



Contextes climatique, morphologique & hydro-sédimentaire : La salinité dans l'estuaire de la Seine

Problématique

Les estuaires, en tant que zone de transition entre le milieu continental et océanique, voient se mélanger les eaux marines venant du large et les eaux douces s'écoulant du fleuve. La dynamique de cette zone de mélange est rythmée par la marée et le débit de la Seine, et fluctue aux échelles de temps propres à ses phénomènes (cycle semi-diurne de la marée, cycle lunaire de la marée, alternance saisonnière des crues et des étiages, variation pluri-annuelle des années sèches ou humides en lien avec le régime climatique) [GIPSA, 2008 ; GIPSA, 2012 ; Massei *et al.*, 2009]. La position du gradient de salinité varie avec l'intensité et la combinaison des forçages hydrauliques (marée, débit) et répond également aux modifications morphologiques de l'estuaire (bathymétrie, nature des fonds, nature des berges, digues,...). Dans l'estuaire de la Seine, il est généralement positionné entre Tancarville et Honfleur, mais peut être décalé vers l'amont et/ou l'aval dans des conditions particulières.

La connaissance de ces variabilités spatio-temporelles du gradient de salinité est essentielle à la compréhension du fonctionnement écologique de l'estuaire. En effet, la salinité structure les habitats des espèces végétales et animales présentes dans l'estuaire. Selon leur seuil de tolérance à la salinité et à sa variation, une modification de la salinité influera sur la répartition des espèces et sur leurs habitats potentiels. Ce dernier point peut être approché par la modélisation de scénarios rétro- et prospectifs de l'évolution du système.



Succession de milieux soumis à la variation de la salinité (C. Dégremont)



La salinité dans l'estuaire de la Seine

Situation

De nombreux facteurs de variation

A l'échelle de la marée, la salinité varie avec l'oscillation de l'intrusion marine dans l'estuaire. Lors du flot (marée montante) et durant l'étalement de pleine mer, les eaux marines remontent dans l'estuaire induisant une montée progressive de la salinité. Après la renverse, les courants s'inversent et le niveau d'eau s'abaisse (jusant) ; la salinité diminue alors jusqu'à la fin de l'étalement de basse mer [Figure 1]. Ce mélange des eaux douces et salées de densité différente implique également un gradient de salinité verticale : l'eau salée, plus dense, s'écoulant sous l'eau douce. Ceci explique le phénomène de circulation estuarienne avec les eaux de surface (moins salées) qui s'écoulent vers l'aval et les eaux proches du fond (plus salées) qui s'écoulent vers l'amont. Cet écoulement est lui-même sous l'influence de facteurs qui fluctuent

à l'échelle saisonnière (alternance crue/étiage et morte-eau/vive), dont la combinaison guidera l'intensité de la variation de la salinité en un point [GIPSA, 2012 ; Le Hir *et al.*, 2001].

Des classes de salinité structurantes

La représentation d'une salinité moyenne à l'échelle de l'année permet de s'affranchir de la fluctuation des paramètres qui guident son évolution et de caractériser les milieux estuariens. Le gradient de salinité observé dans l'estuaire de la Seine couvre différentes classes :

- milieu euhalin, de salinité comprise entre 30 et 40 ;
- milieu polyhalin, entre 18 et 30 ;
- milieu mésohalin entre 5 et 18 ;
- milieu oligohalin entre 0,5 et 5 ;
- milieu limnique, de salinité inférieure à 0,5.

