

Modélisation rétrospective de la qualité de l'eau à l'aval de Paris (1950-2000)

C. Cun (CRECEP, Paris)

G. Billen & J. Garnier (UMR Sisyphe, Paris)

Le dépouillement des données anciennes d'analyse de la qualité aux prises d'eau de la Ville de Paris, archivées au CRECEP, rend possible une démarche de modélisation rétrospective de la qualité de l'eau de la Seine, sur au moins une cinquantaine d'années. Cette approche permet de tester diverses hypothèses sur l'importance des rejets d'eau usées dans le passé, et de remettre en perspective certains aspects du fonctionnement du système Seine.

Une première application de cette démarche a concerné la reconstitution des conditions d'oxygénation de la Seine en aval de Paris, en nette amélioration dans le secteur fluvial, mais non dans le secteur estuarien. Une seconde application traite des flux d'apports d'éléments nutritifs vers le milieu marin. Le rapport Si/N des nutriments apportés à la mer n'a cessé de décroître depuis une 50aine d'années, s'accompagnant d'une diminution relative de la part des diatomées dans la production primaire marine. L'évolution du rapport N/P montre quant à lui le passage d'une limitation de la production primaire marine côtière par le phosphore au début des années 50, le basculement vers une limitation par l'azote au cours des années 60-80, puis un retour, dans les années récentes à une limitation par le phosphore.

1. La démarche de modélisation rétrospective

Les modèles développés par le PIREN permettent de faire le lien entre la qualité de l'eau et les contraintes exercées par la météorologie, l'hydrologie et les activités humaines sur le bassin versant (Fig. 1). Lorsque ces contraintes sont bien documentées (ce qui est généralement le cas pour les situations actuelles), la confrontation des résultats du modèle avec les données mesurées de qualité d'eau permettent la validation du modèle.

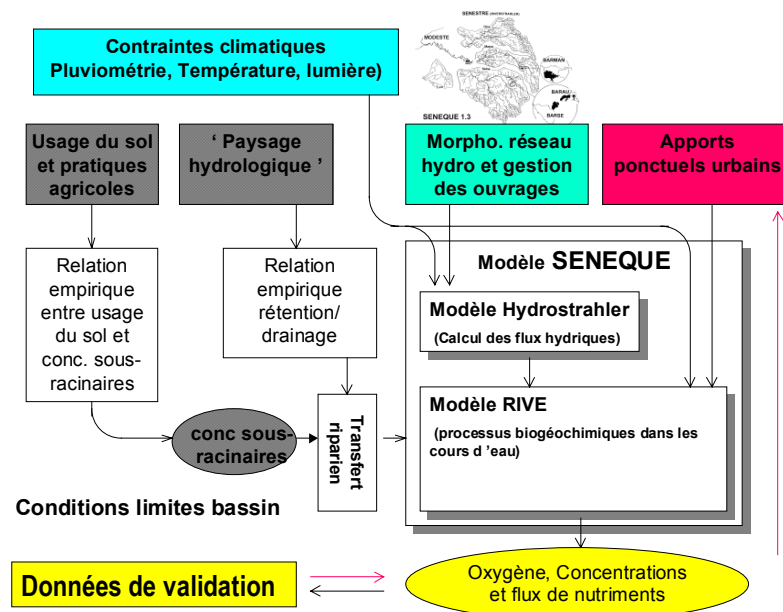


Figure 1. Schéma de principe du modèle SENEQUE 1.3 et de sa rétro-utilisation.

Pour le passé, les contraintes sont rarement aussi bien documentées, malgré les efforts des historiens.

Il existe par contre, en particulier pour le bassin de la Seine, des données historiques très nombreuses sur la qualité de l'eau de la Seine autour de Paris depuis plus d'un siècle, recueillies par les services chargés successivement de la production d'eau potable de la ville de Paris. Archivées au CRECEP, ces données constituent un véritable gisement que des travaux en cours cherchent à valoriser, notamment dans le cadre du programme PIREN-Seine (Fig. 2).

Il est alors possible de tirer parti de cette base de données pour reconstituer en tout ou en partie les contraintes auxquelles le système Seine était soumis dans le passé. C'est cette démarche de rétro-modélisation que nous avons commencé à mettre en oeuvre à l'aide du modèle SENEQUE 1.3 pour ce qui concerne les 50 dernières années.

