



Séminaire scientifique du GIP Seine-Aval

16 et 17 mai 2019

Recueil de résumés

Mai 2019



PREAMBULE

La vallée de la Seine se caractérise par une diversité de milieux terrestres et aquatiques, supports d'un développement socio-économique d'importance nationale et européenne.

Dans ce contexte, l'estuaire de la Seine constitue un site particulier, dont les modalités de fonctionnement physique et chimique dépendent à la fois des apports de son bassin versant et de l'influence de la Manche. D'un point de vue écologique et dans des conditions « naturelles », la dynamique des différents types d'habitats présents confère à l'estuaire des propriétés spécifiques, qui permettent notamment la réalisation de fonctions écologiques majeures. Par exemple, il doit permettre à de nombreuses espèces estuariennes d'assurer la réalisation de tout ou partie de leur cycle de vie. Certains habitats en particulier constituent des zones de nourricerie et de migration de première importance pour des espèces de poissons, mais également une zone de séjour et de nourrissage de nombreuses populations d'oiseaux. En situation optimale, la traversée de l'estuaire par les eaux provenant du bassin versant permet la régulation des apports de nutriments, de contaminants chimiques et microbiologiques vers la mer (phénomènes d'épuration, de transformation, de stockage et de relargage). D'un point de vue socio-économique, il constitue un support incontournable pour de nombreux usages à vocations économiques et récréatives. Il joue un rôle essentiel dans le développement économique national, de la nouvelle Normandie et de l'axe Seine.

L'estuaire représente un système dont les interactions homme-milieu sont au cœur des enjeux d'aménagement du territoire. Ces enjeux orientent l'expression des questionnements cadres des membres du GIP Seine-Aval sur la période 2013-2020 :

- Comment apporter des éléments de réponse aux préoccupations environnementales liées aux grands projets structurants et aux changements globaux ?
- Comment le système estuarien fonctionne-t-il dans sa globalité ?
- Comment évolue-t-il ?
- Quels sont les risques encourus sur ce périmètre par les écosystèmes, les hommes et les activités économiques ?
- Comment et pourquoi préserver, améliorer et restaurer certaines fonctions et certains services du système ?

Le Programme de recherche Seine-Aval existe depuis 1995 et son pilotage est assuré depuis 2003 par le GIP Seine-Aval. Il a déjà permis l'acquisition de nombreuses connaissances relatives au fonctionnement environnemental de l'estuaire de la Seine. Le programme représente aujourd'hui un des principaux pourvoyeurs de connaissances et permet de fédérer une communauté scientifique pluridisciplinaire autour des problématiques de l'estuaire de la Seine et en lien avec les acteurs du territoire. Depuis fin 2015, il est intégré dans la Zone Atelier Seine du CNRS (INEE) dont l'ambition est de structurer une recherche cohérente et pertinente sur le continuum aquatique depuis l'amont du bassin de la Seine jusqu'en proche baie de Seine et d'intégrer ces objectifs dans une réflexion nationale (réseau des zones atelier) et internationale (LTER).

Le séminaire scientifique des 16 et 17 mai 2019 a pour objectifs de partager :

- **les premiers résultats acquis dans les projets Seine-Aval 6 (2017-2020) et les projets portés à l'échelle de l'axe Seine**
- **des enjeux d'aménagement et de gestion environnementale de l'estuaire présentés par nos partenaires**
- **la valorisation de la connaissance et l'expertise auprès des acteurs**

JEUDI 16 MAI - ACCUEIL 8H45

DEBUT : 9H15

Session 1 – Gestion écologique de l'estuaire : vers un diagnostic global

- ❖ Les effets transverses de la chenalisation de la Seine – Trajectoires paysagères des plaines alluviales (Laurence Lestel, Sorbonne Université-CNRS-EPHE, UMR7619 Metis)
- ❖ Projet REPERE : vers un référentiel partagé sur les priorités de restauration des fonctionnalités des milieux estuariens de la vallée de Seine-Aval (Guylain Théon, DREAL Normandie)
- ❖ Projet REPERE : diagnostic et orientations pour la restauration écologique de la fonctionnalité des habitats de l'estuaire de la Seine (Manuel Muntoni, GIP Seine-Aval)

Session 2 – Population de poissons : quels facteurs limitants ?

- ❖ La capacité trophique de l'estuaire est-elle limitante ? Quels sont les facteurs de régulation ? (Anik Brind'Amour, Ifremer)
- ❖ Dynamique de population de la sole à l'échelle de la Manche : quel impact de la contamination de l'estuaire de la Seine ? (Jean-Baptiste Lecomte, Agrocampus Ouest, INRA)
- ❖ Etat écologique de la population de flet en Seine et recherche de facteurs de stress à l'échelle des habitats (Jean Laroche, LEMAR – Université de Bretagne Occidentale ; Rachid Amara, LOG – Université du Littoral)

Repas sur place : 12H – 13 h30

Session 3 – Suivi et fonctionnement du continuum Seine

- ❖ Etat des lieux des masses d'eau de transition et littorales Seine et Baie de Seine orientale : quels besoins de connaissances et expertises pour enrichir les diagnostics ? (Agence de l'eau Seine-Normandie)
- ❖ Le suivi haute-fréquence de Paris à la mer (Jean Philippe Lemoine, GIP Seine-Aval)
- ❖ Suivi *in situ* des effets de la contamination sur les organismes : positionnement dans la stratégie de surveillance environnementale, enjeux méthodologiques & actions entreprises sur l'axe Seine (Benoit Xuereb, SEBIO – Université du Havre)
- ❖ Débris plastiques en estuaire de Seine : Premières connaissances sur les flux et les impacts des macro- et microplastiques (Johnny Gasperi, LEESU – Université Paris Est Créteil ; Jérôme Cachot, EPOC – Université de Bordeaux)
- ❖ Continuité écologique de la Seine et intérêt des acteurs pour sa restauration (Céline Le Pichon, IRSTEA)
- ❖ L'observatoire environnemental de l'estuaire de la Seine (Cédric Fisson, GIP Seine-Aval)

FIN 16 H

VENDREDI 17 MAI - ACCUEIL 8H45
DEBUT 9H15

Session 4 – Influence des forçages sur les caractéristiques physiques des habitats

- ❖ Actualités sur les travaux d'aménagement et de gestion environnementale des Grands Ports Maritimes de Rouen et du Havre (GPMR, GPMH)
- ❖ Etude de l'influence des forçages naturels et anthropiques sur la dynamique hydro-sédimentaire (Florent Grasso, Ifremer)
- ❖ Anticiper les évolutions morphologiques sur le long terme : enseignement des simulations rétrospectives (Florent Grasso, Ifremer)

Session 5 – Qualité des Habitats : les facteurs clefs

Colonne d'eau

- ❖ Le zooplancton de la Seine : connaissances acquises et perspectives (Micky Tackx , EcoLab – Université de Toulouse 3)

Vasières intertidales

- ❖ Introduction générale sur l'état de l'art et les objectifs des travaux en cours sur les vasières intertidales (Francis Orvain, UMR BOREA, Université Caen Normandie)
- ❖ Processus biogéochimiques sédimentaires et facteurs de régulation du micro-phyto-benthos (Jérôme Morelle, UMR BOREA, Université Caen Normandie – Arnaud Huguet, UMR METIS, Sorbonne Université)

Repas sur place : 12h30-14H

- ❖ Modélisation de la production primaire microphytobenthique en relation avec la dynamique sédimentaire et biogéochimique (Christiane Rakotomalala, UMR BOREA, Université Caen Normandie – Julien Deloffre, UMR M2C, Université de Rouen – Benedicte Thouvenin, Ifremer)
- ❖ Transfert des producteurs primaires microphytobenthiques vers les consommateurs primaires et dynamique de population d'espèces clés de la macrofaune benthique intertidale (Benoit Lebreton, UMR Littoral, Environnement et Sociétés, Université de La Rochelle, Sofière Tlili, MMS-UCO – Université Catholique de l'Ouest)
- ❖ Modélisation des habitats fonctionnels de la macrofaune benthique de la vasière nord de l'estuaire de Seine et discussion sur les évolutions long terme (Maiwen Le Coz et Sami Souissi, LOG, Université de Lille – Francis Orvain, UMR BOREA, Université Caen Normandie)

Contamination

- ❖ Contaminants organohalogénés en estuaire de Seine : occurrence dans les sédiments et transfert dans le réseau trophique de la sole (Pierre Labadie, EPOC, Université de Bordeaux - Florence Mounier, IRSTEA)

FIN 16H

LES EFFETS TRANSVERSES DE LA CHENALISATION DE LA SEINE. TRAJECTOIRES PAYSAGERES DES PLAINES ALLUVIALES

Contributeurs : Laurence Lestel¹, Sylvain Dournel ¹

Equipes impliquées :

¹Equipe 1 Sorbonne Université-CNRS-EPHE, UMR7619 Metis

Résumé :

L'estuaire de la Seine est un territoire hybride et complexe, difficilement identifié et approprié par les responsables territoriaux et la population régionale. Les multiples périmètres pour décrire l'estuaire, recensés parmi les documents de gestion et de projet, en sont une illustration. Une vision domine néanmoins l'ensemble, identifiant et délimitant l'estuaire sur le plan longitudinal, suivant la salinité des eaux et l'onde de marée. Ce système de représentation, associé aux besoins d'une navigation au service de Paris et du trafic maritime international, donne toutefois une lecture incomplète du territoire.

La chenalisation de la Seine, orchestrée par l'État à partir du début du XIX^e siècle, a en effet conduit à la fixation et au rétrécissement du lit mineur et de son embouchure, à une conquête du terrestre sur les milieux fluvio-maritime et paléo-fluvial ainsi qu'à la suppression des écosystèmes humides intertidaux concomitant au développement de marais alluviaux.

La démarche de recherche adoptée, multiscalaire, diachronique et systémique, a permis de reconstituer les trajectoires paysagères de trois plaines alluviales : la boucle d'Anneville-Ambourville, les marais de Norville à Saint-Jean-de-Folleville et, enfin, la plaine de Honfleur. Elle s'appuie sur l'exploitation de documents d'archives qui a permis de collecter, d'assembler et de géoréférencer des cartes et plans des XIX^e et XX^e siècles, des campagnes de photographies aériennes de 1936 à 2015 ainsi que de photographies anciennes des années 1850 à aujourd'hui. Les relevés de terrain menés conjointement, les entretiens semi-directifs conduits auprès des responsables de l'aménagement, de l'environnement et de la valorisation de l'espace estuarien, l'exploitation d'archives textuelles, publiques et privées, relatives aux aménagements, aux décisions politiques, aux litiges et aux règlements en vigueur dans l'estuaire de la Seine, du début du XIX^e siècle à nos jours, ont permis d'éclairer et d'interpréter les évolutions environnementales et paysagères constatées en termes d'analyse spatiale et d'explicitier l'hétérogénéisation des plaines nouvellement créées, résultant de besoins spécifiques variant du local à l'international, et de décisions réglementaires et administratives contrastées :

La plaine de Honfleur est marquée par son passé portuaire qui s'avère prépondérant dans les systèmes de représentation dominants si bien que les sphères d'influences qui y ont pesé ont d'abord été nationales et internationales avant de passer au niveau local et régional. La structuration de la plaine a été avant tout commandée par le tracé des axes de transport (influences régionale et internationale) ainsi que par le réseau hydrographique. On y observe une pluralité de décisions contradictoires qui aboutissent malgré tout à un système de représentation qui a évolué du tout portuaire à une vocation plus écologique.

L'évolution des marais de Norville à Saint-Jean de Folleville est marquée par des niveaux d'influence variés : du niveau local (communaux utilisés pour l'élevage à Norville), du niveau régional (grands propriétaires terriens sur les 6 communes) et du national / international (raffineries à Notre-Dame-de-Gravenchon et Lillebonne). Ces marais représentent un territoire très hétéroclite, dont l'usage actuel est le fruit d'une négociation entre grands propriétaires fonciers, exploitants céréaliers et établissements

industriels. Le système de représentation dominant évolue actuellement en faveur de l'industriel au détriment du passé agricole de ce territoire.

La valorisation de la boucle d'Anneville-Ambourville est marquée par l'importance capitale du niveau régional (au profit du BTP) dans le façonnement des marais (gravières) face à un niveau local (éleveurs) en déshérence. Les mutations ont été assez tranchées passant d'abord du pastoral à l'extractif, puis progressivement de l'extractif au ludique voire au pastoral, avec un système de gestion concomitant, marqué par des alternances entre les niveaux local et régional.

