



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

## Problématique

La marée est la manifestation des forces d'attraction générées en particulier par la Lune et le Soleil sur la Terre. La surface des océans est ainsi soumise à une attraction dont la puissance oscille principalement en fonction de la position relative de ces trois astres : amplitude maximale quand les trois astres sont alignés (vives eaux ou grandes marées avec forts coefficients de marée) ; amplitude minimale quand les trois astres forment un angle droit (mortes eaux avec faibles coefficients de marée). Lorsqu'elle parcourt les océans, cette onde de marée se déforme selon la profondeur et la nature des fonds marins et des côtes. Dans les régions du nord de l'Europe, les marées sont de type semi-diurne, c'est-à-dire qu'elles effectuent un cycle entier (marée haute, marée basse, marée haute) en 12 heures et 25 minutes [Guérin, 2004].

L'hydrodynamisme de l'estuaire de la Seine est gouverné par la marée (dont la zone d'influence

définit l'étendue de l'estuaire qui remonte jusqu'au barrage de Poses situé à 160 km de son embouchure en baie de Seine) et les apports en eaux douces venues de l'amont (alternances crue/étiage). Il peut également être modifié par des aménagements impactant le débit amont du fleuve ou la morphologie de l'estuaire, ainsi que par les variations des apports en eaux douces et du niveau marin. C'est donc bien cette combinaison d'influences marines et continentales, associée à la morphologie de l'estuaire qui est à la base de ses spécificités. À ce titre, le suivi à long terme du niveau d'eau dans l'estuaire de la Seine apporte de précieux enseignements sur son évolution, l'impact des aménagements et sur les effets des changements globaux.

Le niveau d'eau de l'estuaire de la Seine est suivi par un réseau de 18 marégraphes géré par le Grand Port Maritime de Rouen et des outils numériques ont été développés pour modéliser la variation du plan d'eau.



C. Fisson



C. Dégremont



C. Dégremont



S. Moussard

Embouchure de la Seine à marée haute / basse

Bord de Seine à marée haute / basse



# La marée dans l'estuaire de la Seine

## Situation

### Un niveau d'eau qui varie quotidiennement

La marée est le principal facteur influençant le niveau d'eau dans l'estuaire. Deux fois par jour, se succèdent ainsi quatre temps :

- Le **flot** (ou flux) qui correspond à la pénétration de l'onde de marée dans l'estuaire et qui s'accompagne d'une montée du niveau de l'eau et d'un sens du courant dirigé vers l'amont avec des vitesses pouvant atteindre 2m/s à l'embouchure et 1m/s à Rouen en vive-eau ;
- La **pleine mer** (ou marée haute) qui correspond au niveau d'eau le plus haut atteint lors d'un cycle de marée. La phase de tenue du plein (ou étale de pleine mer) peut être plus ou moins longue, avec des courants nuls ou très faibles ;
- Le **jusant** (ou reflux) qui correspond à la vidange de l'estuaire et qui s'accompagne d'une descente du niveau de l'eau et d'un sens du courant dirigé vers l'aval ;
- La **basse mer** qui correspond au niveau d'eau le plus bas atteint lors d'un cycle de marée. La différence de hauteur d'eau avec la pleine mer est appelée marnage.

Pour une même marée, l'amplitude et la durée de chacune de ces quatre phases varie tout au long de l'estuaire, comme cela est reporté sur les courbes marégraphiques [Figure 1]. À l'embouchure de la Seine, la marée présente deux caractéristiques :

- i) une durée du montant plus courte que celle du perdant (et un courant de flot plus rapide que celui du jusant) ;
- ii) un aplatissement à marée haute (tenue du plein) qui dure plus de deux heures, avec deux maxima qui peuvent s'individualiser et former un double plein en condition de vive-eau. Cette tenue du plein allongée s'explique par une déformation de l'onde de marée lors de sa propagation sur les faibles profondeurs de la Manche et l'existence d'une oscillation transversale du bassin côtier allant de la

