



Seine-Aval
GROUPEMENT D'INTÉRÊT PUBLIC

Qualité de l'eau et contaminations : Apports en nutriments et potentiel d'eutrophisation

Problématique

L'estuaire de la Seine reçoit des apports issus du ruissellement de son bassin versant, ainsi que de l'amont. La nature de ces apports influe directement sur l'état écologique de cet écosystème estuarien et peut également avoir des conséquences en milieu marin. C'est notamment le cas des apports terrigènes de nutriments, tels que l'azote, le phosphore ou la silice. Alors que ces apports de sels nutritifs par les cours d'eau expliquent la forte productivité d'algues des eaux côtières, leur accroissement est responsable du phénomène d'eutrophisation et déséquilibre les communautés phytoplanctoniques [Billen & Garnier, 2006].

Le phénomène d'eutrophisation se manifeste par une augmentation de la biomasse phytoplanctonique dans la colonne d'eau qui, en se décomposant peut entraîner une désoxygénation des eaux. Parmi cette biomasse algale se développent des algues phytoplanctoniques, en majorité non siliceuses, donc certaines émettent des toxines qui peuvent être dangereuses pour la faune marine (poissons, coquillages,...) et pour les consommateurs. C'est notamment le cas d'*Alexandrium*, de *Dynophysis*, et de *Pseudo-nitzschia*.

Il y a donc un intérêt majeur à cerner les facteurs responsables de l'eutrophisation de la Baie de Seine, c'est-à-dire à s'intéresser à la réponse de la dynamique planctonique vis-à-vis de l'enrichissement du milieu en éléments nutritifs.



Bords de Seine (C. Lévêque).

Apports en nutriments et potentiel d'eutrophisation

Situation

Des apports en nutriments qui diminuent

La variation à long terme des apports à la mer en nutriments issus du bassin versant de la Seine a été modélisée et trois phases majeures ressortent de l'analyse de ces résultats [Figure 1] :

- augmentation des apports en azote et en phosphore lors du passage de l'état pristine (état théorique de référence avec un bassin versant couvert de forêts et sans influence humaine) à la situation rurale traditionnelle (XIIème – XVIIIème) ;
 - emballement des apports en phosphore et en azote à partir des années 1950 ;
 - diminution très rapide des apports en phosphore depuis les années 1990, alors que les apports en azote restent élevés.
- Les apports en silice, bien que très sensibles aux conditions hydrologiques, restent stables au cours

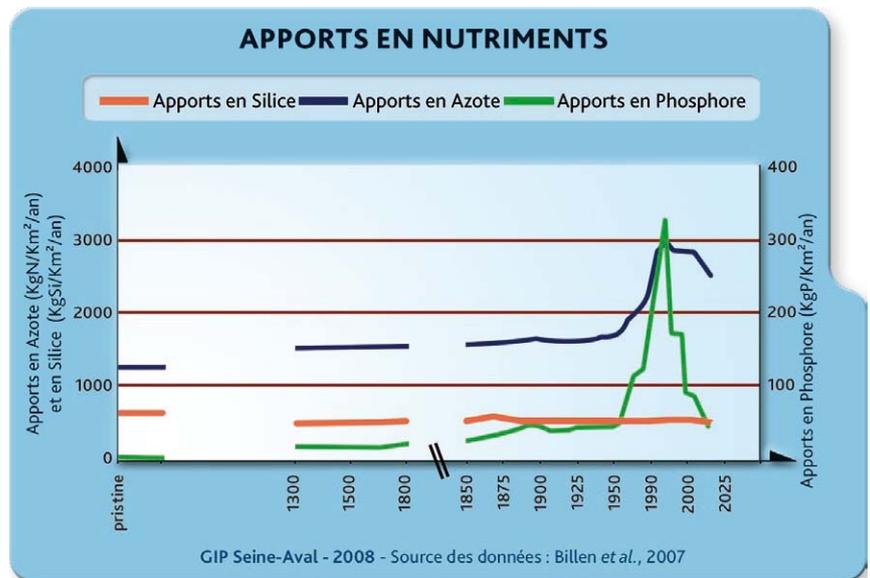


Figure 1 : Evolution à long terme des apports à la mer d'azote, de phosphore et de silice, pour des conditions hydrologiques moyennes (modélisation).

de ces différentes périodes [Billen et al., 2007].

