

Les scientifiques de Seine-Aval expliquent le fonctionnement de l'estuaire de la Seine

Mars 2022

Estuaire de Seine

LES

TOUT S'EXPLIQUE !

Les derniers résultats de la science dans l'estuaire de la Seine

- Des projets tournés vers l'opérationnel
- La compréhension des phénomènes qui progresse
- Des projections qui s'affinent

© GIP Seine-Aval



GIP Seine-Aval
GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC

Le GIP Seine-Aval est financé par :





Elise Avenas

Directrice du GIP Seine-Aval

La revue « Tout s'explique ! » permet de découvrir les dernières avancées de la science sur l'environnement de l'estuaire de la Seine. À travers des thèmes variés et d'intérêt pour le territoire, les résultats y sont décryptés et mis en perspective de leur intérêt pour la gestion et l'aménagement du territoire estuarien.

Le premier numéro, paru en 2019, présentait les principaux résultats de la phase 5 du programme de recherche Seine-Aval. Depuis, la phase 6 s'est terminée. Ce nouveau numéro vous propose de revenir sur les résultats de cette sixième phase du programme de recherche Seine-Aval. Grâce aux nombreuses équipes scientifiques mobilisées pour le suivi de l'estuaire de la Seine et la compréhension de son fonctionnement, cette dernière phase a fait la part belle aux projets multidisciplinaires. La mobilisation des outils de modélisation numérique est également le fil rouge de nombreux projets. Un effort particulier a été porté sur les vasières et leur rôle pour les poissons, afin d'apporter une aide précieuse pour la gestion de ces milieux et leur restauration. Enfin, des articles sont dédiés aux résultats de projets menés par l'équipe du GIP Seine-aval, que ce soit 1) sur l'étude du rôle des dragages sur le fonctionnement de l'estuaire de la Seine ; 2) l'analyse des impacts de l'incendie « Lubrizol/NL-Logistique » sur la Seine ; 3) la définition des priorités de restauration écologique de l'estuaire ; ou 4) la modélisation du risque inondation de la vallée de la Seine normande.

Ces nombreux résultats illustrent l'intérêt d'une interface entre la science et la gestion, pour un développement durable de l'estuaire de la Seine et une anticipation des changements climatiques. Le GIP Seine-Aval, avec ses partenaires scientifiques et techniques, va poursuivre son action en ce sens avec la phase 7 du programme de recherche Seine-Aval, dont les premiers projets sont lancés en ce moment même. La revue « Tout s'explique ! » est un des moyens mis en œuvre pour transférer la connaissance acquise dans le cadre des projets du GIP Seine-Aval aux acteurs de l'estuaire. La valorisation et le transfert des connaissances est ainsi une de nos priorités, dans le but de rendre accessible la très riche production de la communauté Seine-Aval.

Un Groupement d'Intérêt Public (GIP) est une structure partenariale qui permet de développer des coopérations entre partenaires publics et privés. Ses membres décident de mettre en commun des moyens pour une durée déterminée et sur des missions précises approuvées par l'Etat. Aujourd'hui, onze membres définissent la stratégie du GIP Seine-Aval et contribuent à son pilotage :



Dans le cadre de son programme de recherche, le GIP Seine-Aval a établi de nombreux partenariats scientifiques avec de grands organismes de recherche (Ifremer, CNRS, INRAE...), des laboratoires d'Université (Rouen, Caen, Le Havre, Lille, Bordeaux, Sorbonne Université, Paris est, Toulouse, Brest, Reims...) et des opérateurs de terrain (Maison de l'estuaire, CSLN...) pour mener les projets de recherche. Depuis 2015, le GIP Seine-Aval a intégré la Zone Atelier Seine du CNRS, constituée des programmes PIREN-Seine, OPUR et Seine-Aval.

Sommaire



La modélisation du fonctionnement physique de l'estuaire de la Seine	05
Le rôle des dragages sur le fonctionnement de l'estuaire de la Seine	07
Les vasières, des milieux clefs pour l'écosystème estuarien	10
Le plancton, témoin des changements de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine	13
Le transfert de contaminants chimiques dans la chaîne alimentaire	16
Les nourriceries de poissons marins à l'embouchure de la Seine	19
Des territoires mouvants qui définissent l'estuaire de la Seine	23
Un référentiel sur les priorités de préservation et de restauration écologique des milieux estuariens	26
Les impacts de l'incendie « Lubrizol/NL-Logistique » sur la Seine	30
La vallée de la Seine face au risque inondation	33

La modélisation du fonctionnement de l'estuaire de la Seine

Le fonctionnement physique des estuaires fait intervenir de nombreux processus naturels ou anthropiques qui interagissent à différentes échelles spatiales et temporelles. La modélisation permet de reproduire numériquement et simuler ce fonctionnement et ainsi de mieux comprendre et anticiper les potentielles évolutions des estuaires.

Comment évoluent les principaux paramètres physiques de l'estuaire de la Seine ? Comment expliquer les modifications de son fonctionnement ? Des modélisations rétrospectives et prospectives ont été mobilisées pour répondre à ces questions.

Des outils de modélisation pour suivre l'évolution de l'estuaire

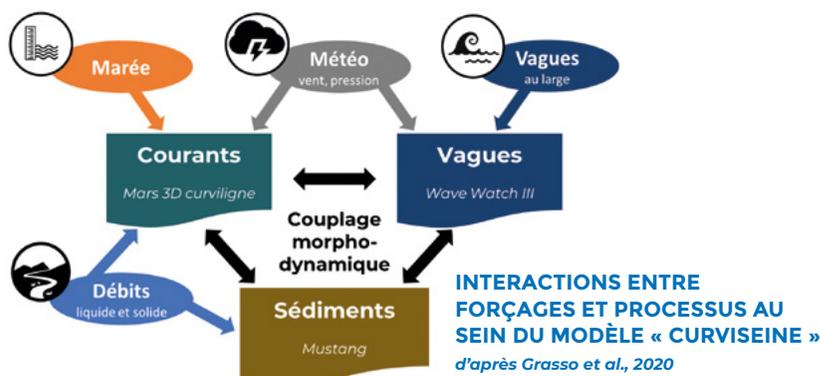
Depuis plus de 40 ans, les scientifiques cherchent à mettre l'estuaire de la Seine en équation, afin d'en modéliser le fonctionnement. Progressivement enrichis avec des processus de plus en plus

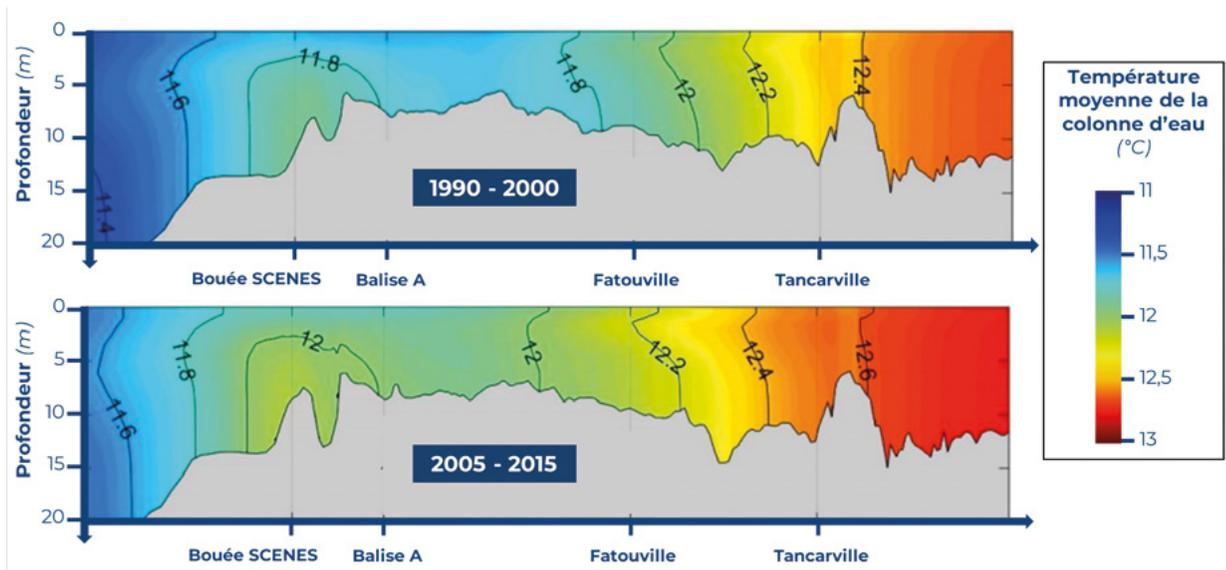
simuler des paramètres clés pour l'écosystème, comme la salinité, la température ou les matières en suspension en réponse à une morphologie donnée de l'estuaire et en considérant le vent, les vagues, la marée et le débit des

cours d'eau » nous détaille Florent Grasso, chercheur à l'Iremer. **L'impact d'aménagements passés ou les conséquences du changement climatique** sont des exemples de scénarios que les scientifiques explorent grâce à ces outils.

Un effort de modélisation de l'estuaire depuis plus de 40 ans !

complexes, ces travaux ont permis de développer divers modèles qui sont aujourd'hui utilisés pour comprendre et anticiper l'évolution de l'estuaire. « *Nous pouvons*





TEMPÉRATURE MOYENNE DE LA COLONNE D'EAU À L'EMBOUCHURE DE LA SEINE - Grasso et al., 2021. Projet SA6 ARES

Des évolutions liées à l'Homme et à la nature

Une première application du modèle "CurviSeine" a permis de produire un référentiel annuel des principaux paramètres (température, salinité, matière en suspension, courant...) sur une période allant de 1990 à aujourd'hui. Ce référentiel prend en compte les spécificités climatiques, océaniques et hydrologiques de chaque année, ainsi qu'une morphologie de l'estuaire qui considère les aménagements par période d'une dizaine d'années. La comparaison des résultats obtenus à l'embouchure de la Seine sur deux périodes récentes, à savoir

tropiques a été étudiée, montrant une double influence. Ainsi, les périodes de vagues intenses favorisent la remobilisation et l'export des sédiments vers la mer. Un débit élevé de la Seine favorise la remontée vers l'amont des eaux salées sur le fond et ainsi le retour des sédiments marins vers l'estuaire.

Les aménagements (approfondissements, endiguements) et en particulier leurs répercussions sur la propagation de la marée (amplification des courants dirigés vers l'amont) ont quant à eux globalement tendance à favoriser le pompage tidal des sédiments vers l'amont.

Une modélisation de la salinité, de la température et de la turbidité

1990-2000 et 2005-2015, montre un **réchauffement de la colonne d'eau** qui atteint +0,2°C, une **accentuation de la stratification de la salinité** qui favorise l'intrusion saline dans l'estuaire et une **légère augmentation de la turbidité**.

La contribution relative des paramètres naturels et an-



© Philippe Laforge

Une morphologie en constante évolution

La modélisation rétrospective de l'évolution de l'estuaire sur 20 ans (1975-1995) retranscrit l'**impact des aménagements réalisés à l'embouchure sur la morphologie de l'estuaire**, avec notamment un déplacement vers le large des bancs d'embouchure et une sédimentation de la vasière nord. Ces résultats mettent également en évidence une influence déterminante des vagues et de la marée sur ces évolutions morphologiques à l'embouchure, qui sont moins sensibles aux apports fluviaux.

Si l'on se projette sur le moyen terme (10 ans), **la morphologie de l'estuaire va continuer à évoluer**. « Des zones comme les bancs d'embouchure vont poursuivre leur accrétion, alors que la fosse sud pourrait s'éroder » nous détaille Florent Grasso. Une diminution des surfaces de vasières au

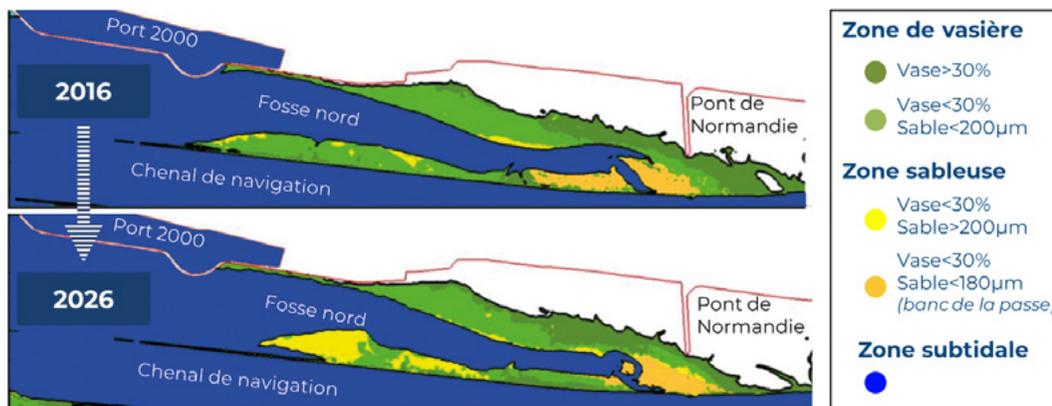


profit de zones sableuses semble également ressortir des modélisations, ce qui ne sera pas sans conséquences sur les fonctionnalités écologiques de l'estuaire.

Si l'on se projette à plus long terme (50 ans), il faut considérer le changement climatique et notam-

ment l'élévation du niveau marin dans les simulations. Là encore, les résultats montrent que **la morphologie de l'estuaire va s'adapter à la montée du niveau marin**, avec une accrétion des vasières, un déplacement progressif des bancs d'embouchure vers la mer et un approfondissement des chenaux. « Même si de fortes incertitudes demeurent sur ce type de résultats, l'exercice nous renseigne sur l'adaptation des systèmes estuariens à différentes modifications de leur fonctionnement et nous permet de comprendre et d'anticiper les changements en cours et à venir » conclut le scientifique.

Le changement climatique va être déterminant pour l'évolution de l'estuaire



SIMULATION DE L'ÉVOLUTION DES FACIÈS SÉDIMENTAIRES EN RIVE DROITE DE L'EMBOUCHURE DE LA SEINE - Grasso et al., 2021. *Projet SA6 MORPHOSEINE*

Plus d'infos

Grasso F. (coord.), Bismuth E., Verney R., 2021. **Projet ARES « Analyse de jeux hydro-sédimentaires en estuaire de Seine »**. Rapport de recherche du programme Seine-Aval 6, 65 p.