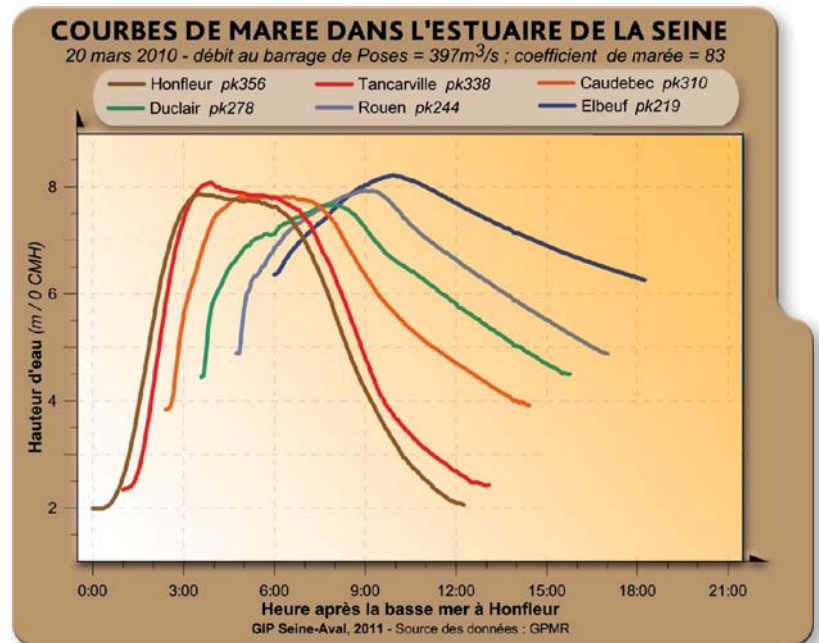


Figure 1 : Courbes de marée dans l'estuaire de la Seine.

baie de Seine aux côtes anglaises. Les modifications morphologiques liées à l'aménagement de l'estuaire ont cependant atténué l'individualisation du double plein qui était historiquement beaucoup plus marquée [Figure 5 ; Le Floch, 1971 ; Delsinne, 2005 ; Foussard et al., 2009].

La marée met en moyenne six heures à se propager de l'embouchure de la Seine jusqu'à Rouen. Les frottements induits lors de cette propagation par la morphologie et la nature des fonds et des berges de l'estuaire atténuent progressivement l'amplitude de l'onde de marée vers l'amont de l'estuaire [Figure 1].

La courbe marégraphique est également influencée par les conditions atmosphériques qui peuvent être responsables de surcotes ou de décotes. Par exemple, un fort vent d'ouest et une faible pression atmosphérique généreront un niveau d'eau plus élevé que celui seulement expliqué par la marée [Le Hir et al., 2001 ; El Abida et al., 2010]. Des surcotes (et décotes) de 20 à 30cm sont ainsi couramment observées. Elles peuvent atteindre 50cm, voir 1m dans des conditions exceptionnelles.

## Un niveau d'eau qui varie à l'échelle mensuelle et saisonnière

Se superposant au cycle semi-diurne décrit précédemment, l'amplitude de la marée (marnage) varie suivant le cycle semi-lunaire de 14,5 jours. Durant les phases de nouvelles et pleines lunes (alignement de la Lune, de la Terre et du Soleil), cette amplitude est maximale (période de vive-eau) ; alors qu'en période du premier et dernier quartier de lune (angle droit formé par les trois astres), le marnage est plus faible (période de morte-eau) [Figure 2, Figure 3]. D'autres cycles, à la périodicité plus longue,

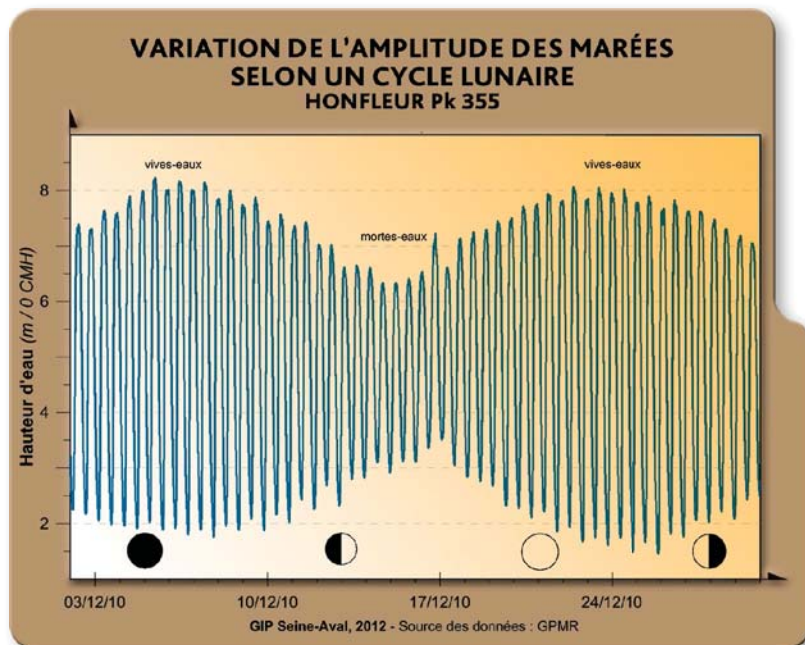


Figure 3 : Variation de la hauteur d'eau pendant un cycle lunaire.

