

Synthèse du fonctionnement écologique et hydromorphologique de l'estuaire de la Seine en 2014

24 juillet 2014

Document de travail du projet PERCEES

Ce document vise à dresser un état des lieux du fonctionnement écologique de l'estuaire de la Seine en 2014, dans le cadre du projet PERCEES. Il s'appuie essentiellement sur les documents du GIP Seine-Aval ainsi que des entretiens avec les scientifiques impliqués dans le projet. Il servira de document de travail et de base de discussion dans le cadre de la construction des images futures possibles de la restauration de l'estuaire de la Seine d'ici à 2065.

Périmètre de la zone d'étude

Un estuaire est un complexe hydraulique associant un fleuve, une nappe alluviale et leurs annexes. Il est le résultat de l'histoire évolutive des espèces et des milieux naturels, semi-naturels et anthropisés du territoire, en lien avec les évolutions climatiques et hydromorphologiques.

L'estuaire de la Seine est défini par la zone d'influence de la marée dynamique sur le cours d'eau, ce qui correspond aujourd'hui aux 160 derniers kilomètres du fleuve. **Il est délimité par le barrage de Poses en amont et par la partie orientale de la baie de Seine en aval** (ligne des -10m du Havre). L'estuaire peut être décomposé latéralement en quatre compartiments écologiques et longitudinalement en quatre tronçons (Figure). Néanmoins, l'estuaire de la Seine n'est pas isolé, il est notamment inclus dans un bassin versant d'une superficie de 11 500 km².

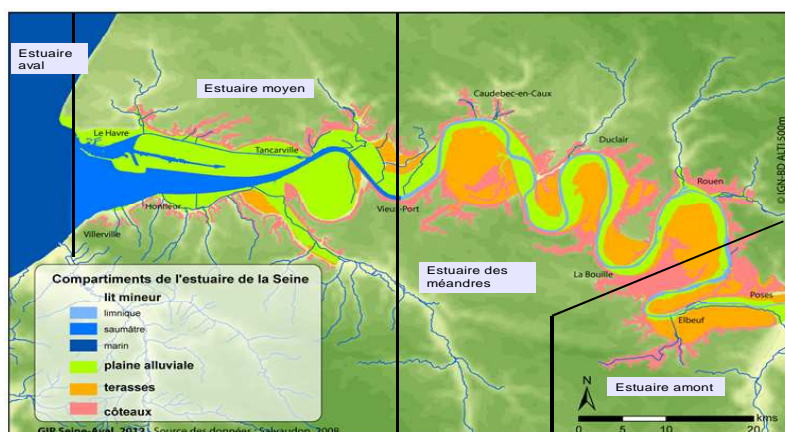


Figure 1 Compartiments latéraux et longitudinaux de l'estuaire (GIP Seine-Aval)

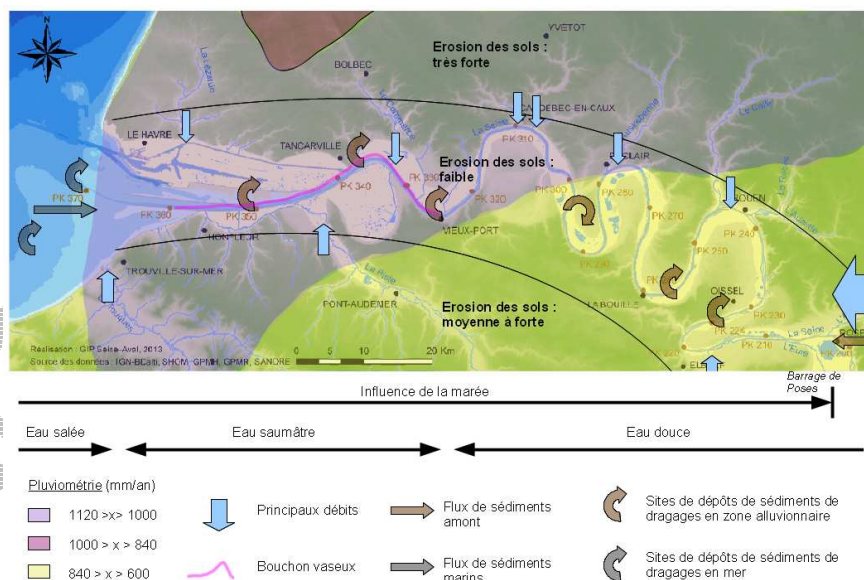
1. Conditions climatiques et hydromorphologiques