Cette vision enrichie de l'estuaire de la Seine doit permettre, en y associant les études d'appropriation du fleuve par les pratiques sportives et de loisirs à Martot et Saint-Aubin et d'intégration des liaisons transverses comme le Pont de Normandie, de repenser le devenir de cet ensemble territorial marqué par la diversité de ses trajectoires et la complexité de son fonctionnement en y intégrant les visions transversales des multiples acteurs investis dans l'exploitation, la gestion et la valorisation de cet espace.

Nom des projets de recherche supports :

TRAESSI : Trajectoires de l'estuaire depuis le XIX^e siècle. Approche géo-historique de l'évolution de l'état de l'estuaire de la Seine en fonction de ses usages (<https://www.seine-aval.fr/projet/traessi/>)

DIAGNOSTIC ET ORIENTATIONS POUR LA RESTAURATION ECOLOGIQUE DE LA FONCTIONNALITE DES HABITATS DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE

Contributeurs : Manuel Muntoni¹,

Equipes impliquées :

¹GIP Seine-Aval

Résumé :

Le projet REPERE s'intéresse aux potentialités de préservation et restauration écologique de la fonctionnalité estuarienne, à travers la création d'un référentiel partagé entre les acteurs du territoire des priorités de restauration des fonctionnalités écologiques des milieux estuariens de la vallée de Seine-Aval.

Sous la coordination générale de la DREAL Normandie ([voir site web DREAL](#)), le GIP Seine-Aval a été sollicité afin de mettre en œuvre la démarche scientifique. Elle se formalisera par la réalisation d'un diagnostic de la fonctionnalité globale de l'estuaire. Des propositions de restaurations d'habitats types seront formulées par zone géographique. L'étude s'intéressera à l'ensemble des fonctions et processus à la base du fonctionnement du système estuarien, notamment sa capacité productive, épurative et de support au cycle de vie des espèces. Cette 1ère phase se déroulera sur la période 2018-2020.

Dans un 2ème temps, des sites ateliers expérimentaux de restauration seront mis en place. Ils seront définis en collaboration avec les partenaires et permettront de tester des techniques de restauration et de suivi des effets de ces mesures.

Ainsi, le projet REPERE favorisera la cohérence des projets de restauration menés sur l'estuaire de la Seine. Il répondra aux interrogations et besoins des acteurs du territoire en proposant un cadre de référence à l'échelle globale, dans lequel inscrire leurs projets de restauration.

L'intervention portera sur la première phase du projet et illustrera en particulier les résultats acquis sur les fonctions associés aux cycles de vie des poissons.

Nom des projets supports :

REPERE : Référentiel partagE sur les Priorités de restauration des fonctionnalitéEs des milieux estuaRiEns de la vallée de Seine-Aval (<https://www.seine-aval.fr/publication/etude-repere/>)

LA CAPACITE TROPHIQUE DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE EST-ELLE LIMITANTE POUR SOUTENIR LA FONCTION DE NOURRICERIE DE POISSON MARIN ? QUELS SONT LES FACTEURS DE REGULATION ?

Contributeurs : Anik Brind'Amour¹, Louise Day¹, Erwan Saulnier¹, Pierre Cresson², Alexandra Engler², Camille Vogel³, Andréa Lemoine³, Sylvain Duhamel⁴, Bastien Chouquet⁴, Jean-Claude Dauvin⁵, Jean-Philippe Pezy⁵, Hervé Le Bris⁶

Equipes impliquées :

¹Equipe 1: Ifremer, Unité de recherche Ecologie et Modèle pour l'Halieutique de Nantes

²Equipe 2: Ifremer, Laboratoire Ressources Halieutiques de Boulogne-sur-Mer

³Equipe 3: Ifremer, Laboratoire Ressources Halieutiques de Port-en-Bessin

⁴Equipe 4: Cellule de Suivi du Littoral Normand, Le Havre

⁵Equipe 5: UMR MC2 6143, Université de Caen Normandie et CNRS

⁶Equipe 6: Agrocampus Ouest UMR ESE de Rennes

Résumé :

Un des principaux enjeux de la compréhension du fonctionnement des nourriceries côtières et estuariennes, vient de la difficulté à expliquer les facteurs impliqués dans le recrutement des espèces nourriceries-dépendantes. De façon générale, le recrutement de ces espèces est indépendant des quantités de géniteurs et la variabilité de leur recrutement est généralement inférieure à celle des autres espèces marines. Ces deux éléments viennent appuyer l'hypothèse de concentration qui suggère que les nourriceries agissent comme des zones tampons où seul un certain nombre d'individus défini par les caractéristiques de la nourricerie peut survivre à la première année. Ceci met en avant une caractéristique fondamentale des nourriceries : leur capacité d'accueil limitante. Bien qu'il ait été démontré que le recrutement est proportionnel en moyenne aux surfaces des nourriceries, il n'est pas pour autant constant et peut varier significativement d'une année à l'autre. En effet, plusieurs facteurs (stables et/ou dynamiques) sont connus pour influencer sur cette capacité d'accueil (sédiment, profondeur, température, salinité, nourriture disponible, prédateurs).

Dans les zones spatialement restreintes comme les nourriceries, une compétition intra et/ou interspécifique apparaît dès lors que les individus de ces espèces utilisent des ressources communes en quantité insuffisante pour couvrir leurs besoins. La nourriture apparaît donc comme un facteur limitant des nourriceries (e.g. baie de Vilaine). Différents types d'approches permettent de tester l'hypothèse de limitation trophique. Dans le cas où la quantité de proies n'est pas connue, l'hypothèse de limitation trophique est testée de manière « indirecte », en analysant des indices comme le taux de croissance ou la condition physique des poissons pour détecter d'éventuels signes de « sous-nutrition ». Une autre approche indirecte est basée sur le concept de « self-thinning rule ». Ce concept est lié à la notion de capacité d'accueil et repose sur l'idée qu'un écosystème possède toujours des ressources limitées (espace, nourriture). Lorsque le nombre d'individus approche la capacité d'accueil de l'écosystème, alors ce nombre doit nécessairement diminuer dans le temps puisque les besoins de ces individus augmentent au cours de la croissance. Cette approche a été appliquée en baie de Seine et les résultats suggèrent que la capacité d'accueil de la nourricerie est régulièrement atteinte pour les individus des cohortes de l'année (G0), en particulier pour juvéniles de plie et de sole (e.g. Seine-Aval 5 Modhanour voir ci-dessous). Un deuxième type d'approches consiste à quantifier et comparer l'offre de proies disponibles et la demande alimentaires des prédateurs. Ces approches sont dites « directes » et comptent parmi elles la comparaison de séries temporelles de biomasses de prédateurs et de proies et des approches liées à la bioénergétique (e.g. Dynamic Energy Budget, modèles écosystémiques - EwE). Ces dernières approches sont basées sur des estimations de

production de proies et de consommation par les prédateurs. C'est d'ailleurs ce type de modèle qui a été développé et appliqué sur les nourriceries du golfe de Gascogne.

Plus récemment, sur la baie de Seine nous avons modélisé la production annuelle de proies macrobenthiques et la consommation annuelle de poissons juvéniles et d'invertébrés prédateurs au cours de trois années consécutives (2008-2010). Les résultats révèlent des variations substantielles (2 à 3 fois) d'une année à l'autre de la production benthique. La consommation des jeunes poissons de l'année (G0) suit les mêmes tendances temporelles sur les 3 ans. Il a aussi été constaté que l'efficacité d'exploitation, le ratio consommation sur production, de l'ensemble de la communauté des prédateurs épibenthiques (poissons et méga-invertébrés) pouvait atteindre jusqu'à 30% certaines années. Globalement, ces résultats suggèrent que la production de poissons juvéniles pourrait être limitée certaines années de la période d'étude. Jusqu'à présent la production benthique et la consommation ont été estimées sur une échelle annuelle. Toutefois, les restrictions alimentaires peuvent être limitées à certaines zones et / ou périodes de l'année. Ainsi, l'échelle annuelle peut ne pas être la plus appropriée pour tester l'hypothèse de la limitation alimentaire. En effet, la limitation des ressources peut survenir pendant certaines périodes de l'année, comme la phase sensible post-colonisation. Comprendre la variabilité saisonnière et la spatialisation de la capacité d'accueil est un élément essentiel de la gestion spatialisée des zones côtières et estuariennes.

L'ensemble de nos travaux sur diverses nourriceries laisse supposer que la capacité d'accueil trophique peut être régulièrement atteinte, du moins pour les cohortes de G0. La question des déterminants environnementaux influençant cette capacité d'accueil prend alors toute son importance. Une relation positive entre l'abondance de poissons juvéniles dans les nourriceries côtières et le débit des fleuves a été démontrée dans plusieurs cas. L'une des hypothèses avancées est le renforcement de la production secondaire benthique par les éléments nutritifs et la matière organique particulaire d'origine terrestre apportée par les années de forts débits. Cette hypothèse a été renforcée par des méthodes indirectes telles que les traceurs trophiques. Plus récemment, cette hypothèse a aussi été renforcée par une étude qui a montré empiriquement l'effet limitant des flux de nitrates sur la production macrobenthique annuelle de certaines nourriceries du golfe de Gascogne.

L'intervention présentera l'état d'avancement de l'évaluation de la capacité d'accueil trophique de l'estuaire de la Seine et de l'analyse des facteurs qui la régulent. La finalité est de fournir des éléments diagnostic utile pour cibler des mesures de gestion et de restauration de cette fonction écologique essentielle des estuaires.

Nom des projets de recherche supports :

CAPEs : Capacité trophique des nourriceries de poissons de l'estuaire de seine (<https://www.seine-aval.fr/projet/capes/>)

COLMATAGE: Couplages bio-morpho-sédimentaires et dynamique à long terme des habitats et peuplements benthiques et ichtyologiques en Seine aval (<https://www.seine-aval.fr/projet/colmatage/>)

MODHANOUR: Modélisation des habitats de nourriceries en estuaire de Seine (<https://www.seine-aval.fr/projet/modhanour/>)

CAPANOUR: Pressions anthropiques et capacité d'accueil des nourriceries côtières de la Manche et du golfe de Gascogne (projet AFB)

DYNAMIQUE DE POPULATION DE LA SOLE A L'ECHELLE DE LA MANCHE : QUEL IMPACT DE LA CONTAMINATION DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE?

Contributeurs : Jean-Baptiste Lecomte¹, Etienne Rivot¹, Olivier Le Pape¹

Equipes impliquées :

UMR 0985 ESE INRA, Agrocampus Ouest, Rennes, France

Résumé :

Les populations d'espèces marine nourriceries-dépendantes sont soumises à différentes pressions au cours de leur cycle de vie. Elles peuvent être d'origine environnementale (variations des conditions climatiques) ou anthropique (pêche, qualité des habitats de nourriceries). Au cours des dernières décennies, les nourriceries côtières ont été particulièrement impactées par les activités anthropiques. C'est notamment le cas de l'estuaire de la Seine, qui abrite une nourricerie côtière de sole commune (*Solea solea*), dont les juvéniles participent au recrutement d'une population adulte de sole commune se distribuant à l'échelle de la Manche Est.

La population de sole commune en Manche Est présente une forte valeur socio-économique et de ce fait a été particulièrement étudiée. Le cycle de vie de la sole commune en Manche Est a été modélisé de l'œuf à l'adulte en intégrant au sein d'un même modèle de nombreuses sources de données. Ce modèle peut être utilisé comme un outil de simulation pour tester différents scénarios de gestion et quantifier leurs effets sur la population de sole commune en Manche Est.

Dans le cadre du programme Chopin, un focus particulier est porté sur la vie juvénile des soles au sein de l'estuaire de Seine, au regard de la contamination chimique du milieu. La sous-partie du projet Chopin présentée ici a pour objectif d'améliorer la compréhension de l'impact des pressions anthropiques sur les juvéniles en estuaire de Seine à l'échelle de la population de sole de Manche Est. Une méta-analyse des connaissances et les dernières données acquises dans le cadre du programme Chopin nous permettrons de proposer des valeurs de taux de survie des juvéniles en estuaire de Seine afin de construire des scénarios de restauration et de dégradation réalistes. Ces scénarios seront ensuite exploités à l'aide du modèle de cycle de vie pour simuler les conséquences de la dégradation, et de la restauration, de la qualité de cet estuaire sur le renouvellement de la population de sole à l'échelle de la Manche Est. Ces scénarios de restauration permettront notamment de mesurer les impacts positifs que pourraient avoir une amélioration de l'état chimique de l'estuaire de Seine sur la population de sole et l'exploitation halieutique qui en dépend, en Manche Est. Ces impacts seront analysés conjointement avec les conséquences de la réduction de surface des habitats des juvéniles du fait de la destruction de vasières en estuaire, ainsi qu'avec les effets de l'exploitation par la pêche en mer.

