

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

Novembre 2019

Estuaire de Seine

TOUT S'EXPLIQUE !

# Le Programme Scientifique Seine-Aval 5

- Des experts scientifiques
- Des résultats marquants
- Des pistes pour la gestion

© AdobeStock - Tillo & Pego



Le GIP Seine-Aval est financé par :





## Hubert Dejean de la Bâtie

Président du GIP Seine-Aval  
Vice-Président de la Région Normandie  
en charge de l'environnement



## Jean-Michel Olivier

Président du Comité Scientifique  
du GIP Seine-Aval  
Ingénieur de recherche CNRS,  
Université de Lyon 1

**Le GIP Seine-Aval travaille à l'interface « Science – Gestion ». Comment appréhendez-vous cette mobilisation de la science comme aide à la gestion ?**

**HDB :** Pour mener à bien nos politiques sur l'estuaire de la Seine, il est indispensable d'inscrire notre démarche dans une perspective de développement durable. La compréhension du fonctionnement écologique de l'estuaire et le suivi de son état de santé nourrissent nos réflexions et guident nos actions. C'est cela qui justifie notre investissement collectif dans la recherche scientifique sur l'estuaire de la Seine.

**JMO :** Au-delà de l'intérêt de mener un travail scientifique sur un milieu particulièrement complexe comme l'estuaire de la Seine, le choix des questionnements et la stratégie de fléchage et de financement de la recherche scientifique soutenue par le GIP Seine-Aval sont avant tout déterminés par les besoins identifiés en regard des problématiques de gestion environnementale de l'estuaire. Cela implique une écoute des besoins des gestionnaires pour construire et mener des projets de recherche dont les débouchés pourront être utilisés pour guider leurs actions. Au cours des phases successives des programmes de recherche Seine-Aval, la place de cette interaction « Science-Gestion » n'a cessé de grandir et structure nos choix en termes de travaux de recherche.

**Avec cette nouvelle production « Tout s'explique ! », le GIP Seine-Aval veut rendre lisible les résultats de la recherche scientifique. Comment accueillez-vous ce nouveau venu ?**

**HDB :** Dans la poursuite des efforts de ces dernières années pour rendre accessibles les résultats acquis par le GIP Seine-Aval, cette nouvelle production met le focus sur la recherche scientifique. Ce transfert est indispensable pour rendre compréhensibles des travaux souvent complexes, mais toujours passionnants. À travers des thèmes variés et d'intérêt majeur pour le territoire, vous pourrez découvrir les dernières avancées de la science sur l'estuaire !

**JMO :** Le transfert des résultats des travaux de la recherche scientifique a pour premier objectif de produire des publications scientifiques, écrites ou orales, destinées avant tout au monde de la recherche. Dans le cadre des travaux de recherche financés par le GIP Seine-Aval et réalisés en concertation avec les membres du Groupement, la présente production prend le parti de vulgariser une sélection de résultats marquants de la phase 5 du programme Seine-Aval. Elle devrait vous permettre d'appréhender la richesse de l'activité scientifique menée sur l'estuaire de la Seine ces dernières années et d'ouvrir de nombreuses discussions.

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, douze 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, IRSTEA, BRGM, INRA...) et des laboratoires d'Université (Rouen, Caen, Le Havre, Lille, Bordeaux, Sorbonne Université, Anvers,...) pour mener les projets de recherche.

# Sommaire



<b>Un programme de recherche au service de la gestion de l'estuaire de la Seine .....</b>	<b>04</b>
<b>Des évolutions importantes du fonctionnement de l'estuaire depuis 50 ans .....</b>	<b>07</b>
<b>Un héritage lourd de l'industrialisation de la Seine sur la qualité des eaux .....</b>	<b>10</b>
<b>Une alimentation de l'estuaire par les nappes souterraines .....</b>	<b>13</b>
<b>Une présence de contaminants émergents dans les eaux de Seine .....</b>	<b>16</b>
<b>Des organismes aquatiques sous stress .....</b>	<b>18</b>
<b>Un écosystème estuarien qui dépend de la production primaire .....</b>	<b>21</b>
<b>Les habitats des poissons à la loupe .....</b>	<b>24</b>
<b>Associer le public pour réussir la restauration de l'estuaire .....</b>	<b>27</b>
<b>Le changement climatique est à l'œuvre dans l'estuaire .....</b>	<b>29</b>

# Un programme de recherche au service de la gestion de l'estuaire de la Seine



Depuis 1995, le programme de recherche Seine-Aval acquiert de la connaissance scientifique sur le fonctionnement écologique de l'estuaire de la Seine et suit l'évolution de son état de santé. Les priorités de recherche répondent aux préoccupations des acteurs de l'estuaire et sont alimentées par les problématiques impulsées par la communauté scientifique investie sur les estuaires.

**Comment les scientifiques se mobilisent-ils pour répondre aux attentes des gestionnaires ?**

**Quelles sont les thématiques d'intérêt pour l'estuaire de la Seine ? Voici les éléments de réponse pour la 5<sup>ème</sup> phase du programme scientifique Seine-Aval qui vient de se finaliser.**

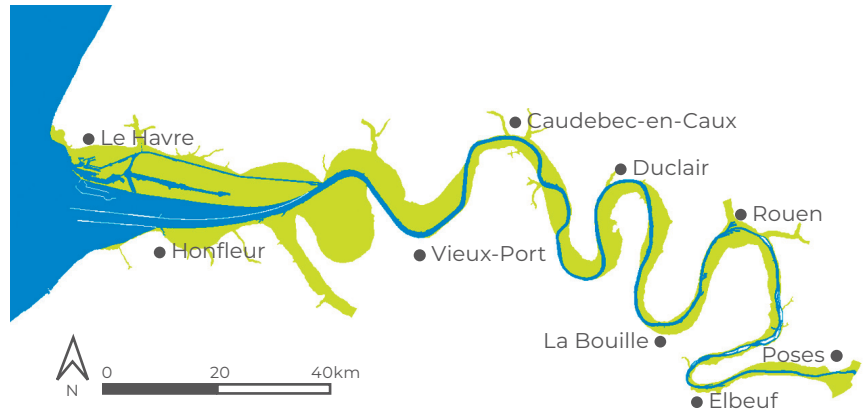
## Un programme à l'échelle de l'estuaire

Le programme Seine-Aval se concentre sur l'estuaire de la Seine, ce qui correspond à la partie aval du fleuve sous l'influence de la marée. Cela inclue les 170 derniers kilomètres de la Seine, du barrage de Poses à la baie. A cette délimitation longitudinale du **lit mineur\***, il faut ajouter les berges, les zones humides et tous les terrains en bord de Seine pouvant être en lien avec le cours d'eau et constituant le **lit majeur\***. Sur ce territoire, les projets sont nombreux et viennent croiser les enjeux environnementaux. « Une connaissance fine du fonctionnement de l'estuaire est donc néces-

## Le programme de recherche Seine-Aval perdue depuis près de 25 ans

saire, tant pour préserver l'équilibre des richesses écologiques, que pour garantir la mise en œuvre de projets viables sur le long terme. Les travaux de recherche conduits sous l'impulsion du GIP Seine-Aval permettent ainsi de produire et de partager cette connaissance, et de développer une vision commune de ces espaces. » nous explique Juliette Henri du service environnement et ressources naturelles de la Région Normandie. **C'est sur cet intérêt commun des scientifiques et des gestionnaires que s'est construit le programme de recherche Seine-Aval qui perdure depuis près de 25 ans !**

## L'ESTUAIRE DE LA SEINE, 170KM DE POSES À LA MER



L'estuaire de la Seine

● Lit majeur

● Lit mineur



Le barrage de Poses, entrée de l'estuaire de la Seine



Campagne de mesure sur la Seine

## Des travaux scientifiques au service de la gestion

Depuis 1995, plusieurs phases de travaux de recherche se sont succédées. **Une programmation pluriannuelle garantit une continuité dans les thématiques explorées et la compilation des acquis par le GIP Seine-Aval assure la prise en compte des résultats antérieurs dans les nouvelles recherches.** « Les projets mobilisent les apports de différentes disciplines scientifiques pour répondre aux questions des acteurs » nous précise Nicolas Bacq, coordinateur de l'activité scientifique et technique du GIP Seine-Aval. Les priorités de recherche ont cependant évolué au cours du temps pour répondre aux besoins des financeurs du GIP Seine-Aval. La définition d'objectifs de gestion clairs, partagés et réalistes visant l'amélioration du rôle écologique de l'estuaire se retrouve au cœur du contexte réglementaire et des enjeux de territoire. Ce besoin a guidé le choix des thématiques prioritaires pour construire les projets scientifiques de la phase 5 du programme Seine-Aval.

### THÉMATIQUES SCIENTIFIQUES PRIORITAIRES DU PROGRAMME SEINE-AVAL 5 : 2013-2018

- 1 **Dynamique de l'eau et des sédiments** Anticiper les évolutions physiques de l'estuaire
- 2 **Espèces et habitats** Comprendre le fonctionnement écologique de l'estuaire, identifier les dysfonctionnements et les priorités de restauration
- 3 **Qualité de l'eau et contamination** Gérer les risques pour l'écosystème
- 4 **Trajectoires socio-écologiques** Décrypter les enjeux sociétaux de l'environnement estuarien

# Un processus de sélection des projets

Une fois déterminés, les quatre grands axes de travail ont été déclinés dans un appel à projets largement diffusé auprès de la communauté scientifique européenne. Les équipes de recherche intéressées se sont alors mobilisées pour proposer des projets, intégrant souvent plusieurs disciplines scientifiques. Leurs propositions ont ensuite été évaluées, pour finalement aboutir à **une sélection de projets permettant d'apporter des éléments de réponse aux questions posées**. Pour celles restées sans réponse, des projets complémentaires ont été co-construits avec les scientifiques. Enfin, l'équipe du GIP Seine-Aval a mené des projets en interne pour, là encore, apporter un maximum d'éléments de réponse aux questions de ses membres. « *Tout au long de ce processus, l'équipe du GIP Seine-Aval et les experts du Comité Scientifique ont été mobilisés aux côtés des membres du GIP Seine-Aval pour les aider à décliner leurs attentes en termes de questionnements scientifiques et pour valider des projets les plus robustes possibles* » nous précise

Jean-Michel Olivier, président du Comité Scientifique du GIP Seine-Aval. **Au final, pour mener à bien les projets, l'équivalent annuel de plus de 30 scientifiques a travaillé sur l'estuaire de la Seine dans le cadre du programme Seine-Aval 5 !**

Les articles qui suivent reprennent quelques résultats marquants des projets scientifiques de la phase 5 du programme Seine-Aval. Cette sélection illustre la dynamique scientifique aujourd'hui développée sur l'estuaire de la Seine, en réponse aux questions de gestion posées par les acteurs de ce territoire.



➔ Rencontre d'acteurs de l'estuaire lors d'un séminaire technique



## Glossaire

**Le lit majeur** correspond à la plaine inondable d'un cours d'eau. Il est délimité par l'emprise des crues/tempêtes les plus importantes.