Le climat de Haute-Normandie est un **climat de type océanique**, marqué globalement par la douceur des températures et l'humidité. Cependant, **les précipitations n'y sont pas homogènes**. Si la rive droite enregistre des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 1 100 mm, le sud-est de l'Eure reçoit en moyenne moins de 550 mm (figure 2). Le Gulf Stream, courant océanique chaud lorsqu'il remonte vers l'Europe, est responsable du réchauffement de la couche atmosphérique présente au dessus de l'estuaire.

Les variations climatiques sur le bassin versant conditionnent directement le débit du fleuve, qui varie entre 130 m³/s en étiage (parfois moins) et 2200 m³/s lors des crues quinquennales, pour une moyenne de 530 m³/s ces dix dernières années (mesures à Poses). **Les variations de débit de la Seine sont toutefois fortement influencées par les régulations de débit faites sur les barrages en soutien d'étiage ou écrêtement des crues**. Ces débits sont faibles au regard de la taille du bassin versant (seul un maximum de 25% des eaux infiltrées rechargeant les aquifères sont rétribuées au fleuve). Les fluctuations des régimes des débits observées à Poses, évoluent en fonction 1/ des ruissellements provenant des bassins versants intra-estuariens, 2/ des apports souterrains des nappes de la craie et alluviale et 3/ des apports des affluents. **En rive droite les**

apports sont assimilables aux apports de surface des affluents contrairement à la rive gauche où les apports souterrains sont plus importants.

A l'échelle de l'ensemble du bassin versant, la **diminution de l'infiltration des eaux pluviales** vers les nappes phréatiques a une influence directe sur les débits du fleuve et de ses affluents en augmentant les pics de débits lors de fortes pluies par l'augmentation du ruissellement et en accentuant les périodes d'étiage en raison d'une diminution du niveau des nappes (durée plus importante des étiages, débits plus faibles). Ce phénomène est intimement lié aux dynamiques d'étalement urbain, de densification du réseau routier et d'intensification des pratiques agricoles.



La variabilité annuelle et interannuelle des débits des fleuves et affluents influence les apports et le transport des matières en suspension ainsi que la répartition géographique des différentes classes de sédiments (constitutifs des zones de dépôt sablo-vaseuses). Le **déplacement de sédiments** est à la fois d'origine naturelle (érosion des sols du bassin versant, transport sédimentaire dans le fleuve et ses affluents...) et anthropique (Figure). En effet les remblaiements par l'homme de zones intertidales et de zones humides de la plaine alluviale concernent des surfaces importantes à l'échelle de l'estuaire. Les activités humaines ont aussi un impact sur l'expulsion ou le déplacement des sédiments, du fait du dragage et des différents aménagements de chenalisation. La partie maritime de l'estuaire est également concernée par des extractions de granulats marins, dont la demande est en forte augmentation. La résultante de ces dynamiques naturelles et anthropiques est actuellement **une accélération du comblement de l'estuaire** et une **diminution des surfaces intertidales** et du **volume oscillant** dans l'estuaire. A l'embouchure, l'avancée progressive vers le large du front du delta sous-marin (progradation) est la conséquence de l'accumulation de sédiments.

2. Gradients, cycles et flux de matière et d'énergie

La dynamique hydrosédimentaire détermine la localisation, le volume et la dynamique du bouchon vaseux (ou zone de turbidité maximale), réacteur biochimique qui **conditionne la dynamique des vasières intertidales et subtidales**. Son rôle est très important du point de vue biologique, ainsi que dans le cycle de la matière (dégradation de la matière organique, transport et stockage de micropolluants...). Sa localisation, son volume, sa dynamique évoluent dans le temps. Les aménagements successifs de l'estuaire ont eu pour conséquence son **étalement et la migration vers l'aval de la zone de plus haute densité**. Lors des crues, son expulsion périodique en baie de Seine alimente des envasements temporaires littoraux.