Nom des projets de recherche supports :

CHOPIN, Contaminant Hydrophobes Organohalogénés : Présence et Impact sur la Nourricerie.
(<https://www.seine-aval.fr/projet/chopin/>)

SMAC : Sole de Manche Est : amélioration des connaissances pour une meilleure gestion du stock.
(<https://wwz.ifremer.fr/smac/>)

ETAT ECOLOGIQUE DE LA POPULATION DE FLET EN SEINE ET RECHERCHE DE FACTEURS DE STRESS A L'ECHELLE DES HABITATS

Contributeurs : Jean Laroche¹, Rachid Amara²

J. Laroche; E. Borcier; V. Pichereau; G. Charrier; R. Amara; V. Cornille; K. Rabhi; M. Kazour; M. Diop; F. Gevaert; C. Clérandeau, F. Le Bihanic ; J. Cachot; B. Devail; J. Couteau; A. Devaux; S. Bony; B. Ouddane; S. Devin; C. Minier; S. Le Floch; J. Guyomarch.

Equipes impliquées :

¹ Université de Bretagne Occidentale, Laboratoire des Sciences de l'Environnement Marin UMR 6539, Plouzané

² Université du Littoral, Laboratoire d'Océanologie et Géosciences UMR 8187, Wimereux

³ Université de Bordeaux, UMR CNRS EPOC 5805, Pessac

⁴ Université du Havre, Stress Environnementaux et BIOSurveillance des milieux aquatiques SEBIO UMR-I 02

⁵ Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés UMR 5023, Villeurbanne

⁶ Cedre (Centre de documentation de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux), Brest

⁷ Université de Lille 1, Laboratoire de Spectrochimie Infrarouge et Raman (LASIR) - UMR 8516

Résumé :

Les estuaires et les zones côtières constituent des territoires à forts enjeux stratégiques pour les économies et pour l'environnement. Ces habitats d'intérêts halieutiques essentiels sont ainsi souvent impactés par de nombreuses pressions anthropiques. Pour les poissons qui fréquentent ces écosystèmes, le coût énergétique d'un stress environnemental peut se solder par une diminution de la quantité d'énergie disponible pour la maintenance, la reproduction et la croissance et en conséquence par une réduction de la fitness des individus.

Les travaux de recherche menés dans le cadre du présent projet ont pour objectifs d'évaluer, à partir d'une approche multibiomarqueurs et par la combinaison d'études *in situ* et d'expérimentations d'encagement (biosurveillance active), le rôle de la qualité de l'estuaire de la Seine dans le maintien des populations halieutiques, du recrutement des juvéniles à la reproduction des adultes. Nos explorations dans ce projet sont ciblées sur un poisson plat, le flet (*Platichthys flesus*) ; cette espèce réalise une très grosse partie de son cycle biologique en estuaire (de son recrutement à l'état juvénile dans les zones de nurseries estuariennes, à sa reproduction à l'embouchure des estuaires) ; c'est donc un modèle biologique intégrateur de la qualité de l'habitat estuarien aux niveaux chimique, physique et hydro-climatique. Cette espèce est en conséquence particulièrement pertinente pour valider des méthodologies exploratoires sur le fonctionnement de populations soumises à des stress environnementaux en écosystèmes côtiers. C'est le cas notamment de l'approche consistant à maintenir des poissons en cage (« caging ») qui permet de définir précisément la localisation et la durée d'exposition des espèces *in situ*, tout en conservant les caractéristiques environnementales du site étudié. Cette approche est de plus en plus utilisée en tant que méthode d'étude alternative pour évaluer la qualité des habitats et les effets des contaminants chimiques sur les poissons. Dans le cadre du projet HQFISH, cette approche nous a permis d'analyser sur un gradient amont-aval les réponses des juvéniles de flet (bioaccumulation des contaminants chimiques, réponses des biomarqueurs,

fitness). En couplant cette approche avec l'étude de flets prélevés *in natura*, nous avons pu analyser la pertinence de la biosurveillance active pour évaluer la qualité des habitats.

Parallèlement à notre approche de biosurveillance active, nous avons exploré l'état écologique de la population de flet de l'estuaire de Seine. Nous avons observé un maintien de la diversité génétique de la population de Seine relativement à d'autres grands estuaires, qui témoignerait de l'inexistence de goulot d'étranglement démographique récent en Seine. Une adaptation locale au stress chimique est évidente dans la population de Seine ; elle se traduit cependant par un coût physiologique fort pour le flet (croissance, fécondité et indice de condition réduits). On détecte de plus en Seine une augmentation du taux d'activité métabolique du flet pour répondre au stress, conduisant à une réduction de ses réserves lipidiques au niveau musculaire. Des modifications de la composition en phospholipides des membranes cellulaires sont nettes en Seine ; elles sont très probablement indicatrices d'une réponse adaptative au stress chimique. La population de Seine pourrait présenter un risque écologique face à un nouveau stressor comme le réchauffement climatique.

Le projet HQFISH devrait fournir d'ici 2020 une meilleure connaissance de l'état écologique de la population de flet en Seine, et des facteurs de stress à l'échelle des différents habitats de ce système estuarien.

Nom des projets de recherche supports :

PROJET HQFISH : Impact de la qualité des habitats estuariens de la Seine sur le fonctionnement d'une population de poisson (flet) : (<https://www.seine-aval.fr/projet/hqfish/>).

LE SUIVI HAUTE-FREQUENCE DE PARIS A LA MER

Contributeurs : Jean-Philippe Lemoine¹; Pascal Claquin²; Julien Deloffre³; Robert Lafite³; Jean-Marie Mouchel⁴; Romaric Verney⁵

Equipes impliquées :

¹ Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval, Quai de Boisguilbert, Rouen.

² UMR BOREA, Université Caen Normandie, Caen.

³ UMR 6143 M2C, FED 4116 SCALE, CNRS-Université de Rouen, Mont-Saint Aignan.

⁴ UMR METIS, Sorbonne Université, Paris.

⁵ Ifremer, DYNECO/DHYSED, Centre de Bretagne, Plouzané.

Résumé :

Les deux phases du projet PHRESQUES (Projet d'Harmonisation et de REforcement du Suivi haute-fréquence de la QUALité de l'Eau de la vallée de Seine) ont pour objectif de mettre en place un dispositif de suivi en continu de la qualité de l'eau cohérent à l'échelle du continuum Seine. Par le regroupement et le développement des dispositifs existants, le méta-réseau PHRESQUES permettra de suivre près de 10 paramètres, caractérisant le fonctionnement du fleuve de Paris à la baie de Seine.

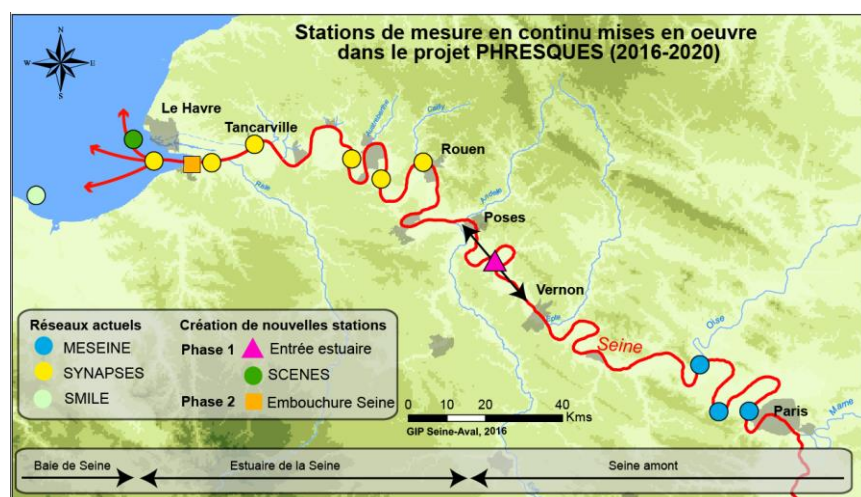


Figure 1 : Carte des stations de mesures du projet PHRESQUES

En lien avec le rapprochement des programmes de recherche PIREN Seine et Seine-Aval, la mise en place de cet outil, parmi les plus performants à l'échelle mondiale, favorisera l'émergence de projets de recherche innovants et cohérents à l'échelle du continuum Seine. D'un point de vue opérationnel, les données et les connaissances acquises permettront à terme aux gestionnaires de disposer d'un outil de suivi du fonctionnement de l'écosystème Seine fiable et pertinent en contexte de changement climatique.

Depuis le début du projet, les scientifiques travaillant sur la Seine ont partagé une vision commune du suivi haute-fréquence du fonctionnement de l'hydrosystème. Des campagnes de mesures d'inter-calibrations ont été réalisées. Des méthodologies harmonisées de mesure et d'analyse des flux sédimentaires et du développement algale ont pu être définies. La bouée SCENES, mise à l'eau en baie de Seine le 10 octobre 2017, (cf. photo) a permis le renforcement du réseau PHRESQUES. Implantée avant l'hiver 2018, Elle a notamment permis de mesurer les effets de la tempête

La seconde phase du projet vise à consolider et renforcer la dynamique et les actions menées en phase 1. Deux nouvelles stations seront mises à l'eau : à l'embouchure de l'estuaire et à l'amont immédiat du barrage de Poses. Ces stations fourniront des données précieuses pour la compréhension des mécanismes se déroulant dans la partie fluviale et estuarienne du continuum. Le volet innovation sera poursuivi pour améliorer la fiabilité des mesures et augmenter le nombre de paramètres suivis. Enfin, une interface de valorisation des données issues du projet PHRESQUES sera mise en place, elle permettra de consulter et télécharger sur le site www.phresques.fr des indicateurs et certaines mesures réalisées sur le continuum.

Nom des projets de recherche supports :

PROJET PHRESQUES : Projet d'Harmonisation et de REforcement du Suivi haute-fréquence de la QUalité de l'Eau de la vallée de Seine (<https://www.seine-aval.fr/projet/phresques/>)

DEBRIS PLASTIQUES EN ESTUAIRE DE SEINE : PREMIERES CONNAISSANCES SUR LES FLUX ET LES IMPACTS DES MACRO- ET MICROPLASTIQUES

Contributeurs : Johnny Gasperi¹, Jérôme Cachot²

Projet Macro-Plast : Romain Tramoy¹, Johnny Gasperi¹, Rachid Dris¹, Laurent Colasse³, Cedric Fisson⁴, Vincent Rocher⁵, Brigitte Viault⁶, Bruno Tassin¹

Projet PLASTIC-Seine : Jérôme Cachot², Christelle Clérandeau², Florane Le Bihanic², Caroline Vignet^{2,8}, Pauline Pannetier^{2,8}, Francesco Misurale², Quentin Pedriat², Bénédicte Morin², Messika Revel⁷, Catherine Mouneyrac⁷, Mohamed Mouloud⁷, Amélie Châtel⁷, Hanane Perrein-Ettajani⁷, Mélanie Bruneau⁷, Marie-Pierre Halm⁸, Aline Gangnery⁸, François Galgani⁸, Marie-Laure Bégout⁸, Xavier Cousin⁸, Catherine Dreanno⁸, Maria El Rakwe⁸, Jeremy Thery⁹, Capucine Bialais⁹, Sami Souissi⁹, Maria Kazour⁹, Rachid Amara⁹, Marie-Adèle Dutertre¹⁰, Romain Coulaud¹⁰, Thiphaine Monsinjon¹⁰, Benoit Xuereb¹⁰, Soline Alligant¹, Bruno Tassin¹, Johnny Gasperi¹

Equipes impliquées :

¹ Université Paris Est Créteil, LEESU, UMR MA 102, F-94010 Créteil, France

² Université de Bordeaux, UMR CNRS EPOC 5805, Pessac, France

³ Université de Rouen, UMR Polymères, Biopolymères, Surfaces, Mont-Saint-Aignan, France

⁴ GIP Seine-Aval, Espace des marégraphes – Hangar C, 76176 Rouen, France

⁵ SIAAP, DIE, 82 Avenue Kléber, 92700 Colombes, France

⁶ Département de la Seine-Maritime, Direction de l'environnement, 15 Place Verrerie, Hôtel du Département, Quai Jean Moulin, 76100 Rouen, France

⁷ Université Catholique de l'Ouest, MMS-UCO, Angers, France

⁸ Ifremer, France

⁹ Université de Lille, UMR CNRS-ULCO LOG, Lille, France

¹⁰ Université Le Havre Normandie, UMR I-02 SEBIO, Le Havre, France

Résumé :

Depuis 1950, la production mondiale de plastiques n'a cessé d'augmenter passant de 1,5 millions de tonnes à 348 millions de tonnes en 2017. Du fait de rejets ou à travers l'usure des objets de notre quotidien, on estime que plusieurs dizaines de millions de tonnes de déchets plastiques sont rejetés chaque année dans l'environnement et qu'entre 0,5 et 2,4 millions de tonnes rejoindraient les océans chaque année. Ces matériaux étant très peu biodégradables, ils s'accumulent au cours du temps et se fragmentent en débris plastiques de plus en plus petits.