**Le lit mineur** est l'espace occupé par l'écoulement du cours d'eau, hors événement exceptionnel. En estuaire, il inclut l'espace de balancement des marées.

## CHIFFRES CLEFS



Seine-Aval 5, c'est :



**5 ans**  
de recherche



**21 projets**  
scientifiques



**36**  
laboratoires  
impliqués



**2.14 Md'€**  
investis par  
les membres  
du GIP Seine-  
Aval



## Plus d'infos

Bacq N., Olivier J.M. (Coord.), Berlincourt M., Billen G., Cachot J., Claquin P., Fisson C., Lemoine J.P., Lobry J., Muntoni M., Partanti E., Verney R., 2019. **Programme scientifique Seine-Aval 5 (2013-2018). Contexte et principaux acquis.** 110 p.

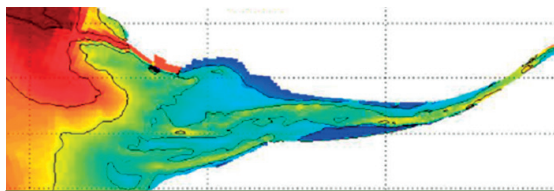


# Des évolutions importantes du fonctionnement de l'estuaire depuis 50 ans

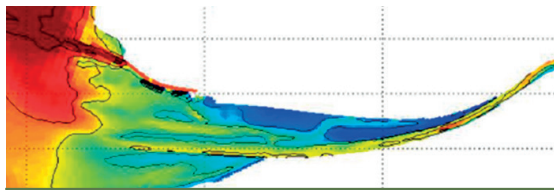
L'estuaire de la Seine a été largement aménagé depuis près de 200 ans, que ce soit pour sécuriser et faciliter la navigation, implanter de nouvelles activités industrielles, accompagner l'essor urbain, créer de nouveaux axes de transport ou transformer l'agriculture. La forme de l'estuaire en a été profondément modifiée.

Quels impacts ces modifications ont-elles eu sur le fonctionnement physique de l'estuaire de la Seine depuis les 50 dernières années ? C'est avec l'aide d'outils numériques que les chercheurs ont pu apporter de nouvelles réponses à cette question.

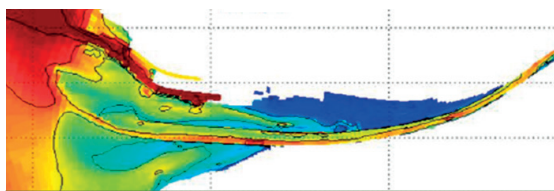
## UNE ÉVOLUTION MORPHOLOGIQUE FORTE DE L'ESTUAIRE DE LA SEINE DEPUIS 1960 - Le Hir & Grasso, 2018. Projet SA5 ANPHYECO



1960



1975



2010



Profondeur par rapport au niveau moyen des eaux (m)

## Des simulations numériques

Répondre à la question des conséquences de l'évolution de l'estuaire sur plusieurs dizaines d'années n'est pas simple. Les données historiques sont incomplètes, voire inexistantes dès que l'on veut travailler sur des périodes longues. « Le recours à la *modélisation numérique*\* est une alternative intéressante pour accéder à des données d'évolution d'un système complexe comme l'estuaire de la Seine » nous explique Pierre Le Hir, chercheur en dynamique sédimentaire à l'Ifremer. C'est ce qui a été

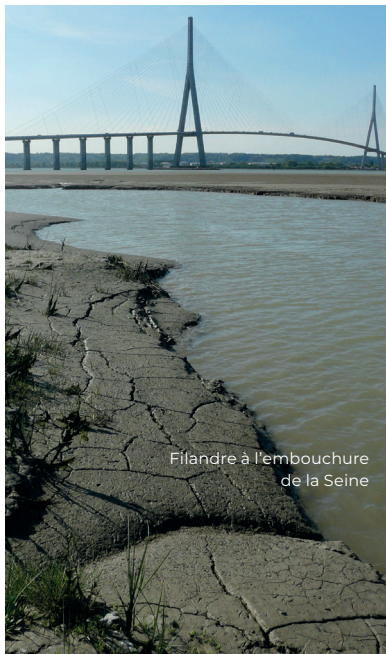


➔ Filandres et gabions à l'embouchure de la Seine

réalisé grâce au modèle numérique MARS-3D, qui reproduit le comportement physique de l'estuaire de la Seine.

## Les niveaux de basse mer sont plus bas qu'il y a 50 ans

Le modèle a été configuré pour trois dates (1960 – 1975 et 2010) afin d'évaluer l'évolution de l'estuaire de la Seine sur une période d'un demi-siècle. Le choix de ces dates correspond à un degré d'aménagement croissant de l'estuaire et donc à un fonctionnement que l'on s'attend à voir évoluer. En 1960, le chenal central n'est pas encore stabilisé en aval de Tancarville et son endiguement débute. La profondeur du chenal de navigation oscille entre 5 et 10m sous le niveau moyen des eaux et l'extension des bancs **intertidaux\*** d'embouchure est importante. En 1975, l'aménagement de ce secteur est en voie d'achèvement, avec le nouveau chenal de navigation et de nombreuses digues. Enfin, la configuration de 2010 correspond à l'estuaire actuel après la construction de Port-2000. Le chenal de navigation a été approfondi et est très marqué. Les bancs d'embouchure ont progressé vers la baie.



Construction du nouveau chenal à l'embouchure de la Seine (1952)

## Des conséquences multiples

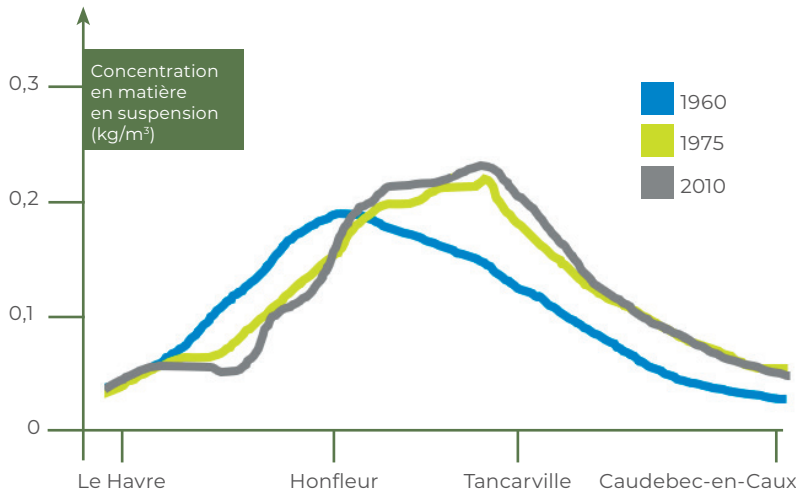
Une conséquence marquante liée à cette évolution morphologique concerne la marée. Quand on se réfère aux niveaux d'eau des années 1950, on constate une modification de l'allure des courbes de marée tout au long de l'estuaire. **Si les niveaux de pleine mer sont restés com-**

**parables à ceux observés il y a 50 ans, les niveaux de basse mer sont quant à eux plus bas.** Par exemple à Rouen, un abaissement de l'ordre de 75 cm est constaté en conditions de vive eau. L'explication de cette évolution tient dans l'approfondissement de la Seine et la suppression





**EN 50 ANS, LE BOUCHON VASEUX SERAIT REMONTÉ DE QUELQUES KILOMÈTRES VERS L'AMONT - Le Hir & Grasso, 2018. Projet SA5 ANPHYECO**



des hauts-fonds à l'embouchure, ce qui accélère les courants, facilite la pénétration de la marée dans l'estuaire et accélère la vidange du fleuve.

**Remontée de 5 km de la salinité moyenne depuis 1960**

Au-delà des conséquences sur les niveaux d'eau et les courants, ces outils numériques permettent de regarder les variations de la salinité. Les résultats indiquent **une remontée saline actuellement plus en amont**

**qu'il y a 50 ou 35 ans, notamment dans les situations d'étiage\*.**

On estime ainsi à 5 km la remontée de la salinité moyenne depuis 1960. En situation de crue, l'expulsion des eaux douces est perceptible plus au large qu'en 1960, période où un étalement Nord-Sud plus important était observé à l'embouchure. Au final, la zone de variation de salinité s'est étendue au cours du temps.

La dynamique des matières en suspension a également été étudiée. Si l'on se concentre sur **le bouchon vaseux\***, le pic de turbidité\* s'est décalé vers l'amont entre 1960 et 1975, puis s'est stabilisé. Les concentrations en matières en suspension ont également augmenté. En période de crue\*, l'expulsion des matières en suspension vers le large ne semble pas s'être accrue ; alors que leur remontée vers l'amont s'est accentuée en étiage. Enfin, la masse du bouchon vaseux semble relativement stable, même si on observe des fluctuations très fortes liées à la marée.



➡ Vasière intertidale en pied de berge

**Glossaire**

**La modélisation numérique** résulte de la mise en équations mathématiques de processus naturels, permettant leur simulation selon des scénarios définis.

**Une eau turbide** est une eau chargée en particules solides en suspension qui augmentent la densité du mélange et réduisent sa transparence

**La zone intertidale** est la zone comprise entre la plus haute mer et la plus basse mer de vive eau. Elle correspond donc à la zone de balancement des marées.

**L'étiage** correspond à la période de l'année où le cours d'eau atteint son débit le plus bas. A l'inverse, la crue correspond à une augmentation forte du débit du cours d'eau.

**Le bouchon vaseux** (ou zone de turbidité maximale) désigne le secteur où se concentrent les matières en suspension dans les estuaires. En Seine, sa formation est principalement liée à l'asymétrie de la marée. Elle est renforcée par les gradients de salinité qui favorisent son maintien dans l'estuaire.



➡ Bouchon vaseux



Vague de battillage en bord de Seine

**Plus d'infos**

Le Hir P., Grasso F., 2018. **Analyse diachronique du fonctionnement hydrosédimentaire de l'estuaire de la Seine.** Rapport de recherche du programme Seine-Aval 5, 52p



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

# Un héritage lourd de l'industrialisation sur la qualité des eaux

Au cours du XX<sup>e</sup> siècle, l'essor industriel de la vallée de la Seine a concerné de multiples secteurs d'activité : production d'énergie, pétrochimie, industrie du bois et du papier, métallurgie... Ce développement économique a conduit à une pression importante sur les milieux aquatiques.



Quels ont été les impacts sur la qualité des eaux de la Seine ?

La situation est-elle aujourd'hui encore préoccupante ? Ces deux questions ont été au centre d'un travail mené par l'équipe du GIP Seine-Aval.

## Une forte pression polluante historique

La compilation de documents historiques, la mobilisation de données anciennes et la rencontre avec des acteurs industriels, des agents des services de l'Etat, le milieu associatif... ont permis de dresser le portrait de l'évolution de la pression industrielle sur la Seine au cours XX<sup>e</sup> siècle. « Il est important de compiler et mobiliser cette connaissance historique pour apporter des éléments de contexte aux actions à mener aujourd'hui » nous indique Cédric Fisson, chargé de mission au GIP Seine-Aval.

