



# Qualité de l'eau et contaminations : Dynamique des nutriments dans l'estuaire de la Seine

## Problématique

Naturellement présents dans les écosystèmes aquatiques, les sels nutritifs aujourd'hui retrouvés dans les cours d'eau ont pour source essentielle les activités humaines. Les apports en azote et en phosphore, soit diffus, soit localisés au débouché de grandes installations, résultent principalement des activités agricoles (azote sous forme de nitrates résultant du lessivage des sols engraisés, azote ammoniacal dans les régions d'élevage), des rejets industriels et des rejets urbains. La silice, quant à elle, provient essentiellement de l'altération des roches et n'est que faiblement influencée par l'activité humaine [Aminot & Kérouel, 2004 ; Meybeck *et al.*, 1998].

L'azote, le phosphore et la silice sont des éléments indispensables à la croissance des organismes. Néanmoins, les apports en excès de ces éléments

nutritifs sont responsables, entre autres, du phénomène d'eutrophisation et d'effets toxiques directs pour les organismes aquatiques. Ainsi, la transformation de l'ammoniaque en nitrates (nitrification) est un processus consommateur de l'oxygène de l'eau et est en partie responsable des hypoxies chroniques observées dans l'estuaire. Des déséquilibres entre les apports en azote et en phosphore par rapport à la silice contrôlent dans la zone côtière le développement d'algues non siliceuses, souvent toxiques [Conley, 1991 ; Cugier *et al.*, 2005].

En milieu estuarien, l'hydrologie, les processus hydrosédimentaires et les activités biologiques sont autant de facteurs qui doivent être considérés pour appréhender la dynamique des sels nutritifs.



*Industrie et agriculture en bord de Seine (J. Pellerin)*



# Dynamique des nutriments dans l'estuaire de la Seine

## Situation

### Des teneurs en orthophosphates et en ammonium en diminution

Les orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) et l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) sont issus de la dégradation de la matière organique, soit dans les stations d'épuration (avec un rejet dans le milieu lorsque le traitement des éléments nutritifs n'est pas mis en place), soit dans le milieu lui-même. Les apports à l'estuaire sont essentiellement issus des rejets urbains et industriels provenant de l'agglomération parisienne. Dans l'estuaire de la Seine, les orthophosphates sont adsorbés sur les particules déposées ou en suspension, processus peu important en dehors de la zone du bouchon vaseux compte tenu des faibles teneurs de matières en suspension.

