

## Cartographie des fonctions écologiques des zones humides de la vallée estuarienne de la Seine

**Mots clés** : zones humides, fonctions biogéochimiques, télédétection, survol LiDAR - 2022, modélisation cartographique

### **Contexte et finalité des travaux scientifiques**

L'anthropisation de l'estuaire de la Seine a conduit à une profonde modification des milieux estuariens, altérant la capacité de l'écosystème à supporter certaines fonctions écologiques. La restauration des habitats estuariens est confrontée au défi de disposer d'une vision globale du degré d'altération de ces fonctions afin de proposer des mesures appropriées. Cet état des lieux constitue un préalable à la définition d'objectifs clairs, dont les bénéfiques peuvent être évalués, nécessaires à l'élaboration d'une stratégie partagée de restauration écologique à l'échelle de l'estuaire. Cette vision globale se met en place progressivement sur l'estuaire de la Seine (Muntoni, 2020) mais de nombreuses lacunes de connaissances persistent.

Ces lacunes concernent notamment la caractérisation des milieux humides intertidaux et du lit majeur, ainsi que l'expression des principales fonctions biogéochimiques associées (notamment celles d'intérêt en matière de services écosystémiques). Du point de vue des services de régulation, l'estuaire présente un fort potentiel de dénitrification. En tant que processus anoxique, la dénitrification se localise très peu dans la colonne d'eau (à l'exception de la présence de niches anoxiques). Elle se produit préférentiellement dans les sédiments du lit de la Seine et dans les sols des zones humides dites alluviales. L'aménagement de l'estuaire a engendré une réduction des surfaces de zones intertidales (notamment vasières) et une déconnexion directe des zones humides de l'estuaire vis-à-vis du fleuve. En plus de leur intérêt en tant que filtre d'azote, les zones humides jouent un rôle important dans la séquestration du carbone, comme puits de nutriments et de particules ou dans la production primaire autochtone, soutenant un vaste réseau trophique local. Restaurer de tels milieux et favoriser leur reconnexion avec le fleuve sont des orientations identifiées pour améliorer l'expression des fonctions écologiques typiquement estuariennes. En dehors des vasières d'embouchure, les zones humides de l'estuaire de Seine (zones intertidales comprises) sont restées très peu étudiées et les processus liés aux cycles biogéochimiques et à la production primaire dans ces systèmes sont mal appréhendés (Morelle, 2020).

Le fonctionnement des zones humides estuariennes est complexe. Il est soumis naturellement à une grande variabilité spatiale et temporelle des processus hydrologiques et des flux dissous et particulaires associés. De plus cette variabilité est influencée par les pratiques de gestion et d'usage des sols ainsi que les contraintes héritées de l'histoire des aménagements locaux. L'étude du fonctionnement des zones humides en estuaire relève en particulier de travaux scientifiques qui couplent suivis de sites locaux, expérimentations en laboratoire et modélisations des processus. Ces travaux sont nécessaires pour définir des objectifs de restauration quantifiables, cibler les mesures les plus efficaces et élaborer les stratégies d'évaluation de l'efficacité de ces opérations. Ils doivent être poursuivis, de manière

coordonnée avec les opérations de restauration en cours ou prévues, dans le but de formaliser des retours d'expérience robustes (Muntoni, 2020).

En complément de ces études sur les processus, **il apparaît nécessaire de disposer d'une évaluation plus globale du niveau des fonctionnalités des zones humides à l'échelle de l'estuaire.** Cette information permettra une première évaluation des potentialités de restauration de l'estuaire de la Seine et une identification des secteurs d'intérêt pour mettre en place les mesures.

**Ainsi, la finalité des travaux est de disposer d'une modélisation spatiale permettant une évaluation quali-quantitative de l'intensité des principales fonctions biogéochimiques des zones humides à l'échelle de la vallée de l'estuaire de la Seine.** Les travaux mobiliseront de manière structurée l'état de l'art, les expertises scientifiques disponibles et les données existantes. Un survol LiDAR de l'estuaire en 2022 sera mutualisé pour tester d'autres capteurs d'intérêt au regard de la finalité des travaux. Les progrès réalisés dans différents champs de la télédétection (analyses du signal LiDAR, couplages spatio-temporels de l'imagerie satellite et drone, usages des réseaux de neurones...) pourront nourrir les réflexions relatives aux stratégies de suivi des zones humides (contexte de changement climatique et d'évaluation des stratégies de gestion environnementale). Le développement d'une telle modélisation spatiale globale sera également utile pour prioriser les besoins d'acquisition de connaissances approfondies sur les processus, nécessaires à la réussite des opérations de restauration.

