *in situ*) pour les 3 sites de l'axe Seine pour la campagne automnale de 2011. D'après les données de Barjhoux et al. (2018).

Sources bibliographiques : https://www.piren-seine.fr/publications/fiches_4_pages/diagnostiquer_les_risques_ecotoxicologiques_dans_le_bassin_de_la_seine

Le **PIREN-Seine** est un programme de recherche interdisciplinaire dont l'objectif est de développer une vision d'ensemble du fonctionnement du bassin versant de la Seine et de la société humaine qui l'investit, pour permettre une meilleure gestion qualitative et quantitative de la ressource en eau.

Cette fiche est éditée par la *Cellule transfert* du PIREN-Seine, animée par l'association ARCEAU-IDF.

Les partenaires opérationnels de la phase 8 du PIREN-Seine



Les partenaires scientifiques de la phase 8 du PIREN-Seine