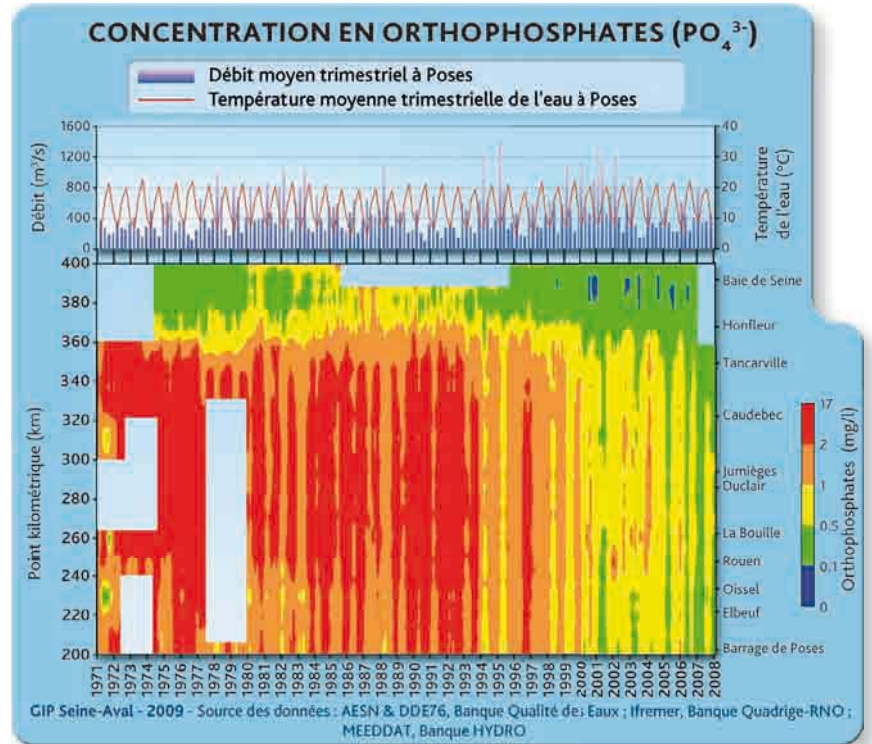


Figure 1 : Evolution spatio-temporelle des concentrations en orthophosphates dans l'estuaire de la Seine.

L'analyse des teneurs en orthophosphates entre 1971 et 2007, du barrage de Poses à la Baie de Seine [Figure 1] montre une variation sur plusieurs échelles de temps. A l'échelle saisonnière et annuelle, la concentration en orthophosphates varie notablement en fonction du débit suivant une loi de dilution, car les sources sont principalement d'origine industrielle ou urbaine et les flux globalement constants. L'échelle pluriannuelle permet de visualiser les améliorations du traitement des effluents urbains et les variations dues à l'hydrologie et l'utilisation moindre des lessives phosphatées. Durant la période 1970-1980, les concentrations en orthophosphates sont très élevées et le débit relativement faible. Les traitements aux stations d'épuration sont encore limités, voire inexistantes et d'importantes quantités sont rejetées. La décroissance est particulièrement notable après 1993. L'amélioration du traitement à certaines



Roselière en bord de Seine (C. Bertolone)



stations d'épuration et l'introduction massive de détergents sans phosphates expliquent cette tendance. À partir du début des années 1990, la réduction des apports industriels, importants dans l'estuaire, a également joué un rôle non négligeable. Les apports en ammonium suivent la même tendance à la baisse que les orthophosphates, avec une diminution des concentrations depuis les années 2000 du fait de l'amélioration des traitements.



Roselière à Oissel (C. Dégremont)

## Des teneurs en nitrates en augmentation

L'azote est un élément indispensable au développement des organismes photosynthétiques et des bactéries qui l'utilisent préférentiellement sous la forme ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), bien que certaines espèces algales soient capables d'utiliser le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ). Ces formes azotées subissent diverses transformations durant leur passage dans l'estuaire. L'ammonium présente les concentrations les plus élevées dans l'eau de la Seine à l'entrée de l'estuaire. Elle subit alors une rapide décroissance le long du fleuve, qui s'explique par son oxydation en nitrites puis en nitrates (processus de nitrification). Les nitrites ne sont alors qu'une forme transitoire et les nitrates la forme dominante sur une grande partie du linéaire estuarien.