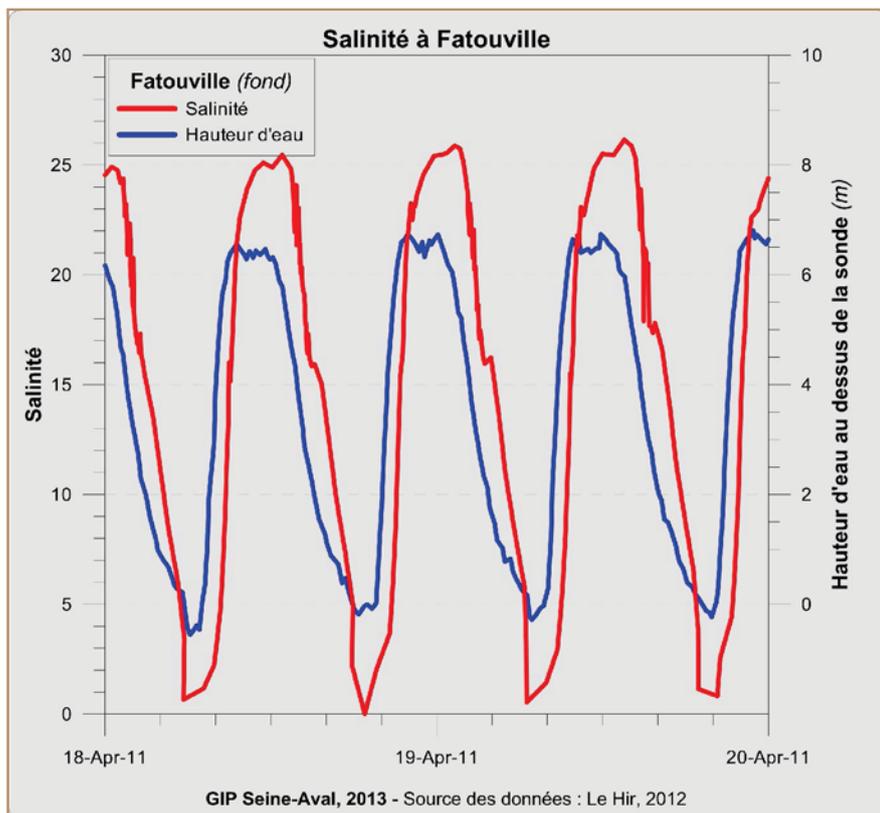


Figure 1 : Variation haute-fréquence de la salinité à Fatouville (avril 2011).

Un gradient progressif allant de l'euhalin au limnique est observé de l'aval vers l'amont, avec une zone polyhaline entre l'engainement et le pont de Normandie, une zone mésohaline entre les ponts de Normandie et de Tancarville et une zone oligohaline allant jusqu'à Petiville [Figure 2A]. Ces délimitations traduisent une situation moyenne, pas nécessairement représentative de la fluctuation temporelle de la salinité en un point donné, que ce soit en surface [Figure 2B] ou au fond [Figure 2C]. Par exemple, le point C7 situé en zone mésohaline est soumis à une salinité de cette gamme 46% du temps au fond, mais les salinités supérieures (27% du temps en polyhalin) et inférieures (10% du temps en oligohalin et 17% du temps en limnique) restent très fréquentes.

Ces fluctuations sont guidées par la pénétration de la marée dans l'estuaire, avec une atténuation de la salinité vers l'amont ; mais aussi par le fonctionnement hydraulique particulier de l'embouchure en lien avec sa morphologie et notamment la présence des digues submersibles. En effet, l'écoulement des eaux douces de la Seine se faisant préférentiellement entre les digues, ce secteur présente un caractère maritime moindre que les zones adjacentes nord et sud (au fond, le point

C3 sera ainsi 36% du temps en zone euhaline, contre environ 70% pour les points situés sur le même axe en fosse sud FS3 et fosse nord FN3).