Une analyse plus fine de ces apports dans la période récente (depuis 1978) montre une relation forte entre le débit et les apports en nutriments [Figure 2]. Les flux maximaux sont observés les années humides.

Les apports en azote varient généralement entre 1000 et 1500 kg/km²/an avec des pics supérieurs à 2000 kg/km²/an. Les flux annuels de silice sont comparables à ceux d'azote et suivent une évolution proche. Les flux annuels de phosphore sont plus faibles d'un ordre de grandeur et suivent une tendance à la baisse.

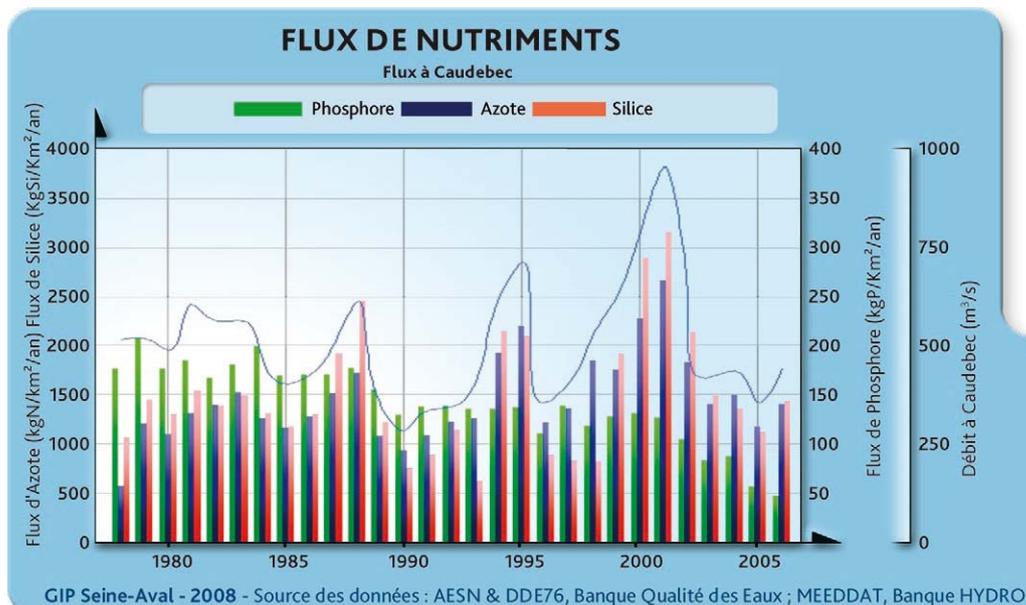


Figure 2 : Moyenne annuelle des flux de nutriments à Caudebec.

Un risque d'eutrophisation qui diminue

L'ICEP (Indicator of Coastal Eutrophication Potential) est un indicateur qui permet de déterminer le risque potentiel d'eutrophisation [Billen & Garnier, 2007]. Basé sur l'estimation du déséquilibre entre les flux d'azote, de phosphate et de silice apportés par la rivière, il représente le potentiel de croissances d'algues non siliceuses (souvent indésirables) par rapport aux diatomées. Lorsque le rapport entre les flux d'azote et de phosphore est inférieur à 16, on considère que l'azote est l'élément limitant, et inversement pour le phosphore. Les valeurs positives de l'ICEP indiquent un excès d'azote et de phosphore, par rapport à la silice, induisant un risque de surcroissance des espèces non siliceuses ; alors que les valeurs négatives indiquent un excédent de silice, favorisant les diatomées non-toxiques. Le risque d'eutrophisation est étudié ici sur deux échelles de temps : une échelle historique qui se base sur un calcul effectué à partir du modèle Riverstrahler, et une échelle concernant les trente dernières années où l'ICEP est calculé à partir de mesures dans le milieu.