Grasso F. (coord.), Le Hir P., Mengual B., Walther R., Verney R., 2021. **Projet MORPHOSEINE « Modélisation de l'évolution morphosédimentaire de l'estuaire de la Seine »**, Rapport de recherche du programme Seine-Aval 6, 97 p.



<https://www.seine-aval.fr/projet/ares>
<https://www.seine-aval.fr/projet/morphoseine>

Le rôle des dragages sur le fonctionnement de l'estuaire de la Seine

Les estuaires sont des zones abritées, idéales pour l'implantation de l'activité portuaire. Ces sites sont cependant le siège d'une sédimentation importante et le maintien des conditions de navigation nécessite des dragages* d'entretien récurrents. Longtemps ignorés, leurs impacts sur le fonctionnement physique du milieu est aujourd'hui au cœur des réflexions sur cette pratique.

Quels sont les facteurs qui déterminent les besoins en dragage à l'embouchure de la Seine ? Quels sont leurs effets sur la dynamique sédimentaire de l'estuaire ? C'est grâce à la modélisation numérique qu'un nouvel éclairage a pu être apporté sur ces questions.

Des besoins continus en dragage pour l'entretien des chenaux de navigation

En estuaire de Seine, les marées, les vagues et le débit sont à l'origine d'une dynamique sédimentaire naturellement très intense. Elle explique la présence du **bouchon vaseux***, détermine la dynamique des vasières et joue sur les évolutions des profondeurs et de la nature des fonds. Chaque année, ce sont plusieurs dizaines de milliards de tonnes de sédiments qui sont déplacés naturellement dans l'estuaire de la Seine ! C'est pourquoi, pour maintenir des profondeurs suffisantes pour la navigation des navires, certaines portions des chenaux desservant les ports de Rouen et du Havre sont entretenues par dragage en quasi permanence. **Environ 7 millions de tonnes de sédiments sont dragués annuellement dans l'estuaire, puis immergés en mer par HAROPA Port.** « Bien que cette pratique soit

ancienne en Seine, les facteurs qui déterminent les besoins de dragage et leurs effets sur l'estuaire ne font l'objet d'études spécifiques que depuis peu » nous explique Jean Philippe Lemoine, chargé de mission au GIP Seine-Aval et auteur d'une thèse sur le sujet.

7 millions de tonnes de sédiments dragués annuellement



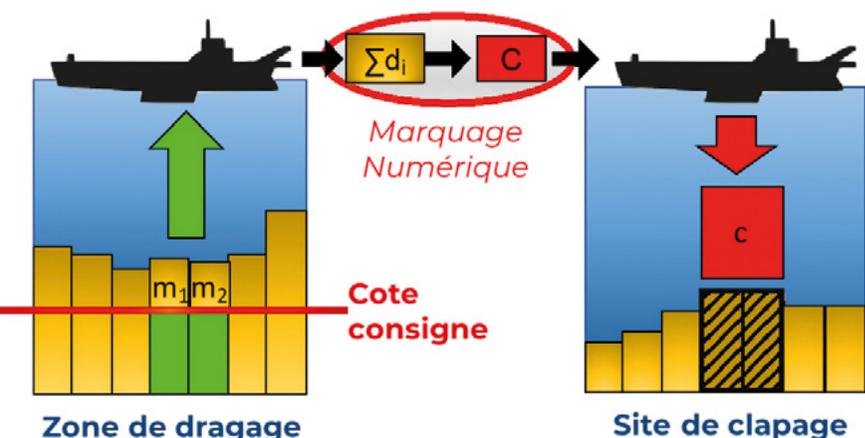
➡ Dragage à l'embouchure

Un recours à la modélisation qui apporte des résultats uniques

Pour appréhender l'importance du dragage sur le **fonctionnement hydro-sédimentaire*** de l'estuaire de la Seine, les outils de modélisation développés depuis de nombreuses années par l'Ifremer dans le cadre du programme Seine-Aval ont été mobilisés et adaptés (voir l'article "La modélisation du fonctionnement physique de l'estuaire de la Seine"). Grâce à ces derniers, **il est maintenant possible de simuler les dragages, d'explorer différents modes de gestion et d'en appréhender les conséquences sur le fonctionnement de l'estuaire de la Seine.** Dans le modèle comme dans la réalité, les opérations de dragage

sont déclenchées en fonction de la cote du fond du chenal de navigation. Quand la cote minimale nécessaire pour la navigation est dépassée dans une zone, les matériaux déposés au-dessus de cette cote sont extraits et déposés au niveau du site d'immersion. En parallèle, le déplacement des sables et des vases dragués puis clapés est suivi numériquement. Le tout est simulé pendant plusieurs années pour couvrir l'ensemble des conditions hydrométéorologiques et appréhender l'évolution morphologique de l'estuaire sur le moyen terme.

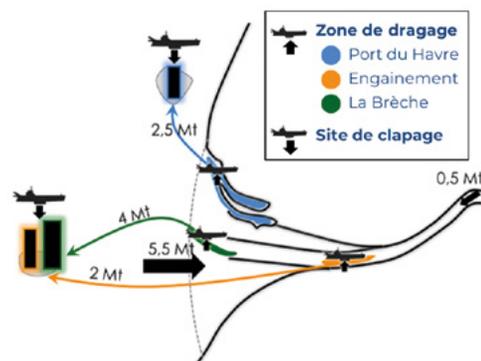
ILLUSTRATION DU TRAÇAGE NUMÉRIQUE DES SÉDIMENTS DRAGUÉS -
Lemoine, 2021. *Projet MEANDRES*

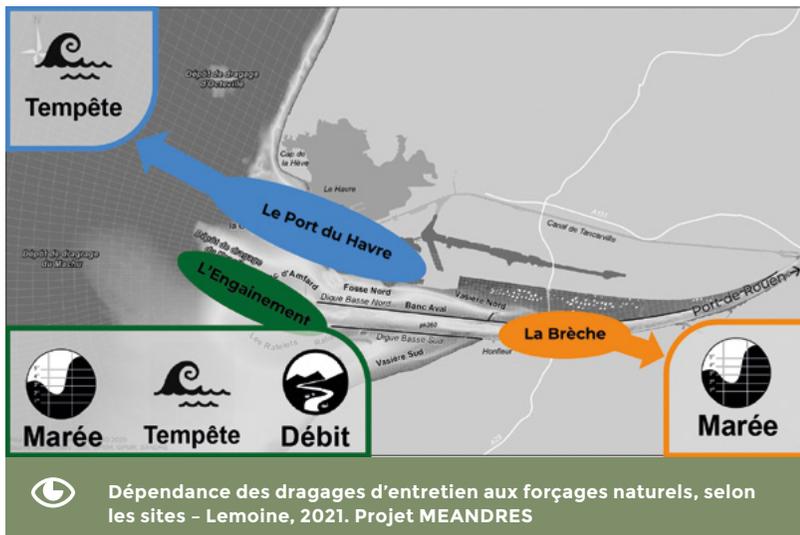


Des besoins en dragage maximaux en période hivernale

Les premiers résultats de ce travail ont permis de mettre en évidence les sites et les périodes pendant lesquelles les besoins en dragages sont maximaux. 90% des besoins de dragage sont concentrés sur les zones de navigation dites de « La Brèche », de « l'engainement » et au niveau des accès au Port du Havre, où les profondeurs sont artificiellement importantes. **Ces besoins en dragage sont maximaux lors des périodes de fortes agitations hivernales, à savoir les marées de vives eaux*, les tempêtes et les crues.** Les conditions de débit et la force des tempêtes sont déterminantes pour les besoins de dragage et peuvent les faire varier du simple au double. Durant les périodes les plus intenses d'un point de vue hydro-sédimentaire, plusieurs dizaines de milliers de tonnes de sédiments sablo-vaseux se déposent chaque jour en Seine, avant d'être dragués et clapés en mer. Jean Philippe Lemoine nous aide à contextualiser ce chiffre et à se rendre compte de son importance : « *le clapage* des sédiments en mer génère un flux sédimentaire 10 fois plus important que les apports continentaux et sont du même ordre de grandeur que les flux de sédiments marins qui entrent dans l'estuaire.* »

SCHÉMATISATION DES FLUX SÉDIMENTAIRES ASSOCIÉS AU DRAGAGE / CLAPAGE À L'EMBOUCHURE DE LA SEINE - Lemoine, 2021. *Projet MEANDRES*





Glossaire

Le **dragage** consiste à extraire des matériaux (vase, sable) déposés au fond d'un cours d'eau. Ils peuvent être ensuite déposés à terre ou immergés sur un site dédié. On parle alors de **clapage**.

Le **bouchon vaseux** est une zone d'accumulation de matières en suspension propre aux estuaires. Il évolue au gré des marées et des conditions hydrologiques.

Le **fonctionnement hydro-sédimentaire** d'un estuaire traite du déplacement des sables et des vases en lien avec le mouvement des eaux.

Une **marée de vive eau** est une marée de forte amplitude, avec un coefficient supérieur à 90, correspondant aux périodes de pleine et nouvelle lune.

Des effets sur la dynamique sédimentaire

A l'échelle de l'estuaire de la Seine et à moyen terme (10 ans), les simulations montrent que **le dragage d'entretien n'a pas d'effets significatifs sur la turbidité rencontrée en estuaire**. En effet, elle est déjà naturellement très forte et les courants de marée remobilisent les sédiments de manière beaucoup plus importante que ne peut le faire le dragage : nous parlons ici d'un ratio de l'ordre de 1 sur 10 000 entre les sédiments remobilisés par dragage et ceux remobilisés naturellement !

Par contre, si l'on raisonne en termes de déplacement net de sédiment, les résultats montrent que **les dragages génèrent des flux résiduels nets du même ordre de grandeur que les phénomènes naturels**. En effet, l'export vers le milieu marin généré par les opérations de dragages/clapages représente un déplacement net annuel d'environ 8,5 millions de tonnes de sédiments, soit environ

2,5 millions de tonnes de plus que ce qui est apporté naturellement par la mer et par la Seine. Malgré un retour vers l'estuaire de 50 % des sédiments immergés en mer, ce déficit sédimentaire induit par les dragages génère une érosion de l'embouchure, contraire à la tendance naturelle de comblement. *« Ainsi, en freinant le comblement, le dragage limite indirectement la disparition de certains secteurs clés de l'estuaire, notamment ceux*

50 % des sédiments clapés en mer reviennent dans l'estuaire

de la fosse nord ». Au final, dans un estuaire approfondi pour les besoins de la navigation comme celui de la Seine, les dragages d'entretien constituent un forçage de première importance.

Toutefois, dans l'actuel contexte de changement climatique, **cette moindre disponibilité sédimentaire pourrait compromettre la résilience naturelle du système**. En effet, des études menées dans d'autres estuaires montrent que les zones intertidales pourraient, si les apports sédimentaires sont suffisants, s'élever en suivant l'élévation du niveau marin. En revanche, dans un contexte de moindre disponibilité sédimentaire, **l'amont de l'estuaire serait plus sensible à la montée des eaux et aux événements climatiques**, telles que les tempêtes, en raison de profondeurs plus importantes et donc d'une propagation facilitée de l'énergie "marine" vers l'amont.

 Plus d'infos

Lemoine J. P., 2021. **Dynamique morpho-sédimentaire de l'estuaire de la Seine : Rôle des dragages d'entretien**. Thèse de doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale. 242p.



<https://www.seine-aval.fr/projet/meandres>

Les vasières, des milieux clefs pour l'écosystème estuarien

Les estuaires sont des milieux très productifs qui permettent à de nombreuses espèces de poissons, d'oiseaux ou de mammifères marins de se nourrir, se reproduire et se reposer. Leur alimentation repose sur une succession de maillons biologiques, dont les crustacés, les vers et les mollusques en composent un compartiment essentiel. Ces organismes sont particulièrement présents dans les vasières d'embouchure qui constituent ainsi un milieu déterminant pour tout l'écosystème estuarien.

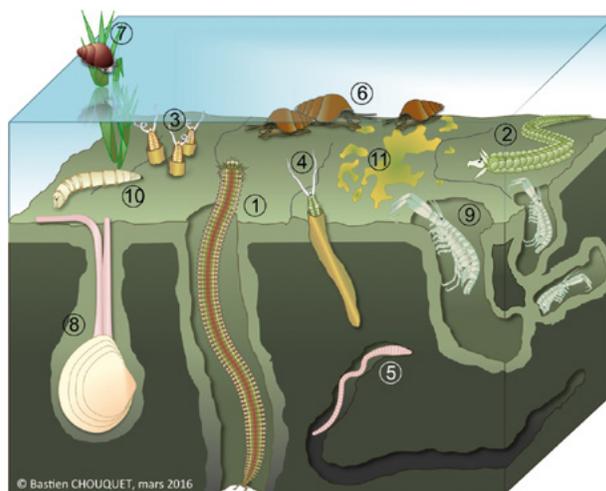
Quels sont les facteurs qui déterminent l'expression de ces différents organismes ? Comment leur présence a-t-elle évolué au cours du temps dans l'estuaire de la Seine ? C'est à travers la mobilisation de données historiques et la mise en œuvre de suivis dédiés que les scientifiques ont apporté un éclairage nouveau sur l'importance de ces communautés dans le fonctionnement global de l'estuaire de la Seine.

Une vie aquatique très riche dans les vasières à l'embouchure de la Seine

Dans les vasières de l'estuaire de la Seine, la vie est omniprésente, avec de nombreux oiseaux qui viennent se nourrir à marée basse et des poissons que l'on imagine nombreux lorsque l'eau remonte. De multiples petits invertébrés, comme des vers, des bivalves ou des crustacés sont également présents dans les premiers centimètres du sédiment : c'est le **macrozoobenthos**. Derrière ce nom, se cache une diversité d'espèces dont la **présence dépend des caractéristiques du milieu** : nature des sédiments, vitesse des courants, salinité, niveau d'oxygénation, érosion et dépôt sédimentaire, etc. « Ces organismes sont considérés comme de bons indicateurs de la qualité écologique du milieu, car ils sont sédentaires et réagissent aux modifications des conditions du milieu » nous explique Sami Souissi, écologue à l'Uni-

versité de Lille et coordinateur du projet SENTINELLES. Dès lors, ils sont scrutés pour suivre et comprendre les évolutions du milieu, en lien avec le rôle fonctionnel de

cette biodiversité et les services écosystémiques qu'elle procure. Un intérêt particulier a été porté aux vasières en rive droite de l'embouchure de la Seine.