En raison d'une pression démographique forte (18 millions d'habitants), d'une urbanisation importante à proximité du fleuve (agglomération parisienne, communautés d'agglomération de Rouen et du Havre, etc.) et des nombreuses activités portuaires et industrielles, la Seine et son estuaire sont susceptibles d'être fortement contaminés par les débris plastiques, qu'il s'agisse de macroplastiques (> 5 mm) ou de microplastiques (de 1 µm à 5 mm). Si l'on a connaissance de nombreuses zones d'accumulation de déchets plastiques dans l'estuaire, les flux de déchets plastiques transitant en Seine sont actuellement totalement méconnus. De même, on ignore si les quantités de macrodéchets, leur accumulation et leur fragmentation pourraient conduire à une forte contamination en microplastiques dans l'estuaire et à des impacts sur la faune de cet écosystème estuarien.

Pour répondre à ces questions, deux projets distincts et offrant des informations complémentaires sur les débris plastiques en estuaire de Seine ont été initiés. La thématique des débris plastiques est transverse à différents projets de recherche sur l'axe Seine (OPUR, PIREN-Seine, GIP Seine-Aval) dans le cadre de la zone atelier Seine. L'objectif est de disposer d'une analyse cohérente de la problématique de Paris à la mer.

Le projet **Macro-Plast** (2017-2019) se concentre sur les macrodéchets plastiques, et vise à évaluer les flux de macrodéchets transitant en Seine selon différentes méthodologies (traçage de déchets par GPS, lâchers d'objets marqués, etc.). Loin des premières estimations entre 1 100 et 5 900 t/an, les premiers résultats basés sur une méthodologie innovante suggèrent des flux de plastiques bien moindres, d'environ 200 t/an, suite à un transfert relativement lent des macrodéchets de l'amont à l'aval de l'estuaire. L'utilisation de balises GPS, contenues dans des macrodéchets, a permis de mettre en évidence de nombreux échouages de macrodéchets sur les berges et leur immobilisation prolongée. Cette immobilisation pourrait favoriser leur fragmentation et la production de microplastiques.

Le projet **PLASTIC-Seine** (2017-2020) se focalise quant à lui sur les microplastiques et a pour objectif de quantifier la présence et le flux de MP dans l'estuaire de la Seine et d'autre part à évaluer leur devenir et leur impact sur différentes espèces du réseau trophique. Deux ans de campagnes de terrain ont été menées depuis mars 2017 sur le continuum eau douce-eau salée à différentes saisons pour échantillonner les eaux de surface, les sédiments et sept espèces du réseau trophique (poissons, crustacés, mollusques, annélides) représentatives de l'écosystème estuarien de la Seine. Les premiers résultats indiquent une contamination généralisée des différents compartiments abiotiques et biotiques par des MP comprenant principalement des fibres et des fragments. Des MP suspectés ont été identifiés dans la colonne d'eau (1,8-7,2 fragments/m³) et dans toutes les espèces analysées, quel que soit le site ou la saison de prélèvement. L'identification de ces MP est en cours. Des expositions à des MP environnementaux en conditions contrôlées de laboratoire ont démontré l'ingestion mais aussi l'égestion très rapide de ces MP par les annélides et la sole commune. Des premiers effets significatifs des MP sur la survie et la reproduction du copépode *E. affinis* et sur le comportement des soles ont été observés.

Ces deux projets devraient fournir d'ici 2020 une première évaluation de la distribution et du flux de macroplastiques et microplastiques dans l'estuaire de la Seine et les premières connaissances sur les impacts associés sur la faune aquatique.

Nom des projets de recherche supports :

Projet MACRO-Plast : Flux de macrodéchets en Seine (<https://www.seine-aval.fr/projet/macroplast/>)

Projet PLASTIC-Seine : Flux et impacts des microplastiques dans l'estuaire de la Seine (<https://www.seine-aval.fr/projet/plastic-seine/>)

CONTINUITÉ PISCICOLE LONGITUDINALE ET INTÉRÊT DES ACTEURS POUR SA RESTAURATION

Contributeurs : Céline Le Pichon¹, Laurence Lestel², Nicolas Flipo⁴, Aurélien Bordet⁴, Marie-Anne Germaine³, Kevin de la Croix³, Manuel Pruvost-Bouvattier⁵, Geoffroy Garot⁸, Eric Rochard⁴, Frédérique Bau⁴, Christine Gazeau⁴, Amandine Zahm¹, Mathieu Girondin¹, Evelyne Tales¹, Jérôme Belliard¹.

Équipes impliquées :

¹ Irstea –HYCAR, Antony

² Sorbonne Université

³ Université Nanterre, LAVUE

⁴ Irstea –EABX, Bordeaux

⁵ IAU IDF

⁶ UFBSN

⁷ Mines Paris Tech

⁸ Seinormigr

Résumé :

La diversité et les effectifs de poissons ont subi un déclin depuis deux siècles dans la vallée de la Seine, qui comprend le fleuve et ses affluents de la source à l'estuaire. Mais les efforts de réglementation, de planification et les aménagements réalisés depuis 50 ans ont amélioré la situation de certaines espèces, dont la truite de mer et les aloses pour lesquelles quelques individus sont observés depuis 2000 sur l'Oise, la Marne et la Seine amont.

L'objectif du projet CONSACRE est de proposer des pistes d'actions pour renforcer la restauration de la libre circulation des poissons dans la vallée de la Seine. Elles concernent d'une part les possibilités d'aménagements pour la préservation et la restauration des milieux naturels, et d'autre part l'amélioration de l'association des différents publics impliqués dans cette problématique. Le projet étudie les facteurs physiques et physico-chimiques limitant les potentialités actuelles de reconquête de la Seine et de ses affluents et notamment par une première étape de bilan de la disponibilité des habitats fonctionnels des poissons (alimentation, reproduction...).

Il a été réalisé par une collecte des données géoréférencées d'habitats auprès de l'ensemble des fédérations de pêches et maîtres d'ouvrages (UFBSN) ainsi que par la réalisation du schéma des berges de l'Eure (IAU-IDF) qui vient compléter les connaissances existantes sur les berges du fleuve de la mer à la limite de l'IDF. L'analyse des données de vidéocomptage 2018 sur la Seine et sur l'Aisne fournissent des informations essentielles sur les rythmes de passage des différentes espèces permettant de préparer l'étude des déplacements réels des individus par suivi télémétrique en 2020.

Pour mettre en perspective cet état actuel, un volet du projet se concentre sur la compréhension de l'évolution historique de la continuité écologique, au regard des grandes périodes d'évolution des espèces de poissons, afin de proposer des mesures concrètes compatibles avec le changement global. Une analyse historique des discontinuités physiques et chimiques depuis 1750 de la mer à Paris a été réalisée à partir de sources écrites historiques de multiples types (projets d'ingénierie fluviale, cartes de navigation, base de données papier sur l'oxygène et la température, etc...).

Enfin, l'inventaire des démarches innovantes déjà engagées sur l'axe Seine et sur les affluents qui favorisent la mise en place d'un dialogue et la construction de projets de restauration s'articulant avec les autres enjeux de territoire a été initié.

Nom des projets de recherche supports :

CONSACRE : CONTinuite écologique de la Seine et intérêt des ACteurs pour sa REstauration
(<http://www.consacre.fr>)

L'OBSERVATOIRE ENVIRONNEMENTAL DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE

Contributeurs : Cédric Fisson¹, Eric L'Ebrellec¹

Equipes impliquées :

¹GIP Seine-Aval

Résumé :

Le suivi des milieux naturels présente un enjeu fort pour comprendre leur fonctionnement et évaluer leur état de santé. La capitalisation, la bancarisation, l'interprétation et la mise à disposition des informations issues des suivis du milieu sont ainsi des étapes indispensables pour une prise en compte de l'environnement dans les projets d'aménagements et les mesures de gestion, mais aussi comme support à la connaissance scientifique. A cet égard, la diffusion des données est un enjeu d'importance pour le GIP Seine-Aval et ses partenaires.

Pour répondre à ces différents enjeux, le GIP Seine-Aval a mis en place **l'observatoire environnemental de l'estuaire de la Seine**. Cet observatoire se décline aujourd'hui autour de trois outils :

- 1- Données de référence :** plateforme de mise à disposition de jeux de données géographiques (couches SIG) et de cartes de référence pour l'estuaire de la Seine. Cet outil sera mis en ligne à l'été 2019.
- 2- Des indicateurs pour mieux comprendre :** interface web cartographique (www.indicateurs.seine-aval.fr) de présentation et d'interprétation d'indicateurs qui offrent une vision synthétique et évolutive des nombreuses composantes environnementales du système « estuaire de Seine ». Cette interface couvre aujourd'hui 18 thématiques pour une quarantaine d'indicateurs.
- 3- La Seine en direct :** affichage live de l'état de la Seine à travers différents paramètres (coefficient de marée, débit, température de l'eau, teneur en oxygène, niveau d'eau). Aujourd'hui déployée sur un écran sur les quais de Rouen et repris sur le site web du GIP Seine-Aval (<http://laseinearouen.fr>), cet affichage à destination du grand public pourrait être repris en différents points le long de l'estuaire de la Seine.



Nom des projets supports :

SCRIPTES : Mise en place d'une stratégie de structuration de l'information en lien avec des problématiques de gestion de l'estuaire de la Seine (<https://indicateurs.seine-aval.fr/>)

ETUDE DE L'INFLUENCE DES FORÇAGES NATURELS ET ANTHROPIQUES SUR LA DYNAMIQUE HYDRO-SEDIMENTAIRE

Contributeurs : Florent Grasso¹, Jean-Philippe Lemoine², Pierre Le Hir¹

Equipes impliquées :

¹ Ifremer, DYNECO/DHYSED, Centre de Bretagne, CS 10070, 29280 Plouzané, France.

² Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval, Quai de Boisguilbert, CS 41174, 76176 Rouen, France.

Résumé :

Le fonctionnement hydro-sédimentaire de l'estuaire de la Seine est principalement soumis aux forçages naturels (vent, vagues, marée, débit liquide). La réponse du système estuarien, en termes d'hydrologie (ex : remontée des eaux marines) et de dynamique des sédiments en suspension (ex : bouchon vaseux, flux résiduels), face à différentes conditions hydrométéorologiques a été significativement étudiée au cours des programmes Seine-Aval précédents (ex : projet HYMOSED). Cependant, les forçages anthropiques (ex : aménagements portuaires, dragages) peuvent également impacter le système hydro-sédimentaire estuarien.

Au cours des 50 dernières années, l'estuaire est passé d'un système quasi-naturel à un système fortement anthropisé marqué par l'approfondissement et l'endiguement des chenaux de navigation, le rétrécissement de l'estuaire à l'embouchure et l'intensification des dragages d'entretien. Les simulations réalisées à partir du modèle hydro-sédimentaire développé dans le cadre des programmes Seine-Aval (MARS3D-MUSTANG – Ifremer) ont montré que pour des configurations morphologiques contrastées (1960, 1975 et 2010), l'hydrodynamique, l'hydrologie et la dynamique sédimentaire ont significativement évoluées (projet ANPHYECO). En particulier, la dynamique du bouchon vaseux était fortement dominée par l'influence du pompage tidal en 1960 et la stratification était peu développée. De manière contrastée en 2010, l'approfondissement et le rétrécissement de l'estuaire ont renforcé la remontée des eaux marines et intensifié la stratification dans l'estuaire, s'illustrant par une dynamique du bouchon vaseux conjointement influencée par le pompage tidal et la circulation barocline.

De plus, le fonctionnement hydro-morpho-sédimentaire d'un estuaire dragué pour les besoins de la navigation peut se révéler très sensible au déplacement des masses sédimentaires liées aux opérations de dragage et au dépôt de matériaux dragués. C'est pourquoi le projet MEANDRES a pour objet d'étudier l'effet des transferts anthropiques de sédiments sur le fonctionnement hydro-morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Seine. En s'appuyant sur le même modèle hydro-sédimentaire, une technique de marquage numérique des particules permet de réaliser un suivi spatio-temporel des sédiments dragués puis clapés en mer. Cela sert à caractériser la part de ces matériaux susceptibles de réalimenter le bouchon vaseux, les vasières latérales ou les bancs d'embouchure, ainsi que les temps de transferts associés (Figure 1). L'influence des stratégies de dragage sur l'évolution à moyen et long terme (20 à 50 ans) de la morphologie de l'estuaire et de la nature de sa couverture sédimentaire est également considérée, selon différents scénarios prospectifs.