La première phase d'urbanisation et d'industrialisation, du XIX^{ème} à la moitié du XX^{ème} siècle, a vu une augmentation du flux de phosphore, conduisant à une limitation par l'azote. Les valeurs de l'ICEP deviennent positives pour les situations hydrologiques sèches et moyennes, et le risque potentiel d'eutrophisation est significatif. De 1950 à la fin des années 1980, le risque d'eutrophisation s'accroît fortement et devient très important, voire extrême pour toutes les situations hydrologiques. Trois causes principales

sont responsables de l'enrichissement du réseau hydrographique en azote et phosphore : *i*) la généralisation de l'agriculture intensive qui délivre dans le milieu des nitrates et donc de l'azote ; *ii*) l'augmentation de la population et la présence d'azote et de phosphates dans les rejets urbains ; *iii*) le manque d'efficacité du traitement des eaux résiduaires. Depuis 1990, les flux de phosphore ont nettement diminués 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. Le phosphore est alors redevenu limitant. Le risque potentiel d'eutrophisation, et donc de prolifération d'algues non siliceuses, a fortement diminué et le modèle prévoit une annulation de ce risque pour le futur, si les mesures prévues pour la réduction des émissions de phosphore et d'azote sont convenablement mises en place [Figure 3].

Les résultats issus des mesures suivent cette même tendance [Figure 4] : le risque d'eutrophisation

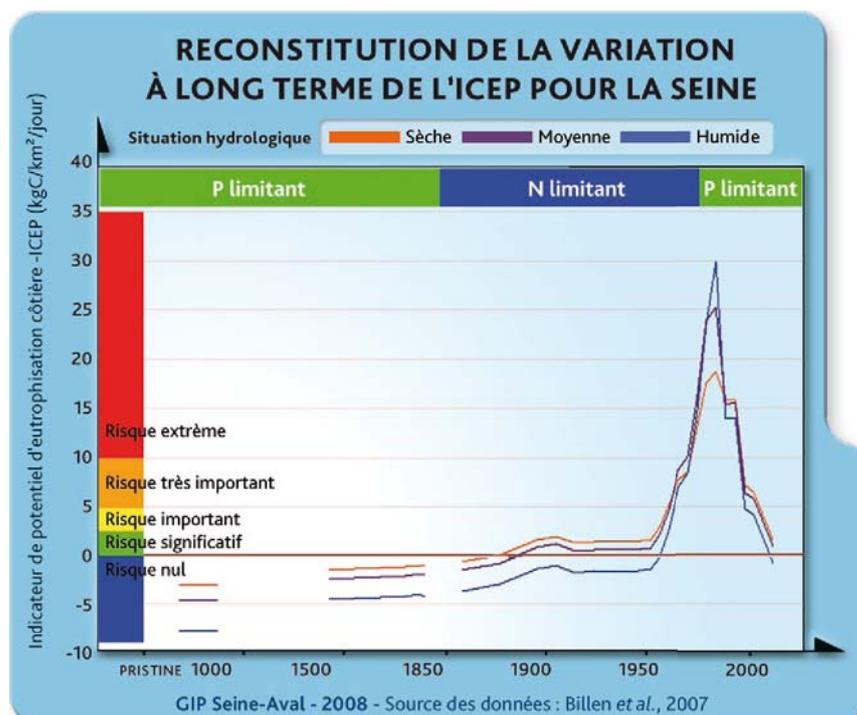


Figure 3 : Reconstitution de la variation à long terme de l'ICEP calculée par le modèle Riverstrahler.

apparaît important au cours des années 1980 et 1990, puis diminue très nettement au début des années 2000. Les niveaux atteints restent du même ordre de grandeur entre le modèle et les mesures. Les différences peuvent être en partie expliquées par les hypothèses prises pour décrire les conditions hydrologiques. Par ailleurs, le changement très net observé à partir de 2000 semble être fortement lié au basculement de la limitation par l'azote à la limitation par le phosphore.