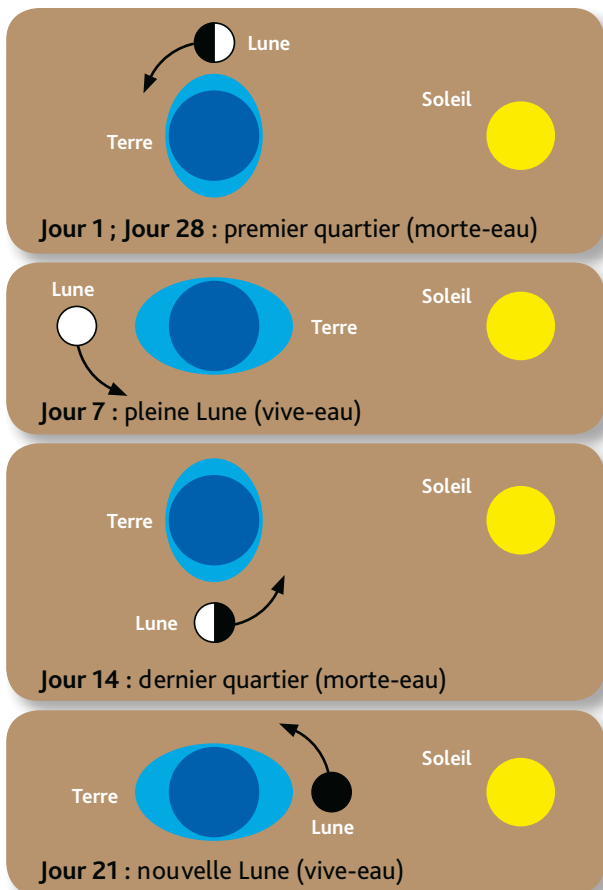
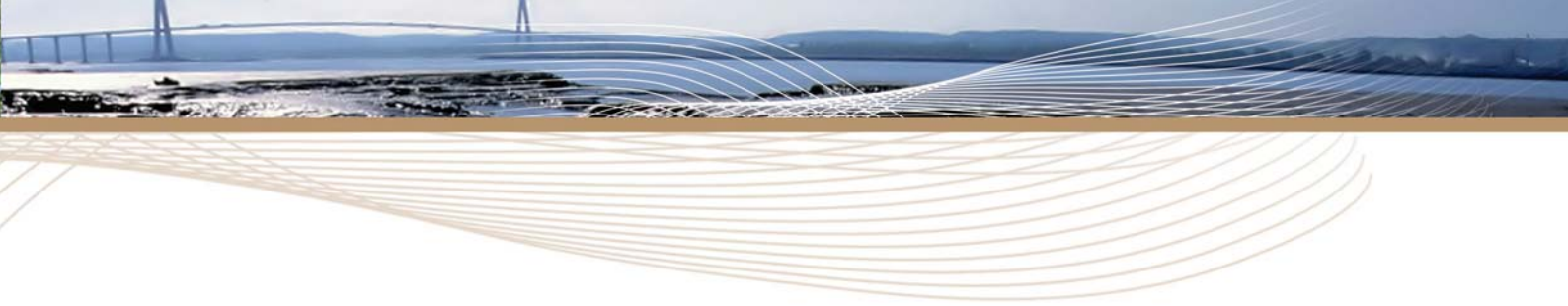


Figure 2 : Impact de la position des astres sur le cycle morte-eau / vive-eau

jouent également sur l'amplitude de la marée. C'est le cas du Saros qui correspond à une période de 223 lunaisons (soit 18 ans de 365 jours + 15.5 jours) au bout de laquelle les éclipses solaires et lunaires se reproduisent dans le même ordre, induisant un retour des marées dans des conditions astronomiques quasi-similaires. L'amplitude de la marée sera également influencée par la position de la Lune sur son orbite et la déclinaison de l'orbite de la Lune par rapport au plan équatorial terrestre.