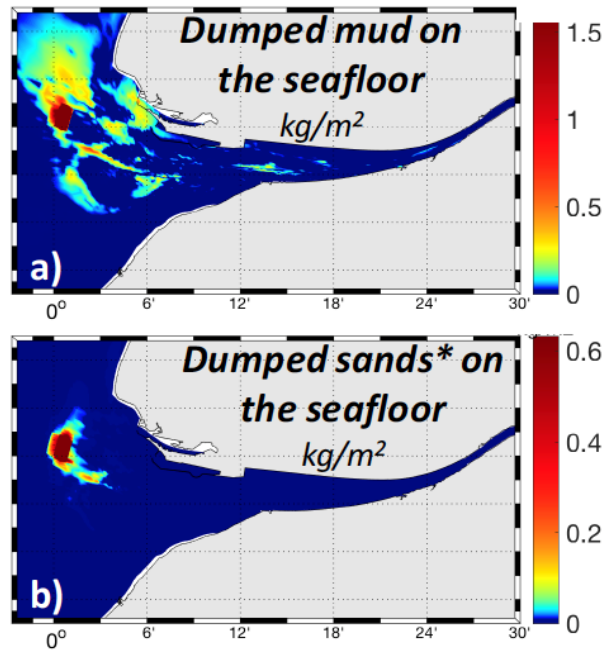


Figure 1 : Dispersion après 1 mois (a) de la vase et (b) des sables, dragués par le GPM de Rouen et clappés sur le site du Kannik.

Nom des projets de recherche supports :

PROJET MEANDRES : Modélisation de l'effet des déplacements anthropiques de sédiments sur l'estuaire de la Seine (<https://www.seine-aval.fr/projet/meandres/>)

PROJET ARES : Analyse de rejets hydro-sédimentaires en estuaire de Seine : référentiel de données de modélisation des variables hydro-sédimentaires de l'estuaire et stratégie d'actualisation (<https://www.seine-aval.fr/projet/ares/>)

PROJET MORPHOSEINE : Modélisation de l'évolution morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Seine (<https://www.seine-aval.fr/projet/morphoseine/>)

ANTICIPER LES EVOLUTIONS MORPHOLOGIQUES SUR LE LONG TERME : ENSEIGNEMENT DES SIMULATIONS RETROSPECTIVES

Contributeurs : Florent Grasso¹, Pierre Le Hir¹, Baptiste Mengual^{1,2}, Jean-Philippe Lemoine³, Régis Walther⁴, Benoit Laignel⁵

Equipes impliquées :

¹ Ifremer, DYNECO/DHYSED, Centre de Bretagne, CS 10070, 29280 Plouzané, France.

² UMR 7266 LIENSs CNRS-Université de La Rochelle, Institut du Littoral et de l'Environnement, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France.

³ Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval, Quai de Boisguilbert, CS 41174, 76176 Rouen, France.

⁴ ARTELIA, 6 rue de Lorraine, 38130, Echirolles, France.

⁵ UMR 6143 M2C, FED 4116 SCALE, CNRS-Université de Rouen, Mont-Saint Aignan, France.

Résumé :

Dans le cadre du projet MORPHOSEINE, le modèle hydro-morpho-sédimentaire développé au cours des programmes Seine-Aval précédents (MARS3D-MUSTANG – Ifremer) est exploité pour étudier l'évolution possible de l'estuaire dans les 50 prochaines années, selon plusieurs scénarios environnementaux. Les "trajectoires" du système estuarien seront déclinées sous plusieurs paramètres ou indicateurs, destinés à caractériser les habitats pélagiques et benthiques (i.e. informations bathymétriques, hydrodynamiques, hydrologiques et sédimentaires).

La validation du modèle morpho-sédimentaire s'appuie sur une période actuelle (2008-2016) pour laquelle les évolutions morphologiques et les quantités de sédiments dragués, ainsi que leur nature, sont très documentées. De plus, la capacité du modèle à simuler la morphodynamique de l'estuaire sur des échelles de temps analogues à celles de la projection envisagée est analysée sur la base d'une simulation rétrospective de l'évolution morpho-sédimentaire constatée depuis 1960 (Figure 1), en tenant compte des multiples aménagements réalisés à l'embouchure de la Seine depuis cette période. Ces simulations rétrospectives permettront de déterminer le niveau de confiance qu'il sera possible d'accorder aux simulations de scénarios prospectifs.

Parallèlement aux travaux des programmes Seine-Aval, une modélisation hydro-morpho-sédimentaire pluriannuelle (2008-2015) de l'embouchure de la Seine a été développée par la société ARTELIA, pour le compte des GPM du Havre et de Rouen. Vue la complexité des processus hydro-morpho-sédimentaires estuariens, la prudence s'impose vis-à-vis de la fiabilité des modèles pour des projections à moyen et long terme. Pour cette raison, il est également proposé de comparer les réponses des modèles face à des scénarios identiques pour une projection de 10 ans. Les différences qu'ils sont susceptibles de révéler permettront d'évaluer la fiabilité globale des simulations et prévisions, et permettront une analyse critique des hypothèses utilisées.

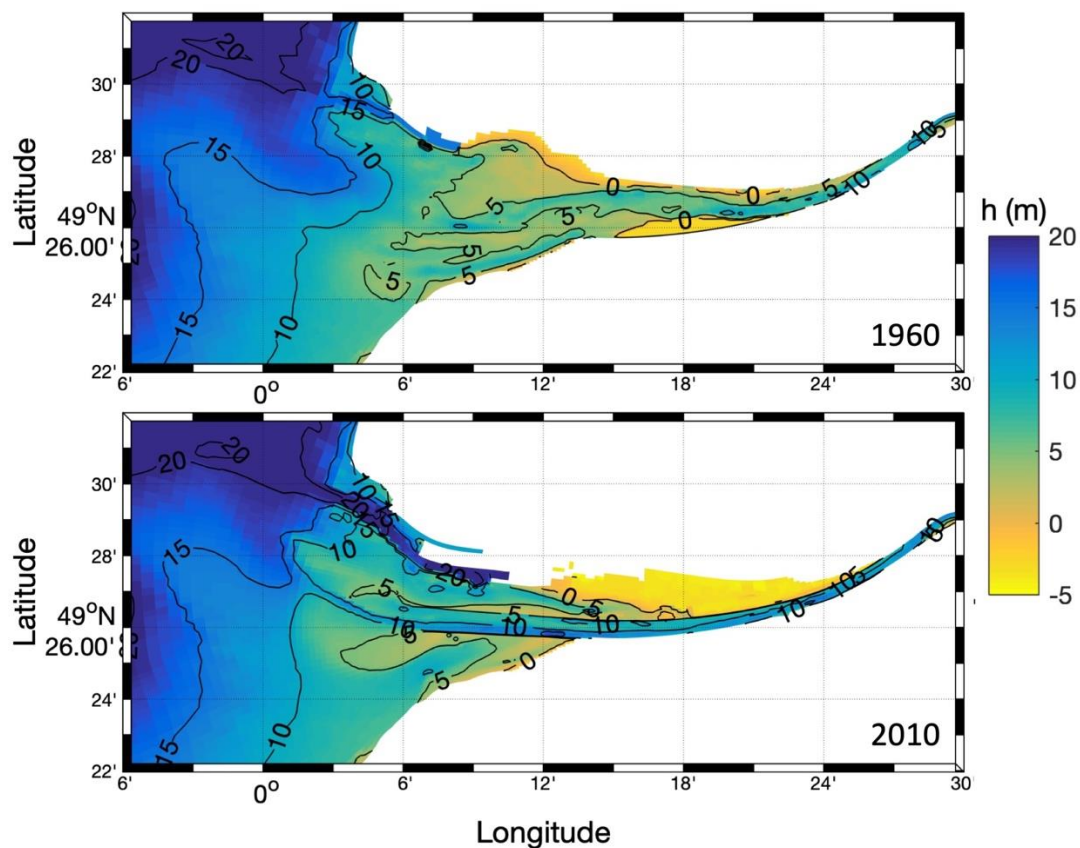


Figure 1. Bathymétries (référence au niveau moyen de la mer) de l'embouchure de l'estuaire de la Seine en 1960 (en haut) et 2010 (en bas).

Nom des projets de recherche supports :

PROJET MORPHOSEINE : Modélisation de l'évolution morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Seine (<https://www.seine-aval.fr/projet/morphoseine/>)

PROJET MEANDRES : Modélisation de l'effet des déplacements anthropiques de sédiments sur l'estuaire de la Seine (<https://www.seine-aval.fr/projet/meandres/>)

LE ZOOPLANCTON DE LA SEINE : CONNAISSANCES ACQUISES ET PERSPECTIVES

Contributeurs : Micky Tackx ⁽¹⁾, Frédéric Azémar⁽¹⁾, Julien Ovaert⁽¹⁾, Claudine Sossou⁽¹⁾, Sami Souissi ⁽²⁾

Equipes impliquées :

¹Laboratoire Ecologie Fonctionnelle et Environnement (EcoLab) - UMR CNRS-UPS-INPT 5245 ECOLAB – Université de Toulouse 3

²Laboratoire d’Océanologie et de Géosciences (LOG) - UMR CNRS-U. Lille-ULCO 8187 LOG-Université de Lille

Résumé :

Le zooplancton occupe une position clef à la base des réseaux trophiques pélagiques aquatiques. Dans les milieux estuariens, plusieurs études ont montré que le zooplancton est un compartiment essentiel dans le fonctionnement global de l'écosystème. Dans les estuaires à fort régime hydrodynamique comme la Seine, la présence d'un fort gradient de salinité mais aussi d'un bouchon vaseux, a joué un rôle fondamental dans la sélection d'espèces typiquement estuariennes et la structuration des communautés du zooplancton sur un continuum marin-aval (gradient de salinité)-amont (eau douce). En plus des forçages naturels, comme les fluctuations climatiques et l'hydrodynamisme, l'empreinte de l'activité humaine sur le compartiment zooplanctonique n'est pas négligeable. Par conséquent, comprendre la diversité mais également le fonctionnement de ce compartiment dans un continuum aval-amont de l'estuaire de la Seine est primordial. Le défi est d'intégrer ces connaissances dans une démarche d'évaluation de l'état de santé de l'écosystème estuarien mais également dans une démarche prospective visant à anticiper les impacts des modifications futures (changement climatique, aménagements et restauration écologique) sur les flux biogéochimiques et la productivité globale de l'estuaire. Mais avant de relever ce défi, il est indispensable de combler certaines lacunes dans nos connaissances sur ce compartiment et notamment dans le secteur amont de l'estuaire.

L'intervention proposera de faire le point sur ce que nous savons et ce qu'il serait intéressant de savoir quant à la composition et l'abondance de la communauté zooplanctonique en estuaire de la Seine, les facteurs de régulation mais également sur le rôle trophique du zooplancton.

Nom des projets de recherche supports :

SENTINELLES : Fonctionnement des écosystèmes de l'embouchure de l'estuaire de la Seine à travers une étude interdisciplinaire ciblant le zooplancton et le macro-zoobenthos (<https://www.seine-aval.fr/projet/sentinelles/>)

SARTRE : Seine Amont : Réseaux Trophiques Estuariens (<https://www.seine-aval.fr/projet/SARTRE/>).

VASIERES INTERTIDALES

INTRODUCTION GENERALE SUR L'ETAT DE L'ART ET LES OBJECTIFS DES TRAVAUX EN COURS

Contributeurs : Francis Orvain¹, Arnaud Huguet², Sami Souissi³

Equipes impliquées :

¹ UMR BOREA Biologie des Organismes et Ecosystèmes Aquatiques, Univ. Caen Normandie, Esplanade de la Paix, F-14032 Caen, France

² UMR 7619 METIS Milieux environnementaux, transferts et interactions dans les hydrosystèmes et les sols, Sorbonne Université/CNRS/EPHE, Paris, France

³ Université de Lille, UMR CNRS-ULCO LOG Laboratoire D'Océanologie et Géosciences, Lille, France

Résumé :

Dans les zones estuariennes, les aménagements du littoral (création de digues, creusement de chenaux de navigation, aménagements portuaires...) ont des conséquences sur la dynamique morphosédimentaire et l'hydrodynamisme général d'un bassin. Les événements climatiques ainsi que les aménagements sur les fleuves amonts et les bassins versants modifient les apports de matériaux fins et les apports nutritifs qui alimentent le fonctionnement écologique au sein de l'environnement estuarien. Par ailleurs, l'élévation du niveau marin imputable au réchauffement global et la fonte des glaces implique que les zones de gradient halin auraient tendance à remonter le long des fleuves. Ces zones de front halin sont des écotones propices à la formation de bouchons vaseux en mobilisant le matériel fin. Un autre impact du réchauffement global pourrait être l'intensification des vagues qui peuvent être destabilisantes vis-à-vis des vasières intertidales.