Dinophysis, une algue indicatrice d'eutrophisation

Les algues du genre *Dinophysis* (classe des *Dinophyceae*) dominent la communauté algale non siliceuse et sont observées de façon récurrente dans l'embouchure de l'estuaire de la Seine et dans sa Baie. Généralement présentes entre les mois de juin et septembre, elles émettent une toxine diarrhéique pouvant être dangereuse pour la faune marine et pour les consommateurs. L'abondance de *Dinophysis* a été choisie comme indicateur du développement des algues non siliceuses pour l'embouchure de la Seine.

Les efflorescences observées au point «Antifer» [Figure 4], bien que très variables d'une année à l'autre, montrent une tendance générale à la diminution, tant sur les maxima observés que sur la durée des épisodes. L'évolution comparée avec l'ICEP met en évidence les mêmes grandes tendances sur les dernières décennies, avec une rupture observée dans les années 2000 (passage d'une limitation par l'azote à une limitation

par le phosphore). Cependant, la relation année par année est moins satisfaisante, l'ICEP restant élevé des années où l'abondance des *Dynophysis* était faible (1991 – 1996 – 1997). Ainsi, le potentiel de croissance des algues non siliceuses mis en évidence par l'ICEP ne serait pas exprimé certaines années, vraisemblablement en raison de l'influence d'autres facteurs : hydrodynamisme exportant les apports fluviaux au large, limitation de la production phytoplanctonique par la température de l'eau ou l'intensité lumineuse [Daniel, 2004].