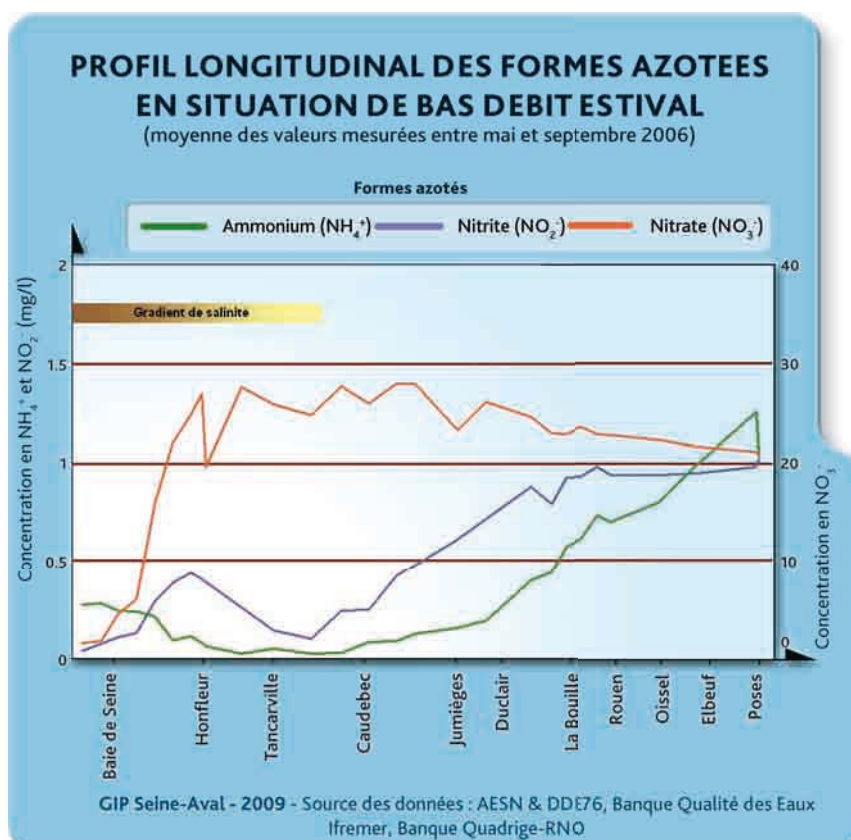


Figure 2 : Profil longitudinal des formes azotées dans l'estuaire de la Seine, en condition de bas débit estival.

A l'embouchure de l'estuaire, les nitrites et les nitrates font l'objet d'une dilution progressive avec les eaux de mer [Figure 2].

L'analyse des teneurs en nitrates dans l'estuaire de la Seine entre 1970 et 2007 montre une évolution caractéristique des variables issues du lessivage des sols : concentrations élevées par fort débit. À l'échelle saisonnière et annuelle, les nitrates, essentiellement d'origine agricole, suivent ainsi une évolution opposée à celle des orthophosphates. Depuis le début des années 1990, la tendance observée pour les nitrates est un accroissement continu des concentrations mesurées. Deux facteurs peuvent expliquer cette tendance :  
*i)* l'amélioration du traitement des effluents améliore l'oxygénation du milieu et réduit donc la dénitrification (élimination naturelle des nitrates) dans le fleuve amont ; *ii)* l'augmentation quasi-continue des apports diffus d'origine agricole.

## Des teneurs en silice stables

La silice n'a que très peu de sources anthropiques directes et les concentrations dans le milieu sont fonction de processus naturels. Jouant un rôle important dans le développement des diatomées qui l'utilisent pour former leur squelette siliceux, la silice subit de très fortes variations de concentration au printemps et à l'automne, du fait de la croissance de ces diatomées. En hiver, le comportement de la silice est quasi conservatif (concentration fonction du débit).