Annélides	
1.	<i>Hediste diversicolor</i>
2.	<i>Eteone longa</i>
3.	<i>Pygospio elegans</i>
4.	<i>Polydora ciliata</i>
5.	<i>Balldirilius costatus</i>
Mollusques	
6.	<i>Peringia ulvae</i>
7.	<i>Assiminea grayana</i>
8.	<i>Macoma balthica</i>
Arthropodes	
9.	<i>Corophium volutator</i>
10.	<i>Hydrophorus oceanus</i> (larve)
Végétaux	
11.	Microphytobenthos (communauté de micro-algues)

ORGANISMES PRÉSENTS DANS LES VASIÈRES D'EMBOUCHURE
Chouquet B., 2016 (CSLN)

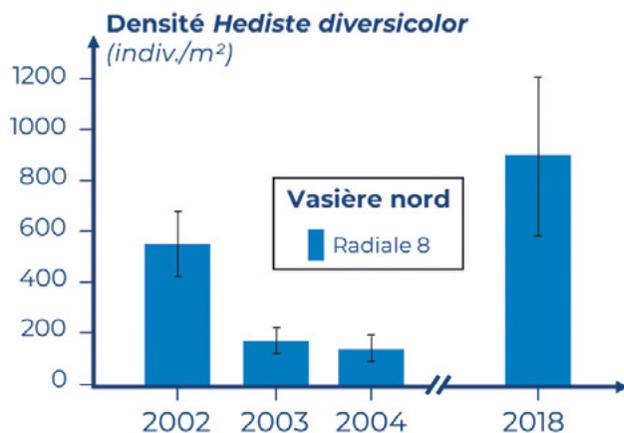
Des communautés benthiques qui évoluent au cours du temps

Pour appréhender l'évolution des communautés benthiques* dans le temps, les données de suivi acquises depuis les années 2000 dans la vasière Nord de l'embouchure de la Seine ont été mobilisées par les chercheurs. Elles ont permis de distinguer six assemblages d'espèces qui s'expriment différemment selon les sites et les années. Ces variations temporelles semblent être liées à des composantes du milieu, comme le débit de la Seine, les apports en nutriments (azote, phosphore) et la teneur en chlorophylle α^* dans l'eau ; mais aussi à des évolutions physiques liées à des aménagements. « Les très faibles niveaux d'abondance observés entre 2000 et 2004 pourraient être liés aux perturbations induites par les travaux de Port 2000 (2001-2005). En effet, pen-

dant cette période et malgré des paramètres environnementaux favorables à la macrofaune benthique, des faibles densités ont été observées » nous décrypte le scientifique. Depuis, une augmentation de la biomasse de macro-faune benthique est observée dans le secteur, ce qui peut *a priori* être interprété comme favorable à l'écosystème dans son ensemble.

Une augmentation de la biomasse de macrofaune benthique par rapport au début des années 2000

DENSITÉ MOYENNE D'HEDISTE DIVERSICOLOR À L'EMBOUCHURE DE LA SEINE – Souissi et al., 2021. Projet SA6 SENTINELLES



Les scientifiques se sont plus spécifiquement intéressés à quelques espèces, dont le ver annélide *Hediste diversicolor* qui est particulièrement présent dans les vasières à l'embouchure de la Seine. Son état de santé et la dynamique de la population avaient déjà été suivis au début des années 2000 et de nouvelles acquisitions de données en 2018 ont permis d'établir un comparatif à plus de 15 ans d'intervalle.

Les résultats montrent que l'état de santé général de la population d'*Hediste diversicolor* s'est amélioré. Les vers sont en effet plus nombreux, plus gros, grandissent plus vite et investissent plus d'énergie dans leur reproduction. Ces résultats sont encourageants et témoignent du caractère essentiel de ces milieux pour soutenir les réseaux trophiques estuariens.



Expérimentation d'ensemencement biologique dans des quadrats de 0,25 m²

Une activité de bioturbation qui influe sur l'évolution des vasières ...

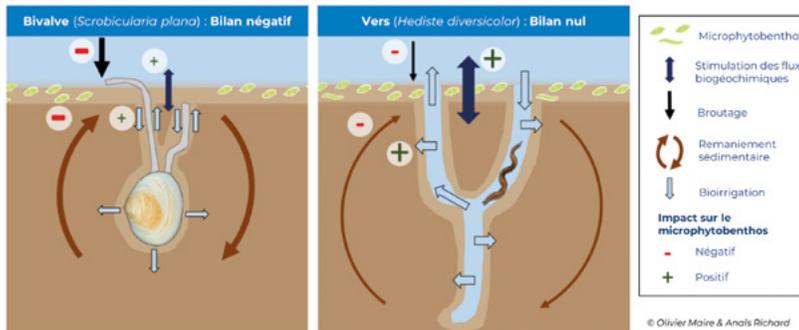
A la surface de ces vasières intertidales, il est possible d'observer de nombreux trous de terriers et des tortillons de sédiments. Il s'agit des traces de la présence d'organismes dits « bioturbateurs », comme les vers ou des bivalves, qui ont la capacité de s'enfouir dans le sédiment, de l'ingérer et de l'excréter. « Avec les collègues de 12 équipes scientifiques, nous avons étudié le rôle de ces organismes dans le fonctionnement écologique des vasières » nous explique Francis Orvain, écologue à l'Université de Caen et co-coordonateur du projet PHARESEE. Pour cela, une expérimentation originale a été menée sur deux sites de la vasière nord : elle a consisté à suivre de petits secteurs de la vasière dans lesquels ont été ajoutés des vers (*Hediste diversicolor*) ou des bivalves (*Scrobicularia plana*) pour estimer le rôle de ces organismes bioturbateurs dans l'évolution des vasières. Bien que ce soient les processus physiques et climatiques qui guident le fonctionnement sédimentaire d'une vasière et qui déterminent si elle s'érode ou si elle s'engraisse, les bioturbateurs peuvent accompagner cette dynamique sédimentaire. Avec ou sans présence de

ces organismes, des différences de quelques centimètres de hauteur de vase sont observées : les bivalves ont ainsi un rôle déstabilisateur qui favorise l'érosion de la vase, alors que les vers aident à la stabiliser. En lien avec cet impact

Les vers contribuent à la stabilisation des vasières

qui est le plus nettement visible, les chercheurs du projet PHARESEE ont cherché à identifier les effets sur d'autres variables (croissance des **microalgues benthiques***, flux de sels nutritifs à l'interface, oxygénation, production bactérienne).

... et favorise la production de microalgues



IMPACT DES BIOTURBATEURS SUR LA PRODUCTION DE MICROPHYTOBENTHOS EN CONDITIONS ESTIVALES – Orvain & Huguet, 2021. Projet SA6 PHARESEE

L'activité de bioturbation participe également au recyclage de la matière organique et à la diffusion des nutriments et de l'oxygène dans le sédiment, l'effet saisonnier (lumière et température) expliquant principalement les variations d'activité des micro-organismes et de minéralisation de la matière organique. La nature des sédiments est une autre variable qui joue sur l'intensité de ces processus, les sédiments vaseux - plus cohésifs que les sédiments sableux - limitant la photosynthèse et le développement des biofilms algaux. La **faune benthique*** peut également avoir **un rôle sur les flux de nutriments à l'interface eau/sédiment**. Ainsi, une forte densité de vers favorise le transport de l'oxygène en profondeur, ce qui stimule

les réactions microbiennes, rend plus disponibles les nutriments et *in fine* permet une plus forte croissance des microalgues présentes en surface du sédiment (le microphytobenthos). Or, ces dernières sont la principale source de nourriture pour des organismes comme les bioturbateurs. « **De par leur activité de remaniement sédimentaire et leur capacité de bioirrigation, les vers favorisent donc la production de leur propre nourriture** » nous résume Arnaud Huguet, biogéochimiste à Sorbonne Université et co-coordonateur du projet PHARESEE.

Cet ensemble de résultats, originaux en milieu estuarien, constitue un pas en avant vers la compréhension du fonctionnement des vasières d'embouchure. Ce travail a mis en évidence les interactions entre les processus physiques, biogéochimiques

et biologiques qui s'expriment au sein de ces habitats et affirme le rôle central des organismes bioturbateurs dans leur fonctionnement. « Avancer sur la compréhension du fonctionnement de ces vasières va maintenant nous permettre de **consolider les préconisations pour la restauration écologique de ces milieux clefs** pour le fonctionnement de l'écosystème estuarien » concluent les scientifiques.

Glossaire

Les **communautés benthiques** correspondent aux organismes qui vivent en lien avec les fonds aquatiques. On distingue le **phytobenthos** (végétaux) et le **zoobenthos** (animaux).

Les **bioturbateurs** regroupent les organismes qui ont la capacité de s'enfouir dans le sédiment, de l'ingérer et de l'excréter.

La **chlorophylle a** est un pigment photosynthétique caractéristique des algues, dont le suivi permet d'évaluer le développement du phytoplancton.

Plus d'infos

Souissi S. (coord.), Tackx M., Mouneyrac C., 2021. **Projet 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**. Rapport de recherche du programme Seine-Aval 6, 73 p.

Orvain F. & Huguet A. (coord.), 2021. **Projet 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 réhabilitation des vasières de la Seine Estuarienne**. Rapport de recherche Seine-Aval 6.



<https://www.seine-aval.fr/projet/sentinelles/>
<https://www.seine-aval.fr/projet/pharesee>

Le plancton, témoin des changements de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine

Le phytoplancton* regroupe une très grande diversité d'algues microscopiques qui, par le biais de la photosynthèse, sont responsables de la production de biomasse végétale, autrement dit la production primaire. En tant que nourriture principale du zooplancton*, le phytoplancton se situe à la base des chaînes alimentaires en milieu aquatique, surtout dans le domaine pélagique*. Cependant, le développement des différentes communautés phytoplanctoniques est dépendant d'un apport équilibré en nutriments, sous peine d'engendrer des dysfonctionnements de l'écosystème, comme des désoxygénations ou des blooms algaux parfois toxiques.

© Philippe Laforge

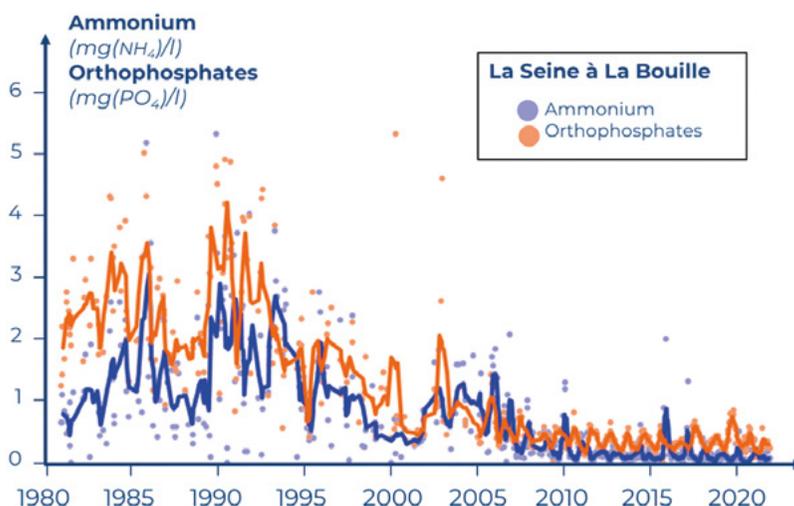
Qu'en est-il de la présence du plancton en estuaire de Seine ? Comment réagit-il face aux évolutions récentes des concentrations en nutriments dans le cours d'eau ? C'est grâce à un suivi des paramètres physico-chimiques, du phytoplancton et du zooplancton que les scientifiques ont mis en évidence des évolutions récentes dans l'estuaire de la Seine.

Des concentrations en nutriments qui évoluent favorablement

Parmi les nombreux éléments qui transitent dans les cours d'eau, les nutriments comme l'azote, le phosphore et la silice ont une place particulière car ils sont indispensables à la croissance des algues. Cependant, selon leurs concentrations et des paramètres environne-

Les concentrations en ammonium et en phosphore ont été largement réduites depuis 20 ans

mentaux comme la température, ils peuvent engendrer des changements importants dans la compo-



CONCENTRATIONS EN AMMONIUM ET ORTHOPHOSPHATES DANS LA SEINE, À LA BOUILLE - Données AESN

sition des communautés phytoplanctoniques. Ils ont également une responsabilité dans le développement d'efflorescences algales, dont certaines peuvent être toxiques et avoir des implications sanitaires en cas de consommation de coquillages contaminés (ex. *Dinophysis*).

De fortes concentrations en azote et en phosphore ont longtemps été observées en Seine, engendrant des proliférations algales en baie de Seine et des désoxygénations récurrentes en estuaire lors des périodes les plus chaudes. Les efforts de traitement et la réduction de certaines sources,

notamment urbaines, ont permis **une réduction sensible des flux à la Seine pour l'ammonium et le phosphore**, particulièrement depuis les années 2000, réduisant les effets néfastes pour l'homme et le milieu.

Une production primaire qui repart ?