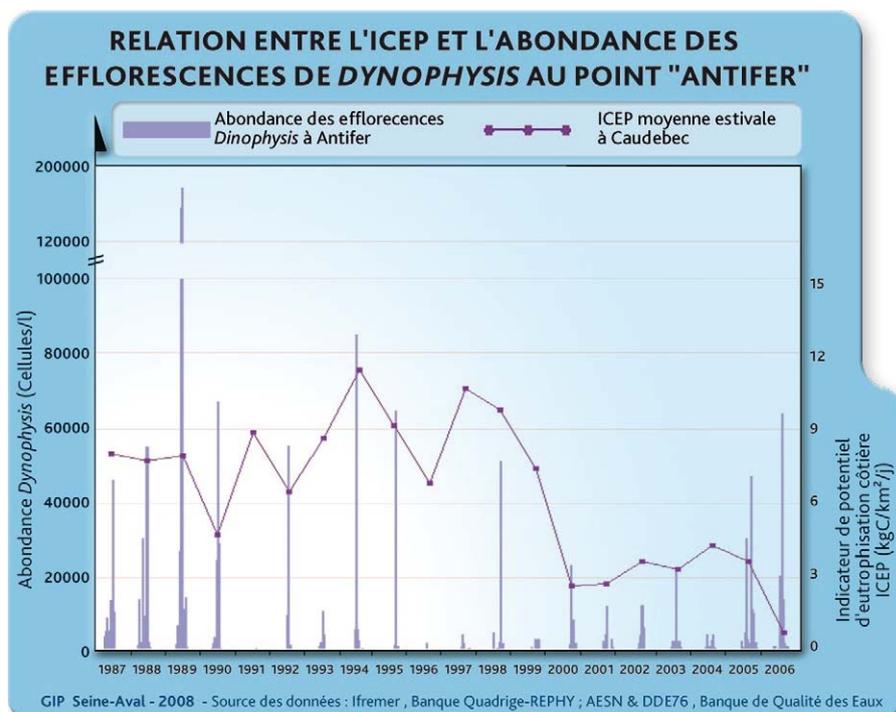


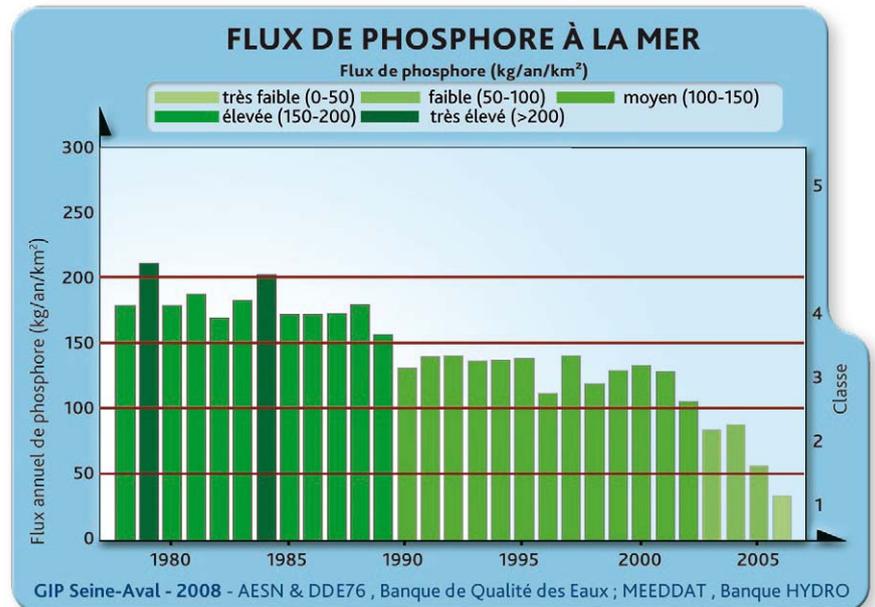
Figure 4 : Relation entre l'ICEP et l'abondance des efflorescences de *Dynophysis* au point «Antifer».

Apports en nutriments et potentiel d'eutrophisation

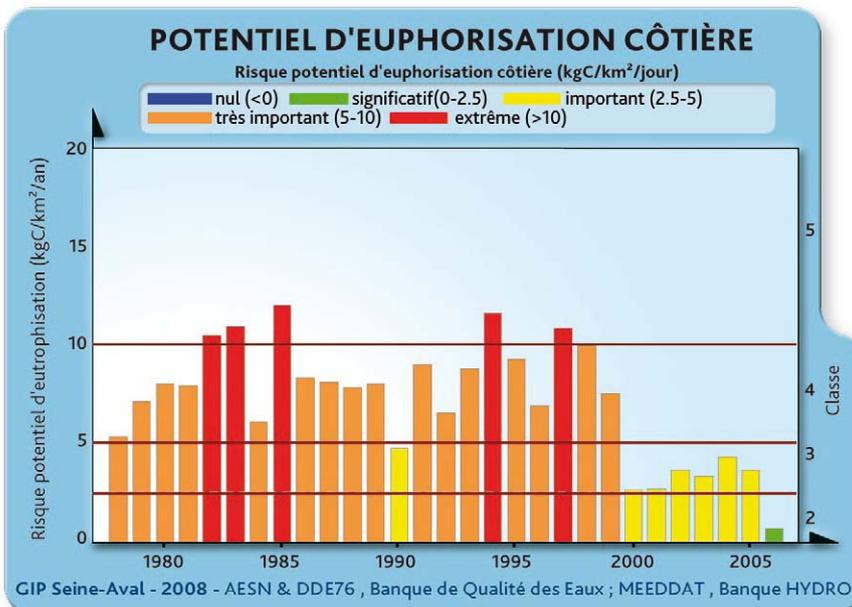
L'essentiel

Après des apports maximaux dans les années 1970 à 1990, les flux de nutriments (particulièrement en phosphore) sont en diminution. Cette amélioration, visible lors des mesures de terrain et confirmée par la modélisation des apports en nutriments à la mer (azote, phosphore, silice), est à mettre en relation avec une meilleure maîtrise des rejets urbains.