Une pénétration des eaux salées qui fluctue

La pénétration du front de salinité et l'expulsion des eaux douces ou faiblement salées sont guidées par la combinaison de l'alternance crue/étiage et

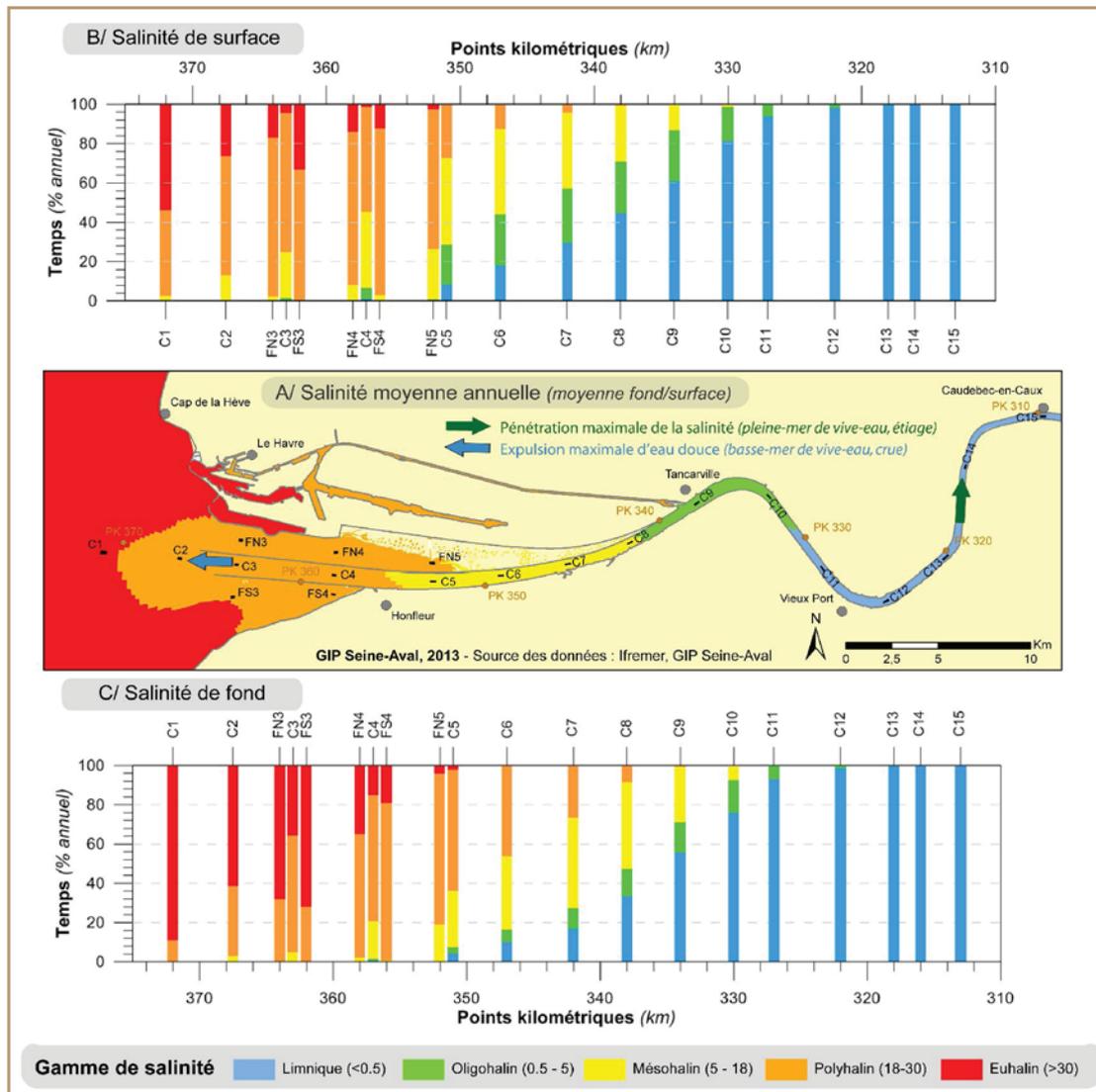


Figure 2 : Salinité moyenne dans l'estuaire de la Seine - variation temporelle des classes de salinité en différents points (2010).

