

Modalités de suivi des vasières de l'estuaire de la Seine

Mots clés : vasières, production primaire, hydro-sédimentaire, satellite, drone, caméra en point fixe, indicateur.

Programme d'activité 2021-2026 - Objectifs et axes de travail concernés

Objectif stratégique n°3 "Mutualiser des moyens et mobiliser les acquis de la recherche pour améliorer le suivi de l'estuaire" - axe de travail 3.3. "Favoriser la mutualisation des moyens et transférer les acquis de la recherche pour enrichir le suivi pérenne de la qualité des milieux aquatiques

Objectif stratégique n°8 "Accompagner la réussite des opérations de restauration écologique" - axe de travail 8.2. "Etudier les modalités de restauration de vasières dans le secteur intermédiaire de l'estuaire"

Contexte et finalité des travaux scientifiques

Les vasières intertidales jouent un rôle primordial dans le fonctionnement écologique de l'estuaire. Ces habitats présentent des taux importants de production primaire, à la base du fonctionnement complexe d'un vaste réseau trophique. Ils sont un support au cycle de vie de nombreuses espèces : zone d'alimentation et d'hivernage pour de nombreuses espèces d'oiseaux ou en tant que zones de nourricerie pour les juvéniles de poissons. Ils jouent aussi un rôle dans les processus épuratifs de l'eau en tant que filtre. Les enjeux de préservation et de restauration de ces milieux sont importants et partagés (Muntoni, 2020).

De nombreuses connaissances sur le fonctionnement morpho-sédimentaire des vasières ont été acquises dans les différents secteurs de l'estuaire. Leur fonctionnement écologique a été appréhendé de manière détaillée sur le secteur de l'embouchure, où leur surface est plus importante et où les enjeux de préservation sont majeurs. Pour le secteur plus amont de l'estuaire (amont du pont de Tancarville), une nouvelle phase d'acquisition de connaissances s'engage (ie : « SA7 – Fonctionnement des vasières « Amont de Tancarville ») dans le but d'apporter des éléments de caractérisation de leur fonctionnement et de fournir un éclairage scientifique aux opérateurs de projets de restauration. Les connaissances disponibles n'ont toutefois pas été mobilisées pour développer le suivi pérenne de ces milieux à l'échelle de l'estuaire. Ce suivi est nécessaire pour appréhender les trajectoires d'évolution de l'estuaire et mesurer les effets des opérations de restauration.

La télédétection couplée à l'intelligence artificielle (via le traitement automatisé des images) offre de plus en plus de moyens d'analyse et de suivi des milieux naturels. Grâce aux différents supports d'acquisition (satellite, avion, drone, caméras en point fixe...), un large panel d'images aux multiples résolutions radiométriques, spectrales, spatiales et temporelles peuvent être mobilisées. Les algorithmes d'apprentissage automatique (*machine learning*) recèlent un fort potentiel de classification très satisfaisante de ces espaces.

Au regard des enjeux et des dynamiques d'acquisition de connaissances, le GIP Seine-Aval souhaite développer les moyens d'un suivi des dynamiques d'évolutions de ces milieux, à différentes échelles spatiales et temporelles, en s'appuyant sur les outils de la télédétection et du traitement d'images à l'état de l'art.

Parmi les indicateurs de fonctionnement de ces milieux, le développement du micro-phyto-benthos (MPB) est particulièrement intéressant. En effet, via la production primaire benthique, les vasières contribuent à la séquestration du CO₂ et à la production de matière organique, source d'énergie pour l'ensemble du réseau trophique (Claquin, 2018). Les variations spatiales et temporelles d'indices de végétation (ex : NDVI...) observables par télédétection, peuvent constituer un *proxy* de cet indicateur. Ceci renforce l'intérêt de cibler ce compartiment biologique pour proposer un outil de suivi de ces milieux. De nombreux facteurs influencent la dynamique d'évolution et le fonctionnement des vasières et donc leur productivité (Orvain & Huguet, 2022). Certains de ces facteurs, comme par exemple les paramètres hydro-morpho-sédimentaires (topographie, facies sédimentaires, hauteur de vague...), peuvent également être suivis en s'appuyant sur l'analyse d'images. Il apparaît ainsi opportun de réfléchir conjointement aux modalités de suivi des paramètres écologiques et physiques des vasières intertidales de l'estuaire.