Jusqu'au milieu des années 1970, les capacités de dilution et le pouvoir d'épuration de la Seine étaient considérés comme suffisants au regard de la pression polluante exercée par les industries. Pourtant,

**des impacts forts étaient relevés dans la Seine, en lien avec des rejets polluants** (matière organique, métaux, hydrocarbures, détergents...) **et des pratiques peu soucieuses de l'environnement** (rejets d'effluents non traités, gestion sommaire des déchets...). Les rejets de boues jaunes (phosphogypses produits par la fabrication d'engrais) et de boues rouges (résidus de la fabrication d'oxyde de titane) étaient massifs. Des mortalités de poissons étaient courantes en période estivale. Des nappes d'hydrocarbures étaient régulièrement observées, tout comme la présence de mousses en aval des barrages. **Pour la Seine, on parle des décennies noires !**

## DES PRESSIONS IMPORTANTES DANS LES ANNÉES 1950 À 1980 -

Fisson, 2017. Projet COMHETES

ACTIVITÉ INDUSTRIELLE	PRINCIPALES PRESSIONS CONSTATÉES SUR LA SEINE (1950 - 1980)
Production d'énergie	Rejets d'eau chaude
Industrie du bois et du papier	Rejets de matière oxydable et de MES
Industrie textile	Rejet de métaux et de composés organiques
Industrie pétrochimique	Rejets d'hydrocarbures
Industrie Chimique	Rejets de substances toxiques
Métallurgie et traitement de surface	Rejets de métaux
Production d'engrais	Rejets et dépôts de phosphogypses
Gestion des déchets	Déversement de déchets liquides
	Stockage/enfouissement non contrôlé



Industrie en bord de Seine à l'amont de Rouen

## Des pollutions anciennes encore présentes

Cependant, **tous les problèmes ne sont pas résolus et de nouvelles questions se posent aujourd'hui.** L'une d'elles inquiète particulièrement les experts, à savoir les stocks de polluants présents dans les sols et potentiellement remobilisables. C'est le cas des **sites remblayés avec des sédiments pollués et des terrains impactés par l'activité industrielle**, ce qui représente plus de 200 sites dans le lit majeur de l'estuaire de la Seine. C'est également le cas de **certains sédiments de la Seine marqués par la pollution chimique transitant dans le cours d'eau dans les années 1950 à 1980.** Ils peuvent encore être présents dans les couches profondes des zones d'accumulation des sédiments fins du lit mineur de la Seine (vasières, bassins portuaires, bras morts...) ou bien dans des zones aujourd'hui déconnectées de la Seine (anciens bras morts, anciens trous de Seine...).

**+ de 200 sites et sols pollués identifiés dans la plaine alluviale ;**  
**20 stocks potentiels de contaminants identifiés dans le lit mineur**



© Maison de l'estuaire

→ Pollution dans un fossé de ceinture d'une ancienne décharge

## Une qualité qui s'améliore depuis 1970

A partir des années 1970, **une prise de conscience des différents acteurs a débouché sur la mise en place progressive de mesures pour limiter les pollutions** : réduction des rejets et organisation de leur gestion, construction d'unités de traitement des effluents... Dès lors, les améliorations sont nombreuses et les principaux paramètres de la qualité des eaux voient leur trajectoire s'inverser. C'est par exemple le cas de l'oxygénation qui remonte et des concentrations qui diminuent pour certains **micro-polluants\*** depuis une trentaine d'années.

« Ce recul historique est très important pour mesurer le chemin parcouru depuis une trentaine d'années et mobiliser les différents acteurs vers une poursuite des efforts » précise Catherine Dehondt, représentante de France Chimie Normandie.



↻ Rejet en Seine

## UNE DYNAMIQUE ESTUARIENNE FAVORABLE À LA CONSTITUTION DE STOCKS DE CONTAMINANTS - *Fisson, 2017. Projet COMHETES*

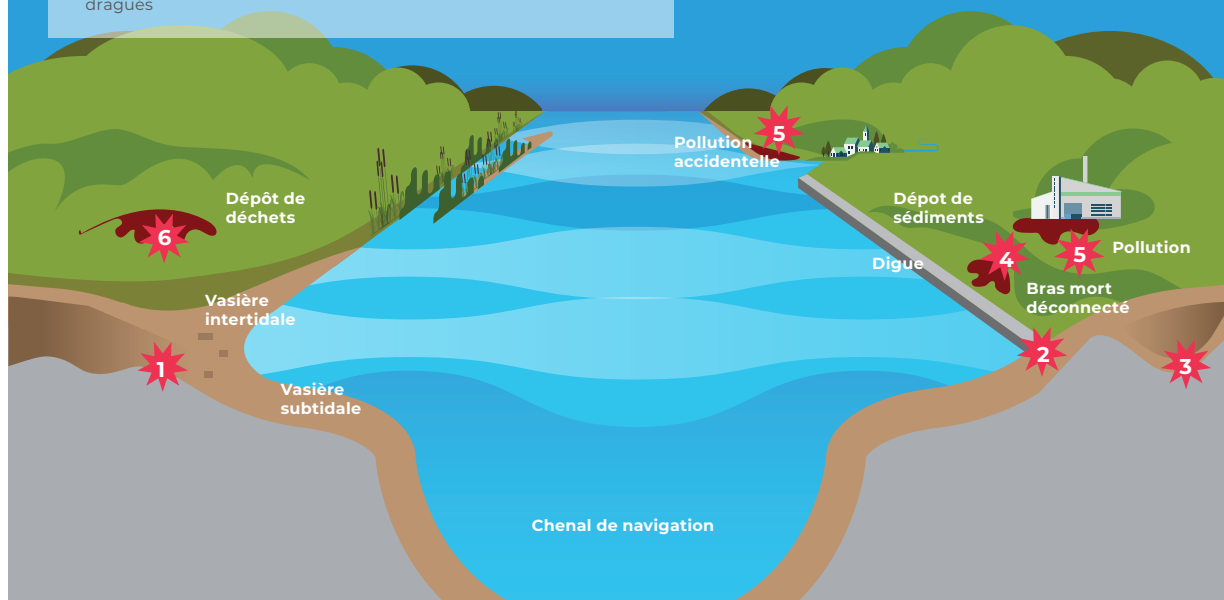
### STOCKS POTENTIELS DE CONTAMINANTS

#### Sédiments ayant transité en Seine entre 1950 et 1980

- 1 Couche profonde de vaseuse
- 2 Sédiment en arrière de digue
- 3 Sédiment de remblais de bras mort
- 4 Sites de dépôt de sédiments dragués

#### Pollution de sol

- 5 Sol pollué
- 6 Zone de stockage de déchets



« L'inventaire et la caractérisation de ces stocks de contaminants n'est que l'étape préalable à la mise en place d'une gestion adaptée » nous indique Cédric Fisson. Sa crainte se focalise sur leur remobilisation lors d'une crue, d'une tempête ou d'un aménagement qui pourrait engendrer un apport polluant à la Seine non négligeable. **La gestion de ces pollutions historiques est aujourd'hui indispensable pour poursuivre l'amélioration de la qualité des eaux de la Seine engagée il y a près de 40 ans.**



Vue sur un ancien site industriel à l'embouchure de la Seine



Plus d'infos

Fisson C., 2017. **Industrialisation de l'estuaire de la Seine : quel héritage pour la qualité des eaux ?** Fascicule Seine-Aval 3.6, 52p.



[https://www.seine-aval.fr/publication/fasc-heritage\\_industrialisation/](https://www.seine-aval.fr/publication/fasc-heritage_industrialisation/)


## Glossaire

**Un micropolluant** est une substance indésirable détectable dans l'environnement à très faible concentration.

Sa présence est, au moins en partie, due à l'activité humaine et peut engendrer des effets négatifs sur les organismes vivants.

On peut distinguer de nombreuses familles : les métaux (cadmium, cuivre, plomb, zinc...), les contaminants organiques (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, PolyChloroBiphényles, Phtalates, Perfluorés), les biocides, les pesticides, les pharmaceutiques...

# Une alimentation de l'estuaire par les nappes souterraines



La dynamique des apports en eaux douces est déterminante dans le fonctionnement des estuaires, car elle gouverne de nombreux phénomènes. Pour la Seine, les eaux douces proviennent à la fois d'apports de surface via les cours d'eau et d'apports souterrains via les nappes phréatiques.

Quelle est la part respective de ces apports à l'estuaire de la Seine ? Comment varient-ils dans le temps et dans l'espace ? C'est grâce à la combinaison de mesures de terrain et de la modélisation numérique, qu'un consortium de scientifiques a apporté des réponses inédites à ces interrogations.

## Des apports souterrains méconnus

Grâce aux stations de mesures de débit positionnées régulièrement sur la Seine et ses affluents, **les apports en eaux douces de surface sont bien connus. A l'inverse, les apports souterrains n'étaient jusqu'à maintenant estimés que sommairement.** « La méconnaissance des apports souterrains à l'estuaire s'explique par le contexte géologique du bassin, avec un **réseau karstique\*** très dense et des écoulements souterrains drainés par un réseau hydrographique de surface peu développé » nous explique Pierre-Yann David, hydrogéologue au BRGM.



➡ Apport latéral d'eau douce à la Seine

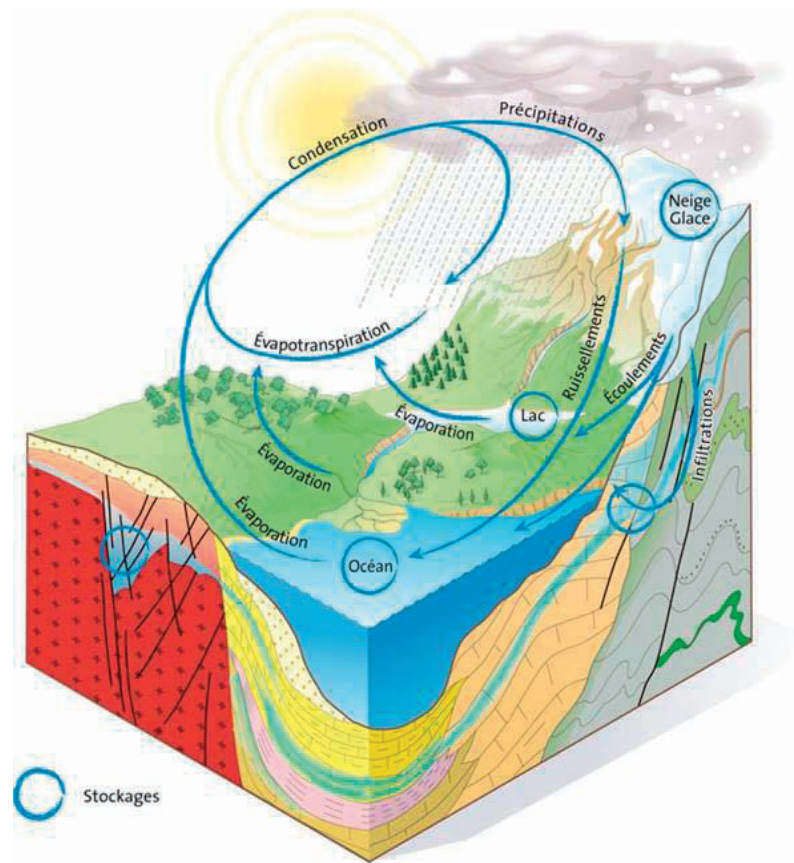
# Une mise en équations du cycle de l'eau

Pour mieux estimer ces apports, la première étape a été de modéliser le cycle de l'eau sur le bassin versant de la Seine et de l'estuaire : pluie, ruissellement, évapotranspiration\*, infiltration, écoulements de surface et souterrain,... tout en prenant en compte la marée ! Au final, ce sont trois outils qui ont été combinés, calibrés et validés afin de quantifier et spatialiser les échanges d'eau entre l'estuaire et les nappes souterraines adjacentes. « Des calculs ont été réalisés à l'échelle journalière, sur une période de 17 ans pour prendre en compte les fluctuations climatiques » nous précise Nicolas Flipo, directeur du PIREN-Seine et spécialiste de la modélisation des hydrosystèmes.