➔ Mesure de la production algale lors d'une remontée de Seine

La croissance des algues phytoplanctoniques est particulièrement sensible à ces apports en nutriments, dont l'intensité et l'équilibre sont déterminants pour l'ensemble du réseau trophique. Lors de conditions favorables (éclairage, température), **le phytoplancton se développe et peut produire des efflorescences plus ou moins importantes**. Une des méthodes utilisées pour évaluer ce développement consiste à suivre un

des apports en nutriments. **Des concentrations importantes en chlorophylle a ont cependant été mesurées durant les étés 2019 et 2020 en aval de Rouen**. Des suivis spécifiques ont montré une **zone très productive entre La Bouille**

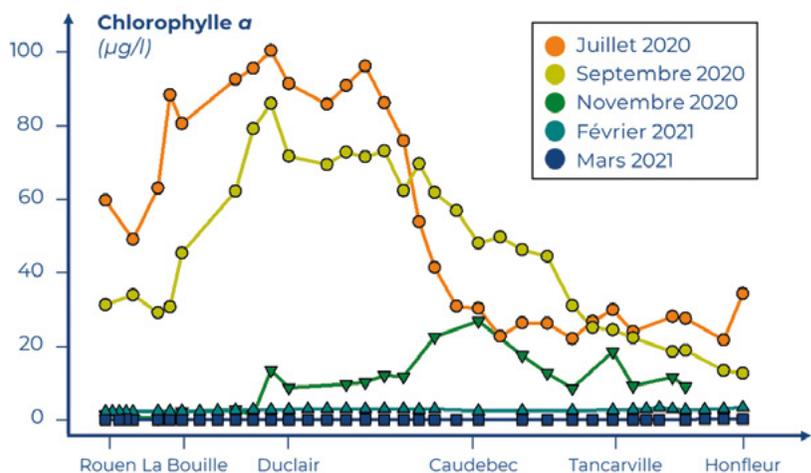
et Caudebec-en-Caux, avec une forte consommation d'orthophosphates et de silice, ainsi qu'une importante production de biomasse algale. « *Les différents indices nous montrent qu'il ne s'agit pas d'une accumulation de matière végétale potentiellement néfaste pour le milieu, mais bien à une production locale alimentant le réseau trophique* » nous précise Pascal Claquin, biologiste à l'Université de Caen Normandie. Même si la genèse de cette production n'est pas complètement élucidée, le fonctionnement hydrologique de l'estuaire et le passage de la masse d'eau dans l'agglomération rouennaise semblent déterminants. Afin de favoriser cette production primaire à l'échelle de l'estuaire de la Seine, la compréhension des processus représente ainsi un enjeu d'importance pour la restauration écologique de l'estuaire !

Des pics de chlorophylle a observés en conditions estivales à l'aval de Rouen en 2019 et 2020

pigment photosynthétique caractéristique des algues : **la chlorophylle a**. Sa concentration a été largement réduite en Seine depuis les années 2000, suite à la baisse

LES CONCENTRATIONS DE CHLOROPHYLLE a LE LONG DE LA SEINE MONTRENT DES PICS EN CONDITIONS ESTIVALES À L'AVAL DE ROUEN

Claquin et al., Projet SA6 SARTRE



Des conditions de vie favorables en eau douce pour le zooplancton

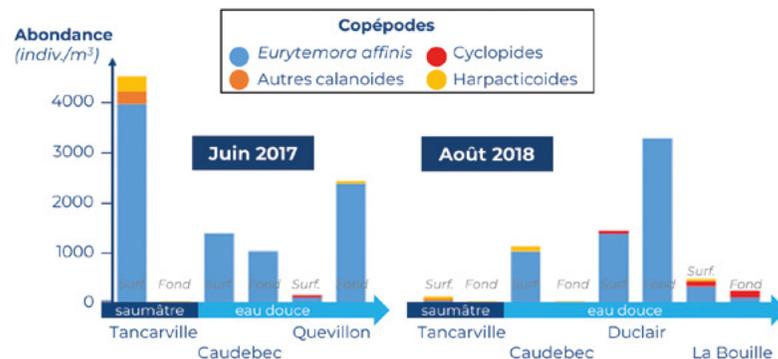


© Philippe Laforge

Cette production primaire représente une source d'alimentation pour le **zooplancton***. Avec leur capacité de nage limitée, ces petits animaux sont souvent entraînés par les courants et s'alimentent principalement de phytoplancton. Suivis depuis de nombreuses années dans la zone de gradient de salinité, leur étude a été étendue à la partie d'eau douce de l'estuaire de la Seine. **Les copépodes constituent une partie importante du mésozooplancton** (organismes entre 0.05 et 2 mm) et sont eux même fortement dominés par l'espèce *Eurytemora affinis*. Elle dépasse souvent les 1000 individus par m³ et représente 75% de la biomasse zooplanctonique à l'aval de Rouen. C'est cette même espèce qui domine la communauté zooplanctonique en eau saumâtre

Une colonisation des eaux douces de l'estuaire par le copépode *Eurytemora affinis*

et sa présence plus en amont démontre sa capacité à coloniser les eaux douces estuariennes. **Cette répartition spatiale, récente pour l'estuaire de la Seine, semble**



ABONDANCE DES COPÉPODES ADULTES OBSERVÉS EN ESTUAIRE DE SEINE - Souissi et al., 2021. *Projet SA6 SENTINELLES*

être reliée à une amélioration de la qualité des eaux. « Par un suivi régulier, long terme et multidisciplinaire dans l'estuaire de l'Escaut (Belgique), il a été montré que les teneurs en oxygène devaient dépasser 5 mg/l et les concentrations en NH₄⁺ être inférieures à 0,8 mg/l pour que cette espèce puisse se développer en abondance » nous précisent Michèle Tackx et Sami Souissi, respectivement spécialistes du zooplancton à l'Université de Toulouse et de Lille. Or, ces conditions sont observées en Seine à l'aval de Poses depuis 2010, ce qui pourrait expliquer la colonisation des eaux douces par *Eurytemora affinis* observée actuellement. Autre élément d'intérêt, leur poids est plus élevé en eau douce que saumâtre, suggérant de meilleures conditions de vie dans la partie en amont de Tancarville.

Les résultats acquis sur le phytoplancton et le zooplancton en estuaire de Seine montrent des évolutions récentes en réponse à une amélioration de la qualité physico-chimique des eaux, allant dans le sens d'une **meilleure productivité du système estuarien**. Dans un contexte de changement climatique et de volonté de restauration écologique de milieux naturels, **l'intégration de ces compartiments planctoniques dans le suivi à long terme du milieu présente un intérêt fort** pour répondre aux enjeux d'évolution de l'estuaire.

Glossaire

Le **plancton** désigne les organismes vivant en eaux douces, saumâtres ou salées et qui se déplacent de façon relativement passive dans la colonne d'eau. Il peut être végétal (**phytoplancton**) ou animal (**zooplancton**).

Plus d'infos

Souissi S. (coord.), Tackx M., Mouneyrac C., 2021. **Projet 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**. Rapport de recherche du programme Seine-Aval 6, 73 p.



<https://www.seine-aval.fr/projet/sentinelles/>

Le transfert de contaminants chimiques dans la chaîne alimentaire

En lien avec leur présence dans les milieux aquatiques et selon leurs propriétés, de nombreuses substances chimiques peuvent être transférées vers les organismes aquatiques et s'accumuler le long de la chaîne alimentaire. La présence de ces contaminants peut avoir des effets néfastes pour les individus et exercer une toxicité dans le réseau trophique*.

© Philippe Laforge

Qu'en est-il pour la contamination chimique de l'estuaire de la Seine ? Comment ces contaminants sont-ils transférés dans le réseau trophique ? C'est à travers des mesures sur deux poissons plats, le flet et la sole, que les scientifiques ont tenté de répondre à ces questions.

Un intérêt particulier pour les poissons à l'aval de l'estuaire

L'estuaire de la Seine est une zone d'importance pour la réalisation du cycle de vie de nombreuses espèces de poissons, que ce soit pour leur reproduction, leur croissance ou leur migration. Cependant, **le niveau de contamination chimique des différents habitats peut faire peser un risque écologique sur certaines populations, en réduisant la capacité reproductive future des juvéniles, en limitant la survie des organismes, ou en impactant leur état de santé global.** Ces risques sont particulièrement élevés pour les espèces qui fréquentent les vasières d'embouchure, comme les juvéniles de sole qui s'y nourrissent avant d'aller se reproduire en baie ou le flet qui peut les fréquenter durant tout son cycle de vie. Ces deux espèces ont fait l'objet d'une attention particu-

lière de la part des équipes scientifiques du programme Seine-Aval, via **l'étude du transfert de contaminants chimiques et de leurs effets délétères potentiels sur les organismes.** « Pour la sole, dont la population adulte dépend en partie de la survie des juvéniles qui croissent en estuaire de Seine, nous avons réalisé plusieurs campagnes

de suivis pour décrire l'imprégnation, la dynamique spatio-temporelle et la **bioamplification*** de la contamination dans leur réseau trophique, pour différentes familles de contaminants organiques persistants d'intérêt historique ou émergent » nous précise Pierre Labadie, chimiste au CNRS et à l'Université de Bordeaux.

HBCDD Composé bromé Propriétés ignifuges Utilisation dans les mousses isolation thermique et les textiles Usages réglementés	PCB Composés chlorés Propriétés isolantes Interdits d'usages	PFAS Composés fluoroalkylés Propriétés surfactantes Utilisation dans les mousses anti-incendie les textiles, les emballages,... Usages réglementés pour qq composés
--	--	---

➔ Les contaminants organohalogénés suivis chez la sole dans le cadre du projet Seine-Aval CHOPIN

Une qualité dégradée des habitats de vasière et une contamination tout au long de la chaîne alimentaire

Les suivis réalisés dans les sédiments prélevés dans la partie aval de l'estuaire de la Seine confirment l'**omniprésence de polluants historiques à des niveaux significatifs**, notamment pour les métaux ou les PCB*. La contamination est cependant moindre que dans les années 2000, témoignant des efforts menés pour réduire la pression chimique sur la Seine. Pour les **organohalogénés émergents** que sont les PFAS* et l'HBCDD*, les scientifiques ont montré leur **présence dans l'estuaire de la Seine**, à des niveaux comparables à ceux mesurés en Gironde. « *Cependant, la contamination est hétérogène selon les secteurs considérés et aucune évolution saisonnière n'a été identifiée* » nous précise Pierre Labadie.



➡ Juvénile de sole

Des contaminants historiques et émergents présents à des niveaux parfois importants

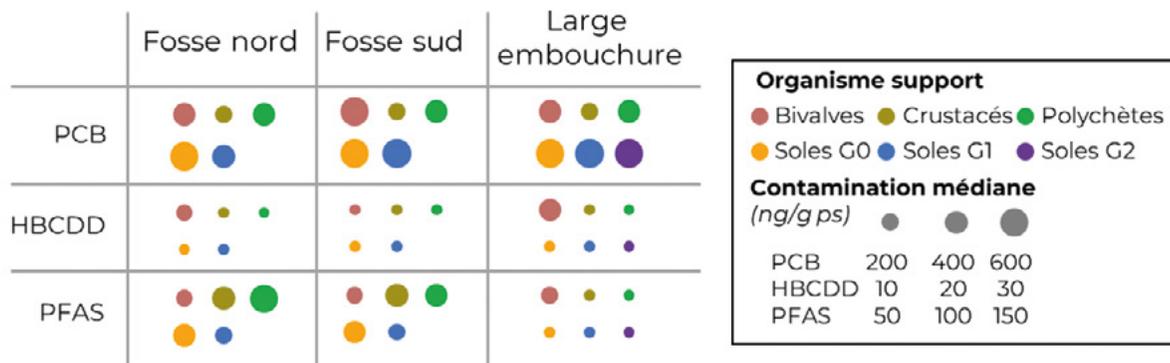
Vivant sur le fond et en relation directe avec le sédiment, les espèces benthiques sont bien souvent des proies pour les poissons et les oiseaux qui se nourrissent sur les vasières. Elles jouent ainsi un rôle déterminant dans le transfert des contaminants des sédiments vers

les maillons plus élevés du réseau trophique. Dans la partie aval de l'estuaire de la Seine, tous les PCB et HBCDD ont été retrouvés dans les espèces suivies, alors que plusieurs PFAS/PFOS n'ont jamais été détectés, en cohérence avec leur faible pouvoir bioaccumulateur. **Le niveau de contamination des différents groupes étudiés (bivalves, crustacés, vers polychètes) est cependant extrêmement variable** selon les espèces et semble différer selon leur mode d'alimentation. De la même manière, **le régime alimentaire des poissons joue un rôle clef dans les apports en contaminants** par les proies et le niveau de bioaccumulation observé, notamment pour les PCB et les PFAS chez la sole. **L'âge est également déterminant dans les**

niveaux d'imprégnation mesurés chez ce poisson, avec des concentrations qui augmentent selon le **groupe d'âge*** pour les PCB et l'HBCDD ; alors qu'elles diminuent pour les PFAS du fait de leur dilution dans les tissus pendant la croissance et de leur excrétion plus rapide que celle des contaminants lipophiles (PCB et HBCDD). De manière plus générale, les juvéniles de soles présentent des niveaux de contamination importants (6 à 9 fois les niveaux observés en baie des Veys pour les PCB) qui affectent notamment leur croissance. Ce constat de contamination chimique est similaire chez le flet, avec d'importantes teneurs en PCB et en métaux, hérités de la contamination industrielle historique de la Seine.

IMPRÉGNATION CHIMIQUE DU BENTHOS ET DES POISSONS À L'EMBOUCHURE DE LA SEINE

Labadie et al., 2021. Projet SA6 CHOPIN



Des effets délétères sur les populations de poisson ?



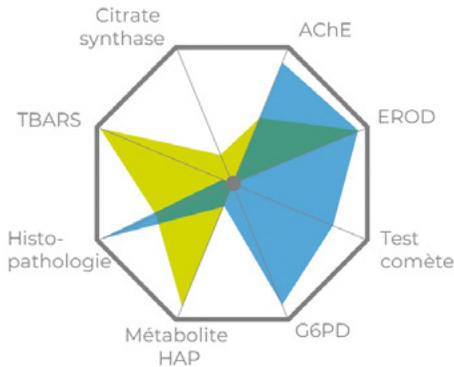
© Philippe Laforge

Ce stress chimique induit un coût physiologique pour les poissons qui y sont exposés. Les scientifiques ont notamment observé des dommages cellulaires, tissulaires et des effets sur le génome chez le flet adulte présent en estuaire de Seine. Cumulée au stress thermique induit par les changements climatiques, cette pollution chimique fait peser un **risque écologique sur les populations de poissons qui dépendent de l'estuaire**. Le suivi du cumul d'impact (chimique et thermique) semble ainsi être un axe de travail important pour aller vers une pré-

L'augmentation des températures induit un stress chez le flet

dition de la réponse des organismes aquatiques à la qualité de leurs habitats. Pour ce faire, l'acquisition de connaissances spécifiques et le développement de modèles de transfert de contaminants sont les outils à développer dans les années à venir !