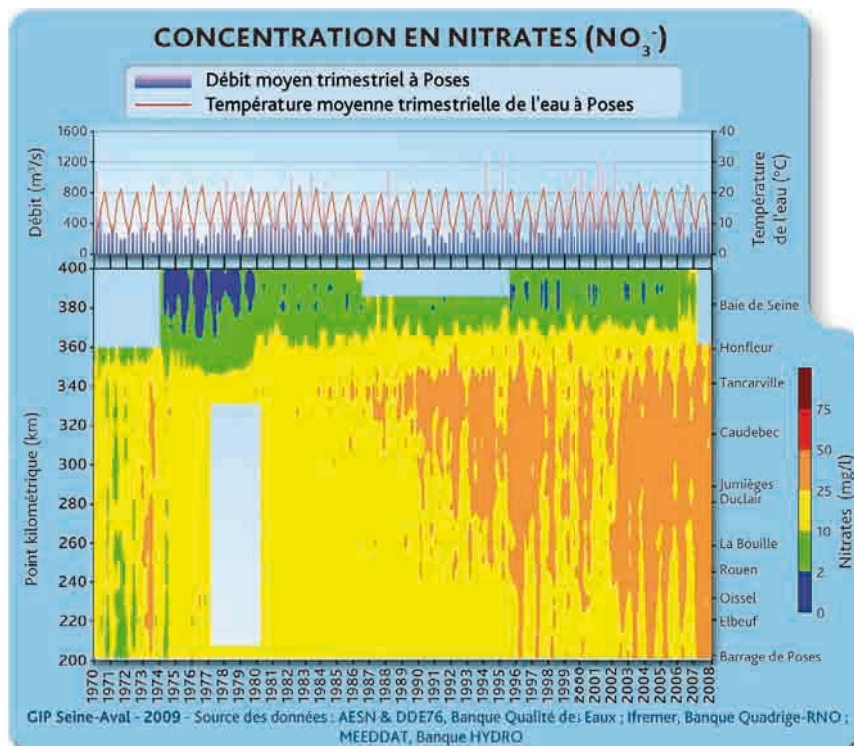


Figure 3 : Evolution spatio-temporelle des concentrations en nitrates dans l'estuaire de la Seine.

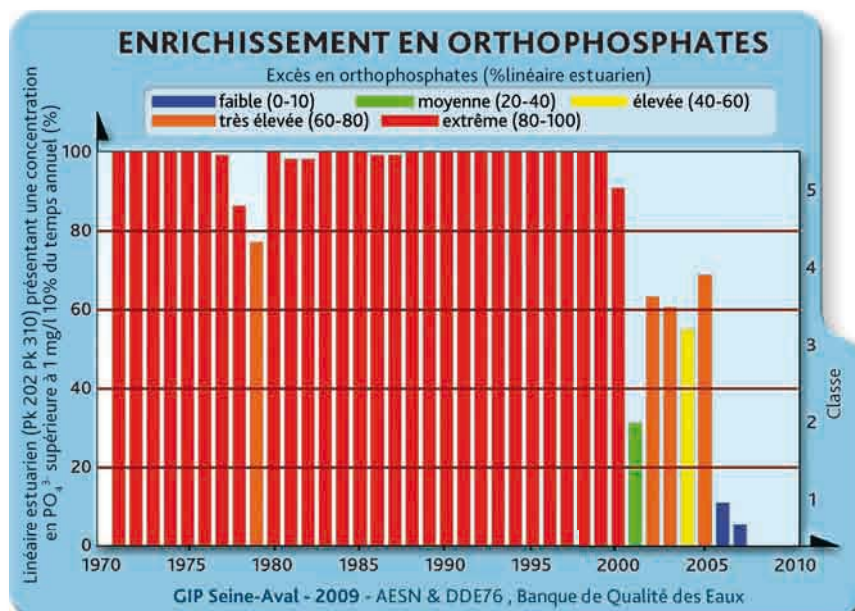
## Le rôle de filtre du bouchon vaseux

La rencontre des masses d'eau fluviales et marines dans l'estuaire de la Seine entraîne un piégeage naturel de matériaux particulaires fins appelé bouchon vaseux ou maximum de turbidité. En fonction de l'hydrologie et de leur affinité pour les particules, les différents éléments nutritifs y sont plus ou moins dégradés. Ainsi, 40% du flux d'azote est dégradé par le bouchon vaseux en situation hydrologique sèche, contre 12 % en situation humide. Les flux de phosphore sont, quant à eux, très faiblement réduits quelle que soit l'hydrologie (rétention inférieure à 10 %) [Billen & Garnier, 2006]. Le rôle de filtre du bouchon vaseux a donc une importance significative pour réguler les apports en sels nutritifs à la Baie de Seine et y réduire les risques liés à l'eutrophisation.