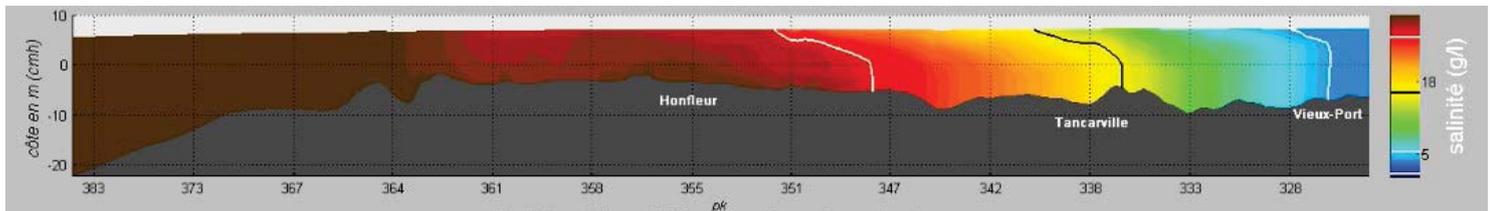


Figure 3 : Isohalines en pleine mer de vive-eau, en condition d'étiage (02/08/07 : coeff. 94 ; QPoses=248m³/s).

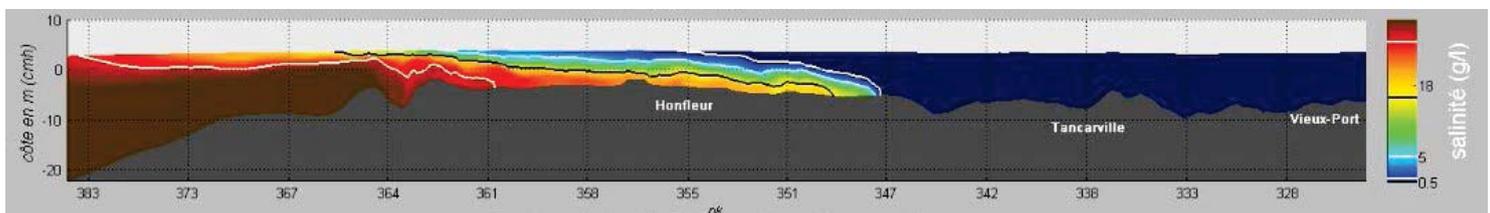


Figure 4 : Isohalines en basse mer de morte-eau, en condition de crue (13/03/07 : coeff. 29 ; QPoses=1076m³/s).

morte-eau/vive-eau. En période d'étiage, la salinité remonte plus en amont dans l'estuaire et la limite de l'intrusion saline (fixée à 0.5) se situe entre Vieux-Port et Caudebec-en-Caux, selon l'état de basse-mer et de pleine-mer. Dans ces conditions, la stratification verticale est peu marquée, du fait d'un écoulement des eaux douces plus faible. En période de crue, des eaux douces peuvent s'écouler jusqu'à la limite de l'engainement et des eaux de faible salinité être expulsées en baie de Seine. En vive-eau, la remontée du front de salinité est plus importante et les eaux douces sont expulsées plus en aval. L'inverse est observé en morte-eau, avec un gradient plus restreint. Ceci s'explique par le volume oscillant de l'estuaire qui est plus important en vive-eau, ce qui induit la remontée d'un plus grand volume d'eau marine dans l'estuaire lors du flot et une vidange plus importante en jusant en raison du niveau de basse mer plus faible. La combinaison d'un étiage et d'une vive-eau engendre à pleine mer la remontée maximum de l'intrusion saline [Figure 3] ; la combinaison d'une crue et d'une morte-eau correspond à l'expulsion la plus aval d'eau douce [Figure 4].