La finalité des travaux de recherche est de développer les modalités de suivi des vasières intertidales, en s'appuyant sur les outils de la télédétection, pour i/ disposer d'une vision à l'échelle globale de l'estuaire des gradients de production et tendre vers un indicateur spatialisé de la production primaire de ces milieux et ii/ améliorer les protocoles de suivi de ces milieux à l'échelle locale, afin notamment de mieux évaluer leur fonctionnalité en lien avec les variabilités temporelles des processus en jeu, et ainsi dégager des enseignements pour le suivi des opérations de restauration.

Objectifs des travaux scientifiques

La cartographie des descripteurs du fonctionnement écologique des vasières à partir d'analyses d'images renvoie à de nombreux défis scientifiques et techniques. Au regard de la finalité des travaux, deux échelles spatiales d'analyse structurent les objectifs scientifiques de cet appel à projets.

Le suivi des zones intertidales à l'échelle de l'estuaire : vers un indicateur de production primaire benthique des vasières de l'estuaire.

A l'échelle de l'estuaire, le suivi des zones intertidales implique de développer une stratégie reposant avant tout sur la mobilisation des images satellites. Le suivi de la productivité primaire à partir des indices d'observation des sols (ex. NDVI, NDWI, SAVI...) présente de nombreuses incertitudes étant donné la variabilité des processus impliqués. En effet, la distribution spatio-temporelle du MPB peut présenter des fluctuations spatio-temporelles très marquées, car elle est régie par des facteurs physiques (ex. rayonnement solaire, température de surface du substrat, exondation des vasières, vagues, apports sédimentaires...) et biologiques (*grazing*, biostabilisation et bioturbation) très variables.

De plus, la disponibilité d'images, à des résolutions spatiales et temporelles pertinentes par rapport à l'objectif, permettant l'observation de l'ensemble des secteurs, présente plusieurs verrous techniques, notamment liés aux spécificités du contexte Seine (faible largeur des zones intertidales dans certains

secteurs, présence fréquente d'un couvert nuageux, marées basses de vives eaux la nuit à l'aval...). Ainsi, il paraît nécessaire de développer une stratégie spécifique d'acquisition et de mobilisation des images pour garantir un suivi régulier et standardisé des dynamiques de ces milieux. Cette stratégie devrait d'une part permettre de mobiliser les images disponibles historiquement pour tenter une approche rétrospective. D'autre part, elle devrait s'appuyer sur les images disponibles actuellement et facilement mobilisables à l'avenir, permettant de tirer parti des données les mieux résolues d'un point de vue spatial, temporel, spectral et radiométrique, ceci dans le but de proposer une procédure pour pérenniser un suivi.

Sur la base des images mobilisables, les travaux scientifiques devront mettre en place un modèle d'estimation de la production primaire des vasières qui soit spatialisé et qui intègre les variations saisonnières. D'autre part, les évolutions spatiales et temporelles des facies sédimentaires peuvent montrer une importante variabilité dans certains secteurs de l'estuaire (en particulier la zone de l'embouchure). Leur cartographie constitue encore un défi, qui pourrait être appréhendé sur de grands secteurs en mobilisant également les images satellites.

Afin d'aider à l'interprétation des variations de production primaire entre les différentes zones intertidales de l'estuaire, la cartographie de paramètres morfo-sédimentaires pourra être réalisée à partir de données existantes sur l'ensemble de l'estuaire pour les situations 2010 et 2022, et à d'autres pas de temps pour la zone de l'embouchure (Données LIDAR et ortho-photos à marée basse disponibles). Des bases de données sur la granulométrie des zones intertidales peuvent également être mobilisées en particulier sur le secteur de l'embouchure.