### **Objectifs des travaux scientifiques**

Des démarches de modélisation des fonctions biogéochimiques des zones humides ont déjà été proposées à différentes échelles spatiales (ex : Boerema 2016, Bitoun 2017, Rapinel 2019, Curie 2006,). **Une première approche de modélisation spatiale appliquée aux principales fonctions biogéochimiques des zones humides (incluant les zones intertidales de substrat nu) de la vallée de l'estuaire de la Seine doit être développée.**

Dans le contexte de cet appel à projets, deux volets seront abordés de manière complémentaire :

**A. Développer une cartographie à grande échelle des déterminants du fonctionnement écologique des zones humides à partir de données de télédétection.**

L'objectif est de mobiliser les données issues de la télédétection (tout mode d'acquisition et tout type de capteur d'intérêt par rapport à la finalité des travaux). Les indices hydromorphologiques, les durées et fréquences d'inondation, l'humidité des sols, la structure et le type de végétation, la production primaire, le type de substrat sédimentaire, l'arrangement spatial des milieux sont notamment (liste non exhaustive) des facteurs d'influence à appréhender à travers l'exploitation de ces types de données. Les descripteurs et typologies associés les plus pertinents par rapport à la finalité des travaux doivent être ciblés. Une stratégie d'analyse multi-capteurs semble pertinente pour augmenter la fiabilité des traitements des données de télédétection et disposer d'une résolution spatiale d'intérêt par rapport à la problématique.

Un survol par avion de l'ensemble de la vallée sera programmé en 2022 pour mettre à jour le référentiel micro-topographique ([voir référentiel actuel](#)). Cette opération constituera une opportunité d'acquisition de données issues de capteurs complémentaires au LiDAR Infra-Rouge et utiles à la finalité des travaux. Le cahier des charges du vol pourra ainsi être adapté, dans les limites des possibilités techniques (compatibilité des contraintes d'acquisition) et financières, selon les propositions de projets scientifiques issues du présent AAP.

Il sera utile de mobiliser des données acquises par satellite et par drone afin de mieux appréhender la variabilité spatiale et temporelle des paramètres à cartographier et à suivre. Une stratégie de mobilisation des données existantes et d'acquisition de données complémentaires, permettant de valider les traitements d'image/signal, sera à développer.

**B. Développer une stratégie de modélisation cartographique des principales fonctions biogéochimiques des zones humides à l'échelle d'une basse vallée fluviale soumise à la marée.**

L'objectif sera de formuler les hypothèses de modélisation permettant de discriminer spatialement, de manière quali-quantitative, le niveau de réalisation des fonctions ciblées. La littérature scientifique relative au fonctionnement biogéochimique des zones humides des basses vallées fluviales, et notamment celles soumises à marée, sera mobilisée.

Il sera nécessaire de mobiliser la cartographie des principaux déterminants du fonctionnement biogéochimique des milieux concernés à partir des données disponibles ou produites (ex : volet A) et de proposer les méthodes d'analyses spatiales des informations. Un premier recensement de données mobilisables est proposé en annexe.

L'acquisition de connaissances *in situ* devra être envisagée pour conforter les hypothèses. Une attention particulière devra être portée sur l'influence des hétérogénéités spatiales des milieux et leurs interconnexions. Les stratégies et protocoles proposés devront permettre de tendre vers une cartographie à l'échelle de l'ensemble de la vallée ou de grands secteurs à enjeux. La méthodologie pourrait être développée sur des zones restreintes, représentant différents types de zones humides et associées à différents enjeux de restauration écologique, en vue d'une application à l'ensemble du territoire. Les transferts d'échelles (parcelles => boucle de Seine => vallée de l'estuaire) inhérents à cette approche devront être particulièrement travaillés.

### **Objectifs de la phase d'évaluation des lettres d'intention**

Dans le contexte de cet AAP, la phase d'évaluation des lettres d'intention a pour objectifs :

- ⇒ D'identifier les équipes scientifiques souhaitant s'investir sur l'estuaire de la Seine dans le domaine de la biogéochimie des zones humides de basse vallée fluviale soumise à la marée et/ou de la télédétection appliquée à l'écologie de ces zones humides.
- ⇒ De mettre en relation les équipes scientifiques de compétences complémentaires pour appréhender la problématique.
- ⇒ D'identifier des propositions méthodologiques qui apparaissent les plus pertinentes et efficaces au regard de l'état de l'art et notamment :
  - Identifier la possibilité et l'intérêt de mobiliser d'autres capteurs que le LiDAR Infra-Rouge pour le survol de la vallée en 2022.
  - Identifier les produits issus du traitement d'images satellite/drone sur lesquels s'appuyer pour tendre vers les objectifs présentés.
  - Identifier des méthodologies de modélisation spatiale qui permettraient de tendre vers les objectifs présentés.