# Dynamique des nutriments dans l'estuaire de la Seine

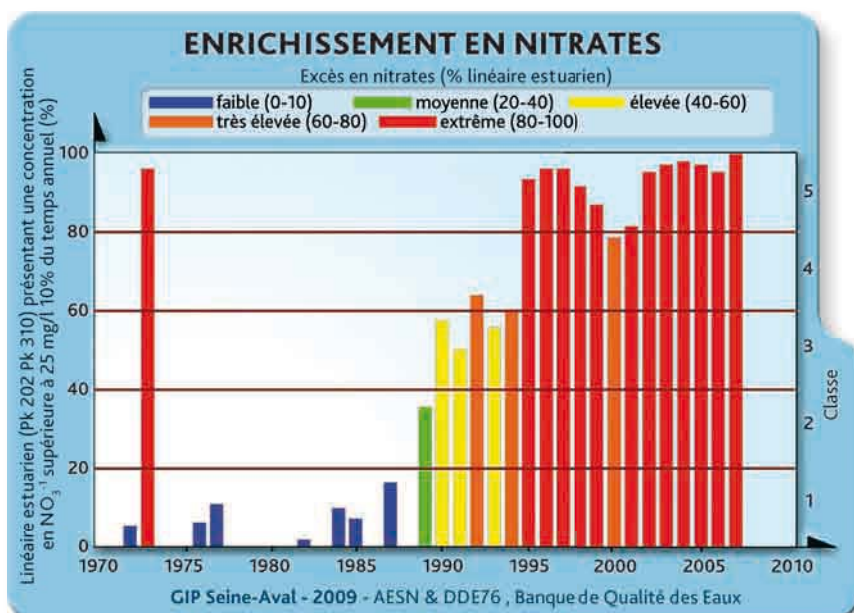
## L'essentiel

Selon l'élément nutritif considéré, les profils d'évolution des concentrations dans l'estuaire diffèrent : diminution pour les orthophosphates et l'ammoniac, augmentation pour les nitrates, maintien pour la silice. L'amélioration observée pour les flux d'orthophosphates est à mettre en relation avec une meilleure maîtrise des rejets issus des activités anthropiques (diminution de l'utilisation des lessives phosphatées). Cette tendance devrait se poursuivre dans la décennie à venir. La réduction très sensible de l'ammoniac devrait se poursuivre dans la décennie à venir jusqu'à atteindre des niveaux satisfaisants pour cette variable, grâce à la généralisation du traitement de l'azote au niveau des stations d'épuration de l'agglomération parisienne. L'augmentation des concentrations en nitrates correspond essentiellement à une hausse des apports agricoles. Compte tenu



Indicateur 1 : Evolution de l'enrichissement en orthophosphates sur l'estuaire de la Seine.

des changements de pratiques culturelles observés depuis les dernières décennies et l'inertie au niveau des aquifères qui a été estimée supérieure à 30 ans, cette tendance à la hausse devrait se poursuivre [Mignolet *et al.*, 2007].



Indicateur 2 : Evolution de l'enrichissement en nitrates sur l'estuaire de la Seine.

Des actions pour réduire les quantités de ces éléments dans les milieux sont encore nécessaires *via* la diminution des intrants, la mise en place de nouvelles techniques d'assainissement pour les rejets urbains et le renforcement des normes de rejets. Cependant, pour les estuaires et les milieux côtiers qui concentrent les apports de tout le bassin versant, ces efforts ne sont souvent pas suffisants pour limiter l'eutrophisation, notamment du fait de la prépondérance des apports agricoles, comme dans le cas de la Seine [Garnier *et al.*, 2005 ; Even *et al.*, 2007].

# Dynamique des nutriments dans l'estuaire de la Seine

## Sources et méthodes

### Figures 1 & 3

Les débits moyens trimestriels ( $m^3/s$ ) sont calculés à partir des données journalières des débits mesurés (1995-2003) ou calculés (1970-1994 ; 2004-2006) au barrage de Poses.

[Source des données : MEEDDAT, Banque HYDRO]

Les températures moyennes trimestrielles ( $^{\circ}C$ ) sont calculées à partir des températures de l'eau mesurées au barrage de Poses.

[Source des données : AESN & DDE76, Banque Qualité des Eaux]

Les concentrations en orthophosphates et en nitrates ( $mg/l$ ) sont représentées à partir des données mesurées ( $n=8514$  et  $n=5264$ ) sur 29 stations réparties entre le pk 202 (barrage de Poses) et le pk 390 (partie orientale de la Baie de Seine). Les classes de qualité appliquées correspondent aux grilles du SEQ-eau pour mesurer l'aptitude de l'eau à la biologie [Tableau I].