Le suivi de sites locaux : mieux comprendre le fonctionnement écologique et la dynamique des vasières en lien avec l'évolution des paramètres hydro-morpho-sédimentaires.

La mobilisation des images satellites pour améliorer la compréhension et le suivi du fonctionnement écologique de vasières montre des limites en termes de fréquence d'acquisition et de résolution spatiale, spectrale et radiométrique. A l'échelle locale, dans le cadre d'aménagements et d'opérations de restauration écologique, des moyens peuvent être déployés pour disposer d'informations à plus hautes résolutions spatiale, temporelle et spectrale, notamment via les drones aériens et les caméras en point fixe. Ces données complémentaires peuvent permettre d'appréhender plus précisément la dynamique du MPB et la traduire en termes de production primaire des vasières. Elles peuvent aussi permettre de suivre des paramètres hydro-morpho-sédimentaires ou d'en préciser certains.

Les objectifs scientifiques sont d'améliorer nos capacités à évaluer la fonctionnalité et l'évolution de ces milieux en lien avec la dynamique hydro-morpho-sédimentaire. Pour cela il est attendu de mettre en œuvre, sur la durée du projet (avec des perspectives de pérennisation), un suivi de plusieurs sites d'intérêt pour la gestion écologique de l'estuaire. Ce suivi devrait s'appuyer sur différentes techniques d'acquisition d'images et protocoles d'acquisition de données *in situ* concernant les paramètres du fonctionnement écologique et hydro-sédimentaire des vasières.

Les vasières de l'embouchure sont d'un intérêt particulier. En effet, les aménagements prévus dans le cadre du développement d'HAROPA Port et les réflexions en cours pour identifier des mesures de restauration impliquent de renforcer le suivi de ces milieux. Un partenariat avec le gestionnaire de la réserve naturelle de l'estuaire de la Seine pourrait être envisagé en particulier pour l'installation de caméras en point fixe et pour mutualiser les moyens de suivi *in situ*.

En amont de Tancarville, des sites d'intérêt sont proposés dans le cadre de l'appel à projets Seine-Aval 7 « Fonctionnement écologique des vasières « amont de Tancarville ». L'acquisition de connaissances sur ces sites pourrait servir utilement le développement des modalités de suivi des vasières.

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 disposant d'une expertise dans l'acquisition et le traitement d'images satellite, drone ou caméra en point fixe pour l'étude physique et écologique des zones intertidales.
- ⇒ D'identifier les équipes scientifiques disposant d'une expertise relative à l'évaluation de la productivité des vasières et impliquées dans des travaux scientifiques mobilisant la télédétection.
- ⇒ D'identifier des points de convergence avec l'appel à projets « Fonctionnement écologique des vasières « amont de Tancarville » ».
- ⇒ De proposer des priorisations et des orientations pour les intentions retenues comme pertinentes.

Enveloppe budgétaire prévisionnelle

L'enveloppe budgétaire prévisionnelle allouée à l'ensemble des travaux prévus dans cet appel à projets est de **200 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 sites web d'intérêt

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. [site web](#)

Grasso F. (coord.), Verney R., 2018. **Projet HYMOSED : Modélisation du fonctionnement HYdro-MORpho-SEDimentaire de l'estuaire de la Seine – Volet « Mesures »**, Rapport de recherche du programme Seine-Aval 5, 57 p. - [site web](#)

Huguet A. & Orvain F., (Coord.), 2022 **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 REhabilitation des vasières de la SEine Estuarienne**. Rapport de recherche du programme Seine-Aval 6, 161 p – [site web](#)

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. [site web](#)

Orvain F. (coord.), Le Hir P., Méléder V., Lesourd S., Dancie C., Israël S., Morelle J., 2018. **Projet BARBES « Associations Biologiques en relation avec le transport sédimentaire : développement d'un modèle de bioturbation par les ingénieurs d'écosystèmes en estuaire de Seine »**. Rapport de recherche du programme Seine-Aval 5, 123 p.- [site web](#)