### **Enveloppe budgétaire prévisionnelle**

L'enveloppe budgétaire prévisionnelle allouée à l'ensemble des travaux prévus dans cet appel à projets est de **400 k€**. Ce montant constitue un ordre de grandeur destiné à orienter les proposant sur le niveau d'ambition des actions à proposer et les moyens à mettre en œuvre.

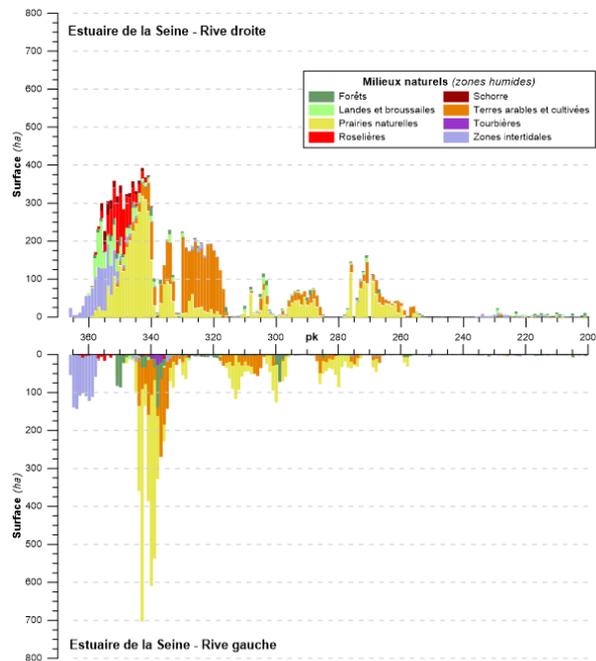
### **Bibliographie et site web d'intérêt**

- Bitoun R. (M.Sc.) Evolution of ecosystem services over a complex coastal tidal flats – salt marshes in Brittany (France). Montpellier University, France. Prix de l'Estran 2017. ([http://www.institutdelestran.fr/doc/Prix\\_2017.pdf](http://www.institutdelestran.fr/doc/Prix_2017.pdf) )
- Boerema A., Van der Biest K., Meire P., 2016. **Ecosystem Services : Towards Integrated Maritime Infrastructure Project Assessments**, International Association of Dredging Companies (IADC)  
<https://www.iadc-dredging.com/article/ecosystem-services-maritime/>
- Curie F., 2006. **Rétention de nitrates dans les zones humides riveraines. Rôle des facteurs hydrologiques, géomorphologiques et biogéochimiques. Approche multi échelle dans le bassin de la Seine**. Thèse de doctorat, Université Paris VI, 211 p.
- Langlois E, Bureau F. **Restauration écologique des berges de la Basse Vallée de Seine** (Projet GIP Seine-Aval 4 : REBEBAS). 2012.  
<https://www.seine-aval.fr/projet/rebebas/>
- Langlois E. (coord.), **Comparaison du Fonctionnement Ecologique de secteurs intertidaux contrastés pour la compréhension de leurs connectivités et la Restauration des fonctions Ecologiques Estuariennes** (Projet Seine-Aval 6 : FEREE, 2019-2023)  
<https://www.seine-aval.fr/projet/feree/>
- Mchergui C. **Restauration écologique dans un système estuarien fortement anthropisé : applications au compartiment sol des écotones rivulaires et aux marais alluvionnaires de la Basse Vallée de Seine**. Université de Rouen ; 2014.
- Muntoni M., 2020. **REPERE : Référentiel partagE sur les Priorités de restauration des fonctionnalitEs des milieux estuaRiEns de la vallée de Seine-Aval**. Rapport réalisé par le GIP Seine-Aval. 94 p. <https://www.seine-aval.fr/publication/etude-repere/>
- Morelle J., 2020. **Projet SPORES : Synthèse sur les nutriments et la production primaire dans l'estuaire de la Seine**. Rapport d'étude réalisé par le GIP Seine-Aval, 84 p. <https://www.seine-aval.fr/publication/etude-spores/>
- Rapinel S., Clément B., Hubert-Moy L., « **Cartographie des zones humides par télédétection : approche multi-scalaire pour une planification environnementale** », Cybergeog : European Journal of Geography [Online], Cartography, Images, GIS, document 885, Online since 13 February 2019, connection on 21 January 2021. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeog/31606> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/cybergeog.31606>