L'oscillation du plan d'eau autour d'un niveau moyen génère d'importants courants dans l'estuaire : lors du flot les courants sont dirigés vers l'amont ; alors que durant le jusant ils sont dirigés vers l'aval. Néanmoins, le niveau moyen décroît de l'amont vers l'aval permettant aux eaux fluviales de se jeter dans la Manche. En période de vive-eau, le marnage moyen est supérieur à 7m à l'embouchure et atteint 3.5m à Rouen. En période de morte-eau, il est plus faible : 3m à l'embouchure et 2m à Rouen. La propagation de l'onde de marée est artificiellement stoppée par le barrage de Poses [Figure 4].



\*Cote Marine du Havre (CMH) : plan de référence des cartes marines se situant à -4.38m par rapport au zéro NGF (1969)

Pour un débit donné et en tout point de l'estuaire, le niveau d'eau le plus élevé sera toujours atteint en période de vive-eau. Par contre, le niveau le plus bas sera atteint en période de vive-eau dans la partie aval de l'estuaire, et en période de morte-eau dans la partie amont. En effet, en période de vive-eau, le volume d'eau apporté par le flot est trop important pour être évacué par le jusant, d'où un stockage temporaire des eaux dans la partie amont de l'estuaire [Figure 4]. L'intersection des niveaux de basses mers en vive-eau et en morte-eau est appelée 'point caractéristique' et se situe entre les points kilométriques 280 et 310. La modification de la propagation de l'onde de marée par l'aménagement de l'estuaire a entraîné une remontée de ce point caractéristique [Lavoine *et al.*, 1885 ; Guézennec, 1999].

Au-delà du phénomène de marée, les niveaux d'eau en Seine sont également influencés par les apports en eau douce, le niveau d'eau moyen étant plus haut en période de crue et plus bas en période d'étiage [Figure 4 ; El Abida *et al.*, 2009].

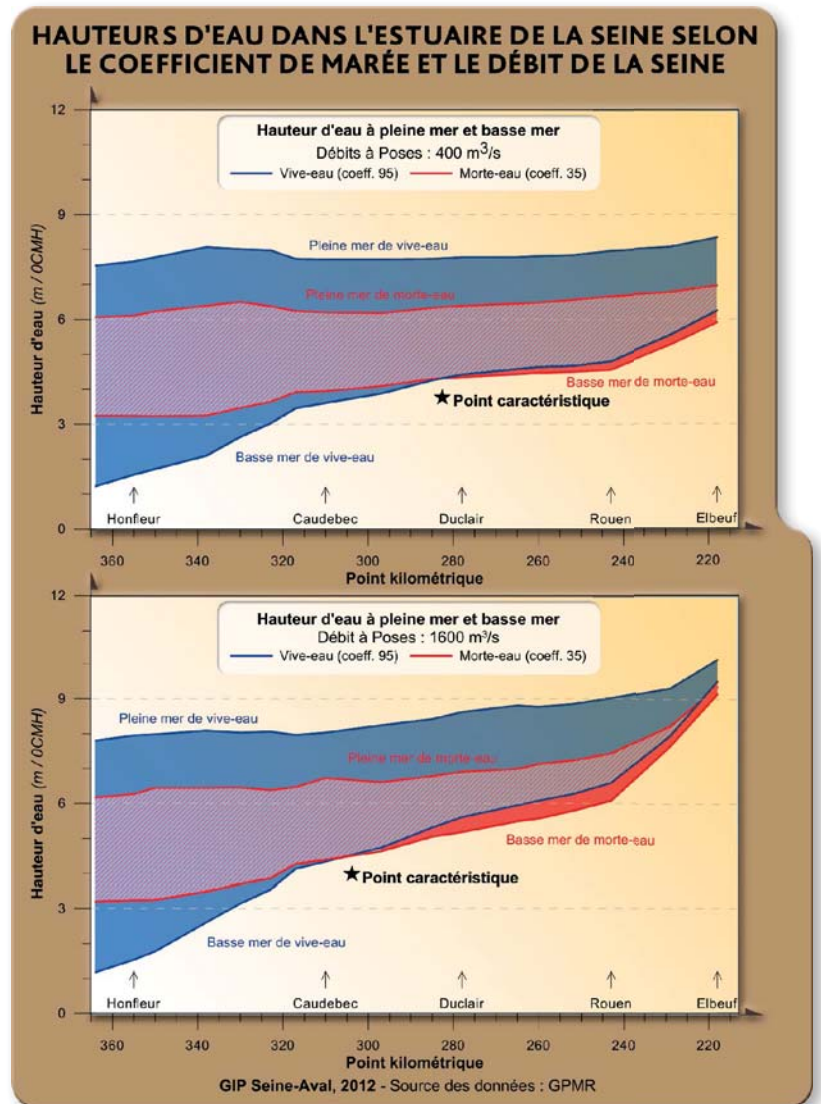


Figure 4 : Hauteurs d'eau dans l'estuaire de la Seine.