Concernant l'estuaire de la Seine, l'impact global de l'ensemble de ces perturbations se manifeste par une réduction des surfaces de vasières intertidales. Les gestionnaires de l'estuaire de la Seine cherchent à savoir si des solutions de réaménagement (restauration écologique) sont envisageables, viables ou nécessaires pour aider à soutenir les niveaux de productivité biologique de l'estuaire de la Seine. L'enjeu majeur consiste à maintenir la qualité productive des habitats de vasières intertidales non végétalisées qui fournissent des ressources trophiques essentielles à l'ensemble de la faune jusqu'aux échelons supérieurs (oiseaux, poissons). Cette capacité remarquable des vasières est liée aux producteurs primaires benthiques capables de former des biofilms très efficaces pour se développer et réaliser la photosynthèse en apportant une matière organique nouvelle (sous forme d'exopolymères glycoprotéique que sont les EPS). Le rôle biogéochimique d'épuration de l'eau et des contaminants / polluants associées à la matière organique est aussi de la dynamique morpho-sédimentaire.

Dans ce contexte, nous proposons une approche transdisciplinaire couplant l'étude des processus hydrosédimentaires et biogéochimiques en y intégrant l'ensemble des processus benthiques (production primaire microphytobenthique, bioturbation, biostabilisation, réseau trophique) pour mieux comprendre, modéliser et prédire la régulation des flux biogéochimiques et le devenir des flux de matière et d'énergie au sein de l'estuaire de la Seine et de leurs estrans intertidaux. Nous évaluons également le rôle fonctionnel de stockage de carbone organique qui est intimement lié aux cycles biogéochimiques de ces vasières.

Ces connaissances vont permettre de modéliser la dynamique de population de la faune et l'ensemble de leurs effets fonctionnels (trophiques & non-trophiques) pour envisager d'établir des cartes prédictives de répartition. Les modèles d'habitats benthiques pourront aider à établir des diagnostics sur l'évolution des populations des espèces clés dans un contexte de changement climatique et d'anthropisation de l'estuaire (aménagement, restauration). Par exemple, l'espèce clé *Hediste diversicolor* est la plus efficace pour renforcer la résistance des sédiments à l'érosion et soutenir la production microphytobenthique. Cette espèce possède donc des capacités de résilience intéressantes, mais pourrait mal supporter une raréfaction de la vase, du stress hydrodynamique et de la salinisation. Les outils développés dans Seine-Aval pourront être mobilisés pour rechercher les mesures les plus efficaces permettant de maintenir et restaurer la fonctionnalité écologique des zones intertidales.

Nom des projets de recherche supports :

PHARESEE : Productivité microphytobenthique des HABITATS intertidaux en lien avec la dynamique sédimentaire, biogéochimique et les ingénieurs d'écosystème de la faune benthique: implication pour des enjeux de modélisation et de REhabilitation des vasières de la SEine Estuarienne (<https://www.seine-aval.fr/projet/pharesee/>)

SENTINELLES : Fonctionnement des écosystèmes de l'embouchure de l'estuaire de la Seine à travers une étude interdisciplinaire ciblant le zooplancton et le macro-zoobenthos (<https://www.seine-aval.fr/projet/sentinelles/>)

PROCESSUS BIOGEOCHIMIQUES SEDIMENTAIRES ET FACTEURS DE REGULATION DU MICRO-PHYTOBENTHOS

Contributeurs: Francis Orvain¹, Arnaud Huguet², Morelle Jérôme¹, Rakotomalala Christiane¹, Thouvenin Bénédicte³, Grasso Florent³, Deloffre Julien⁴, Lecoq Nicolas⁴, Mesnages Valérie⁴, Parlanti Edith⁵, Maire Olivier⁵, Richard Anaïs⁵, Laverman Annet⁶, Amsaleg Céline⁶, Guizien Katell⁷, Jadwiga Orignac⁷, Lebreton Benoit⁸, Le Fouest Vincent⁸, Savelli Raphaël⁸, Dupuy Christine⁸, Viollier Eric⁹, Claquin Pascal¹, Lecarpentier Thomas¹⁰

Equipes impliquées :

¹ UMR BOREA Biologie des Organismes et Ecosystèmes Aquatiques, Univ. Caen Normandie, Esplanade de la Paix, F-14032 Caen, France

² UMR 7619 METIS Milieux environnementaux, transferts et interactions dans les hydrosystèmes et les sols, Sorbonne Université/CNRS/EPHE, Paris, France

³ IFREMER DYNECO (Plouzané) - département DHYSED

⁴ Univ Rouen, UMR 6143 M2C Morphodynamique Côtière et Continentale

⁵ Univ. Bordeaux, EPOC UMR 5805CNRS, Talence/Arcachon, France

⁶ UMR 6553 ECOBIO, CNRS, Université de Rennes

⁷ UMR Laboratoire d'écogéochimie des environnements benthiques (CNRS – Sorbonne Université), Observatoire Océanologique de Banyuls, Avenue du Fontaulé, 66650 Banyuls-sur-mer, France

⁸ UMR Littoral, Environnement et Sociétés (CNRS - Université de La Rochelle), Institut du littoral et de l'environnement, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France

⁹ UMR 7154 IPGP Institut de Physique du Globe de Paris

¹⁰ Maison de l'estuaire, Le Havre

Résumé :

Les vasières intertidales ont un rôle majeur dans le fonctionnement écologique des estuaires, car elles abritent des communautés méio et macrobenthiques très diversifiées et représentent la principale zone d'alimentation de nombreux vertébrés dont certains d'intérêt écologique ou commercial majeur (e.g. poissons, oiseaux). Leur dynamique est fortement influencée par les processus hydro-sédimentaires estuariens, étant tantôt source, tantôt puits de sédiment. Elles constituent ainsi un élément essentiel des cycles biogéochimiques se déroulant au sein des estuaires. Les caractéristiques morphologiques et biogéochimiques de ces zones vont directement influencer les échanges de matière et d'énergie qui s'y déroulent.

Parmi la mosaïque d'habitats qui forment l'estuaire, les vasières nues sont clairement identifiées comme des zones essentielles en termes de services écosystémiques. La production phytoplanctonique autochtone dans l'estuaire de la Seine est en effet très limitée à cause de la turbidité empêchant la pénétration de la lumière dans la colonne d'eau. Le maintien de la productivité végétale due principalement au microphytobenthos qui y réside et qui bénéficie d'apports de lumière incidente directe lors des périodes d'éclosion diurne est impératif pour améliorer la qualité de ces habitats et leur disponibilité pour les populations faunistiques. Il est ainsi indispensable d'arriver à relier les changements des conditions morphologiques et sédimentaires aux variations spatiotemporelles des processus biogéochimiques et de production microphytobenthique. En estuaire de Seine où les mélanges sablo-vaseux constituent des habitats sédimentaires fréquemment observés dans les zones de transition (entre vasières et estrans sableux), les diatomées benthiques semblent trouver les conditions optimales à leur photobiologie.

Notre étude cherche à comprendre l'effet de la variation de la composition sédimentaire et du degré et type de bioturbation sur la biogéochimie sédimentaire (qualité et quantité de la matière, flux de nutriments) et à la relier à la productivité primaire microphytobenthique. Nous avons cherché par des expériences *in situ* et en laboratoire à comprendre et quantifier précisément, sur 2 stations de nature sédimentaire différente, le rôle de différents bioturbateurs dominant l'assemblage d'espèces des vasières (*Scrobicularia plana* et *Hediste diversicolor*) en faisant varier leurs densités spécifiques dans des tests de manipulations écologiques

en milieu naturel. Ces deux espèces cohabitent parfaitement bien sur les vasières intertidales. Elles éviteraient des jeux de compétition interspécifiques grâce à des actions bioturbatrices antagonistes mais complémentaires en jouant sur la régulation des flux biogéochimiques avec des effets conjugués permettant de garantir à la fois un niveau de production primaire microphytobenthique optimum et une redistribution trophique efficace aux consommateurs supérieurs. Les manipulations ont été répétées en été et en hiver afin d'étudier l'effet saisonnalité sur la bioturbation et les processus biogéochimiques dans les sédiments, qui influencent directement la productivité primaire des biofilms de microphytobenthos.

L'ensemble des processus de bioturbation/bioirrigation en interaction avec le transport sédimentaire de surface ont été mesurés en couplant des mesures de topographie, de bioturbation (traceurs particulaires et dissous) et de productivité primaire microphytobenthique (fluorimètre imaging-PAM) pour valider et calibrer le modèle de production primaire dans la gamme de conditions sédimentaires considérées. Afin d'étudier le lien entre le cycle des éléments nutritifs et la production primaire microphytobenthique, la mesure des profils de concentrations de sels nutritifs dans les eaux porales a été réalisée par des techniques in situ. Les flux diffusifs de matériel dissous apportent de l'azote, du phosphore et de la silice aux diatomées de surface des vasières en rendant les biofilms microphytobenthiques plus productifs. Les flux de sels nutritifs jouent un rôle capital pour fournir les éléments nécessaires à la croissance microphytobenthique. La macrofaune benthique a un rôle particulièrement difficile à appréhender avec des influences bioturbatrices complexes et même parfois antagonistes. Nous avons mis en évidence des actions à la fois positives (biodiffusion des éléments dissous) et négatives (broutage / consommation, augmentation de l'érodabilité / brassage particulaire) sur la production primaire microphytobenthique.

Un suivi quantitatif et qualitatif (fluorescence 3D, absorbance, marqueurs isotopiques et lipidiques) de la matière organique dissoute (MOD) et sédimentaire (MOS) a également été réalisé de par son rôle clef dans le réseau trophique benthique. Les premiers résultats montrent une forte variabilité de la composition de la MOD avec la profondeur durant la saison hivernale à l'inverse de la MOS. Ces tendances seront comparées à celles obtenues au cours de la saison estivale. Elles permettront d'examiner les échanges de MO entre le sédiment et la phase dissoute, et de faire le lien entre les flux et la composition des substances fraîchement sécrétées par le microphytobenthos.

L'ensemble des expériences réalisées serviront à conceptualiser et modéliser les interactions entre la dynamique hydro-morpho-sédimentaire et biogéochimique d'une part et les processus écologiques au sein des vasières d'autre part.

Nom des projets de recherche supports :

PHARESEE - Productivité microphytobenthique des HABitats intertidaux en lien avec la dynamique sédimentaire, biogéochimique et les ingénieurs d'écosystème de la faune benthique: implication pour des enjeux de modélisation et de REhabilitation des vasières de la SEine Estuarienne (<https://www.seine-aval.fr/projet/pharesee/>)

TRANSFERT TROPHIQUE DES PRODUCTEURS PRIMAIRES MICROPHYTOBENTHIQUES VERS LES CONSOMMATEURS PRIMAIRES ET DYNAMIQUE DE POPULATION D'ESPECES CLES DE LA MACROFAUNE BENTHIQUE INTERTIDALE

Contributeurs : Sofiène Tlili¹, Maiwen Le Coz², Luuk van der Heijden³, Benoit Lebreton³, Mohamed Mouloud¹, Hanane Perrein-Ettajani¹, Lionel Denis², Francois Gevaert², Gwendoline Duong², Sami Souissi², Catherine Mouneyrac¹, Jadwiga Rzeznick Orignac⁴, Denis Fichet³, Francis Orvain⁵, Morelle Jérôme⁵, Arnaud Huguet⁶, Chloé Dancie⁷, Thomas Lecarpentier⁸

Equipes impliquées :

¹ Université Catholique de l'Ouest, MMS-UCO, Angers, France

² Université de Lille, UMR CNRS-ULCO LOG, Lille, France

³ UMR Littoral, Environnement et Sociétés (CNRS - Université de La Rochelle), Institut du littoral et de l'environnement, 2 rue Olympe de Gouges, 17000 La Rochelle, France

⁴ UMR Laboratoire d'écogéochimie des environnements benthiques (CNRS – Sorbonne Université), Observatoire Océanologique de Banyuls, Avenue du Fontaulé, 66650 Banyuls-sur-mer, France

⁵ UMR BOREA Biologie des Organismes et Ecosytèmes Aquatiques, Univ. Caen Normandie, Esplanade de la Paix, F-14032 Caen, France

⁶ UMR 7619 METIS Milieux environnementaux, transferts et interactions dans les hydrosystèmes et les sols, Sorbonne Université/CNRS/EPHE, Paris, France

⁷ Cellule du Suivi du Littoral Normand, Le Havre, France

⁸ Maison de l'Estuaire, Réserve naturelle de l'estuaire de la Seine, Le Havre, France

Résumé :

L'estuaire de la Seine, comme la plupart des écosystèmes littoraux estuariens, est caractérisé par la présence d'une grande diversité de producteurs primaires (e.g., microalgues du sédiment, phytoplancton, plantes des marais salés) ainsi que par des apports de matière organique, d'origine autochtone et allochtone continentale ou océanique. Les apports de ces ressources trophiques varient dans le temps (e.g., crues, efflorescences printanières) et dans l'espace, et leur qualité peut également varier, ce qui affecte leur devenir, et par conséquent leur rôle dans le fonctionnement du réseau trophique de l'estuaire de la Seine. Parmi ces ressources, les microalgues du sédiment (aussi appelées microphytobenthos) constituent une ressource trophique très productive et de très bonne qualité, dont les quantités varient en fonction de nombreux paramètres abiotiques et biotiques. Lors d'un projet précédent (SA5 BARBES) des mesures d'indicateurs pigmentaires à la surface des sédiments ont montré des niveaux de consommation primaire du microphytobenthos exceptionnels en comparaison avec d'autres écosystèmes estuariens. Par ailleurs, le projet BARBES a montré que les vasières intertidales de la Seine restent encore très productives même si le microphytobenthos est soumis à une pression très forte que ce soit par les effets physiques des vagues ou par la pression de broutage par les déposivores.