→ Apports latéraux à l'estuaire

## LE CYCLE DE L'EAU À L'ÉCHELLE D'UN BASSIN VERSANT COMME CELUI DE LA SEINE - BRGM - Michel Villey



## Une alimentation de l'estuaire par les nappes

**Les nappes souterraines alimentent l'estuaire de la Seine en eau douce.** De manière plus précise, les modélisations menées sur des bassins versants intra-estuariens ont permis de suivre le cheminement des eaux à travers les différents compartiments, qu'ils soient de surface (les rivières) ou souterrains (les nappes). Les échanges ont été quantifiés à l'échelle de chaque bassin versant et les résultats montrent que pour la majorité d'entre eux, une partie des écoulements souterrains alimentent l'estuaire de la Seine en eau douce. Il y a cependant des exceptions, comme le bassin versant de la Risle. Pour ce dernier, la moyenne des échanges entre les compartiments de surface et souterrain est nulle. Cela signifie, qu'à l'échelle de ce bassin versant,

la totalité de la pluie reçue est restituée par le cours d'eau.

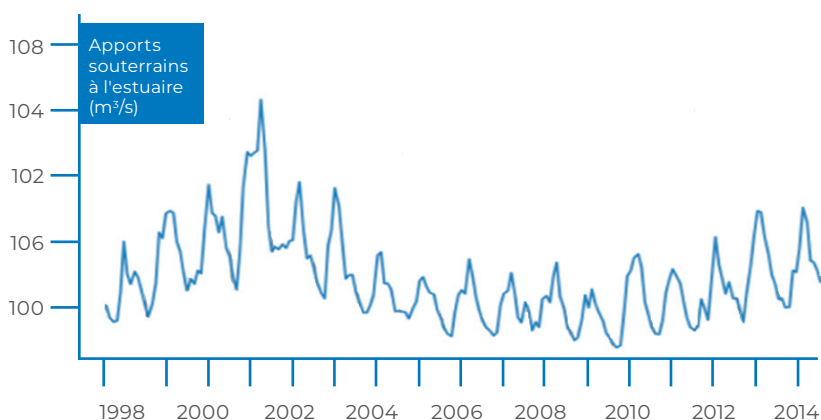
**15% des apports en eau douce à l'estuaire de la Seine sont d'origine souterraine**

D'un point de vue temporel, **le flux d'eau souterraine vers l'estuaire est relativement constant**, même s'il suit les alternances crue/étiage visibles à l'échelle saisonnière. Les apports souterrains totaux représentent un flux moyen de 100 m<sup>3</sup>/s. Rapporté au débit moyen de la Seine (540 m<sup>3</sup>/s) et des

affluents intra-estuariens (41 m<sup>3</sup>/s), **cet apport des nappes est à l'origine de 15% de l'eau douce qui s'écoule dans l'estuaire de la Seine.** Du fait de sa stabilité, il peut même représenter jusqu'à la moitié de l'eau douce arrivant dans l'estuaire en période d'étiage ! Ce chiffre interpelle Barbara Leroy, hydrogéologue qui a suivi la phase 5 du programme Seine-Aval pour le compte de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie : « *Si on replace ces résultats dans un contexte de*

*changement climatique, où les prévisions vont dans le sens d'une baisse de la recharge des nappes souterraines et d'une sévérité accrue des étiages de la Seine, on peut se poser des questions quant à l'alimentation de la Seine en eau douce pour les décennies à venir.* » Les enjeux de compréhension et de suivi de ces apports apparaissent ainsi déterminants pour alimenter les politiques d'adaptation au changement climatique.

**DES APPORTS SOUTERRAINS STABLES AUTOUR DE 100M<sup>3</sup>/S - Dupont et al., 2018. Projet SA5 ECHANGES**



→ Les sources bleues, entre Aizier et Vieux-Port



→ Zone humide à l'embouchure de la Seine

## Glossaire

**Le karst désigne** une structure géologique où les roches, notamment calcaires, sont progressivement dissoutes par l'action de l'eau qui s'infiltre dans le sous-sol. Ceci entraîne des formations caractéristiques, comme des cavités, des béttoires, des cours d'eau souterrains et des résurgences. Les béttoires constituent les points d'engouffrement des eaux superficielles vers la nappe phréatique de la craie, sans filtration naturelle par le sol.

**L'évapotranspiration** correspond à l'émission de vapeur d'eau vers l'atmosphère, par l'évaporation et par la transpiration des plantes.

### Plus d'infos

Dupont J.P., Flipo N., Pennequin, 2018. **Projet ECHANGES : Interaction entre les différentes masses d'eau estuariennes et bilan hydrique de l'estuaire.** Rapport de recherche du programme Seine-Aval 5



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

# Une présence de contaminants émergents dans les eaux de Seine

L'utilisation des substances pharmaceutiques et des pesticides est aujourd'hui largement répandue, essentiellement dans les domaines de la santé et de l'agriculture. Ces usages impliquent une dispersion possible dans l'environnement, que ce soit via les rejets des stations d'épuration ou via le ruissellement sur les zones d'application.

Ces substances sont-elles retrouvées dans l'estuaire et ont-elles des conséquences environnementales ? La mise en œuvre de suivis innovants et de techniques de pointe a permis de répondre à ces questions pour la Seine.

## De nombreuses campagnes d'échantillonnage

**Rechercher des substances pharmaceutiques et des pesticides dans les cours d'eau, c'est d'abord un défi scientifique.** Et pour cause ! Les chimistes de l'environnement qui traquent ces molécules parlent d'ultra-traces et de concentrations de l'ordre de quelques **nano-grammes par litre\***. C'est également une recherche de compromis sur les sites (où ?), les périodes (quand ?) et les méthodes (comment ?) de prélèvement. « Pour avoir une image pertinente de la contamination de l'estuaire de la Seine, nous menons des campagnes d'échantillonnage dans des conditions contrastées. Nous analysons ensuite les échantillons au laboratoire, grâce à un en-

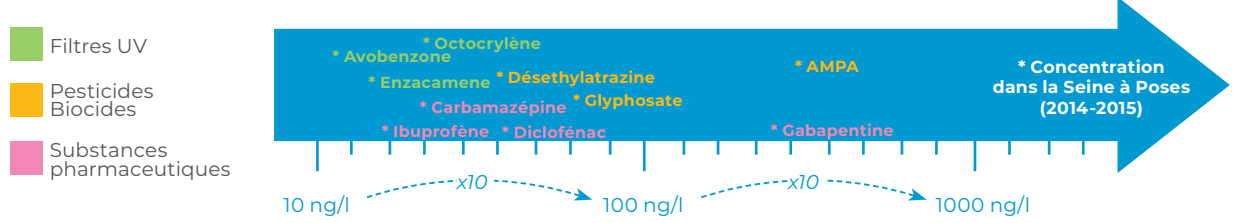
semble de techniques analytiques innovantes » explique Hélène Budzinski, directrice de recherche au CNRS en chimie environnementale.

Des campagnes d'échantillonnage se sont échelonnées entre mai 2014 et mars 2015, avec **la recherche de 200 molécules pharmaceutiques et pesticides dans les eaux de la Seine** à l'entrée de l'estuaire (Poses). Les résultats montrent l'omniprésence de ces diverses molécules dans la Seine. Les 130 substances pharmaceutiques recherchées présentent une concentration totale entre 800 et 2800 ng/l, soit **26 tonnes apportées chaque année par la Seine à l'estuaire !** Pour les

pesticides/biocides (64 substances recherchées), le niveau de contamination est moindre (40-700 ng/l), mais représente tout de même un flux annuel proche de 5 tonnes. Des filtres UV présents dans des

**26 tonnes de substances pharmaceutiques, 5 tonnes de pesticides et 1 tonne de filtres UV rejetées annuellement dans l'estuaire**

DE NOMBREUSES MOLÉCULES SONT RETROUVÉES DANS LES EAUX DE LA SEINE - Mazellier et al., 2018. Projet SAS CRAPPSE





crèmes solaires ont également été retrouvés, représentant un apport à l'estuaire d'environ 1 tonne par an. Parmi les molécules retrouvées en plus

fortes concentrations, certains noms ne sont pas inconnus : **le glyphosate pour les pesticides, l'ibuprofène ou le diclofénac pour les médicaments.**

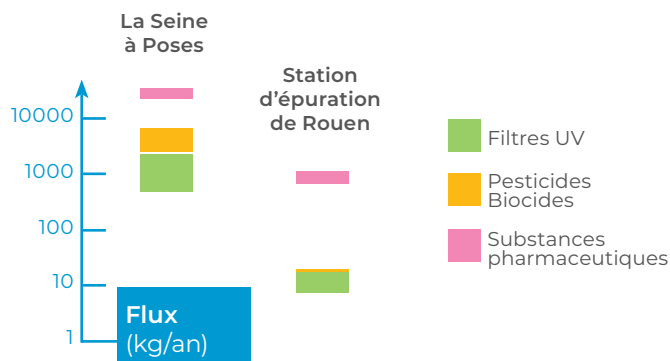
## Des apports amont prépondérants

Afin de quantifier les apports urbains directs en estuaire et en complément des mesures à l'entrée de l'estuaire, ces mêmes 200 molécules ont été recherchées dans le rejet de la station d'épuration de l'agglomération rouennaise. Les résultats indiquent que les apports de **l'agglomération parisienne et des terrains agricoles du bassin versant amont sont les principaux contributeurs aux apports à l'estuaire de la**

**Seine.** Ces apports de l'amont représentent en effet 300 fois les apports de l'agglomération rouennaise pour les pesticides-biocides, 100 fois pour les filtres UV et 38 fois pour les substances pharmaceutiques. « Ces résultats nous éclairent particulièrement pour estimer la part de nos rejets par rapport à ce qu'on retrouve déjà en Seine » nous relate Sophie Maillot de la Métropole Rouen Normandie.