**Annexe : appui à la rédaction des lettres d'intention**

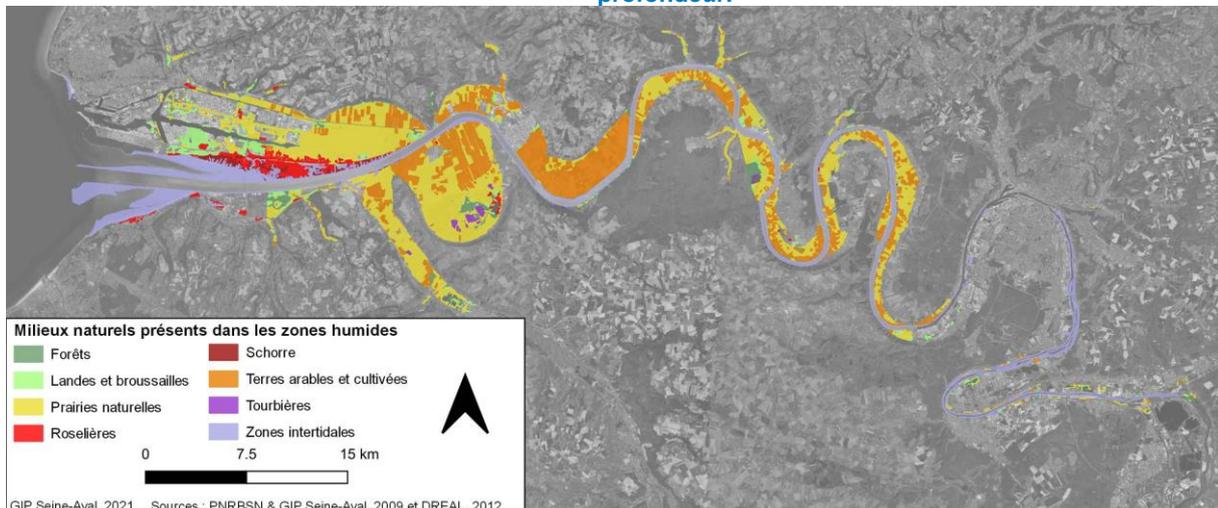
**Emprise spatiale et types de zones humides concernées**

A l'échelle de l'estuaire de la Seine (de Poses à la mer), les zones humides représentent 23 572 ha, dont 54 % en rive droite. L'embouchure de l'estuaire concentre la majorité de ces zones humides, avec 50 % des zones humides à l'aval de Tancarville (pk 338) et 75 % à l'aval de Norville (pk 317). Le secteur à l'amont de la Bouille (pk 260) en accueille moins de 3 %. Les milieux naturels présents sur les zones humides de l'estuaire de la Seine sont majoritairement des prairies naturelles (47 %) et des terres arables et cultivées (25 %). Typiques des milieux estuariens, les zones intertidales représentent 2 679 ha, les roselières couvrent près de 1 000 ha et le schorre, 253 ha. Ces derniers sont essentiellement présents à l'embouchure de la Seine (à l'aval du pk 340), en rive droite.



GIP Seine-Aval, 2020 - Source des données : PNRBSN & GIP Seine-Aval, 2012 ; DREAL

**Milieux naturels présents dans les zones humides de l'estuaire de la Seine (2009), hors plans d'eau de faible profondeur.**



Les surfaces de zones humides ont fortement évolué au cours du temps à l'échelle de l'estuaire de la Seine, avec une réduction notable des zones intertidales, des prairies (respectivement -35 % et -24 % entre 1973 et 2009). A l'inverse, les surfaces des terres cultivées ont augmenté (+20 % entre 1973 et 2009).