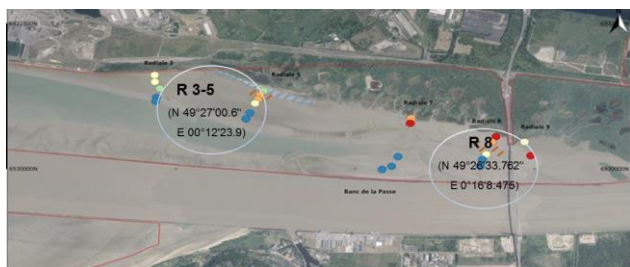
Le devenir de cette ressource trophique, ainsi que celui des autres producteurs primaires, a été déterminé sur la vasière Nord de l'estuaire de la Seine, en focalisant sur deux grands groupes de consommateurs benthiques : la macrofaune et la méiofaune. Ces travaux ont mis en œuvre une méthode basée sur le traçage de la matière (i.e., les isotopes stables) qui permet d'obtenir une vision systémique du fonctionnement d'un réseau trophique, mais qui nécessite que les différents producteurs primaires présents dans l'écosystème soient distinguables les uns des autres. Les résultats obtenus ont mis en évidence une bonne discrimination des différentes sources trophiques, avec une bonne séparation des sources d'origine

terrestre et du microphytobenthos notamment. Les résultats de réseau trophique couplé à la dynamique de population montrent que les jeunes cohortes de *Hediste diversicolor* grandissent rapidement au printemps, mais les taux de mortalité semblent très élevés en particulier en hiver, certainement à cause des phénomènes érosifs fréquents à cette saison et l'intensité des vagues. Les résultats d'analyse isotopique confirment bien que la croissance de ces vers se fait essentiellement sur la base d'une ressource microphytobenthique ce qui est cohérent avec nos hypothèses initiales puisque son régime alimentaire est dépositivore stricte. En ce qui concerne le bivalve *Scrobicularia plana* qui appartient à un groupe trophique mixte (dépositivore / suspensivore), les premiers résultats montrent une alimentation basée à la fois sur le microphytobenthos et le phytoplancton (probablement d'origine marine car les populations se trouvent proche de l'embouchure).

Dans le projet PHARESEE, les travaux sur les ressources trophiques de la méiofaune sont en cours, mais les premières informations mettent en évidence des abondances étant de l'ordre d'un million d'individus par m². Comme cela est très généralement observé dans les habitats littoraux, la méiofaune est très largement dominée par les nématodes, à hauteur de 95,6%. Les copépodes benthiques et les foraminifères représentent quant à eux respectivement 3,5 et 0,9 %.

Afin de bien comprendre la dynamique de population mais également l'état de santé de deux espèces clés de la macrofaune benthique de la vasière Nord, le projet SENTINELLES a ciblé le ver polychète *Hediste diversicolor* et le mollusque bivalve *Scrobicularia plana*. Ces 2 espèces jouent un rôle clé dans la structure et le fonctionnement de cet écosystème. Ce volet d'étude est couplé à l'étude isotopique trophique menée dans le projet PHARESEE.

Un suivi spatio-temporel des populations (densité, biomasse, stades de maturité sexuelle, paramètres de croissance, taux des réserves énergétiques (glycogène, lipides), relations allométriques et structure/dynamique des populations de *H. diversicolor* et *S. Plana* en relation avec les facteurs abiotiques déterminants (granulométrie, pigments photosynthétiques, salinité et température) a été réalisé durant 7 périodes en 2018 (février, avril, mai, juillet, août, octobre et décembre). Les vers et les bivalves ont été collectés sur deux sites correspondants à deux radiales du suivi du macrozoobenthos de la réserve naturelle de l'estuaire de la Seine : R8 et R3-5.



Localisation et coordonnées GPS des sites R8 et R3-5 dans la vasière nord de l'estuaire de la Seine (source : CSLN, 2016 ; modifiée)

Les résultats du suivi des paramètres populationnels chez le ver *H. diversicolor* ont montré des différences entre les deux radiales. La densité des vers a été plus importante au niveau de la radiale 8 par rapport à la radiale 3-5 durant toutes les périodes du suivi (à l'exception d'octobre 2018). Ce résultat peut être expliqué par la composition granulométrique différente entre les deux radiales (Le site R 8 étant plus vaseux que celui de R 3-5). En revanche, aucune différence de la biomasse du ver *H. diversicolor* entre les deux radiales n'a été observé. Le suivi des données biométriques, et des relations allométriques entre la longueur et le poids total frais montrent que les vers du site R 3-5 présentent une croissance en taille/masse plus importante que les vers du site R8. Cette différence au niveau des relations allométriques pourrait être expliquée par des concentrations en glycogène supérieures chez les vers du site R 3-5 vs R 8. En revanche aucune tendance nette n'a pu être dégagée concernant les teneurs en pigments photosynthétiques et chlorophylle A. A l'échelle populationnelle, l'étude de la structure et de la dynamique des populations a montré l'existence de trois périodes de recrutements des juvéniles au niveau du site R8 (avril, août et octobre 2018) contre 2 périodes de recrutements (avril et octobre) au niveau du site R 3-5. L'étude des stades de maturité et

l'évolution de l'Indice de Maturité Sexuelle (IMS) confirme cette différence observée à l'échelle populationnelle. Le taux de lipides mesurés démontre également une variation temporelle synchronisée avec l'évolution de l'IMS et le pourcentage des femelles en phase de maturité sexuelle.

Concernant le mollusque bivalve *S. plana*, aucune différence de la biomasse et de la densité des populations entre les deux radiales n'a été observée. L'analyse des relations allométriques (longueur totale vs poids total frais) montrent qu'à longueur de coquille équivalente, la masse des bivalves est supérieure chez les organismes de R3-5 vs R8 pouvant s'expliquer par les différences de disponibilité de la ressource microphytobenthique en lien avec la dynamique sédimentaire. Les résultats de la structure et la dynamique de population de *S. plana* montrent l'existence de 4 cohortes chez les organismes de R3-5 et 3 cohortes sur R8. L'analyse des réserves énergétiques est en cours.

En conclusion, des différences des paramètres éco-biologiques étudiés chez les vers et les bivalves ont été observées au cours de ce suivi spatio-temporel sur l'année 2018 et leur analyse par rapport aux données antérieures acquises dans le cadre des programmes PNETOX (2002-2004) et [ECOTONES](#) (2015-2017) sont en cours dans un objectif de biosurveillance du suivi de ces deux populations. Ce travail intensif de terrain et d'analyse au laboratoire va permettre de construire une base de données utile à la démarche de modélisation entreprise dans le projet PHARESEE.

Nom des projets de recherche supports :

PHARESEE : Productivité microphytobenthique des HABitats intertidaux en lien avec la dynamique sédimentaire, biogéochimique et les ingénieurs d'écosystème de la faune benthique: implication pour des enjeux de modélisation et de REhabilitation des vasières de la SEine Estuarienne (<https://www.seine-aval.fr/projet/pharesee/>)

SENTINELLES : Fonctionnement des écosystèmes de l'embouchure de l'estuaire de la Seine à travers une étude interdisciplinaire ciblant le zooplancton et le macro-zoobenthos (<https://www.seine-aval.fr/projet/sentinelles/>)

VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE DE LA MACROFAUNE BENTHIQUE DE LA VASIERE NORD DE L'ESTUAIRE DE SEINE ET MODELISATION DES HABITATS FONCTIONNELS.

DISCUSSION SUR LES EVOLUTIONS LONG TERME DES HABITATS BENTHIQUES INTERTIDiaux.

Contributeurs :

Maïwen Le Coz¹, Sofiene Tlili², Chloé Dancie³, Gaël Dur⁴, Jean Philippe Lemoine⁵, Jérôme Morelle⁶, Francis Orvain⁶, Catherine Mouneyrac², Sami Souissi¹

Equipes impliquées :

¹ Université de Lille, UMR CNRS-ULCO LOG Laboratoire D'Océanologie et Géosciences, Lille, France

² Université Catholique de l'Ouest, MMS-UCO Mer Molécule & Santé, Angers, France

³ Cellule du Suivi du Littoral Normand, Le Havre, France

⁴ Creative Science Unit (Geosciences), Faculty of Science, Shizuoka University Suruga-ku, Japan

⁵ GIP Seine-Aval, Rouen, France

⁶ UMR BOREA Biologie des Organismes et Ecosystèmes Aquatiques, Univ. Caen Normandie, Esplanade de la Paix, F-14032 Caen, France

Résumé :

La macrofaune benthique des vasières intertidales est un compartiment d'importance écologique majeure. Ces consommateurs primaires ont des liens étroits avec le microphytobenthos et représentent une ressource importante pour les consommateurs secondaires (poissons, oiseaux). Ils présentent aussi une interaction forte avec le sédiment, et interviennent dans le fonctionnement biogéochimique de la vasière. Au cours des dernières décennies, l'estuaire de Seine a subi d'importantes pressions anthropiques d'origines multiples (contamination organique, métallique, aménagements portuaires et modifications hydromorphologiques, etc.), avec pour conséquences d'importantes altérations hydro-sédimentaires, biogéochimiques et écologiques de l'écosystème. La vasière Nord et son fonctionnement écologique ont été particulièrement affectés par ces perturbations.

Dans le but de caractériser la variabilité des assemblages de macrofaune dans la vasière nord au cours des 2 dernières décennies et d'identifier les facteurs abiotiques qui y sont associés, le projet SENTINELLES s'est appuyé sur la construction et l'analyse d'une base de données synthétisant les travaux sur la macrofaune et les facteurs environnementaux de la vasière nord.

Une description et une analyse de la variabilité spatiale et temporelle des assemblages de macrofaune benthiques de la vasière nord ont été réalisées. Une cartographie multivariée des assemblages a ainsi été produite à partir des données d'abondance et de biomasse de macrofaune issues du suivi pluriannuel de la CSLN (couvrant 28 sites de 2000 à 2016). Six assemblages distincts en termes de composition taxonomique ont émergé de ces analyses, et les espèces suivantes ont pu être identifiées comme étant les principales taxons différenciant ces 6 assemblages par leur abondances relatives : *Hediste diversicolor*, *Cerastoderma edule*, *Corophium volutator*, *Peringia ulvae*, *Limacola balthica* et *Monticellina sp.* Des cartes annuelles de la probabilité de distribution des six assemblages basées sur l'interpolation spatiale par krigeage des probabilités conditionnelles ont pu être produites. La variabilité mise en évidence dans la composition des communautés a pu être décomposée en 3 périodes majeures et 2 zones amont-aval, et mise en relation avec les composantes granulométriques et hydrologiques de l'écosystème.