Le sel est un élément structurant majeur au sein du système estuarien car il existe une relation étroite entre salinité, bouchon vaseux et oxygénation de l'eau d'une part et car le **gradient de salinité** structure fortement la répartition des espèces et des habitats **en fonction de leur tolérance respective** (Figure). L'intrusion saline varie suivant la marée et le débit de la Seine.

Les éléments nutritifs, qui contribuent à la production biologique primaire aquatique (carbone, azote, phosphore, potassium, silice...) proviennent des sols du bassin versant et des flux atmosphériques. Les principales zones de production primaire pélagique (phytoplancton) sont situées en amont de l'estuaire. En aval, **les surfaces de vasières intertidales sont considérées comme le biotope le plus productif au monde** après celui des mangroves, en raison de la richesse en carbone associée aux MES¹ et à la présence du biofilm microalgal.

Les chaînes trophiques de l'estuaire de la Seine sont fortement influencées par les choix en terme d'occupations du sol et de pratiques, avec des répercussions directes (recouvrement urbain, pratiques agricoles, forestières et halieutiques, extractions de matériaux) et indirectes (contamination de la chaîne trophique par bioaccumulation d'éléments toxiques – voir ci-après, fragmentation des habitats ou rupture des continuités écologiques, pollution lumineuse, extinction d'espèces proies, compétition pour l'accès aux ressources par apparition d'espèces introduites).

Trois types de sols sont présents dans l'estuaire : des sols alluviaux, des sols à caractère hydromorphe et des sols tourbeux, caractérisés par la durée de permanence de l'eau et le taux d'oxygène. Les sols, les substrats intertidaux et aquatiques et le bouchon vaseux constituent les compartiments clés au sein desquels se déroule une majeure partie des cycles biogéochimiques et, notamment, **le recyclage de la matière organique**. La microfaune de ces compartiments contribue à alimenter les chaînons supérieurs (prédateurs primaires et secondaires).

La résilience des écosystèmes dépend notamment de la richesse spécifique, de la diversité génétique et de la complexité des chaînes trophiques. A l'échelle du complexe estuarien, **les prédateurs supérieurs sont sous représentés, que ce soit sur les milieux terrestres ou aquatiques**, or ils permettent la régulation des populations. La fréquentation de l'estuaire de la Seine par les prédateurs supérieurs aquatiques (mammifères marins et certains grands poissons) est aujourd'hui fortement limitée, cependant cet espace constitue géographiquement et historiquement un territoire potentiel pour de nombreuses espèces.

3. Caractéristiques biogéochimiques de l'eau et des sols

Qualité de l'eau

De nombreux contaminants se retrouvent actuellement dans les eaux de l'estuaire de la Seine. En ce qui concerne les **pesticides**, il existe un risque avéré ou potentiel sur de nombreuses substances en terme de qualité de l'eau pour la consommation, ainsi que pour la biodiversité aquatique. De nombreux pesticides ou biocides sont des **perturbateurs endocriniens**. Certains pesticides rémanents peuvent, longtemps après leur utilisation, persister et passer d'un compartiment à l'autre, passivement ou activement via des processus biologiques. Ces pesticides sont globalement en diminution, mais sont remplacés par de nombreuses nouvelles molécules, actives à des concentrations plus faibles et plus difficiles à mesurer, dont les produits pharmaceutiques.

Les apports d'autres **contaminants chimiques (métaux, HAP², PCB³, phtalates)** à la Seine et à ses affluents sont nombreux et les effets de synergie de ce « cocktail » sont encore mal connus. Ces polluants sont susceptibles de se retrouver dans l'ensemble de la chaîne alimentaire à des concentrations parfois élevées en raison du phénomène de bioaccumulation. Les suivis à long terme des métaux dans les sédiments et la matière vivante montrent des tendances globalement en diminution. Les effets de ces substances sont multiples, provoquant des dysfonctionnements sur le génome, sur le système nerveux, la physiologie, le système immunitaire, sur la reproduction et le développement des organismes.