Le risque d'eutrophisation, et plus particulièrement le potentiel de croissance d'algues non siliceuses, suit la même évolution : très élevé entre les années 1970 et les années 1990, il a fortement chuté et une annulation de ce risque dans les années à venir est prévisible si les efforts réalisés dans le traitement des effluents sont maintenus et si les amendements agricoles sont utilisés de façon plus raisonnée. Seuls ces leviers permettront d'atteindre le bon état écologique en ce qui concerne les apports en nutriments et l'eutrophisation s'y rapportant.



Indicateur 1 : Flux de phosphore à la mer.



Indicateur 2 : Risque potentiel d'eutrophisation côtière.



Apports en nutriments et potentiel d'eutrophisation

Sources et méthodes

Figure 1

Les flux de nutriments à la mer ($\text{kg}/\text{km}^2/\text{an}$) sont reconstitués à l'aide du modèle Riverstrahler pour une situation hydrologique moyenne.

[Source des données : Billen et al., 2007]

Figure 2 et Indicateur 1

Les flux de nutriments - Azote, Phosphore, Silice - ($\text{kg}/\text{km}^2/\text{an}$) sont calculés à partir des mesures de nutriments et du débit à Caudebec (somme des débits de la Seine à Poses, de l'Andelle et de l'Eure).

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

Figure 3

Les valeurs de l'ICEP (Indicator of Coastal Eutrophication Potential) sont reconstituées à l'aide du modèle Riverstrahler pour trois situations hydrologiques représentatives d'années sèches, moyennes et humides selon le calcul suivant :

- quand $N/P > 16$; alors $\text{ICEP} = \text{flux N} / (14 \cdot 16) - \text{flux Si} / (28 \cdot 20) \cdot 106 \cdot 12$
- quand $N/P < 16$; alors $\text{ICEP} = \text{flux P} / 31 - \text{flux Si} / (28 \cdot 20) \cdot 106 \cdot 12$

[Source des données : Billen et al., 2007]

Indicateur 2

Les valeurs de l'ICEP (Indicator of Coastal Eutrophication Potential) sont calculées à partir des flux estivaux de nutriment (juin-septembre) à Caudebec.

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

Le débit moyen annuel à Caudebec est calculé à partir des débits de la Seine à Poses, de l'Andelle et de l'Eure.

[Source des données : MEEDDAT, Banque HYDRO]

Figure 4

L'abondance de l'algue *Dynophysis* est représentée à la station Antifer.

[Source des données : Ifremer, Banque Quadrige-REPHY]

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.
- Billen G., Garnier J., 2006. Diagnostic du fonctionnement biogéochimique du continuum Estuaire-panache de la Seine (DIAPASON). Rapport Seine-Aval 2005. 17 p.
- Billen G., Garnier J., Némery J., Sebilo M., Sferratore A., Barles S., Benoit P., Benoit M., 2007. A long-term view of nutrients transfers through the Seine river continuum. *Science of the Total Environment*, 375: 80-97.
- Billen G., Garnier J., 2007. River basin nutrient delivery to the coastal sea: Assessing its potential to sustain new production of non-siliceous algae. *Marine Chemistry*, 106: 148-160.
- Daniel A., 2004. Réseau Hydrologique Littoral Normand : Cycles annuels 2001-2003 et propositions d'indicateurs d'eutrophisation. Rapport Ifremer RST DEL/01.09/PB, 102p.
- Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer). Réseau Phytoplancton et Phycotoxines (REPHY) - banque Quadrige.
- Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et 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

Conception, rédaction : GIP Seine-Aval
Président : Alain Le Vern
Directeur : Loïc Guézennec
Contact : gipsa@seine-aval.fr
Infographie : Quai 24, Le Havre
Crédits photos : GIP Seine-Aval
Tirage : 1000 exemplaires
ISSN : en cours

Le GIP Seine-Aval est financé par :