Une situation qui évolue à l'échelle pluri-annuelle

Au-delà des variations spatiales et temporelles liées à la variabilité des forçages hydrauliques, les évolutions pluri-annuelles du système estuarien influent également sur le gradient de salinité, à travers les aménagements impactant l'hydraulique de l'estuaire, les rythmicités climatiques (années sèches ou humides) et les évolutions en lien avec le changement climatique (modification du régime hydraulique, montée du niveau marin) [Laignel et Souissi (coord.), 2010].

Pour appréhender l'impact de ces paramètres sur la salinité, différents scénarios ont été modélisés, avec des modifications de la morphologie et des forçages hydrodynamiques (débit, surcote, vent, marée). Les résultats montrent notamment le rôle de l'endiguement et de la calibration du chenal qui ont amélioré l'écoulement des eaux douces et leur expulsion en baie de Seine et renforcé le caractère marin des fosses nord et sud (comparaison 1975/2010). Le rôle du débit dans la remontée du front de salinité a également été montré : un débit moyen moindre et des étiages renforcés comme indiqué dans les prévisions liées aux changements climatiques impliqueraient une remontée du front de salinité [Bacq et al., 2013].



La salinité dans l'estuaire de la Seine

L'essentiel

Les courants de marée (pleine-mer/basse-mer ; morte-eau/vive-eau) couplés à l'action du débit fluvial (crue/étiage) contrôlent la variation de la salinité dans l'estuaire, notamment à travers la remontée du front de salinité, l'expulsion des eaux douces en baie de Seine, la stratification verticale dans la colonne d'eau,... A l'échelle pluri-annuelle, les positions moyennes des classes de salinité évoluent également en réponse aux modifications morphologiques de l'estuaire et aux conséquences du changement climatique. La salinité évolue ainsi dans l'estuaire de la Seine selon plusieurs facteurs (hydrologique, morphologique) et à différentes échelles spatiales et temporelles.

Cette variation de salinité joue un rôle majeur dans la répartition des espèces végétales et animales, qui selon leur tolérance à une salinité donnée (optimum, toléré, non toléré), leur mode de vie (benthique, pélagique) et de déplacement (vagile, sessile), pourront ou non être présentes. Ainsi, une modification de la salinité (gamme et/ou durée de présence d'une classe donnée) peut engendrer une modification importante de la faune et la flore d'un secteur (disparition ou apparition d'espèces).

Pour répondre à ces enjeux, plusieurs outils sont mis en place sur l'estuaire de la Seine : un outil de modélisation permettant de simuler l'évolution de la

salinité en modifiant des paramètres morphologiques et hydrodynamiques ; un réseau de suivi en continu de la physico-chimie (SYNAPSES) permettant notamment d'accéder à une mesure haute-fréquence (5 min) de la conductivité à Tancarville ; un outil cartographique (SIG habitat fonctionnel) décrivant les habitats potentiels de diverses espèces selon les facteurs structurants le milieu (dont la salinité). Le développement et la mobilisation de ces outils permet ainsi de mieux comprendre les variations de la salinité dans l'estuaire de la Seine et les réponses du milieu aux évolutions passées et futures [Bacq *et al.*, 2013 ; Lemoine *et al.*, 2013].



Station de mesure de Tancarville – Réseau SYNAPSES (J.P. Lemoine)



La salinité dans l'estuaire de la Seine

Sources et méthodes

Figure 1

Les données de salinité représentées sont mesurées à Fatouville. La hauteur d'eau affichée correspond à la hauteur par rapport à la sonde, positionnée au fond. Le pas de temps d'acquisition est de 1 minute.

Ces données ont été mesurées en avril 2011, en condition d'étiage (débit à Poses < 300m³/s) et de vive-eau (coefficient de marée >100).

[Source des données : Le Hir, 2012 ; GPMR]

Figure 2

La carte (Figure 2A) représente la salinité moyenne annuelle (moyenne fond/surface) dans l'estuaire de la Seine.