Certains microorganismes pathogènes sont apportés par les eaux de ruissellement et les rejets d'eaux usées. **Une contamination avérée en bactéries et parasites d'origine fécale** est établie pour l'estuaire de la Seine, bien que variant selon les zones de l'estuaire et les facteurs hydrologiques.

La Seine réceptionne également de nombreux **macro-déchets** (plastiques, bois, machines...) en amont de Poses et en aval. Excepté les embâcles, types troncs d'arbres, les déchets constitués de matériaux variés sont amenés à relarguer dans le milieu aquatique, puis les sols, des produits de décomposition dont certains peuvent être toxiques (métaux lourds, plastiques...). Par ailleurs, localement, le recouvrement des fonds marins par les macro-déchets est à l'origine d'une réduction

¹ Matières en suspension

² Hydrocarbure Aromatique Polycyclique

³ Polychlorobiphényl

significative des échanges gazeux à l'interface eau-sédiment, asphyxiant ainsi les substrats et impactant les espèces benthiques.

Enfin, à l'échelle globale, l'absorption de dioxyde de carbone, de composés azotés et soufrés atmosphériques d'origine anthropique entraîne une **acidification des océans** ce qui pourrait avoir des conséquences, à moyen ou long terme, sur la survie d'espèces à coquille ou structure calcaire.

Qualité des sols

La dynamique hydrosédimentaire de l'estuaire de la Seine transporte les polluants du compartiment aquatique aux sols, et réciproquement. Les contaminants de l'eau se retrouvent donc dans les sols, avec des impacts importants sur la biodiversité de ces derniers.

Par ailleurs, depuis une vingtaine d'années l'érosion des sols cultivés dans les zones de grandes cultures augmente dans la zone estuarienne. Elle provoque le ruissellement d'eaux chargées de matières en suspension générant par endroit l'**envasement** des affluents de la Seine, des fossés, des étangs, des lacs, et des retenues, **perturbant la qualité des eaux et de la vie aquatique**.

Les sols de la plaine alluviale interviennent dans la **régulation des pollutions diffuses** par l'azote ou le phosphore et influencent corrélativement la qualité des eaux de la nappe phréatique. Depuis 1990, les flux de phosphore ont nettement diminué en raison de la maîtrise des flux urbains, alors que les flux diffus d'azote issus principalement du lessivage des sols agricoles se maintiennent à un niveau élevé. Les risques d'eutrophisations décroissent.

L'apport de nitrates des eaux souterraines vers l'estuaire constitue une part non négligeable des flux d'azote rejetés vers la mer. L'inertie des nappes souterraines rend très longue la réduction des flux d'azote au niveau nécessaire pour lutter contre l'eutrophisation de la mer du Nord. Par ailleurs, **des efflorescences phytoplanctoniques** en baie de Seine émettent une toxine diarrhéique pouvant être nuisible pour la faune.

4. Les habitats naturels et semi-naturels

L'estuaire de Seine présente une grande diversité d'habitats, comprenant des milieux secs (coteaux calcaires, pelouses crayeuses, terrasses alluviales, pelouses sableuses acides), des milieux aquatiques (cours d'eau, mares, réseau hydraulique et étangs) et des milieux humides (boisements, prairies, vasières, etc.), qui assurent de nombreuses fonctionnalités. Parmi les fonctions essentielles on peut citer : nourricerie (pour les juvéniles de poissons) et zone d'alimentation, reposoir et refuge contre la prédation, halte migratoire, transit pour les poissons amphihalins, reproduction ou frayère, filtration, épuration, stockage et transport des contaminants, recyclage de la matière organique, régulation des flux hydrologiques, ou encore stockage du dioxyde de carbone.

Milieux aquatiques

Les eaux closes (mares, étangs, fossés) constituent un écosystème aquatique très riche qui sert de refuge à une multitude d'espèces, d'abreuvoir pour le bétail et la faune sauvage, permet l'épuration des eaux usées et participe à la régulation des crues.