EFFETS TOXIQUES OBSERVÉS CHEZ LE FLET - AMARA ET AL., 2020. PROJET SA6 HQ-FISH



Biomarqueurs (flet)

- Juillet 2018
- Janvier 2018



Glossaire

Un **réseau trophique** regroupe un ensemble d'organismes qui se nourrissent les uns des autres, à travers des relations entre les proies et les prédateurs.

La **bioamplification** correspond à une augmentation des concentrations de certains contaminants le long de la chaîne trophique.

Le **groupe d'âge** correspond au nombre d'hivers vécus par le poisson. Par exemple, un poisson qui a vécu 1 hiver fait partie du groupe 1 (G1).

PCB : polychlorobiphényles ; **HBCDD** : hexabromocyclo-dodecane ; **PFOS** : acide perfluorooctane sulfonique ; **PFOA** : acide perfluorooctanoïque ; **PFAS** : composés fluoroalkylés autres que PFOS/PFOA



Plus d'infos

Labadie P. (Coord.), 2021. **Projet CHOPIN : Contaminants organohalogénés historiques et d'intérêt émergent : Présence et transfert vers la sole commune - Impact de la contamination sur la nourricerie et conséquences sur la population**. Rapport de recherche du programme Seine-Aval 6, 110 p.

Amara R. & Laroche J. (Coord.), Cachot J., Couteau J., Devaux A., Devin S., Le Floch S., Minier C., Ouddane B., 2020. **Projet HQ-Fish : Impact de la qualité des habitats estuariens de la Seine sur le fonctionnement d'une population de poisson (flet)**. Rapport de recherche du programme Seine-Aval 6, 64 p.



<https://www.seine-aval.fr/projet/hqfish>
<https://www.seine-aval.fr/projet/chopin>

Les nurseries de poissons marins à l'embouchure de la Seine

Les vasières estuariennes sont des habitats essentiels pour de nombreux poissons marins, comme la sole ou le bar. Ils s'y nourrissent durant les premières années de leur vie, avant de rejoindre la mer où ils constituent une ressource halieutique d'importance. En estuaire de Seine, ces milieux subissent de nombreuses pressions et leur restauration est une priorité écologique forte.

© Philippe Laforge

Comment fonctionnent les nurseries d'embouchure ? Quelles sont les stratégies alimentaires des différents poissons qui les fréquentent ? Les scientifiques se sont appuyés sur un suivi renforcé pour apporter des éléments de réponse à ces questions.

Des zones de nurserie sous pression

L'embouchure de la Seine abrite des habitats de nurserie favorables à la croissance des juvéniles de nombreuses espèces de poissons, dont certains sont exploités par la pêche commerciale. Cela concerne particulièrement **les vasières intertidales qui sont parmi les habitats les plus productifs de l'estuaire et qui alimentent un réseau trophique très riche**. Depuis plusieurs décennies, ces habitats ont vu leur surface largement réduite et subissent, encore aujourd'hui, les effets cumulés des aménagements et d'une contamination chimique historique et persistante. Ces dégradations physiques et chimiques impactent directement la fonctionnalité de nurserie et peuvent avoir des répercussions écologiques importantes à l'échelle de l'estuaire et de la baie de Seine. **Le maintien et la restauration de ces habitats apparaissent ainsi comme une priorité pour améliorer la fonctionnalité écologique de l'estuaire de la Seine**. Pour accompagner cette volonté, des études sont menées pour comprendre le fonctionnement de ces milieux et identifier les leviers de leur restauration.



© Philippe Laforge

➡ Zone de nurserie à l'embouchure de la Seine

Une disponibilité de proies qui varie dans le temps et dans l'espace



➔ *Corophium volutator*, petit crustacé présent dans les vasières d'embouchure

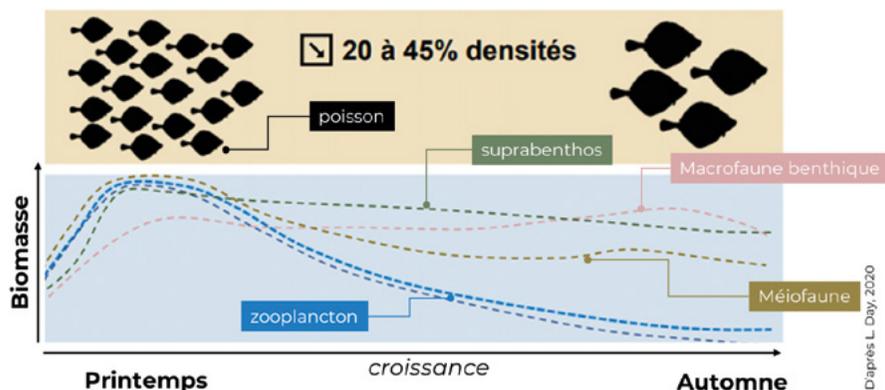
Pour définir l'importance relative des différents habitats de l'embouchure et les périodes clefs pour la fonction de nurserie de poissons, une étude s'est focalisée sur les **interactions trophiques entre le benthos et les poissons**. Plus précisément, elle visait 1) à estimer la **biomasse*** animale des principaux groupes taxonomiques et 2) à suivre l'évolution de la qualité trophique de ces habitats pour les poissons. « *Estimer l'importance*

Un suivi spécifique pour la sole, la plie, le bar et le merlan

des proies disponibles pour des poissons comme la sole, la plie, le bar et le merlan dans différents secteurs de la portion aval de l'estuaire et à des moments

contrastés de l'année est déterminant pour identifier les habitats les plus attractifs » nous éclaire Anik Brind'Amour, écologue à l'Ifremer et coordinatrice scientifique du projet Seine-Aval CAPES.

D'un point de vue temporel, **les proies des poissons sont particulièrement présentes au printemps**, période où sont observées les plus fortes biomasses. Les vasières contribuent ainsi à près de la moitié de l'alimentation des juvéniles de soles et de bars. **A l'automne, une limitation trophique semble se mettre en place**. Elle serait liée à une diminution des ressources alimentaires avec une baisse de la production des invertébrés benthiques, qui sont à la base de l'alimentation des juvéniles de poissons. Cette limitation automnale est renforcée par une forte pression de prédation sur les invertébrés benthiques par les jeunes poissons, dont les besoins sont croissants durant la période estivale. La scientifique illustre cela par un chiffre : « **84 % de la production de macrobenthos des vasières était consommée par les juvéniles de poissons durant l'automne 2017**, sachant que d'autres organismes, comme les oiseaux, se servent aussi des vasières comme garde-manger ! ». C'est pour cela que la capacité trophique maxi-



ÉVOLUTION DE LA BIOMASSE DES PRINCIPAUX GROUPES BIOLOGIQUES CONSOMMÉS PAR LES POISSONS DANS LA PARTIE AVALE DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE (SUIVI 2017) - Brind'Amour et al., 2021. Projet SA6 CAPES

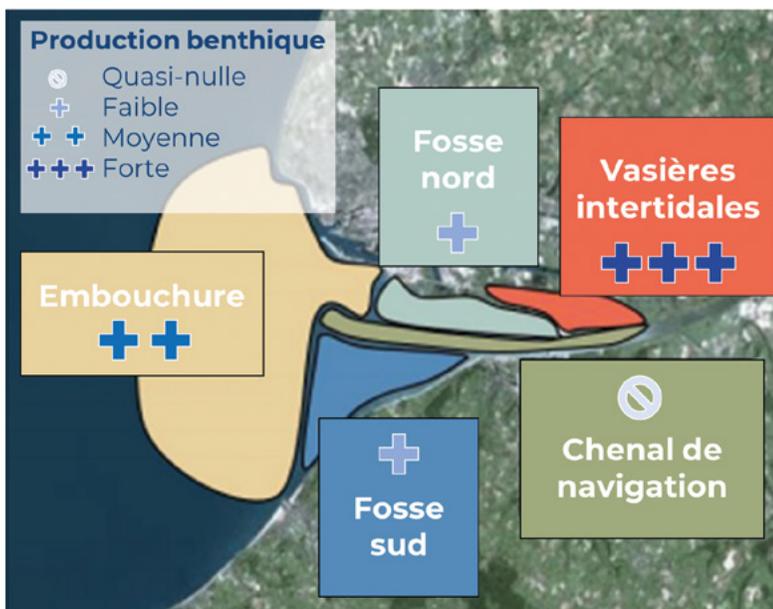


Filandre à l'embouchure de la Seine

male de l'embouchure de la Seine semblerait être régulièrement atteinte à la période automnale. Tous les secteurs de l'estuaire ne contribuent pas de la même manière à l'alimentation des juvéniles de poissons. Alors que le secteur de l'embouchure soutient une production benthique moyenne, il tient son importance trophique de sa grande surface qui permet la production de nombreuses proies et leur consommation par les pois-

Les vasières intertidales sont les milieux les plus productifs pour l'alimentation des juvéniles de poissons

sons. La **vasière intertidale nord** présente la plus forte densité de proies et **joue ainsi un rôle déterminant pour la nurricerie**, du fait de sa production benthique remarquable. Cependant, sa surface restreinte limite l'importance de ce rôle à une échelle plus globale. Les **fosses nord et sud** présentent une productivité moindre, avec une faible biomasse benthique et contribuent moins à l'apport trophique pour les nurriceries.



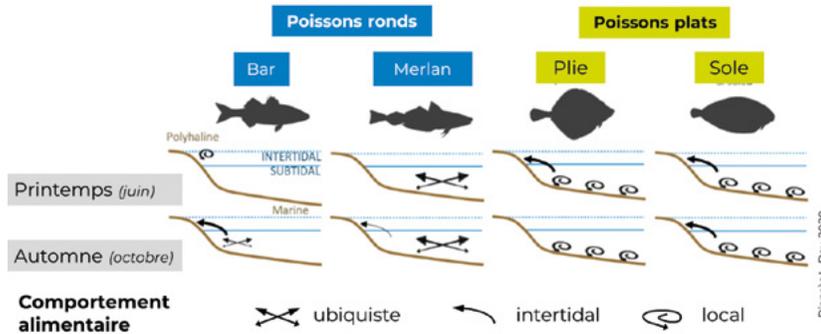
IMPORTANCE TROPHIQUE DES DIFFÉRENTS SECTEURS DE L'ESTUAIRE AVAL POUR LES JUVÉNILES DE POISSONS
Brind'Amour et al., 2021. Projet SA6 CAPES

Un comportement alimentaire qui varie selon les espèces de poisson

Au-delà de la densité de proies dans les différents habitats, les scientifiques ont regardé ce que consommaient différentes espèces de poissons pour comprendre leur comportement alimentaire. Pour les poissons plats comme la plie ou la sole, les résultats montrent qu'ils

se nourrissent principalement dans les habitats où ils sont capturés. Pour les poissons ronds, le comportement est tout autre. Le bar est, par exemple, retrouvé dans les vasières plus amont, qui représentent près de la moitié de son régime alimentaire. Le merlan

a, quant-à-lui, une stratégie d'alimentation qualifiée d'ubiquiste. C'est-à-dire qu'il se nourrit dans différents habitats pour cibler les proies qui présentent le plus fort gain énergétique.



COMPORTEMENT ALIMENTAIRE DES JUVÉNILES DE POISSONS À L'EMBOUCHURE DE LA SEINE
Brind'Amour et al., 2021. *Projet SA6 CAPES*

Une restauration écologique des nurseries efficace

Pour estimer l'impact d'une restauration des habitats de nurseries côtières et estuariennes sur la production de ressources halieutiques, des outils de modélisation ont été mobilisés. Plusieurs scénarios d'évolution de la population adulte de soles ont été prospectés sur la base de différents paramètres liés à la restauration des habitats pour cette espèce, à savoir 1) l'augmentation de la surface de vasières pour offrir une plus grande capacité d'accueil ; 2) la baisse de la contamination chimique permettant

une meilleure fécondité des poissons et une survie plus importante des larves. Les résultats sont sans équivoques : **une restauration des habitats estuariens de nurserie permettrait d'augmenter les captures de soles adultes en baie de Seine**. Cet effet bénéfique serait maximal en combinant une augmentation des surfaces de vasières et une baisse de la pression chimique.

Les travaux scientifiques menés sur les nurseries de poissons marins apportent une compréhension du fonctionnement de ces milieux et fournissent des outils précieux pour montrer le potentiel offert par l'estuaire de la Seine. Ils

doivent ainsi aider à prioriser et dimensionner les projets de restauration écologique de l'estuaire de la Seine pour en améliorer la fonctionnalité écologique.

Glossaire

La **biomasse** correspond à la quantité d'organismes vivants. Elle peut être mesurée par espèce ou par groupe animal ou végétal.

Plus d'infos

Brind'Amour A. (Coord.), Day L., Cresson P., Vogel C., Chouquet B., Pezy J.P., Dauvin J.C., Duhamel S., Le Bris H., 2021. **Projet CAPES : Capacité trophique des nurseries de poissons de l'estuaire de Seine**. Rapport de recherche du programme Seine-Aval 6, 70 p.

Labadie P. (Coord.), 2021. **Projet CHOPIN : Contaminants organohalogénés historiques et d'intérêt émergent : Présence et transfert vers la sole commune - Impact de la contamination sur la nurserie et conséquences sur la population**. Rapport de recherche du programme Seine-Aval 6, 110 p.



<https://www.seine-aval.fr/projet/capes>
<https://www.seine-aval.fr/projet/chopin>

Des territoires mouvants qui définissent l'estuaire de la Seine

La notion de territoire renvoie à des entités mouvantes dans le temps et l'espace, dont la délimitation est parfois floue. Elle est également dépendante des représentations sociales et des usages accueillis, ces derniers pouvant transformer en profondeur les paysages et définir des trajectoires d'évolution qui suivent des rythmes et des temporalités variées selon les espaces considérés.

Comment se définit le territoire de l'estuaire de la Seine ? Sur quels facteurs s'appuient les évolutions paysagères observées ? C'est avec une approche géo-historique et l'analyse de différents secteurs de la plaine alluviale de l'estuaire de la Seine que les scientifiques éclairent la question.