Les histogrammes correspondent au temps passé dans les différentes classes de salinité en différents points de l'estuaire, en surface (Figure 2B) et au fond (Figure 2C).

Ces données sont issues d'une modélisation (code Mars-3D) avec les conditions hydrodynamiques et morphologiques de 2010, considérée comme une année représentative des conditions hydrologiques et météorologiques moyennes.

[Source des données : Le Hir (coord.), 2012]

Figures 3 et 4

Les isohalines sont représentés sur un profil amont/aval de l'estuaire de la Seine respectivement en condition de pleine mer de vive-eau (étiage) et en conditions de basse mer de morte-eau (crue). Elles sont issues d'une modélisation (code Mars-3D) avec les conditions hydrodynamiques et morphologiques de 2008.

[Source des données : Le Hir (coord.), 2012]

Références Bibliographiques

- Bacq N., Lemoine J.P., Moussard S., Le Hir P., Lobry J., 2013. **Projet MESSCEN : Modélisation des fonctions écologiques de l'Estuaire de la Seine et ScENarios d'Evolution – rapport final**. Rapport du GIP Seine-Aval, projet financé par la fondation de France, 69p.
- Grand Port Maritime de Rouen (GPMR). **Données de hauteur d'eau aux marégraphes**.
- Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval (GIP Seine-Aval), 2008. **Apports en eaux douces à l'estuaire de la Seine**. Fiche thématique du système d'observation de l'état de santé de l'estuaire de la Seine et de son évolution. 6p.
- Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval (GIP Seine-Aval), 2012. **La marée dans l'estuaire de la Seine**. Fiche thématique du système d'observation de l'état de santé de l'estuaire de la Seine et de son évolution. 6p.
- Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval (GIP Seine-Aval), 2013, **Système de surveillance Automatisé de la Physico-chimie en Estuaire de Seine (SYNAPSES)**. [en ligne] <http://synapses.seine-aval.fr>
- Laignel B., Souissi S. (coord.), 2010. **Expertise collective sur les effets possibles du changement climatique sur les écosystèmes estuariens**. Rapport scientifique Seine-Aval 4, 60p.
- Le Hir P. (coord.) & Lafite R., 2012. **Projet MODEL : Modélisation validée de l'hydro-morpho-sédimentologie, base physique d'une modélisation environnementale de l'estuaire de la Seine**. Projet Seine-Aval4, 143p.
- Le Hir P., Jacinto R.S., Thouvenin B., Guézennec L., Bassoullet P., Cugier P., Leboulenger F., Hocdé R., Lesueur P., Romana L.A., 2001. **Courants, vagues et marées : les mouvements de l'eau**. Fascicule Seine-Aval n°1.2, 31p. ISBN 2-84433-028-2
- Massei N., Laignel B., Deloffre J., Mesquita J., Motelay A., Lafite R., Durand A., 2009. **Long-term hydrological changes of the Seine river flow (France) and their relation to the North Atlantic Oscillation over the period 1950-2008**. International Journal of Climatology
- Lemoine J.P., Deloffre J., Lafite R., Macur O., Herve G., Guillon C., 2013. **SYNAPSES : Système de surveillance automatisée de la physico-chimie de l'estuaire de la Seine**. Acte SHF 'Hydrométrie 2013', Paris, 15-16 mai 2013, p. 15-16.

Cette fiche thématique s'intègre dans le système d'observation de l'état de santé de l'estuaire de la Seine.

Elle est éditée par le Groupement d'Intérêt Public Seine-Aval - Pôle Régional des Savoirs - 115 boulevard de l'Europe - 76100 Rouen www.seine-aval.fr

Conception, rédaction : GIP Seine-Aval
Président : Dominique Gambier
Directrice : Karine Ladiray-Goncalves
Contact : gipsa@seine-aval.fr
Infographie : Quai 24, Le Havre
Crédits photos : GIP Seine-Aval

Le GIP Seine-Aval est financé par :