### DES APPORTS QUI VIENNENT ESSENTIELLEMENT DE L'AMONT

Mazellier et al., 2018. *Projet SA5 CRAPPSE*



Le devenir de ces molécules dans l'estuaire de la Seine a été appréhendé par des mesures à Oïssel, La Bouille et Caudebec-en-Caux. « Sur ces sites, nous avons complété les prélèvements ponctuels par la mise en place d'échantillonneurs passifs\*. Cette technologie permet de fournir une concentration moyennée dans le temps, plus représentative de la contamination réelle du milieu » explique Laura Fuster, qui a réalisé une thèse sur le sujet. Les résultats montrent des profils similaires

entre les trois sites pour les substances recherchées. **Une diminution des concentrations de l'amont vers l'aval** est également notée, indiquant une dilution par la Seine.

### Plus d'infos

Mazellier P. (coord.), Fuster L., Budzinski H., Garric J., Couteau J., Ait-Aïssa S., 2018. **Projet CRAPPSE : Contamination et réactivité de pesticides et de pharmaceutiques dans l'estuaire de Seine.** Rapport de recherche du programme Seine-Aval 5, 71 p.



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



## Des questions sur les effets

Au-delà de la présence de ces substances dans la Seine, ce sont les concentrations mesurées qui interpellent. En effet, **une dizaine de molécules sont retrouvées à des niveaux parfois supérieurs aux recommandations environnementales** (ex. triclosan, firnonil, ibuprofène, etc.). Plus généralement, la présence de ce cocktail de substances pose la question de leurs effets sur les organismes aquatiques présents dans l'estuaire de la Seine.

## Glossaire

**Un nanogramme** correspond à un 1 milliardième de gramme. 1 ng/l équivaut à un morceau de sucre dilué dans une piscine olympique.

Les **échantillonneurs passifs** sont des outils utilisés pour la surveillance des eaux. Ils se composent d'une membrane qui protège une phase adsorbant et accumulant les composés présents dans le milieu. Déployés sur quelques jours ou semaines, ils permettent la détection de composés présents à très faible dose.

# Des organismes aquatiques sous stress

La pollution des eaux de la Seine s'explique par les pressions industrielles, urbaines et agricoles présentes sur son bassin versant. Intense jusque dans les années 1980, cette pollution est aujourd'hui bien moindre. Cependant, la présence d'un cocktail de substances chimiques pose encore question quant à sa répercussion sur l'état de santé de la faune aquatique.

© SEBIO - ULHN

Quels sont les impacts de la contamination chimique sur les organismes présents en estuaire ? La mise en place d'un suivi scientifique à l'embouchure de la Seine a permis d'évaluer et suivre ces impacts.



© Prélév/Mar

➡ Prélèvement de crevette en estuaire de Seine.

## Un suivi environnemental ambitieux

Mettre en place un suivi de l'état de santé des vers, des crevettes, des moules et des poissons présents à l'embouchure de la Seine, tel a été le défi lancé aux scientifiques en 2015. « Des études spécifiques à une espèce ou à un type d'effet étaient menées depuis de nombreuses années par des **écotoxicologues\***. Par contre, nous ne nous étions jamais lancés dans un suivi multi-effets et multi-espèces dans un milieu dynamique comme l'estuaire de la Seine » se souvient Benoît Xuereb, écotoxicologue à l'Université du Havre.

**Pour relever ce défi, six équipes scientifiques se sont mobilisées pendant trois ans pour suivre neuf espèces présentes à l'embouchure de la Seine :** un vers (*Hediste diversicolor*), deux mollusques (la moule bleue et la scrobiculaire), deux crustacés (la crevette blanche

et un copépode) et quatre poissons (le flet, la sole, le bar et l'éperlan). « Plus d'une trentaine de réponses biologiques ont été mesurées, permettant d'appréhender des effets sur les cellules, les organes, les tissus des organismes ou encore sur leur croissance ou leur reproduction » nous détaille Benoît Xuereb. La mise en commun des résultats issus de ces multiples analyses permet un diagnostic relativement complet de l'état de santé de la faune aquatique à l'embouchure de la Seine.



➡ Vasière à l'embouchure de la Seine

## Des organismes affaiblis

Pour quantifier les effets suivis, la mesure des réserves énergétiques est un marqueur intéressant. En effet, en cas d'exposition à des polluants, les organismes mettent en place des mécanismes de défense coûteux énergétiquement. Les réserves disponibles pour leur métabolisme « normal », leur croissance ou leur reproduction en sont diminuées, ce qui impacte l'état de santé global de l'organisme. Chez le vers *Hediste diversicolor*, les niveaux de glycogène ont ainsi été suivis deux fois par an et comparés à des niveaux issus de vers prélevés dans un site peu pollué, considéré comme une référence (Authie). Les résultats indiquent que les niveaux se situent dans une gamme subléthale à létale pour ces organismes. En d'autres termes, **les réserves d'énergie disponibles pour ces organismes sont tout juste suffisantes pour assurer leur survie !**



Le vers *Hediste diversicolor* dans la vase.



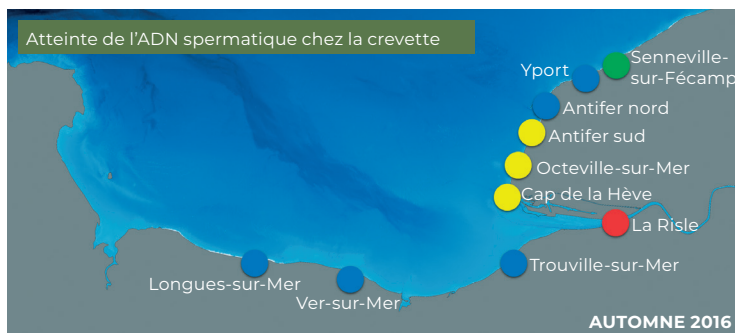
## Des effets sur le génome

La mesure des dommages à l'ADN dans le sperme de crevettes est un autre exemple à mettre en avant. Cette mesure permet en effet d'accéder à une information sur la présence de polluants impactant le génome. « *Plusieurs substances ont des effets directs sur le génome, donc sur les gènes et leur expression, pouvant éventuellement conduire à des mutations et à une diminution du potentiel de reproduction* » nous explique Benoit Xuereb. Des niveaux

de dommage très importants ont été observés durant les trois années de suivi, traduisant une **pression génotoxique\*** importante dans l'estuaire et un **risque pour les performances de reproduction chez ces organismes et ceux partageant le même habitat**. L'analyse des résultats montre clairement un impact fort au niveau de l'embouchure de la Seine, avec une diminution le long du pays de Caux et pas d'effet sur la côte fleurie.

### DES ATTEINTES DE L'ADN SPERMATIQUE MODÉRÉES POUR LES CREVETTES SUR LE LITTORAL ET SÈVÈRES DANS L'ESTUAIRE

- Xuereb et al., 2019. *Projet SA5 ECOTONES*



EFFET    ● Aucun    ● Léger    ● Modéré    ● Sévère



© SEBIO - ULHN

→ Prélèvement sur l'estran

## Un risque majeur pour la faune aquatique

La moitié des résultats acquis pendant les trois années de suivi montre des signaux de perturbation, avec des effets plus ou moins intenses. Globalement, de tels signaux ont été enregistrés à tous les niveaux d'organisation biologique (de la cellule à l'individu), ainsi que chez l'ensemble des organismes (de la crevette au poisson). Enfin, les résultats ont été intégrés dans un indicateur permettant de rendre compte de l'état de santé global des organismes présents en estuaire. Il montre un **risque majeur pour les organismes aquatiques, en lien avec la pollution chimique de la Seine**. L'exposition à des substances impactant la reproduction, le système nerveux et engendrant un stress oxydant est particulièrement ciblée par ces résultats.

« Ces travaux scientifiques ont montré la faisabilité et l'intérêt d'un suivi intégré de **biomarqueurs\*** pour évaluer l'impact de la pollution sur les organismes et la possibilité d'intégrer les résultats dans un indicateur simple et lisible » résume Manuel Sarraza, chef de service littoral et mer à l'Agence de l'Eau Seine-Normandie. Il nous donne rendez-vous dans les années à venir pour un déploiement à plus large échelle.

**Sur les 3 ans du suivi, 50% des résultats montrent des impacts de la qualité de l'eau sur les organismes présents à l'embouchure de la Seine**



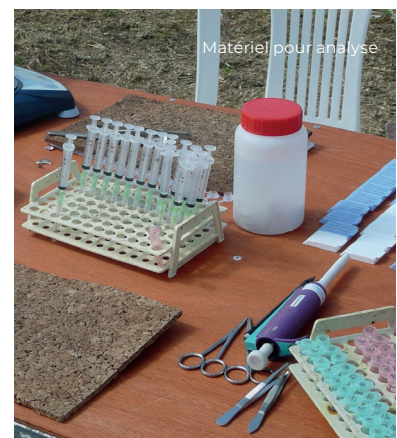
Prélèvement de sang sur un poisson.

## Glossaire

L'**écotoxicologie** est la science qui étudie le devenir des contaminants dans l'environnement, c'est-à-dire la dynamique des polluants, ainsi que leurs conséquences biologiques et écologiques.

Les **substances génotoxiques** impactent la structure du génome d'un organisme, c'est-à-dire la structure de l'ADN. Ils peuvent conduire à des mutations si les lésions ne sont pas réparées. Elles peuvent alors impacter la santé des organismes exposés et leur descendance si les mutations sont transmises.

Un **biomarqueur** est une mesure d'un changement au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique ou comportemental, qui révèle l'exposition d'un organisme à une ou plusieurs substances polluantes.



### Plus d'infos

Xuereb B. (coord.), Barjhoux I., Bustamante P., 2019. **Projet ECOTONES : Effets de la contamination sur les organismes de l'estuaire de la Seine**. Rapport de recherche du programme Seine-Aval 5, 42 p.



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

# Un écosystème qui dépend de la production primaire

La présence des poissons, des oiseaux et des mammifères marins dans l'estuaire de la Seine repose sur la disponibilité en nourriture. Elle est apportée par une succession de maillons biologiques dont la base est constituée par les végétaux aquatiques. Grâce à la photosynthèse, ils transforment la matière minérale en matière organique, nécessaire pour alimenter tout le réseau trophique\*. La quantité de matière organique produite prend le nom de production primaire.

Quel est le niveau de production primaire dans l'estuaire et quels sont les facteurs qui le déterminent ? Les réponses à ces questions sont essentielles pour aborder le fonctionnement de l'écosystème.

## Des mesures de production primaire

La **production primaire\*** en estuaire de Seine était jusqu'à maintenant évaluée par la mesure régulière de la chlorophylle *a*, pigment universel de la photosynthèse chez les plantes. Sa concentration dans l'eau permet d'estimer la quantité de phytoplancton présent dans le milieu. « *Cependant, la mesure de cette biomasse chlorophyllienne ne donne qu'une image figée et incomplète de la production primaire. Nous pouvons maintenant mobiliser des outils et mettre en œuvre des techniques innovantes qui permettent d'aborder la dynamique spatiale et temporelle des producteurs primaires que sont le phytoplancton\* et le microphytobenthos\** » nous explique le Professeur Pascal Claquin, spécialiste des microalgues marines et de la

production primaire à l'Université de Caen.