Zone intertidale à marée basse (C. Dégremont)



# La marée dans l'estuaire de la Seine

## L'essentiel

La propagation de l'onde de marée dans la Seine en définit la partie estuarienne, qui s'étend du barrage de Poses à l'amont à la baie de Seine à l'aval. Cet estuaire macrotidal présente un fort marnage (jusqu'à 8m au Havre) qui s'atténue vers l'amont (3m à Rouen et quelques décimètres à Poses). La marée induit un changement de la hauteur de l'eau et de son sens d'écoulement deux fois par jour (marée semi-diurne) avec un cycle vive-eau / morte-eau de 14 jours. Les apports en eaux douces (débit de la Seine et des affluents, apports souterrains) et les conditions météorologiques (pression atmosphérique, vent) jouent également un rôle sur le niveau de l'eau et l'hydrodynamisme estuarien.

D'un point de vue environnemental, la marée représente une véritable ressource écologique à travers le développement de milieux intertidaux qui abrite une grande diversité faunistique et floristique. La formation du bouchon vaseux et l'établissement d'un gradient de



Station de mesure de la hauteur d'eau (marégraphe) à Heurteauville (J.P. Lemoine)

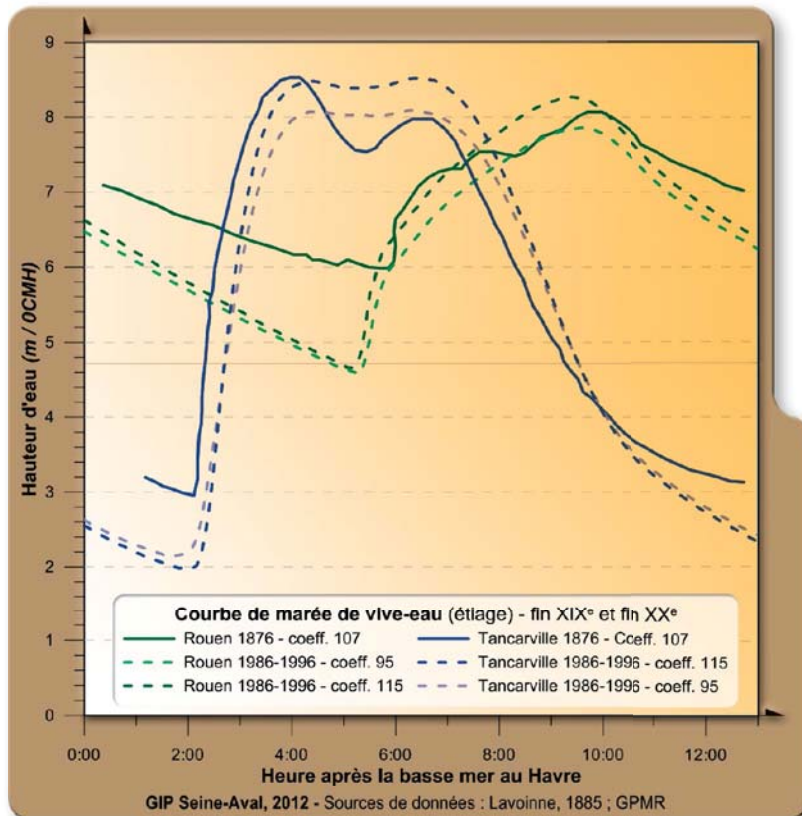


Figure 5 : Courbe de marée de vive-eau à Rouen et Tancarville en étiage (1876 et 1986-1996)

salinité dans la zone de mélange des eaux fluviales et marines sont également une conséquence de la marée, phénomène à la base des spécificités estuariennes et de la présence d'espèces adaptées à ces conditions particulières.

La marée est également exploitée par l'homme qui a su en tirer profit pour la navigation en contrôlant sa propagation grâce aux différents aménagements réalisés le long de l'estuaire. Ils ont eu pour répercussions de modifier son hydrodynamisme, comme en témoigne le mascaret qui au fil des aménagements a fini par disparaître ou le jusant qui a vu sa vitesse augmenter favorisant l'effet de chasse dans l'estuaire. A Rouen, une baisse du niveau des basses mers a également été observée en lien avec l'aménagement de l'estuaire depuis 150 ans [Figure 5].