Les eaux libres (eaux vives, eaux calmes, bouchon vaseux) véhiculent de nombreux microorganismes qui jouent un rôle considérable dans les cycles biogéochimiques, participant activement à la dégradation et au recyclage de la matière organique et des divers composés azotés. En terme de plancton, les rotifères dominent dans les eaux douces. Le copépode *Eurytemora affinis* domine largement dans les eaux saumâtres de la Seine tandis que les eaux marines situées à proximité de l'embouchure de la Seine, sont dominées par les copépodes marins et côtiers. De la même façon, les communautés de poissons de la Seine diffèrent selon les secteurs de salinité.

Dans le **bouchon vaseux**, les conditions sont généralement saumâtres, bien que celui-ci puisse se déplacer vers le secteur marin ou limnique au gré des marées et des crues.

Les ruptures et le degré des pentes dans le lit du fleuve, modifiés par la chenalisation et l'endiguement progressif de l'estuaire, ont réduit la **diversité transversale et longitudinale des courants**, facteur important pour de nombreuses espèces aquatiques, et réduit les **habitats d'interface**, entre le fleuve et la plaine alluviale. Les habitats de type **vasières intertidales** sont parmi les plus affectés par ces évolutions. Les zones d'interfaces et d'échanges avec ces habitats ont un rôle primordial dans la régulation et le stockage des apports de nutriments et de contaminants.

Les milieux terrestres des plaines alluviales

Les milieux des boucles de la Seine de Tancarville à Rouen accueillent de nombreux habitats et espèces d'intérêt patrimonial⁴. L'évolution des méandres au cours du temps est à l'origine de conditions édaphoclimatiques variées déterminant des milieux très contrastés avec une opposition forte entre les rives convexes et concaves du fleuve. La rive convexe forment **les plaines alluviales** et correspond à une zone de dépôt de part et d'autre de l'éperon rocheux qui constitue l'axe du méandre. **Les marais tourbeux**, aujourd'hui alimentés essentiellement par des eaux de nappe (principalement nappe alluviale, soutenue par la nappe de la craie), sont **de plus en plus rares en vallée de Seine** et à l'échelle régionale voire nationale. Ce sont des **réservoirs de diversité biologique** et en particulier d'espèces protégées. Humides en permanence, ils offrent des conditions anoxiques favorables à la dénitrification. Le marais Vernier (4 500 hectares) abrite une des plus importantes tourbières françaises et constitue un îlot de nature encore riche. La richesse du site Natura 2000 tient à la fois de sa grande diversité de milieux - 21 habitats d'intérêt communautaire dont 6 prioritaires- et de la qualité de ceux-ci - 19 espèces d'intérêt communautaire, dont plusieurs espèces pour lesquelles ce site constitue la seule station de Haute-Normandie.

Les prairies primaires, n'ayant pas subi de déboisement, constituent des habitats extrêmement rares à l'échelle nationale. Elles résultent de la lixiviation des chlorures des prêtres salés par la pluie.

Les forêts alluviales sont des peuplements végétaux arborés se développant sur alluvions récentes. Lorsqu'elles sont situées en bordure directe des cours d'eau, sur une bande de 4 à 20 mètres de large, elles sont qualifiées de ripisylves. **Les ripisylves ont pratiquement disparu sur l'estuaire de la Seine**, on en trouve encore quelques reliques comme le Bois du Trou Buquet, à Yville-sur-Seine. Elles ont pourtant un rôle fonctionnel majeur. Elles participent d'une part au maintien de la biodiversité, car elles forment des corridors biologiques elles sont une source constante de matière organique et de nourriture, elles permettent une diversification des habitats aquatiques et des écoulements et elles fournissent un ombrage qui garantit la régulation thermique. D'autre part, elles améliorent la qualité de l'eau, participent au stockage de carbone, permettent de lutter contre l'érosion et limitent les inondations. Enfin, les ripisylves ont également un rôle de barrière physique face aux énergies lumineuse, sonore et éolienne. En amont de Rouen, les îlots présentent ce type d'habitats et donc de fonctionnalités. De plus, ils participent au maintien de la diversité transversale des courants et constituent des zones de tranquillité pour la faune.