Durant l'année 2015, les scientifiques ont été présents sur le terrain pour déployer leurs outils. Ils ont analysé la colonne d'eau lors de campagnes mensuelles menées dans la zone du gradient de salinité, soit entre Tancarville et Le Havre. Deux campagnes dans les vasières d'embouchure ont permis d'élargir la vision, avec l'analyse de près de 100 prélèvements de sédiments. Enfin, la mobilisation d'images satellites a permis d'accéder à une cartographie complète de **phyto-benthos\*** sur les vasières, lors de la saison printanière.

Si l'on se concentre tout d'abord sur les résultats de la production primaire liée au phytoplancton dans

les eaux, **l'estimation annuelle indique une production brute de 6032 tonnes de carbone pour le secteur entre Tancarville et Le Havre.** En lien avec des conditions environnementales plus favorables à la photosynthèse (température plus chaude et luminosité plus intense), la **période printemps-été assure l'essentiel de la production primaire.**



Microphytobenthos sur une vasière



→ Vasière à l'embouchure de la Seine

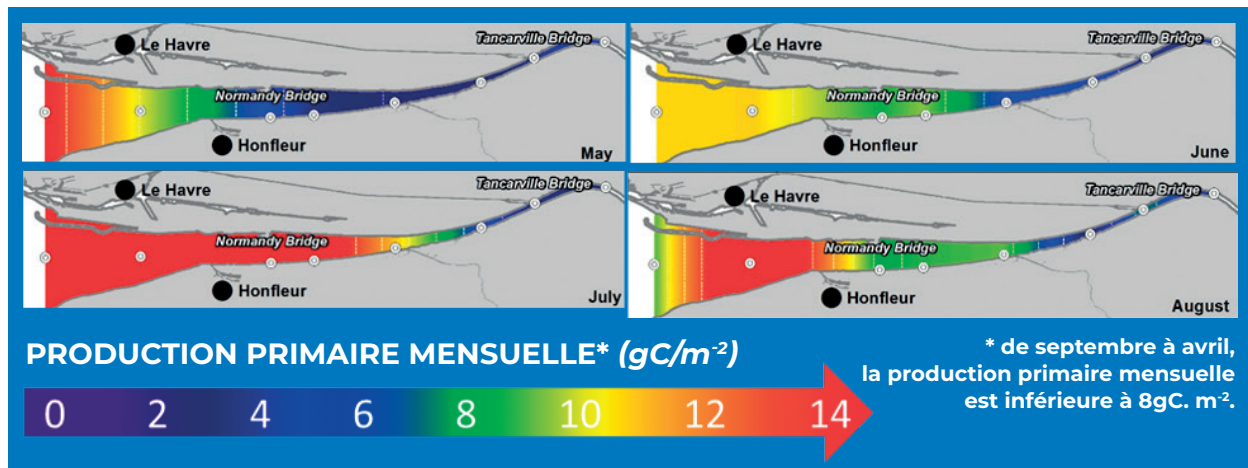
## L'embouchure, zone la plus productive

L'analyse spatiale des résultats montre que la partie amont du secteur étudié abrite des espèces d'eau douce peu productives. En effet, elles sont dans un état physiologique dégradé, expliqué par la forte turbidité du milieu (et donc une faible pénétration de la lumière) et par un stress engendré par le gradient salin. A l'inverse, la proche baie de Seine accueille des espèces marines en bon état physiologique, car mieux adaptées aux conditions de salinité locales. « C'est cette zone qui s'avère être la plus favorable à la production primaire, car

**Une production primaire brute de 6032 tonnes de carbone pour le secteur entre Tancarville et Le Havre**

elle présente des apports suffisants en éléments nutritifs (par rapport à la baie où ils sont plus limités) et une transparence de l'eau qui rend la lumière disponible sur une plus grande profondeur qu'à l'amont » nous résume Jérôme Morelle, auteur d'une thèse de doctorat sur le sujet à l'Université de Caen. Ainsi, ce sont **les espèces marines venant de la baie qui présentent le principal pool de matière nutritive de qualité disponible pour approvisionner la chaîne alimentaire de l'estuaire de la Seine.**

### UNE PRODUCTION PRIMAIRE PHYTOPLANCTONIQUE PLUS INTENSE À L'AVAL DE LA ZONE DU GRADIENT DE SALINITÉ - Claquin et al., 2018. Projet SA5 PROUESSE



# Une production importante sur les vasières

Les vasières d'embouchure assurent également une partie de la production primaire de l'estuaire, par le biais des algues présentes sur la surface des sédiments (le microphytobenthos). Cette production, dite benthique, est cependant sensible à la nature du sédiment, avec des mélanges homogènes de sables et de vases qui semblent plus favorables. Les conditions d'éclairement sont également importantes, avec une **production plus intense sur les parties supérieures des vasières**. Les **filandres\*** sont enfin particulièrement intéressantes, car alimentées par des eaux riches en nutriments provenant des prairies et des roselières. « Bien que particulièrement pro-

ductives, les vasières n'assurent cependant que 10 à 20% de la production primaire totale de l'estuaire. Cela s'explique par des surfaces relativement réduites par rapport à d'autres estuaires » nous précise Francis Orvain, spécialiste des relations entre les habitats sédimentaires et les communautés benthiques à l'Université de Caen. « La mise en perspective que permettent ces résultats est essentielle pour nos guider dans la définition de mesures de restauration écologiques les plus efficaces, afin d'améliorer le fonctionnement de l'estuaire de la Seine » conclut Natacha Massu, cheffe du service environnement au Grand Port Maritime du Havre.



➔ Production primaire sur une vasière



➔ Vue aérienne de la vasière à l'embouchure



## Plus d'infos

Claquin P. (coord.), Morelle J., Schapira M., Orvain F., Lopez P., 2018. **Projet PROUESSE : Production primaire de l'estuaire de la Seine**. Rapport de recherche du programme Seine-Aval 5, 76 p.



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

## 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 production primaire

correspond à l'énergie accumulée par une plante par le biais de la photosynthèse. En milieu estuarien, elle concerne principalement les organismes végétaux présents dans la colonne d'eau (**phytoplancton**) ou associés au substrat (**phytobenthos**).

Les **filandres** désignent les chenaux de marée creusés dans les vasières intertidales perpendiculairement à l'axe du fleuve. Il peut aussi s'agir de criques connectées au fleuve, qui serpentent à travers le marais et permettent à l'eau d'y remonter ou d'y redescendre à chaque marée.

# Les habitats des poissons à la loupe



© FDAAPPMA27

Le cycle de vie des poissons requiert divers types de milieux aquatiques adaptés à chaque stade de leur développement. Dans les milieux estuariens, une partie de ces milieux a été dégradée, rendue inaccessible, voire supprimée. Leur restauration est aujourd'hui un objectif réglementaire inscrit dans divers plans ou schémas de gestion.

**Quels sont les habitats nécessaires pour la réalisation du cycle de vie des poissons ? Comment les outils scientifiques peuvent-ils aider à orienter les mesures d'aménagement ? Ces questions ont été investiguées par les scientifiques, particulièrement en ce qui concerne quelques espèces de poissons.**

## Une fonctionnalité des habitats à restaurer

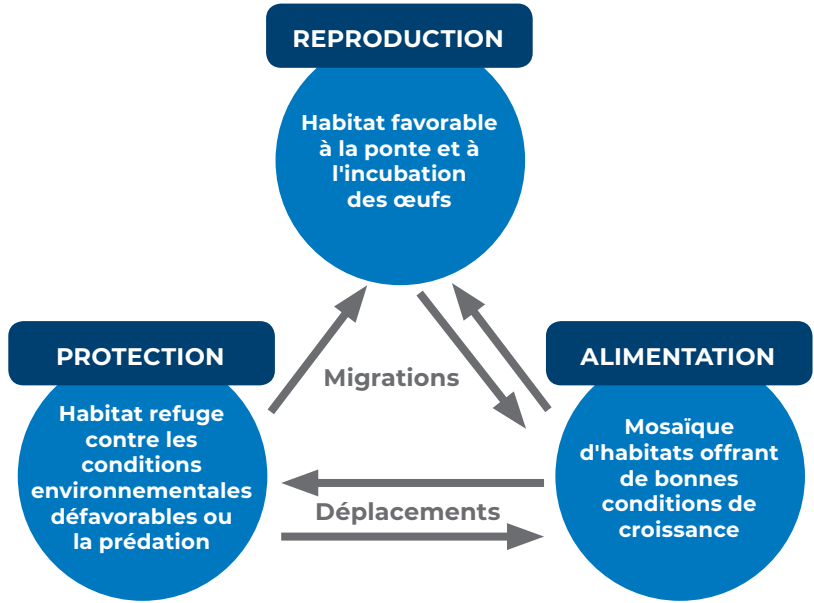
Pour être efficace et permettre de retrouver des **habitats\*** fonctionnels, les mesures de restauration écologique doivent considérer l'organisation spatiale des habitats nécessaires au cycle de vie des espèces, leur complémentarité et leur connectivité. « *L'habitat fonctionnel, c'est être au bon endroit, au bon moment ! Pour les poissons, les mesures de restauration doivent ainsi garantir l'accessibilité des habitats d'alimentation, de reproduction*



**Potentiel de production de la truite de mer de 3600 individus sur la Risle et ses affluents**

et de refuge au moment où l'es-pèce en a besoin dans son cycle de vie, et ce à un moindre coût énergétique » nous explique Céline Le Pichon, ingénieure de recherche en hydro-écologie à l'IRSTEA. C'est grâce à des outils de modélisation utilisant des approches cartographiques, que les scientifiques ont pu analyser les possibilités de préservation et de réhabilitation des habitats clefs pour les poissons en estuaire de Seine.