[Source des données : AESN & DDE76, Banque Qualité des Eaux ; Ifremer, Banque Quadrige-RNO]

	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
$PO_4^{3-}$ ( $mg/l$ )	$\leq 0,1$	0,1 – 0,5	0,5 – 1	1 – 2	$> 2$
$NH_4^+$ ( $mg/l$ )	$\leq 0,1$	0,1 – 0,5	0,5 – 2	2 – 5	$> 5$
$NO_3^-$ ( $mg/l$ )	$\leq 2$	2 – 10	10-25	25-50	50-75

Tableau I : Grille SEQ-eau de l'aptitude de l'eau à la biologie.

### Figure 2

Les profils longitudinaux des formes azotées dans l'estuaire de la Seine ont été réalisés pour une situation de bas débit estival (année 2006).

[Source des données : AESN & DDE76, Banque Qualité des Eaux ; Ifremer, Banque Quadrige-RNO]

### Indicateurs 1 & 2

L'enrichissement en orthophosphates et nitrates est calculé à partir des concentrations mesurées sur une quinzaine de stations réparties le long de l'estuaire dulçaquicole (du pk 202 à Poses au pk 310 à Caudebec-en-Caux). Il correspond au pourcentage du linéaire de l'estuaire de la Seine ayant une concentration en orthophosphates ou nitrates respectivement supérieure à  $1mg/l$  et  $25mg/l$  au moins 10% du temps annuel.

[Source des données : AESN & DDE76, Banque Qualité des Eaux]

## Références Bibliographiques

- Agence de l'Eau Seine-Normandie & Direction Départementale de l'Équipement de Seine-Maritime, 2007. Réseau National de Bassin, Banque Qualité des Eaux.
- Aminot A., Kérouel R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins, Paramètres et analyses. Ifremer : 336 p.
- Billen G. & Garnier J., 2006. Diagnostic du fonctionnement biogéochimique du continuum Estuaire-panache de la Seine (DIAPASON). Rapport Seine-Aval 2005 : 17 p.
- Conley D. J., Schelde C. L., Stoermer E. F., 1991. Modification of the biogeochemical cycle of silica with eutrophication. Marine Ecology Progress Series 101 : 179-192.
- Cugier P., Billen G., Guillaud J. F., Garnier J., Ménesguen A., 2005. Modelling the eutrophication of the Seine Bight (France) under historical, present and future riverine nutrient loading. Journal of Hydrology, 304 : 381-396.
- Even S., Harvier J-F., Bacq N., Thouvenin B., Garnier J., Servais P., 2007. Étude de scénarios pour la mise en place d'un assainissement intra-estuarien. Modélisation des cycles biogéochimiques majeurs en estuaire de Seine. Rapport Seine-Aval : 59p.
- Garnier J., Billen G., Servais P., Even S., Thouvenin B., Etcheber H., et Abril G., 2005. Synthèse CYMES. Chapitre 3 : Bilan de carbone dans le maximum de turbidité du chenal de l'estuaire de Seine. Rapport technique, Seine Aval.
- Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer) & Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable de l'Aménagement du Territoire. Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin, banque Quadrige-RNO.
- Meybeck M., De Marsily G., Fustec E., 1998. La Seine en son bassin : fonctionnement écologique d'un système fluvial anthropisé. Elsevier, Paris : 749 p.
- Mignolet C., Schott C., Benoît M., 2007. Spatial and temporal dynamics of agricultural activities in the Seine basin: a macro-agronomical approach. The Science of the Total Environment. 375(1-3), 19p.
- Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable de l'Aménagement du Territoire, 2007. Banque HYDRO [en ligne] <http://www.hydro.eaufrance.fr>

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 - 12 avenue Aristide Briand - 76000 Rouen  
[www.seine-aval.fr](http://www.seine-aval.fr)

Conception, rédaction : GIP Seine-Aval  
Président : Alain Le Vern  
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  
Impression réalisée sur papier écolabélisé  
ISSN : en cours

Le GIP Seine-Aval est financé par :