Les milieux terrestres des terrasses et coteaux

La rive concave subit l'érosion du fleuve qui a taillé des coteaux très abrupts dans le plateau crayeux, avec la présence de pitons et fronts rocheux. Comme la pente est forte, les sols sont peu profonds, riches en calcaire actif, filtrants et particulièrement chauds quand ils sont exposés plein sud. Sur ces **coteaux** se développent des milieux calcicoles - bois et pelouses - particulièrement riches en espèces rares. Le coteau de St Adrien est l'un des plus riches, avec 9 habitats et 5 espèces d'intérêt communautaire. Plusieurs espèces végétales et animales sont ici dans la limite nord de leur aire de répartition.

Parmi les **espaces forestiers** sur les terrasses ou coteaux, la **forêt domaniale de Brotonne** constitue avec les forêts communales et privées attenantes un massif forestier de 8 500 ha. Elle est composée principalement de hêtres, mais aussi de chênes et de pins sylvestres. Au nord-ouest de la forêt, la mare Tonne abrite une flore typique des eaux acides, rare en Haute-Normandie ainsi que de nombreux batraciens et odonates. Parmi la grande faune qu'elle abrite on y retrouve des sangliers et chevreuils, tandis que la population de cerf a quasiment été réduite à néant pour combattre la tuberculose. A l'ouest de Rouen, la **forêt domaniale de Roumare** a été classée forêt de protection sur une superficie de 5000 ha. Le cœur et la partie nord de la forêt, aux sols limoneux et argileux (argile à silex), portent une forêt de feuillus : chênes, hêtres et charmes, tandis que ces peuplements deviennent rares vers le Sud où dominent les conifères plantés sur des sables alluvionnaires.

Les espaces semi-naturels

Parmi **les espaces semi-naturels**, on notera l'intérêt particulier des habitats que constituent les prairies pâturées ou prairies de fauches, les roselières, les mares de chasse, les anciennes ballastières remises en eau, les retenues d'eau, les haies. D'une certaine manière les espaces industriels et urbains forment également des habitats plus ou moins diversifiés, offrant pour certaines espèces des conditions favorables à leur développement (absence de certains polluants, limitation des prédateurs). Le méandrement et l'îlot artificiel en aval de Tancarville sont les résultats des travaux

⁴ 20 habitats naturels d'intérêt communautaire (annexe I de la directive habitats) ; 13 espèces d'intérêt communautaire (annexe II de la directive habitats) ; 11 espèces d'oiseaux de l'annexe I de la directive Oiseaux ; 90 espèces végétales d'intérêt patrimonial (hors annexe II) ; 39 espèces animales d'intérêt patrimonial (hors annexe II)

de concertation issus de l'aménagement de Port 2000. L'objectif était de reconstituer des vasières favorables au zoobenthos intertidal sur environ 100 ha et de créer un reposoir de pleine mer pour les oiseaux marins, dans le cadre des compensations vis-à-vis de la perte d'habitats fonctionnels. Cependant, les vasières reconstituées par le méandrement subissent une dynamique de comblement rapide.

5. Connectivités

L'estuaire correspond au **croisement de deux axes de migration, l'axe du littoral et l'axe Seine (Figure 3)**. Cet espace est un lieu de repos et de nourrissage important pour de nombreuses espèces d'oiseaux migrateurs. Il s'agit également d'un territoire où s'effectuent des déplacements et mouvements migratoires pour de nombreuses espèces de mammifères (chiroptères, grande faune, micromammifères), d'amphibiens et d'insectes. L'estuaire est enfin un lieu de déplacement privilégié pour de nombreuses espèces de poissons marins et amphihalins. Les ouvrages, tels que les barrages de Poses et de Pont-Audemer, les seuils sur les affluents, l'endiguement, les clapets anti-marée, les vannes, les buses, les digues, les berges abruptes et les chenaux constituent des obstacles plus ou moins franchissables pour les organismes aquatiques.