**DIFFÉRENTS HABITATS SONT NÉCESSAIRES AUX POISSONS POUR RÉALISER LEUR CYCLE DE VIE - Muntoni, 2019. Projet PROPOSE**



Anguilles sur la passe à poissons à Poses - SeinorMigr



Prélèvement de poisson dans une filandre

**Une disponibilité variable des habitats**

Le travail s'est concentré sur deux exemples complémentaires d'un point de vue de l'emprise spatiale et de la dynamique temporelle de colonisation des habitats. Le premier exemple est celui **des jeunes bars qui utilisent les vasières et les filandres de l'embouchure de l'estuaire de la Seine pour se nourrir et trouver refuge lors de leur première année de vie.** « C'est ce qu'on appelle la nourricerie » nous explique Manuel Muntoni, chargé de mission au GIP Seine-Aval. Il poursuit en précisant que « l'enjeu pour le poisson est ici d'avoir accès à des habitats tout au long de la marée. » Leur disponibilité s'avère très variable selon les secteurs et leur accès est essentiellement dépendant du coefficient de marée et du débit. Il peut également être restreint par des barrières physiques, plus ou moins permanentes, comme les digues submersibles ou celles qui stabilisent les rives de Seine. Les résultats montrent aussi que les nourriceries disponibles dans la partie amont du gradient de salinité de l'estuaire

peuvent être colonisées par les jeunes bars en quelques marées successives, et ce de manière quasi passive grâce aux courants. Ce dernier point est essentiel, car il fait écho à une hypothèse forte émise par les scientifiques. Ils nous expliquent que d'après cette théorie, « les poissons privilégient les chemins qui minimisent le coût énergétique lors de leurs déplacements. Ils pourront donc prendre un chemin plus long (le chemin de moindre coût), afin d'éviter un obstacle ou un secteur avec une résistance trop forte du milieu. »



Zone intertidale en arrière de la digue submersible

Le second exemple est celui de la **migration des truites de mer adultes qui vont se reproduire dans les frayères présentes dans les affluents de la Seine**. L'enjeu porte ici sur la connectivité des milieux aquatiques pour pouvoir accéder à ces lieux de reproduction. En effet, pour rejoindre les zones de frayères des affluents, les truites remontent la Seine avec la marée montante. Elles doivent ensuite passer la confluence, ce qui est plus ou moins

aisé selon le débit, le coefficient de marée et son aménagement. La présence d'une buse ou d'un seuil infranchissable sera à ce titre rédhibitoire ! Une fois dans l'affluent, l'absence d'obstacles physiques et chimiques sera, là encore, déterminante pour rejoindre une zone de frayère. Pour la truite, ce sont des zones bien oxygénées, avec un fort courant et la présence de graviers qui seront recherchées.



➡ Truite de mer bloquée sur la Risle à Pont-Audemer - FDAAPPMA27

## Des scénarios d'aménagement modélisés

**Deux affluents de la Seine, la Risle et le Cailly, ont été plus particulièrement étudiés et des scénarios d'aménagements ont été explorés.**

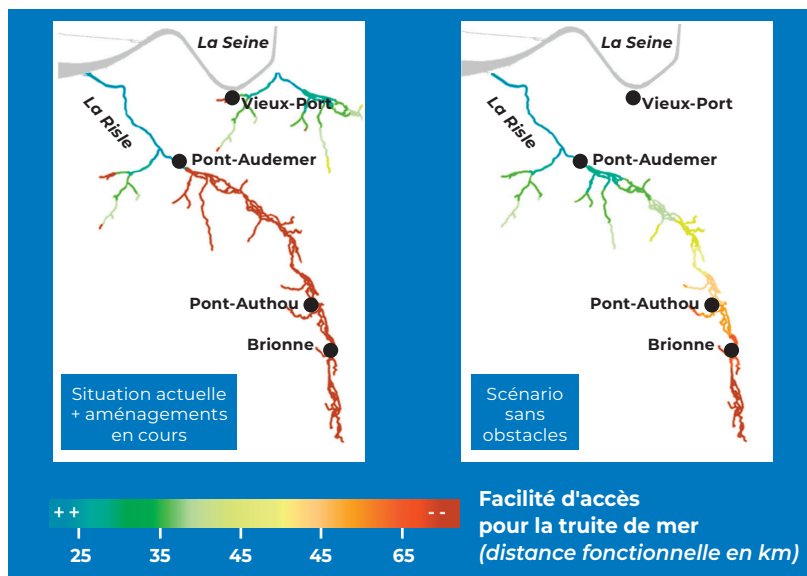
« Pour la Risle, la situation actuelle montre que ce cours d'eau présente un très fort potentiel de production de la truite de mer, avec un chiffre avancé de 3 600 individus pour la

Risle et ses affluents. On recense cependant de très nombreux obstacles anthropiques (225 !) à la remontée des poissons, ce qui limite leur colonisation du cours d'eau » nous précise Germain Sanson, directeur de la Fédération de l'Eure pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique. Sur la base de ce constat,

des scénarios d'aménagement progressifs des obstacles ont été modélisés. Ils permettent d'**estimer le gain d'accessibilité des frayères en fonction des obstacles qui seraient aménagés**. « Ces résultats sont très utiles pour prioriser les mesures d'aménagement en fonction du gain écologique attendu » nous précise Emmanuelle Morin, responsable du pôle patrimoine naturel - biodiversité - gestion des milieux naturels et aquatiques au Département de l'Eure.

Le même type de travail a été mené sur le Cailly, un autre affluent de la Seine. Là aussi, le potentiel pour l'accueil de migrateurs est fort, mais la présence d'une buse empêche la remontée des poissons. Le scénario s'est ici attaché à tester le tracé d'un nouveau bras pour relier la Seine et le Cailly. Les résultats apportent, là encore, **des enseignements précieux pour guider les choix d'aménagement vers un gain écologique optimal**, permettant un accès facilité aux habitats de reproduction de la truite de mer.

### UN ACCÈS AUX FRAYÈRES FACILITÉ PAR LA SUPPRESSION DES OUVRAGES - Le Pichon et al., Projet SAS ANACONDHA



### Plus d'infos

Le Pichon C. (Coord.), Alp M. 2018. **Projet ANACONDHA : Analyse spatiale de la connectivité des habitats fonctionnels pour les poissons à l'échelle de l'estuaire.** Rapport de recherche du programme Seine-Aval 5, 101 p.



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

## Glossaire

En écologie, l'**habitat** correspond à l'ensemble des conditions environnementales (physiques, chimiques et biotiques) nécessaires au déroulement de tout ou partie du cycle de vie d'un organisme.

# Associer le public pour réussir la restauration de l'estuaire

La restauration écologique des milieux naturels fait écho à de nombreux enjeux, qu'ils soient techniques, politiques, socio-économiques ou environnementaux. La réussite des projets s'appuie sur ces enjeux, mais aussi sur l'implication du public qui peut s'avérer déterminante sur l'appropriation des réalisations et leur ancrage dans le temps.

Quelle place l'association du public prend-elle dans les projets d'aménagement des milieux naturels sur l'estuaire ? Comment peut-elle aider à concevoir et mettre en œuvre ces projets ? La prise en compte des éléments de réponse à ces questions devra favoriser l'efficacité des politiques environnementales.

## Différentes associations du public

Pour aborder la question de l'appropriation du public, les scientifiques se sont appuyés sur un bilan des pratiques menées sur l'estuaire. **Plus de 100 entretiens ont été menés vers un large public, à la fois professionnel, associatif ou de simple usager.**

« Ce recueil de paroles nous a tout d'abord permis de faire un état des lieux de l'association du public dans les projets d'aménagement des milieux naturels en estuaire de Seine. Il a ensuite été la base de propositions concrètes à destination des gestionnaires afin de leur donner des clefs de réussite pour des aménagements des milieux naturels et une meilleure appropriation de ces milieux par le public » nous explique Sophie Allain, sociologue à l'INRA.

Le croisement des résultats des entretiens et l'analyse d'études de cas montrent que les porteurs des projets d'aménagement appréhendent l'association du public selon trois angles. Le pre-

mier est celui de l'**accès du grand public à des sites protégés ou restaurés**, qui prend essentiellement la forme de sentiers pédestres à dimension pédagogique. Le second est celui de la **sensibilisation à la préservation des milieux naturels**, souvent à destination des scolaires, mais aussi du grand public. Ces actions de sensibilisation peuvent prendre la forme d'une information, mais aussi rendre le public acteur de sa découverte du milieu. Enfin, **les relations avec les usagers et les habitants** sont le troisième angle d'appropriation du public. Ici, on fait référence aux actions de concertation qui peuvent intervenir à différents niveaux. « Bien que l'association du public soit d'abord pensée en termes d'action POUR le public, des formes d'action AVEC le public se développent pour mener à bien des projets de restauration écologique » nous résume Sophie Allain.



⇒ Panneau pédagogique dans le marais de l'Aulnay



⇒ Circuit de randonnée au Trait



→ Aménagement de la presqu'île Rollet à Rouen

## Une identité estuarienne à développer

La dernière recommandation fait écho à la volonté de développer une identité estuarienne, de Poses à la mer. Constituer un réseau de sites naturels ouverts au grand public et rattachés à un même fonctionnement estuarien, est une proposition intéressante en ce sens. La mobilisation d'outils cartographiques pour « donner à voir », relier des lieux montrant une dimension particulière de l'estuaire, mettre au point une communication commune... sont autant de pistes de réflexion apportées par les scientifiques aux nombreux acteurs qui œuvrent au quotidien pour faire connaître l'estuaire de la Seine au public.

Ces orientations font ainsi écho aux attentes fortes des gestionnaires et aménageurs des milieux naturels. « Plusieurs expériences de restauration ou de renaturation sont menées sur notre territoire et l'implication du public et des usagers est pour nous une préoccupation importante avant, pendant et après la réalisation des aménagements. Un accompagnement scientifique dans ces démarches permet de progresser en ce sens » nous confie Mélanie Jugy, responsable du service milieux naturels de la Communauté d'Agglomération Seine-Eure.

## Une communication à élargir

Sur cette base, les scientifiques ont pu apporter plusieurs recommandations. La première porte sur **l'élargissement des modes de communication et du public visé**. Au-delà des apports pédagogiques teintés de langage scientifique mis à disposition du public, ce dernier peut être amené vers les milieux naturels par d'autres biais. Explorer une communication plus ludique sous forme de balades contées ou de land art permet, par exemple, de favoriser la connexion à la nature par les sens. S'appuyer sur les lieux exprimant la nature (parcs zoologiques, serres, jardinerie...) peut également être une première ouverture vers les milieux naturels aménagés. De manière similaire, explorer des univers ou mobiliser des outils sortant du champ traditionnel de l'environnement peut ouvrir le public à la nature et la biodiversité.

**Mêler l'offre touristique à destination des visiteurs ponctuels et l'offre récréative plus locale et quotidienne** est le second axe de travail identifié. Associer l'histoire,

le patrimoine culturel et architectural, le sport, l'art... au patrimoine naturel permettrait ainsi de multiplier les angles d'approche et les supports de valorisation. Au final, la visibilité des milieux naturels en serait élargie : leur valorisation par le biais de circuits de randonnée ou lors d'événements particuliers participerait également à cette visibilité.

**Élargir l'association du public aux usagers que sont les agriculteurs, les chasseurs, les jardiniers...** faciliterait une valorisation commune des milieux naturels et une appropriation collective. Rendre ces personnes actrices en les faisant participer à des actions de gestion, co-construire des projets de valorisation du territoire, maintenir un dialogue dans la durée, s'appuyer sur les personnes ressources... sont autant d'exemples concrets préconisés par les scientifiques. « Cela suppose de se donner d'avantage les moyens de connaître les usagers et de consacrer suffisamment de temps au dialogue pour parvenir à vaincre les a priori et instaurer des relations de confiance » nous précise cependant Sophie Allain.