Une vision de l'estuaire définie par la chenalisation de la Seine

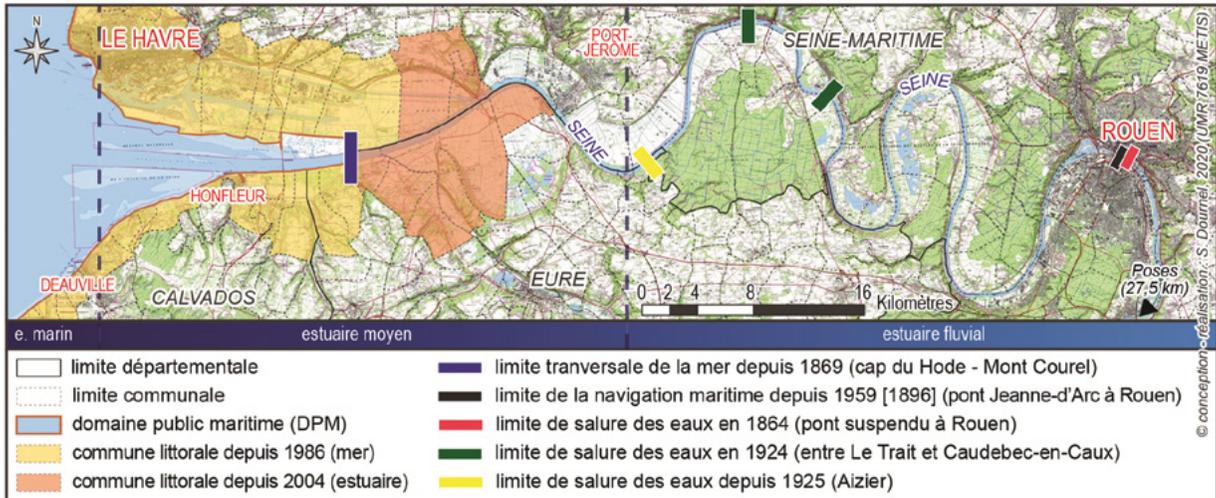
De Poses à la mer pour le GIP Seine-Aval, de Tancarville au Havre pour la Réserve Naturelle de l'estuaire de la Seine, de Fécamp à Ouistreham pour l'Agence d'Urbanisme Le Havre Estuaire de la Seine (AURH),... **les délimitations de l'estuaire de la Seine sont multiples** et différent selon les acteurs et leur représentation du territoire. Cet espace ne renvoie pas à une définition unique et ses contours sont parfois flous avec une pluralité de visions qui se déclinent à l'échelle locale, régionale et même nationale. *« Il est cependant marquant de constater que l'estuaire de la Seine est quasiment toujours défini par son axe longitudinal et que les espaces latéraux sont les*

grands oubliés des différentes représentations de l'estuaire » remarque Laurence Lestel, historienne de l'environnement à Sorbonne Université. **La représentation commune est dominée par la navigation**, dont l'intérêt

Des limites juridiques qui fluctuent dans le temps

économique et stratégique structure l'estuaire de la Seine. Cet usage a en effet profondément marqué le milieu, avec des

aménagement qui ont modelé l'espace depuis près de 200 ans en réduisant l'influence latérale de la marée et en déconnectant la plaine alluviale du cours de la Seine. Ces définitions multiples du territoire estuarien se retrouvent également sur le plan juridique, avec des limites parfois confuses et fluctuantes dans le temps, que ce soient pour la frontière entre le domaine public maritime et fluvial, la définition des communes littorales ou la limite de salure des eaux (frontière entre le champ d'application de la réglementation de la pêche maritime et de la pêche fluviale).



ÉVOLUTION DES ZONAGES RÉGLEMENTAIRES DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE - Lestel et al., 2021. Projet SA6 TRAESSI

Etudier les plaines alluviales pour comprendre l'évolution de l'estuaire

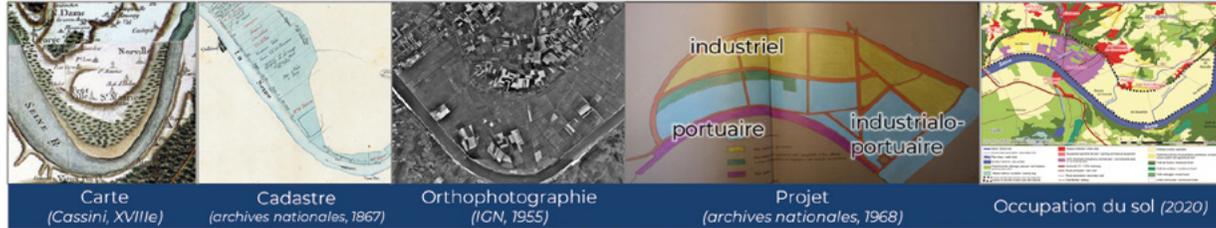
Même si la navigation reste le principal usage qui a guidé la transformation de l'estuaire, d'autres activités en complexifient l'unité et ont été déterminantes pour son évolution sur le plan latéral. **S'intéresser aux plaines alluviales latérales permet ainsi de mettre en relief une très grande diversité d'acteurs** investis dans l'exploitation, la gestion et la valorisation de cet ensemble territorial mal identifié. L'implantation d'activités industrielles, la mise en culture ou en pâturage des polders, l'extraction de granulats, la pratique de la chasse ou de la pêche, la préservation des zones humides, la valorisation des paysages, la restauration écologique des milieux... sont

autant d'exemples d'activités qui ont guidé l'évolution des plaines alluviales de l'estuaire et en déterminent encore le devenir. L'étude de la trajectoire paysagère de ces

plur les disciplines scientifiques, compiler nombre d'archives, mobiliser des photographies anciennes et rencontrer divers acteurs » nous explique la scientifique qui a coordonné un travail sur trois sites d'intérêt de la plaine alluviale : la plaine d'Honfleur, les marais de Norville à Tancarville et la boucle d'Anneville-Ambourville.

Les trajectoires de 3 sites de la plaine alluviale ont été reconstituées

milieux permet ainsi d'aborder l'influence des actions de la société sur leur évolution. « Pour retracer 200 ans d'histoire et reconstituer ces trajectoires, il nous a fallu cou-



➡ Exemple de documents mobilisés pour l'étude de la trajectoire des marais de Norville à Tancarville

Des paysages issus d'une trajectoire d'évolution à chaque fois unique et spécifique

Les trois sites étudiés présentent une diversité paysagère qui témoigne de l'hétérogénéité des milieux estuariens. Marqués aujourd'hui par des modes d'occupation des sols différents, leurs trajectoires d'évolution relèvent de combinaisons d'acteurs spécifiques issues de leur histoire.

La **boucle d'Anneville-Ambourville**, historiquement occupée par de petits propriétaires locaux, a été façonnée par l'exploitation industrielle des gravières au cours du XX^e siècle. La présence d'espèces rares et le classement en zone Natura 2000 a récemment

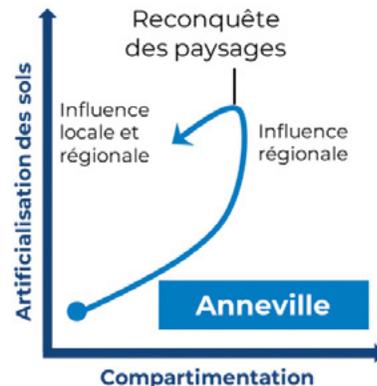
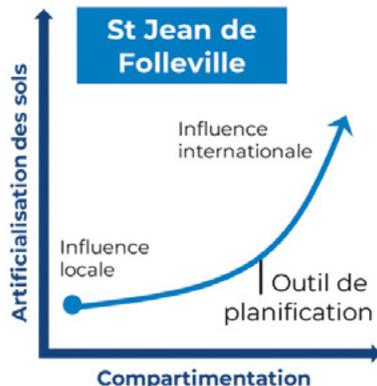
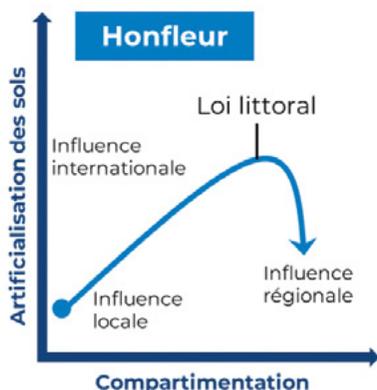
infléchi cette trajectoire vers une protection environnementale et paysagère de ces milieux.

L'évolution des **marais de Norville à Tancarville** témoigne de la trajectoire qui était omniprésente sur l'ensemble de l'estuaire dans les années 1960-70 et qui a conduit à un atterrissement et un assèchement de la plaine alluviale. Sous l'emprise très forte d'acteurs internationaux, les activités industrielo-portuaire et agricole sont dominantes, réduisant les zones d'intérêt écologiques à des emprises relictuelles.

L'évolution de la **plaine d'Honfleur** est marquée par des controverses récurrentes pour l'appropriation des zones humides atterries, entre associations locales, communes riveraines et acteurs industrialo-portuaires. Cette zone accueille aujourd'hui une alternance d'entrepôts portuaires, d'industries et de zones plus végétalisées, le tout structuré autour d'axes de transport routiers et ferroviaires. A noter, le rôle majeur de la loi littorale de 1986 dans la reconquête et l'appropriation des zones naturelles présentes dans le secteur.

DES TRAJECTOIRES CONTRASTÉES POUR LES TROIS PLAINES ALLUVIALES ÉTUDIÉES

Lestel et al., 2021. *Projet SA6 TRAESSI*



Ces exemples illustrent combien **l'estuaire a été et est encore un espace mouvant**. Dans les années à venir, il sera soumis à de nouveaux défis, notamment induit par le changement climatique avec une montée du niveau marin qui

pourra accentuer l'inondabilité et le caractère humide de la plaine alluviale estuarienne. « *Les représentations sociales de ces espaces, les intérêts socio-économiques et les mutations environnementales auront également un rôle déterminant pour la gestion intégrée de ces milieux* » conclut la scientifique.

Plus d'infos

Lestel L. (Coord.), Dournel S., Machemehl C., Sirot O., Lecoquierre B., 2022. **Projet TRAESSI : Trajectoire 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**. Rapport de recherche du programme Seine-Aval 6, 40 p.



<https://www.seine-aval.fr/projet/traessi>

Un référentiel sur les priorités de préservation et de restauration écologique des milieux estuariens

L'aménagement historique des vallées et des cours d'eau pour des usages urbains, agricoles, portuaires ou industriels s'est fait au détriment des milieux naturels. Ces dégradations ont eu des répercussions sur la qualité des eaux et des sédiments, la régulation des crues ou encore sur le cycle de vie des organismes estuariens. Depuis plusieurs années, des démarches de restauration écologique* s'engagent pour rétablir ces fonctions écologiques compromises par l'aménagement historique.

© Géraud Ranvier

Quelles sont les priorités de restauration écologique pour l'estuaire de la Seine ? Comment s'assurer de la pertinence et de l'efficacité des mesures mises en œuvre ? La démarche REPERE propose des orientations et une vision globale de la restauration écologique de l'estuaire de la Seine.

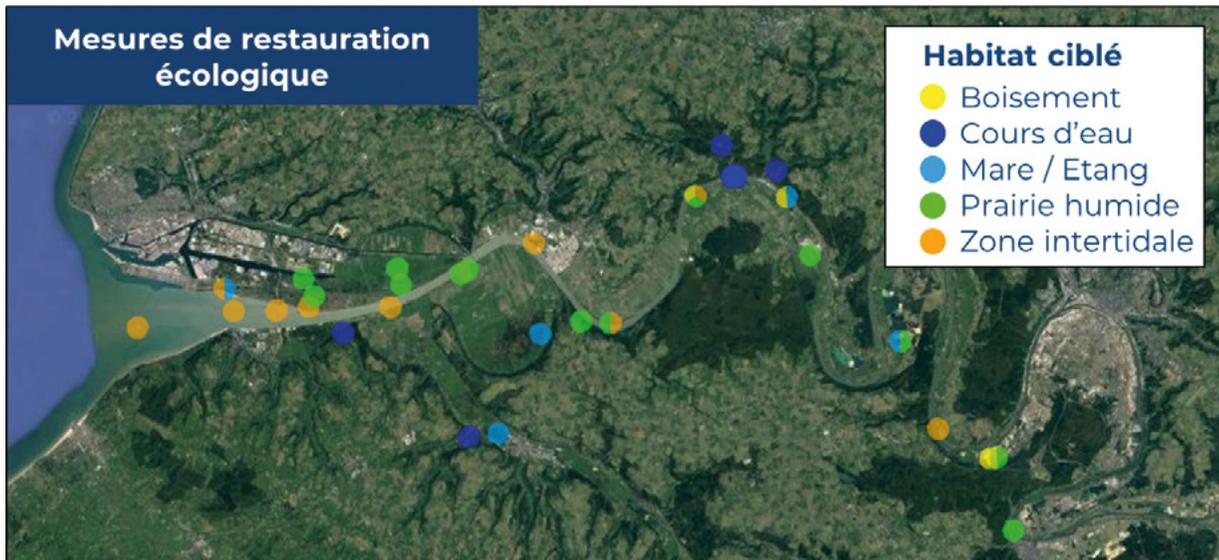
Une démarche collaborative à l'échelle de l'estuaire



Prairie humide à l'embouchure de la Seine

L'aménagement de l'estuaire de la Seine a conduit à une profonde modification des milieux naturels. Le fonctionnement écologique de l'estuaire s'en trouve dégradé, avec de nombreux dysfonctionnements observés : **réduction de la capacité de l'estuaire à épurer les eaux, raréfaction des habitats** pour la nidification, l'alimentation et le repos des oiseaux, pour la migration, la reproduction et la croissance des poissons. En réponse à ces dysfonctionnements et favorisés par une réglementation relativement récente et des initiatives locales, **des projets de restauration écologiques se multiplient dans l'estuaire de la Seine depuis une vingtaine d'années.**

Pour que ces mesures soient efficaces et complémentaires, le projet REPERE constitue une base à la mise en place d'une stratégie de restauration à l'échelle de l'estuaire de la Seine. « L'objectif de cette démarche est de fournir un **diagnostic des différentes fonctions écologiques*** des milieux



LES PRINCIPALES MESURES DE RESTAURATION ÉCOLOGIQUE MENÉES EN ESTUAIRE DE SEINE DEPUIS LES ANNÉES 2000 - *Observatoire environnemental de l'estuaire de la Seine*