La base de données produite dans le cadre de SENTINELLES a également été utilisée pour modéliser l'habitat fonctionnel des 2 espèces ciblées dans le projet pour leur importance écologique, *Hediste diversicolor* et *Scrobicularia plana*. Des descripteurs intertidaux ont ainsi été testés en tant que variables

d'habitat de *H. diversicolor* et de *S. plana*, en couplant les données d'abondance et de diversité de ces deux espèces avec des données de différentes origines (BARBES-SA5 ; suivi granulométrique de la CSLN ; sorties du modèle hydrodynamique MARS3D) disponibles aux mêmes dates et sites. Les premiers résultats semblent confirmer à l'échelle de l'espèce l'importance des descripteurs hydrologiques et granulométriques ci-dessus décrits comme structurants à l'échelle de la communauté. Cette démarche de modélisation des habitats fonctionnels sera utile à la fois pour comparer les habitats préférentiels entre espèces (e. g. *H. diversicolor* et *S. plana*) mais permettra également de confronter nos modèles obtenus en estuaire de Seine à d'autres systèmes estuariens. Par ailleurs, une extrapolation de ces modèles pourrait être envisagée pour tester différents scénarios / différentes conditions d'habitat, en couplage avec les descripteurs inclus dans le modèle MARS3D.

Pour comparer avec d'autres écosystèmes estuariens, des modèles d'adaptabilité des communautés de la macrofaune benthique ont été développés dans les estuaires Hollandais (Westerschelde / Oosterschelde - Cozzoli et al 2014, 2017). Les réponses attendues au réchauffement climatique ne sont pas du tout les mêmes entre les 2 estuaires avec une sensibilité plus forte de la communauté dans le Westerschelde. En estuaire de Seine, des prévisions similaires au Westerschelde peuvent être attendues car ces 2 estuaires ont des caractéristiques communes en termes de gamme de salinité, de forçage hydrodynamique, de composition sédimentaire et d'aménagements (construction de digues, creusement de chenaux de navigabilité). Selon les prédictions, certaines espèces comme *Scrobicularia plana* pourraient être peu menacées car cette espèce peut continuer à se développer sur différents types de faciès sédimentaires (sable ou vase) tout en supportant des variations de salinité de grande ampleur. Par contre les espèces inféodées aux vasières comme *Hediste diversicolor*, *Peringia ulvae* ou *Limacola balthica* ont beaucoup plus de chances de voir leurs aires de répartition se réduire en Seine.

En prenant en compte les effets complexes de la bioturbation, l'adaptabilité des aires de répartition peut être reexaminée à long terme en intégrant les différents rôles de la bioturbation qui modifient activement l'érodabilité des sédiments et donc la capacité de résilience de leurs habitats benthiques (Projet SA5 BARBES). Certaines populations comme *Hediste diversicolor* ont des capacités de résilience à long-terme très grandes grâce à ces mécanismes de bioturbation favorisant le maintien de leur habitat préféré que sont les vasières. Les mécanismes locaux de bioturbation à échelle individuelle joueraient finalement un rôle décisif sur les aires de répartition et leur évolution à long-terme.

Les résultats antérieurs de ce type d'exercice montrent que les populations de bivalves *Scrobicularia plana* sont capables de réduire considérablement les surfaces de vasière à long-terme à cause d'un impact déstabilisateur très prononcé. En Seine, ce bivalve cohabite avec une autre espèce qui joue un effet antagoniste remarquable en renforçant la stabilité cohésive. Il s'agit de l'annélide *Hediste diversicolor* qui est également dominante à l'heure actuelle et cette espèce peut être très efficace pour protéger les vasières contre les effets destructeurs de l'érosion par les vagues et de la déstabilisation par *Scrobicularia plana* (projet SA5 BARBES). Quand les 2 espèces vivent ensemble, l'influence de la scrobiculaire semble ne plus jouer et c'est bien l'influence biostabilisatrice de *Hediste diversicolor* qui semble jouer seule. Cette action biostabilisatrice ne suffit cependant pas à empêcher les phénomènes d'érosion des vasières intertidales face à l'assaut des vagues, mais les pertes de vasière seraient probablement beaucoup plus fortes si ces populations de vers n'étaient pas présentes. Dans l'avenir, une raréfaction des vers *Hediste* couplée à une persistance du bivalve *Scrobicularia* dans les communautés benthiques pourrait entraîner une diminution des surfaces de vasières les plus en aval de l'estuaire à cause d'un changement brutal des effets bioturbateurs en passant d'une intense biostabilisation à une intense déstabilisation.

Il serait nécessaire de développer des exercices de modélisation couplant les simulations hydrosédimentaires de MARS3D (avec les modules de bioturbation jouant sur l'érodabilité et le développement de biofilms protecteurs) à des lois de préférendum des espèces aux facteurs

environnementaux (salinité, courant max, composition sédimentaire, temps d'inondation) des habitats benthiques pour les différentes populations macrozoobenthiques afin de prédire au mieux l'évolution des aires d'occurrence à venir. Pour conclure, les vasières de l'estuaire de la Seine, malgré qu'elles soient soumises à de multiples stress physiques et anthropiques montrent des capacités de résilience inattendues grâce à des actions régulatrices exercées par les organismes benthiques qui sont de véritables ingénieurs d'écosystèmes. Néanmoins, une dégradation de ces communautés pourraient vite se traduire par des perte de fonctionnalité de l'écosystème estuarien. Les outils développés permettront à terme la recherche de leviers d'actions utiles pour la mise en œuvre d'aménagement et de travaux de restauration les plus favorable au maintien de ces habitats.

Nom des projets de recherche supports :

PHARESEE : Productivité microphytobenthique des HABitats intertidaux en lien avec la dynamique sédimentaire, biogéochimique et les ingénieurs d'écosystème de la faune benthique: implication pour des enjeux de modélisation et de REhabilitation des vasières de la SEine Estuarienne (<https://www.seine-aval.fr/projet/pharesee/>)

SENTINELLES : Fonctionnement des écosystèmes de l'embouchure de l'estuaire de la Seine à travers une étude interdisciplinaire ciblant le zooplancton et le macro-zoobenthos (<https://www.seine-aval.fr/projet/sentinelles/>)

BARBES - Associations biologiques en relation avec le transport sédimentaire : développement d'un modèle de bioturbation par les ingénieurs d'écosystèmes en estuaire de Seine (<https://www.seine-aval.fr/projet/barbes/>)

CONTAMINANTS ORGANOHALOGENES EN ESTUAIRE DE SEINE : OCCURRENCE DANS LES SEDIMENTS ET TRANSFERT DANS LE RESEAU TROPHIQUE DE LA SOLE

Contributeurs : Pierre LABADIE¹, Florence MOUNIER², Hélène BUDZINSKI¹, Bastien CHOUQUET³, Sylvain DUHAMEL³, Marine GALLIEN¹, Jérémy LOBRY², Véronique LOIZEAU⁴, Catherine MUNSCHY⁴

Equipes impliquées :

¹ UMR 5805 EPOC, CNRS/Université de Bordeaux, Talence

² EABX, Irstea, Cestas

³ Cellule de Suivi du Littoral Normand (CSLN), Le Havre

⁴ LBCO, Ifremer, Brest/Nantes

Résumé :

De nombreuses espèces marines d'intérêt halieutique réalisent la phase juvénile de leur cycle de vie dans des habitats restreints, en milieux côtiers et estuariens. Ces nourriceries sont ainsi considérées comme des habitats halieutiques essentiels, notamment chez de nombreux pleuronectiformes, dont la sole commune *Solea solea*, espèce d'intérêt halieutique majeur. Or, les habitats constitutifs des nourriceries ne fournissent pas systématiquement des conditions de vie optimales, notamment en raison de leur état de contamination chimique.

Dans ce contexte, le projet CHOPIN étudie, dans l'estuaire de la Seine, les transferts de contaminants organohalogénés (COH) historiques et d'intérêt émergent sous deux angles : (i) depuis le sédiment et via le réseau trophique (bioamplification) et (ii) au cours du cycle de vie, depuis le stade G0 (après métamorphose des larves et colonisation des habitats de nourriceries) jusqu'au stade G2 (subadultes entrant en maturation sexuelle et susceptibles de rejoindre les zones de reproduction en Manche Est). La stratégie d'étude repose sur deux approches complémentaires : mesure *in situ* de la contamination et modélisation à l'échelle des individus et du réseau trophique de la sole.

Cette présentation a pour objet de proposer une synthèse préliminaire des premiers résultats obtenus à l'issue des campagnes d'échantillonnage réalisées en 2017 et 2018 et d'aborder les perspectives d'exploitation de ces données à court terme.

Les premières données terrain ont permis de renseigner la distribution spatiale des teneurs en polychlorobiphényles (PCB), hexabromocyclodécane (HBCDD) et composés per- et polyfluoroalkylés (PFAS) dans les sédiments estuariens, mettant en (i) évidence des niveaux de contamination variables entre stations sur chaque secteur et entre secteurs (Fosse Nord, Fosse Sud, Embouchure), et (ii) l'absence de gradient homogène pour l'ensemble des familles de contaminants considérées.

Le régime alimentaire des soles G0 étant peu renseigné dans les travaux antérieurs, particulièrement pour les très jeunes G0, il a été caractérisé en partenariat avec le projet SA CAPES, sur la base de l'analyse du contenu des tractus digestifs. Les résultats obtenus montrent une bonne corrélation entre ces derniers et la composition de la macrofaune benthique sur la zone de prélèvement. Les premières analyses de micropolluants (PCB et HBCD) sur le benthos mettent en évidence des niveaux de contamination très variables selon les taxons, qui rendent la comparaison inter-secteurs délicate. Chez les juvéniles de soles, les profils de contamination apparaissent relativement constants à l'échelle de l'estuaire ; les niveaux de PCB et HBCDD montrent également une distribution spatiale assez homogène, même si les résultats suggèrent

une contamination légèrement plus élevée en Fosse Nord. Ces résultats sont de nature à relativiser l'hypothèse de sédentarité des individus G0 posée initialement. L'évolution temporelle des niveaux de contamination des G0 (ex : augmentation plus faible qu'attendue des teneurs en PCB lors des six premiers mois passés en estuaire), suggère une modification du régime alimentaire et questionne à nouveau le caractère sédentaire des G0.

Par ailleurs, l'état de santé global des juvéniles de soles a été évalué de façon préliminaire sur la base de différents indicateurs (activités EROD et AChE, dommages à l'ADN). Des différences sont ainsi observées entre Fosse Nord et autres secteurs, ce qui semble cohérent avec les niveaux de contamination.

A partir des données disponibles (contamination, contenus stomacaux et compositions isotopiques sur les poissons et leurs proies), les transferts trophiques seront décrits au moyen d'un modèle statistique de mélange (ESCROC) développé à cet effet lors d'un précédent projet sur l'estuaire de la Gironde (MOMBASAR, LabEx COTE).

La bioaccumulation par les juvéniles de soles de quelques-uns des principaux COH sera modélisée à l'aide d'un modèle toxicocinétique (TK) couplé à un modèle d'allocation d'énergie basé sur la théorie DEB. Ce modèle DEB-TK a été appliqué au cas des juvéniles de soles de l'estuaire de la Gironde et a permis de caractériser les dynamiques de bioaccumulation ainsi que d'estimer les effets majeurs du changement global sur la contamination des individus. Dans CHOPIN, ce modèle sera transposé au cas de l'estuaire de la Seine et étendu à une autre famille de contaminant (HBCDD) ; des scénarios seront explorés et des comparaisons avec l'estuaire de la Gironde seront entreprises. Enfin, l'analyse combinée de la littérature et des résultats issus de ce modèle permettront d'estimer différents effets de la contamination à l'échelle individuelle. Certains de ces effets pourront être implémentés dans le modèle de dynamique de population utilisé dans le second volet de CHOPIN, afin de discuter des effets possibles de la contamination de l'estuaire de la Seine à l'échelle de la population de sole de Manche Est.

Nom des projets de recherche supports :

CHOPIN, Contaminant Hydrophobes Organohalogénés : Présence et Impact sur la Nourricerie. (<https://www.seine-aval.fr/projet/chopin/>)

MOdelling Mechanistic BioAccumulation of organic contaminants in the food web of *Solea solea* in the Gironde estuary (MOMBASAR) (<https://cote.labex.u-bordeaux.fr/Projet/Volet-Recherche/Projets-soutenus/2013/MOMBASAR-i4927.html>)

POUR PLUS D'INFORMATIONS SUR LE GIP SEINE-AVAL

www.seine-aval.fr

CONTACT

GIP Seine-Aval
Hangar C - Espace des Marégraphes
CS 41174
76176 ROUEN Cedex 1
Tél : 02 35 08 37 64
gipsa@seine-aval.fr

En cas d'utilisation de données ou d'éléments de ce document, il devra être cité sous la forme suivante :

GIP Seine-Aval, 2019. Séminaire Scientifique 2019 du GIP Seine-Aval. Recueil de résumés. 38 p

Le GIP Seine-Aval ne saurait être tenu responsable d'évènements pouvant résulter de l'utilisation et de l'interprétation des informations mises à disposition.

Pour tout renseignement, veuillez contacter le GIP Seine-Aval.

Les membres financeurs du GIP Seine-Aval sont :