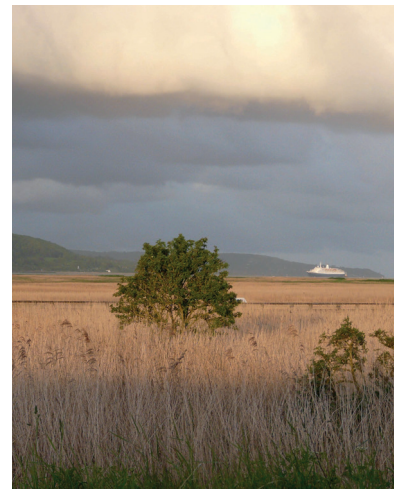


Plus d'infos

Allain S. (coord.), Bellenger M.C., Sirost O., 2014. **Projet PUBLIC : Quelle association du public pour aménager les milieux naturels de l'estuaire de la Seine ?** Projet Seine-Aval 5, 48 p.



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



# Le changement climatique est à l'œuvre dans l'estuaire

Les activités humaines, et en particulier la combustion des énergies fossiles, sont responsables de l'augmentation des gaz à effet de serre. Elle est à l'origine du changement climatique observé depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle. Mieux l'évaluer et prévoir les évolutions à venir doit permettre d'en anticiper les conséquences et de s'y adapter.

Quels sont les impacts du changement climatique déjà perceptibles dans l'estuaire de Seine et quels éléments sont disponibles sur son fonctionnement futur ? Les réponses à ces questions sont indispensables pour la mise en place des politiques d'adaptation et pour renforcer la résilience des territoires.

## Des effets visibles sur l'estuaire

**Le changement climatique est aujourd'hui une réalité et ses conséquences sont multiples.** Que ce soit pour la ressource en eau, le fonctionnement des écosystèmes ou la vulnérabilité des territoires, les enjeux sont majeurs pour les sociétés. « *La vulnérabilité aux événements extrêmes, comme les crues, les tempêtes ou les épisodes de sécheresse, ainsi que le fonctionnement de l'écosystème estuarien sous forçage climatique, sont des questions d'intérêt majeur pour mener nos politiques territoriales* » précise Fara Carra, cheffe de service au sein de la direction de l'environnement du Département de Seine-Maritime.

Les observations permettent d'affirmer que des effets sont visibles à l'échelle de l'estuaire de la Seine. **Le principal effet est l'augmentation de la température atmosphérique** observée en vallée de Seine et sur le littoral. Benoit Laignel, professeur à l'Université de Rouen et président du GIEC

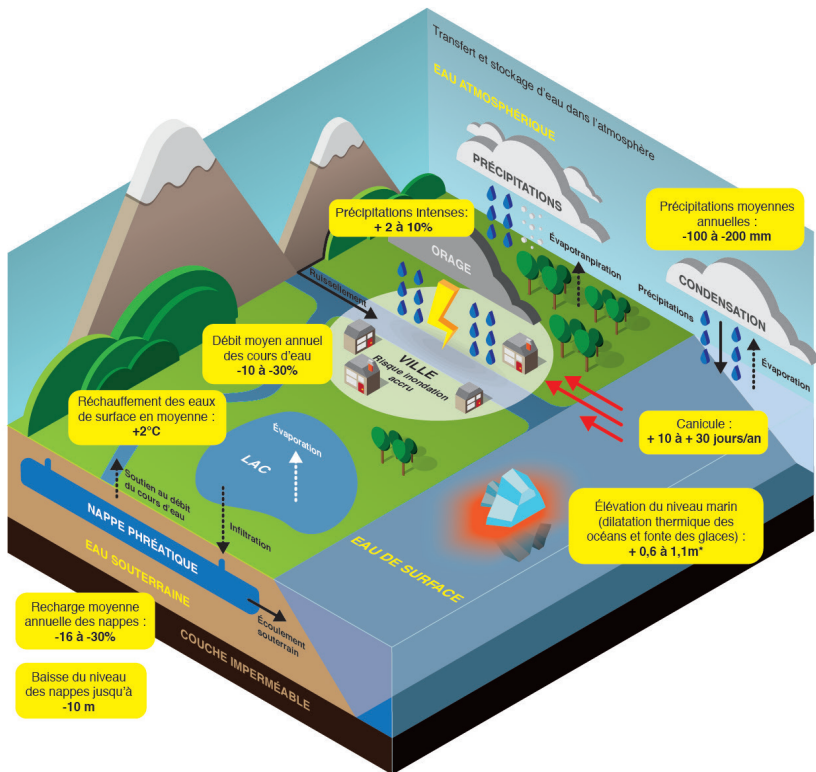


Inondation de janvier 2018 sur la Seine, en amont de Poses

local de la Métropole Rouen Normandie nous indique que « les températures moyennes enregistrées depuis 1970 montrent une augmentation comprise entre +1.2 et +2.2°C à l'échelle de l'estuaire. Les températures minimales et maximales annuelles sont également en hausse ». **L'augmentation de la température est également constatée dans l'eau**, avec une hausse visible dans la Seine (+2°C à Paris depuis la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle) et en Manche (+1°C depuis 1870). Le niveau marin augmente aussi, avec une élévation moyenne estimée à +13cm depuis 1938 au Havre. Et là aussi, le phénomène s'accélère depuis les années 1970 !

« Les projections climatiques nous renseignent sur les évolutions à venir, avec des résultats qui s'accordent sur une élévation des températures, une baisse des précipitations moyennes, une baisse des débits, mais une hausse des débits de crue, une hausse du niveau marin et un renforcement des événements extrêmes de type canicules, sécheresses et fortes précipitations » poursuit Benoît Laignel.

**DES IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE À L'ÉCHELLE DE LA NORMANDIE À L'HORIZON 2100** - Kazmierczak, Laignel, Charrier, 2019. Rapport du GIEC local pour la Métropole Rouen Normandie



## Des répercussions à venir

Le fonctionnement de l'estuaire de la Seine va être modifié par le changement climatique, avec des répercussions de plusieurs natures. On peut ainsi s'attendre à **davantage de contrastes dans la variation des niveaux d'eau**, que ce soit pour les niveaux hauts (précipitations plus intenses) ou les niveaux bas (étiages plus sévères). « L'élévation du niveau marin se répercutera quant à lui sur l'ensemble de l'estuaire, de manière plus ou moins importante selon les conditions de marée et surtout de débit » nous explique Jean Philippe Lemoine, chargé de mission au GIP Seine-Aval. En condition de crue, les niveaux d'eau seraient ainsi plus

forts qu'aujourd'hui, avec l'élévation du niveau marin qui devrait ralentir l'écoulement des eaux de la Seine.

**Température atmosphérique : +1.2 à +2.2°C depuis 1970**  
**+13 cm pour le niveau moyen de la mer au Havre depuis 1938**

Plus d'infos

Bacq N., Lemoine J.P., Moussard S., Le Hir P., Lobry J., 2013. **Projet MESSCENE : Modélisation des fonctions écologiques de l'Estuaire de la Seine et ScENarios d'Évolution – rapport final.** Rapport du GIP Seine-Aval, projet financé par la fondation de France, 69p.

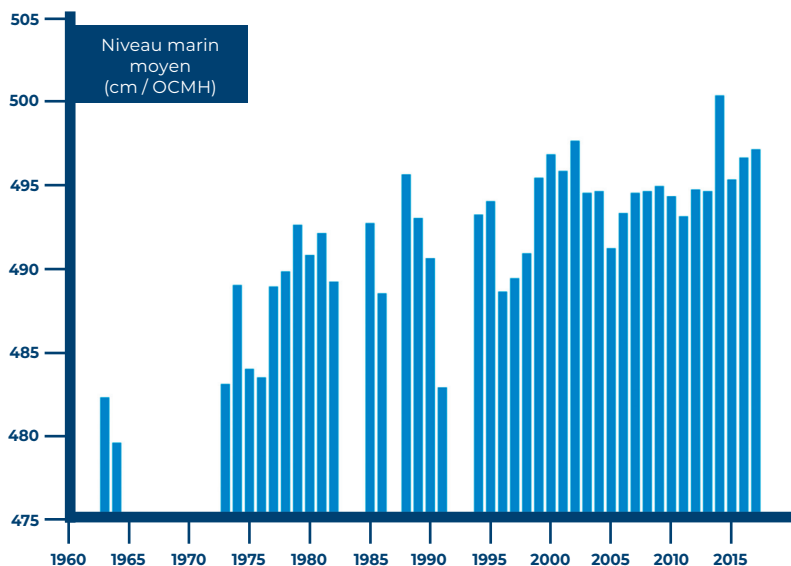


<https://www.seine-aval.fr/publication/projet-mescene/>

**Des impacts sur la qualité des eaux sont également attendus.** En effet, une baisse des débits implique une limitation du pouvoir diluant de la Seine. A rejet égal, la concentration en polluants sera plus forte, avec des effets toxiques renforcés sur la faune aquatique. De même, l'oxygénation des eaux pourrait être limitante pour la vie aquatique en cas de température extrême des eaux. En effet, les eaux chaudes limitent la dissolution de l'oxygène et sa disponibilité pour les organismes aquatiques. Cette même augmentation de température pourrait stimuler la croissance des algues et favoriser la production primaire, à la base du réseau trophique.

**Des répercussions sur l'écosystème, par des effets en chaîne le long de la chaîne alimentaire sont également envisagées,** mais aujourd'hui très difficilement quantifiables. L'exemple du positionnement du gradient de salinité est à ce titre évocateur. « *En lien avec l'élévation du niveau marin, la salinité remonterait plus en amont dans l'estuaire, décalant ainsi des habitats pour les espèces vivant dans le gradient de salinité* » nous détaille Jean Philippe Lemoine. La réflexion est la même pour une élévation de la température qui serait défavorable aux espèces appréciant les eaux plus fraîches (l'éperlan par exemple) et favoriserait des espèces adaptées à des eaux plus chaudes. Comment les espèces vont-elles réagir à ces changements et comment les milieux vont-ils s'adapter ? Le champ de recherche reste encore largement ouvert...

## AU HAVRE, LE NIVEAU MARIN MOYEN AUGMENTE - SONEL, 2019



→ Inondation de janvier 2018 à Rouen



### Plus d'infos

Lemoine J.P., 2015. **Analyse par modélisation de l'impact de l'élévation du niveau marin sur les niveaux de pleine mer dans l'estuaire de la Seine.** Étude réalisée par le GIP Seine-Aval, 34p.



<https://www.seine-aval.fr/publication/elevation-niveau-marin/>



Conception : [www.partenairesdavenir.com](http://www.partenairesdavenir.com)

Directeur de la publication : Hubert Dejean de La Bâtie  
Rédacteur en chef : Elise Avenas  
Textes : Cédric Fisson  
Crédits photos : GIP Seine-Aval, sauf mention contraire  
Mise en page : Partenaires d'Avenir  
Impression : Sodimpal

GIP Seine-Aval

Hangar C - Espace des Marégraphes  
CS 41174 - 76176 ROUEN Cedex 1  
☎ 02 35 08 37 64

✉ [gipsa@seine-aval.fr](mailto:gipsa@seine-aval.fr) 🌐 [www.seine-aval.fr](http://www.seine-aval.fr) 📱 @gipseineaval