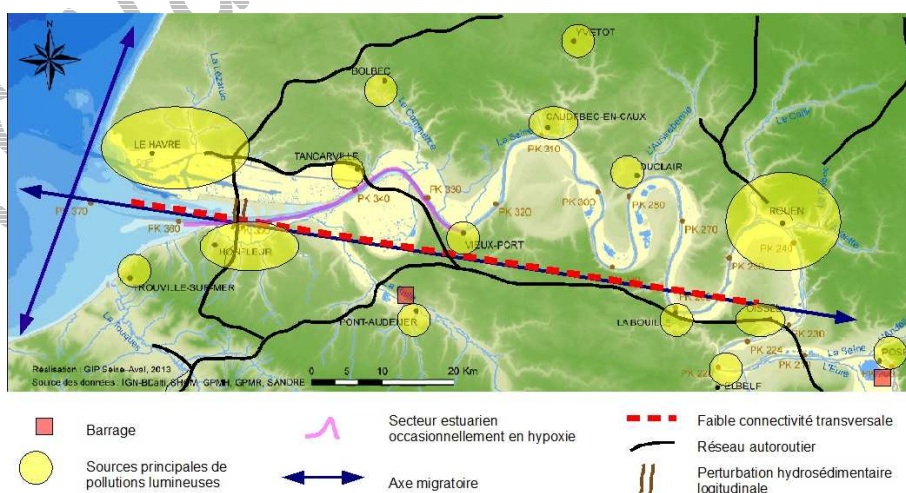


Figure 3 Représentation schématique des principaux obstacles aux continuités écologiques

Les écotones, tels que les haies, lisières ou bien la ripisylve sont des éléments clés assurant la connectivité écologique des milieux terrestres. Cependant, de manière globale, ces éléments sont souvent en régression ou présents mais non accessibles. *A contrario* les voies de transport terrestres ou aquatiques, les grands espaces agricoles, urbains ou industriels sont susceptibles de constituer des obstacles aux continuités écologiques.

Les paramètres physico-chimiques peuvent également constituer des obstacles, notamment les parties des cours d'eau présentant un déficit en oxygène dissous, ou hypoxie. Ainsi, la décomposition de la matière organique dans le fleuve, engendre une augmentation de la demande en oxygène dissous et est à l'origine d'hypoxies chroniques plus ou moins intenses et étendues suivant les années. Les sources d'azote ammoniacal et de matière oxydable étant en diminution, ces épisodes se sont nettement réduits depuis 2007, mais l'oxygène dissous reste très sensible aux conditions hydrologiques et de température.

Conclusion

Malgré les nombreuses modifications qu'a pu subir l'estuaire de la Seine par le passé, ainsi que les pressions actuelles, le complexe estuarien conserve encore aujourd'hui une certaine diversité d'habitats, d'espèces, d'interactions et donc de fonctionnalités écologiques. Cependant, malgré les efforts consentis pour inverser les tendances liées à la diminution de cette diversité et donc à la réduction de la fonctionnalité des écosystèmes estuariens, la dégradation générale semble se poursuivre. A l'avenir, la diminution de la vulnérabilité de l'estuaire de la Seine (entendue par l'exposition aux risques de dégradation et de diminution de la résilience des écosystèmes) constituera vraisemblablement un enjeu central nécessitant la mise en œuvre d'actions de restauration ambitieuses et cohérentes à l'échelle du complexe estuarien.

Lexique

Amphihalin : espèce dans l'obligation de se déplacer entre les eaux douces et la mer afin de réaliser complètement leur cycle biologique

Avifaune : ensemble des oiseaux vivants dans un espace géographique donné ou un habitat déterminé

Chiroptère : Ordre de la classe des mammifères, communément appelés chauves-souris

Edaphoclimatique : relatif au rapport entre le sol, le vivant et le climat

Hypoxie : conditions caractérisant une quantité d'oxygène utilisable inférieure aux besoins des tissus ou organismes considérés

Hypsométrie : détermination de l'étendue respective des différentes zones d'altitude d'une région

Ichtyofaune : ensemble des poissons vivants dans un espace géographique ou un habitat déterminé

Volume oscillant : volume d'eau qui se déplace dans l'estuaire vers l'amont ou l'aval en fonction de la marée