### Informations relatives aux données mobilisables à l'échelle de l'ensemble de la vallée estuarienne

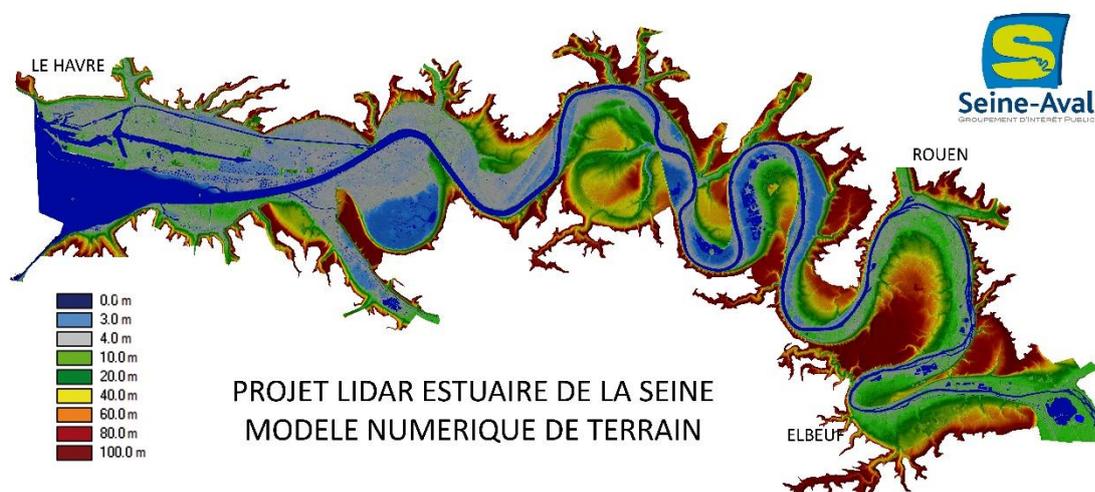
*Des données locales complémentaires existent et ne sont pas présentées ici.*

#### Modélisation de la dynamique des inondations dans la plaine alluviale

Une modélisation hydraulique de la dynamique des inondations dans la vallée est en cours de développement sur l'estuaire de la Seine (Modèle Telemac 2D). La mobilisation de cet outil sera possible (compétence interne à l'équipe du GIP Seine-Aval) afin d'apporter des informations pertinentes pour la mise en œuvre des méthodologies.

#### Topographie

LIDAR 2011 – GIP Seine-Aval (<https://www.seine-aval.fr/publication/lidar/>)

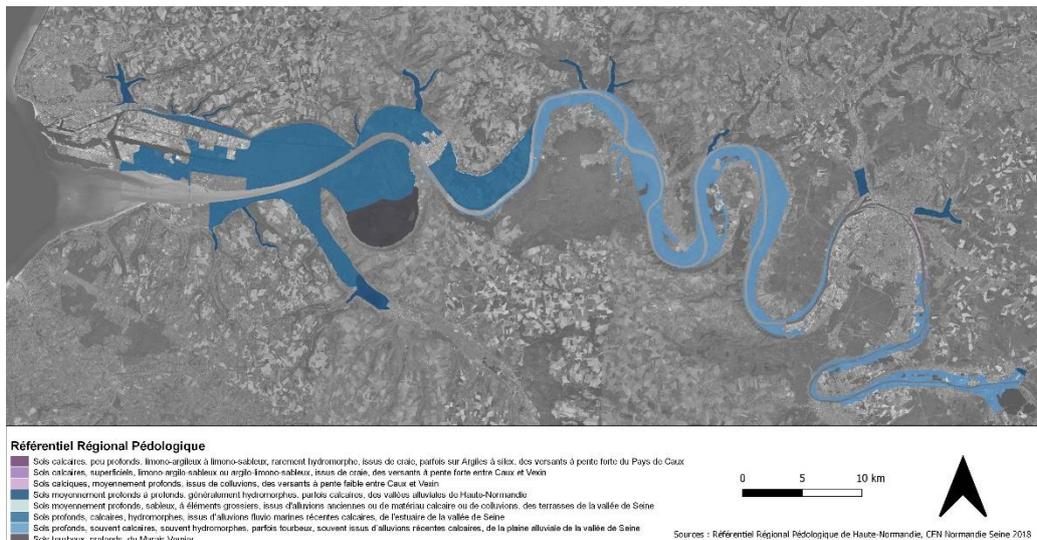


LIDAR ROLNP 1<sup>ère</sup> (2018) et 2<sup>nd</sup> campagnes (2020-2021) jusqu'au pont de Normandie  
<https://www.rolnp.fr/rolnp/>

#### Sols

Référentiel régional pédologique

<http://cen-normandie.fr/les-programmes-et-projets/programmes-regionaux-d-actions/referentiel-regional-pedologique>



### Végétation

Cartographie des végétations sur les sites Natura 2000 (cf. carte de disponibilité).