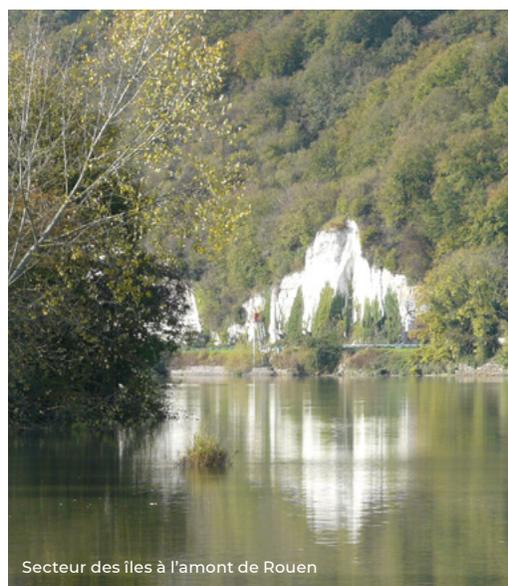
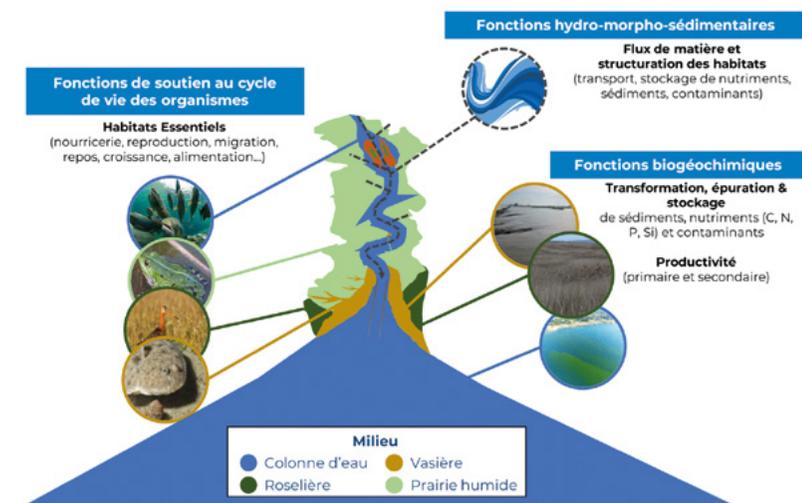
Depuis 2000, 31 projets de restauration écologique ont été dénombrés en estuaire de la Seine

estuariens de la vallée de la Seine et de proposer des **priorités de restauration écologique***, à l'échelle globale de l'estuaire » nous éclaire Manuel Muntoni, chargé de mission au GIP Seine-Aval et coordinateur du volet scientifique de cette démarche. Piloté par la DREAL Normandie, le volet réglementaire de cette démarche participe à la diffusion

et à la promotion de ces priorités, et aide à anticiper le respect de la réglementation lors de leur concrétisation. Au final, cette démarche favorise des échanges riches et productifs entre scientifiques et gestionnaires, et prépare la mise en œuvre des actions de restauration dans l'estuaire de la Seine.

FONCTIONS ÉCOLOGIQUES COUVERTES PAR LA DÉMARCHE REPERE

Muntoni, 2020. Projet REPERE





© HAROPA Port

➔ *Recréation d'une vasière dans la commune de Lillebonne suite à l'ouverture d'une brèche de 300m dans les digues de la Seine.*

Des orientations pour la restauration écologique de l'estuaire

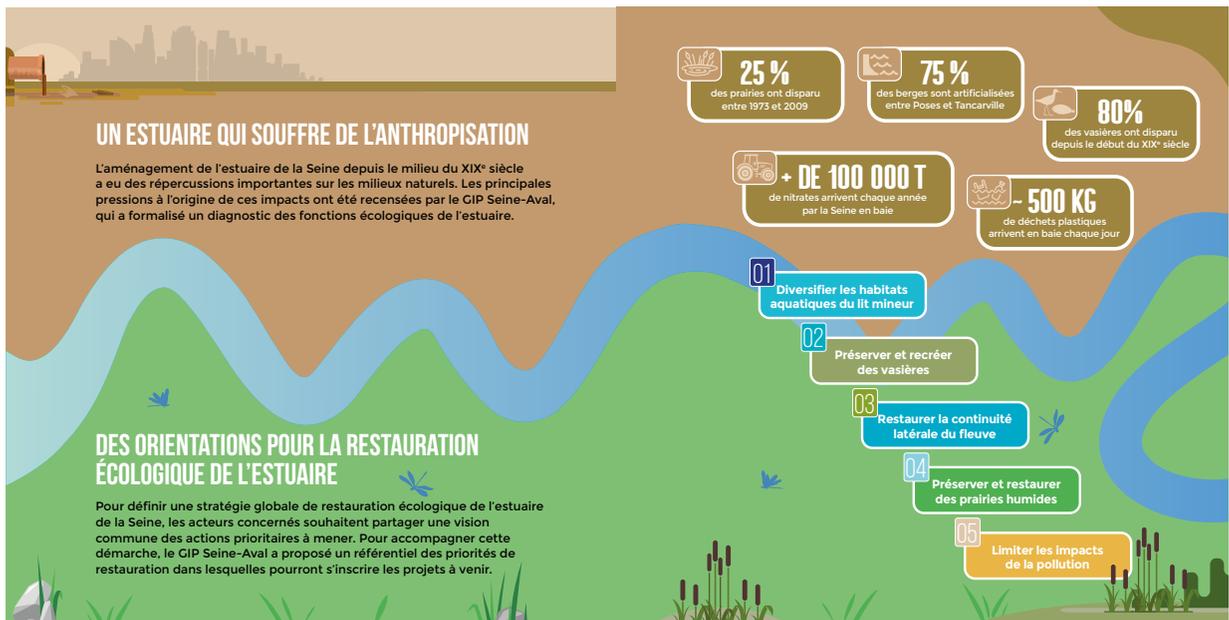
Une liste d'orientations pour la restauration écologique de l'estuaire a été définie en cohérence avec les dysfonctionnements mis en évidence par le travail de diagnostic. Ces orientations sont spécifiques à chaque secteur de l'estuaire et sont regroupées en cinq thématiques qui couvrent les enjeux prioritaires :

- Diversifier les habitats aquatiques du lit mineur
- Préserver et recréer des vasières

- Restaurer la continuité latérale du fleuve
- Préserver et restaurer des prairies humides

• Limiter les impacts de la pollution
Pour aider les maîtres d'ouvrage d'opérations de restauration ou d'aménagement, ces orientations sont traduites en actions opérationnelles. Ces propositions contribuent ainsi à définir la ou les mesure(s) adaptée(s) aux caractéristiques du site ou du milieu considéré.

5 orientations prioritaires et 14 actions préconisées pour la restauration écologique de l'estuaire de la Seine



➔ *Un diagnostic et des orientations pour la restauration écologique de l'estuaire de la Seine*

Des sites ateliers pour expérimenter

La démarche REPERE est maintenant engagée dans une seconde phase consacrée à la mise en œuvre locale et qui s'articule autour de sites ateliers expérimentaux de restauration écologique. Réalisés à l'échelle locale et en collaboration avec les porteurs de projet, ces sites visent à développer les connaissances sur la restauration écologique des milieux estuariens en vue d'**identifier les pratiques les plus pertinentes** à mettre en œuvre et à en **assurer un suivi** permettant d'évaluer leur efficacité. « Ce processus vise aussi à fournir des retours d'expérience que l'on

pourra partager avec tous les acteurs de la restauration » nous précise Manuel Muntoni. Pour s'engager dans une application concrète sur le terrain, une **dizaine de sites ateliers a été sélectionnée**, démontrant l'engagement collectif pour aller vers une restauration ambitieuse et globale de l'estuaire de la Seine.

une dizaine
de sites ateliers
pour expérimenter



© Jean-Michel Olivier - UMR CNRS 5023



➔ Reconnexion d'un bras mort pour restaurer une frayère à brochet dans l'île du Noyer sur la Seine.

Glossaire

Les **fonctions écologiques** englobent les processus (physiques, chimiques, biologiques) et leurs interactions avec les espèces et les milieux. Elles s'expriment à travers l'hétérogénéité et la complémentarité de mosaïques d'habitats, déterminent le fonctionnement d'un écosystème et les services rendus à l'Homme.

La **restauration écologique** est définie comme une action intentionnelle qui initie ou accélère l'auto-réparation d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit. Elle englobe donc les mesures qui visent à améliorer l'état écologique d'un système.ue.



Plus d'infos



Muntoni M., 2020. **Projet REPERE : Référentiel partagé sur les priorités de restauration des fonctionnalités des milieux estuariens de la vallée de Seine-Aval. Rapport d'étude du GIP Seine-Aval**, 94p.



<https://www.seine-aval.fr/publication/etude-repere/>

Les impacts de l'incendie « Lubrizol/NL-Logistique » sur la Seine

La Cathédrale Notre-Dame de Paris en avril, la station d'épuration Seine-Aval en juillet, les installations industrielles Lubrizol/L-Logistique en septembre : les incendies ont été nombreux en bord de Seine durant l'année 2019. Leur point commun réside dans les questions qui se sont posées sur l'impact sur la qualité de l'eau et la vie aquatique de la Seine, que ce soit à proximité de chaque incendie ou à plus large échelle ; sur le court terme ou le long terme.

© SOS Mar de Seine

Quels suivis environnementaux ont été mis en place suite à de tels événements ? Quels impacts ont été mesurés en Seine ? C'est à travers l'exemple de l'incendie sur les sites Lubrizol/NL-Logistique à Rouen, qu'un éclairage est apporté sur l'impact d'un tel accident sur l'estuaire de la Seine.

Un incendie industriel de grande ampleur en bordure de Seine

Le 26 septembre 2019 à Rouen, un incendie a touché les installations d'enfûtage et d'entreposage de l'usine de produits chimiques de la société Lubrizol, ainsi qu'un entrepôt voisin de la société NL-Logistique. Au-delà des questions sur le panache de fumée et les impacts potentiels sur la santé humaine, des **interrogations sur une possible pollution de la Seine** ont très vite émergé. En effet, une partie des eaux d'extinction de l'incendie a rejoint le Bassin aux Bois, en connexion directe avec la Seine à Rouen. Pour réduire l'ampleur de cette pollution, **le plan POLMAR a été déclenché**, permettant la mise en place de barrages flottants anti-pollution et la création d'un contre-courant de surface au

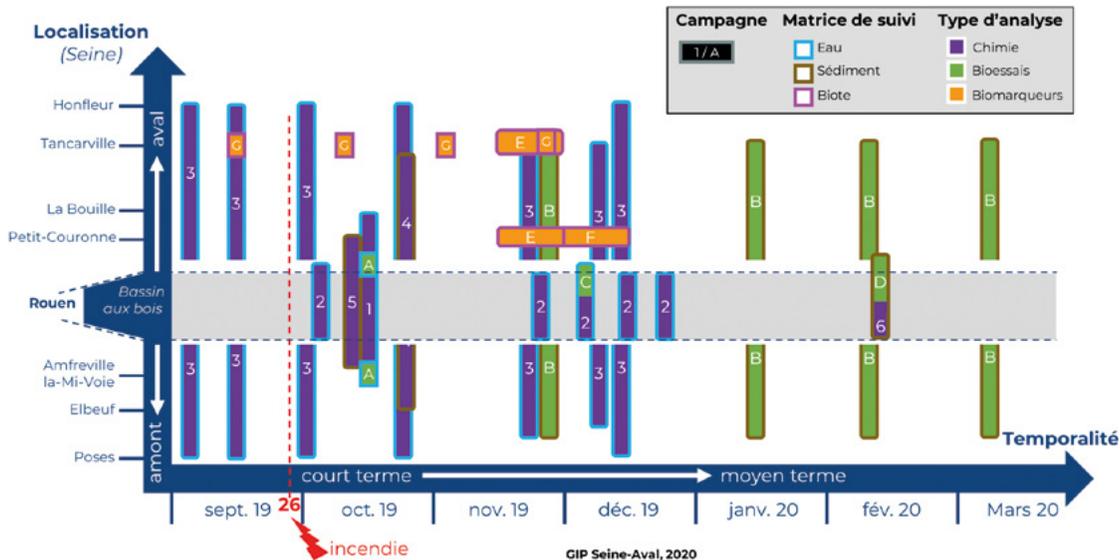
moyen de lances à eau. Ce dispositif visait à contenir la pollution dans le bassin pour en faciliter le pom-

page, permettre son traitement et limiter au maximum les apports polluants vers la Seine.



Barrage flottant positionné en sortie du bassin aux bois

© SOS Mar de Seine



Un mobilisation multi-acteurs pour suivre l'impact de l'événement

Pour évaluer les conséquences de l'incendie sur la Seine, **une large communauté d'acteurs s'est mobilisée pour mettre en place divers suivis environnementaux**. Au côté des acteurs institutionnels et des exploitants qui se sont attachés aux suivis réglementaires, des équipes scientifiques ont apporté outils et expertises pour élargir le spectre des questionnements investigués.

Plus de 30 campagnes d'analyse

« Nous avons cherché à évaluer la contamination chimique apportée par l'incendie, sa toxicité et ses impacts potentiels sur le vivant, le tout à des échelles spatiales et temporelles complémentaires » nous détaille Cédric Fisson chargé de mission au GIP Seine-Aval. En capitalisant et croisant les données acquises par l'ensemble des partenaires, **le GIP Seine-Aval a ainsi pu apporter des réponses objectives quant à l'impact de cet incendie sur la Seine.**



Des impacts essentiellement à court terme, à proximité du rejet



Pose de casiers pour évaluer un impact potentiel sur le flet et la crevette

Les principaux impacts détectés sont dus à un apport de **matière oxydable*** dans le Bassin aux Bois. Il a engendré une **désoxygénation rapide des eaux et une mortalité piscicole au sein de ce dernier. Un enrichissement en hydrocarbures et en zinc** associé à une légère toxicité a

Pas d'impacts décelés en Seine, en dehors du Bassin aux Bois

également été mesuré dans les eaux et les sédiments du bassin, sans pour autant pouvoir quantifier la part apportée directement par l'incendie par rapport à celle déjà présente antérieurement. A l'échelle de la boucle de

Rouen, des concentrations parfois élevées en hydrocarbures ont été mesurées dans les semaines qui ont suivi l'incendie, tout en restant dans la fourchette haute de la contamination chronique habituellement mesurée en Seine. **Aucune toxicité spécifique directement liée à l'incendie n'a donc été mesurée en Seine**, que ce soit à proximité du bassin ou à l'échelle de l'estuaire. Enfin, le suivi de l'état de santé de crevettes et de poissons en Seine n'a pas montré d'effets en lien avec l'évènement. « *Le choix de rejeter les eaux d'extinction dans le Bassin aux Bois, l'activation du plan POLMAR, la capacité de dilution de la Seine et sa contamination chronique sont certainement les principaux facteurs qui expliquent qu'aucun impact n'ait été décelé en Seine* » nous explique Cédric Fisson.