# La marée dans l'estuaire de la Seine

## Sources et méthodes

### Figure 1

Les courbes marégraphiques présentées correspondent à la hauteur d'eau mesurée par les marégraphes situés en différents points de l'estuaire de la Seine, pendant la marée du 20 mars 2010 (coefficient de marée : 83, débit de la Seine à Poses : 397 m<sup>3</sup>/s).

[Source des données : GPMR]

### Figure 2

Ce schéma décrit l'impact de la position des astres (Terre, Lune, Soleil) sur le cycle morte-eau / vive-eau des marées terrestre. La Lune tourne autour de la Terre en 28 jours, ainsi la Terre, la Lune et le Soleil sont alignés tous les 14 jours, pour former ce qu'on appelle les vives eaux, correspondant aux périodes de fort marnage. Entre deux vives eaux, lorsque la Lune est en position de premier quartier ou dernier quartier (à 90° de l'axe Terre Soleil), les forces d'attraction dues à la Lune et au Soleil ne s'additionnent pas, le marnage est alors moindre, on parle de période de morte-eau.

### Figure 3

La variation de la hauteur d'eau mesurée par le marégraphe positionné au droit d'Honfleur (pk 355) est présentée sur un cycle lunaire de 28 jours (données mesurées au mois de décembre 2010).

[Source des données : GPMR]

### Figure 4

La hauteur du plan d'eau de l'estuaire de la Seine est représentée pour différentes conditions de marée (vive eau / morte eau) et débits de la Seine à Poses (400, et 1600 m<sup>3</sup>/s) entre les points kilométriques 219 (Elbeuf) et 365 (Le Havre). Les hauteurs d'eau sont issues d'un dépouillement statistique des mesures réalisées entre 1990 et 1999.

[Source des données : GPMR]

### Figure 5

La courbe marégraphique à Rouen et Tancarville est présentée en condition d'étiage et de vive-eau à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle (mesure le 18 août 1876, pour un coefficient de marée de 107) et pour la période récente (dépouillement statistique des données entre 1986 et 1996, pour un coefficient de marée de 95 et 115 et un débit de la Seine à Poses de 250 m<sup>3</sup>/s).

[Source des données : Lavoine, 1885 ; GPMR]

## Références Bibliographiques

- Delsinne, N., 2005. Evolution pluri-millénaire à pluri-annuelle du prisme sédimentaire d'embouchure de la Seine. Facteurs de contrôle naturels et d'origine anthropique. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle, Université de Caen. 179p.
- El Abida H., Fisson C., Allain S., Bacq N., Chaib J., Goncalves-Ladiray K., Fritier N., Larchevêque E., Macur O., Tanguy J., 2010. Le risque inondation : conditions de déclenchement et perspectives. Fascicule Seine-Aval 2.6, 48 p.
- Foussard V., Cuvilliez A., Fajon P., Fisson C., Lesueur P., Macur O., 2009. Évolution morphologique d'un estuaire anthropisé de 1800 à nos jours. Fascicule Seine-Aval 2.3, 44 p.
- Grand Port Maritime de Rouen (GPMR). Données de hauteurs d'eau aux marégraphes.
- Guérin O., 2004. Tout savoir sur les marées. Ed. Ouest-France, 166p.
- Guézennec L., Romaña L.-A., Goujon R., Meyer R., 1999. Seine-Aval : un estuaire et ses problèmes. Fascicule Seine-Aval 1.1, 29 p.
- Lavoine E. & Lechalas M.C., 1885. La Seine maritime et son estuaire. Encyclopédie des travaux publics, 312p.
- Le Floch, P., 1971. Propagation de la marée dans l'estuaire de la Seine et en Seine Maritime. Paris. 507 p.
- Le Hir P., Silva Jacinto R., 2001. Courants, vagues et marées : les mouvements de l'eau. Fascicule Seine-Aval 1.2, 32 p.

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](http://www.seine-aval.fr)

Conception, rédaction : GIP Seine-Aval  
Président : Nicolas Mayer-Rossignol  
Directeur : Loïc Guézennec  
Contact : [gipsa@seine-aval.fr](mailto:gipsa@seine-aval.fr)  
Infographie : Quai 24, Le Havre  
Crédits photos : GIP Seine-Aval  
Tirage : 1000 exemplaires

Le GIP Seine-Aval est financé par :