Un retour d'expérience riche d'enseignements

« Cet incendie a également été l'occasion d'éprouver notre capacité collective à mettre en place, dans l'urgence, un suivi cohérent pour rechercher les impacts potentiels d'un événement accidentel sur la Seine » nous détaille Cédric Fisson. Trois enseignements majeurs ressortent selon lui de cette expérience : 1) l'importance de **disposer de données de suivi récurrentes et pérennes** sur la Seine et les bassins portuaires ; 2) la nécessité de mettre en place des **suivis spécifiques et complémentaires** lors d'un épisode engendrant un apport en contaminants dans le milieu ; et 3) le besoin de **développements méthodologiques** pour évaluer au mieux l'impact d'un pic de polluants sur l'écosystème estuarien. Ces éléments font partie des priorités d'action à venir pour le GIP Seine-Aval, afin d'avoir des éléments objectifs à mobiliser lors des prochaines pollutions de la Seine.

Glossaire

La **matière oxydable** correspond à la partie biodégradable de la pollution présente dans un échantillon d'eau. Elle se compose essentiellement de matière organique carbonée ou azotée.

Plus d'infos

Fisson C., Aït-Aïssa S., Amara R., Couteau J., Laroche J., Le Roux J., Pichereau V., Xuereb B., 2020. **Incendie du 26 septembre 2019 des installations « Lubrizol / NL-Logistique » : Quel impact sur la Seine ?** Rapport d'étude réalisé par le GIP Seine-Aval, 62p.



https://www.seine-aval.fr/publication/impact_incendie-sept19/

La vallée de la Seine face au risque inondation

Élévation du niveau marin, intensification des événements météorologiques extrêmes, changement du régime des pluies... Avec les effets en cours et à venir liés au changement climatique, nos sociétés vont faire face à un renforcement du risque inondation dans les prochaines décennies. Les estuaires y sont particulièrement vulnérables, car ils concentrent de nombreux enjeux sur des terrains à faible altitude, soumis aux tempêtes et aux crues.

© AESN

Quels sont les facteurs qui déterminent les inondations par débordement de la Seine dans sa partie estuarienne ? Quels sont les secteurs les plus vulnérables de la vallée ? Grâce à la modélisation de nombreux scénarios, le risque inondation a pu être appréhendé de manière fine à l'échelle de la vallée de la Seine normande.

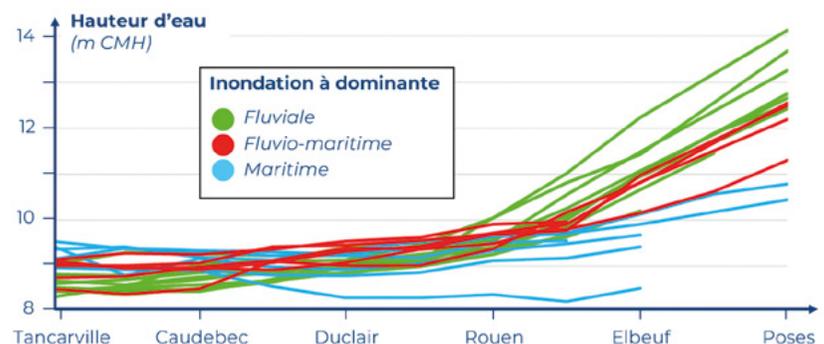
Des inondations récurrentes, mais très différentes

Depuis le début du XX^{ème} siècle, plus de 25 inondations importantes ont été répertoriées dans l'estuaire de la Seine. Nous pouvons citer janvier 1910 pour la crue de référence de la Seine, décembre 1999 pour la « tempête du siècle » ou février-mars 2020 pour les inondations les plus récentes. Bien que récurrentes, **ces inondations présentent des causes, des intensités et des temporalités toujours différentes.** Jean Philippe Lemoine, chargé de mission au GIP Seine-Aval, nous éclaire sur ces spécificités estuariennes : « *les crues de Seine*

impactent principalement l'amont de Rouen, avec une montée lente et progressive du niveau de la Seine, alors que les tempêtes toucheront de manière plus courte et soudaine la partie aval de l'estuaire ». Ces événements de crues et de

tempêtes peuvent également se combiner et impacter tout ou partie de l'estuaire. Cette complexité des inondations/submersions estuariennes, nécessite des études précises afin de **mieux anticiper et gérer les futures inondations.**

Plus de 25 inondations importantes en estuaire de Seine depuis 1900



→ Ligne d'eau maximale atteinte pour les principales inondations en estuaire de Seine depuis 1900

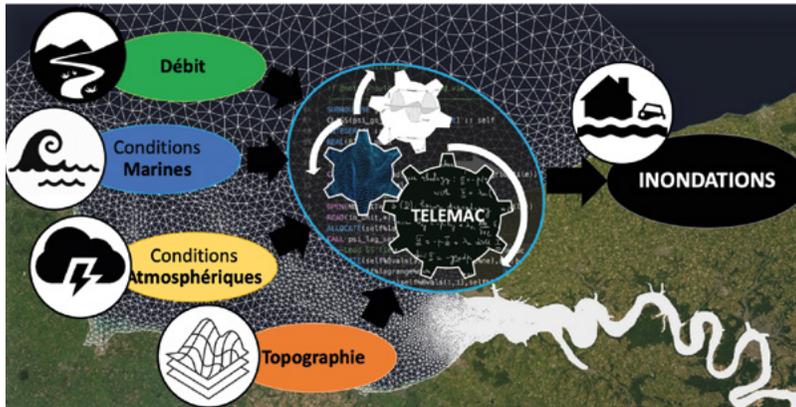
De nombreux scénarios d'inondation de la vallée de la Seine

Pour améliorer la compréhension des débordements de la Seine et notamment des événements extrêmes, **un modèle numérique a été développé**. Il englobe les 175 derniers kilomètres de la Seine de Poses jusqu'à la mer, et couvre une superficie de 1000 km² de

plaine potentiellement inondable. Les écoulements dans l'estuaire sont ainsi simulés en considérant les principaux **forçages*** à l'origine des débordements, à savoir ceux relatifs 1) au débit de la Seine et de ses principaux affluents ; et 2) aux paramètres météo-océaniques

(vent, pression atmosphérique et **surcote marine***).

Ce modèle a notamment été utilisé pour **simuler des scénarios théoriques de période de retour*** 30 ans et 100 ans sur quatre secteurs de l'estuaire, respectivement qualifiés de fluvial (Elbeuf), fluvio-maritime amont (Rouen), fluvio-maritime aval (Heurteauville) et maritime (Tancarville). **L'objectif de ces simulations est de quantifier la vulnérabilité du territoire face à des événements plausibles, mais jamais observés de débordements.** Ces simulations ont par ailleurs servi de base à l'étude du **rôle des murets anti-inondations**. Enfin, des scénarios plus extrêmes (période de retour 100 ans) ont également été testés en intégrant une élévation du niveau marin de 1 m pour **explorer l'impact potentiel d'une montée des eaux due au changement climatique.**



➔ Modélisation des inondations dans la vallée de la Seine.

Un territoire vulnérable aux inondations



Digue et muret anti-inondation en bord de Seine

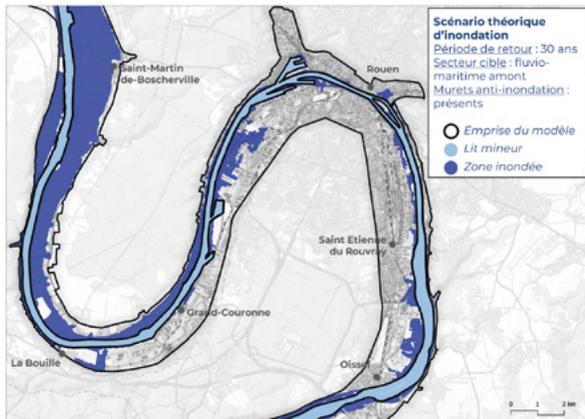
Ces simulations confirment **que la majeure partie de l'estuaire, de Poses à la mer, est exposée aux inondations**. Selon les secteurs, les forçages atmosphériques, maritimes ou fluviaux ont des effets différents. Nous retiendrons en particulier le rôle important des forçages maritimes et atmosphériques sur une grande partie de l'estuaire. De Rouen à la mer, les débordements sont ainsi largement dépendants de la météo marine rencontrée en baie de Seine.

Comme attendu, **les murets anti-inondation présents au sommet des berges de la Seine réduisent les débordements localement**. Cependant, en limitant l'étalement des eaux dans le lit majeur, **ils accentuent les niveaux de pleine mer lors des épisodes d'inondation**. La modélisation théorique d'une suppression de l'ensemble de ces murets montre une diminution du niveau d'eau atteint à Rouen de 10 à 20 cm pour un événement de période de retour 30 ans. Ces résultats mettent en avant l'intérêt de réfléchir à **la création de zones d'expansion de crue qui permettraient de laisser l'inondation de la Seine s'étendre latéralement en lit majeur, pour ainsi réduire les niveaux d'eau dans les zones à enjeux.**

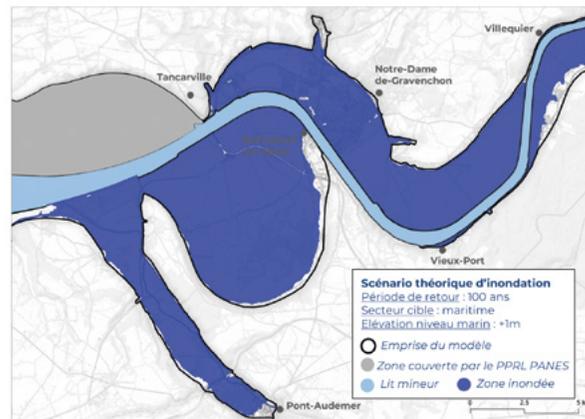
Les simulations avec une élévation de 1 mètre du niveau marin

montrent des impacts sur de nombreux secteurs de l'estuaire et révèlent **l'aggravation à venir de la vulnérabilité du territoire face au risque d'inondations par débordement de la Seine**. Les résultats des simulations montrent que cette augmentation du niveau marin se répercute sur les niveaux de pleine mer dans l'ensemble de l'estuaire, avec cependant une tendance à l'amortissement de ces impacts vers l'amont pour les scénarios avec des débits élevés.

Une vulnérabilité accrue avec le changement climatique



MODÉLISATION DES ZONES INONDÉES POUR UN SCÉNARIO DE PÉRIODE DE RETOUR 30 ANS SUR LA BOUCLE DE ROUEN - ARTELIA, 2021



MODÉLISATION DES ZONES INONDÉES POUR UN SCÉNARIO DE PÉRIODE DE RETOUR 100 ANS + 1 M D'ÉLÉVATION DU NIVEAU MARIN DANS LA PARTIE AVAL DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE - ARTELIA, 2021

Vers une gestion conjointe des inondations et des milieux aquatiques

En quantifiant la vulnérabilité des différents secteurs de l'estuaire aux débordements de la Seine, ces résultats fournissent des éléments

essentiels pour les collectivités riveraines de la Seine. Ce type de modélisation permet également de se projeter en contexte de changement climatique et d'étudier de nouvelles pistes de gestion. Par exemple, il va être possible de **tester l'efficacité de l'ouverture de champs d'expansion des crues** sur une baisse de la ligne d'eau en contexte d'inondation. Explorer ce type de solutions fondées sur la nature est d'autant plus intéressant qu'elles permettent également d'améliorer le fonctionnement de l'estuaire et d'accompagner sa restauration écologique. En effet, le développement de zones humides est primordial pour de nombreux organismes aquatiques et participe à l'épuration des eaux. **Concilier la prévention des inondations et la gestion des milieux aquatiques**, c'est justement le cœur de la compétence dite GEMAPI, qui a été confiée aux intercommunalités depuis 2018.



Glossaire

La **période de retour** est la durée (au sens statistique) entre deux occurrences de même intensité pour un événement. Par exemple, une crue de période de retour 30 ans a, chaque année, une chance sur 30 de se produire.

Les **forçages** correspondent aux processus, essentiellement physiques, qui agissent sur le milieu en provoquant des mouvements ou des changements d'état.

Une **surcote** correspond à une sur-élévation du niveau de l'eau du fait de phénomènes météorologiques, comme le vent ou un changement de la pression atmosphérique.



Plus d'infos



ARTELIA, 2021. **Modélisation des inondations en estuaire de la Seine : dynamique et emprise des inondations.** Étude réalisée pour le GIP Seine-Aval, avec le concours financier du fonds européen de développement régional (FEDER).



<https://www.seine-aval.fr/publication/etude-inondation/>



Conception : www.partenairesdavenir.com

Rédacteur en chef : Cédric Fisson

Contribution et relecture : équipe du GIP Seine-Aval, Rachid Amara, Anik Brind'Amour, Pascal Claquin, Arnaud Diarra, Florent Grasso, Arnaud Huguet, Pierre Labadie, Laurence Lestel, Francis Orvain, Sami Souïssi.

Crédits photos : GIP Seine-Aval, sauf mention contraire.

Les photos de Philippe Laforge sont extraites du film "L'estuaire de la Seine" de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie

GIP Seine-Aval

Hangar C - Espace des Marégraphes

CS 41174 - 76176 ROUEN Cedex 1

☎ 02 35 08 37 64

✉ gipsa@seine-aval.fr 🌐 www.seine-aval.fr 📺 [@gipseineaval](https://www.facebook.com/gipseineaval) 📺 [@gipseineaval](https://www.linkedin.com/company/gipseineaval)