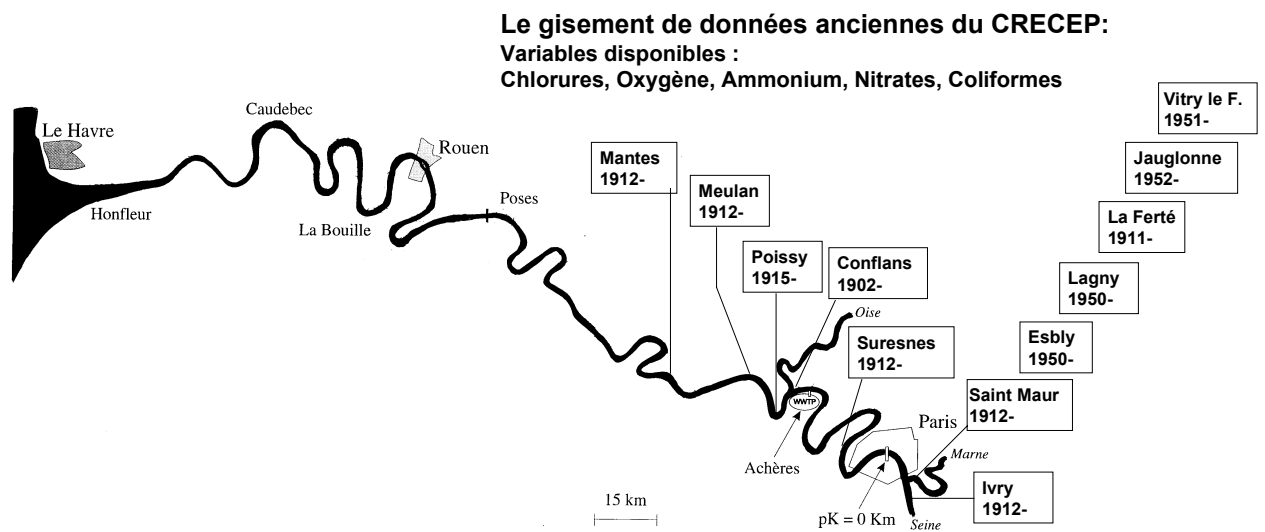


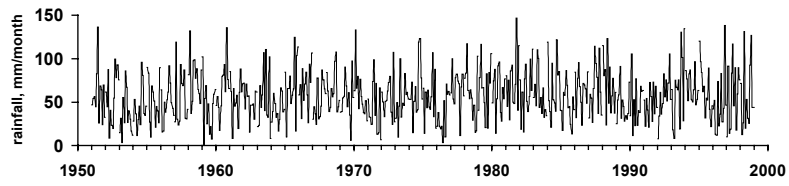
Figure 2. Un aperçu des données de qualité d'eau archivées au CRECEP.

2. Conditions hydrologiques pour les 50 dernières années.

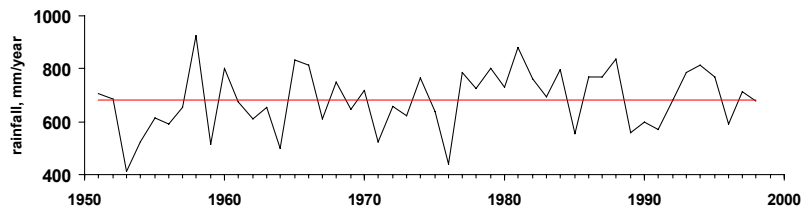
Les conditions de pluviométrie sur disponibles pour les 50 dernières années à Météo-France en une quinzaine de stations sur l'ensemble du bassin. Une étude réalisée par Sogréah à la demande de l'IIBRBS a permis de reconstituer la pluviométrie et les débits sur l'ensemble du bassin depuis 1900. Les débits dérivés et restitués des barrages réservoirs depuis leur mise en service nous ont été transmis par l'IIBRBS. Les contraintes hydrologiques passées sont donc parfaitement définies. Le modèle SENEQUE a ainsi pu être utilisé pour calculer les débits à Poses sur les 50 dernières années (Fig. 3).

Cet exercice montre bien la succession de périodes sèches et de périodes humides de 3 à 5 années successives qui caractérise le régime du bassin. On voit aussi, sous l'effet de la mise en service progressive des barrages réservoirs, une augmentation régulière des débits d'étiage de la Seine.

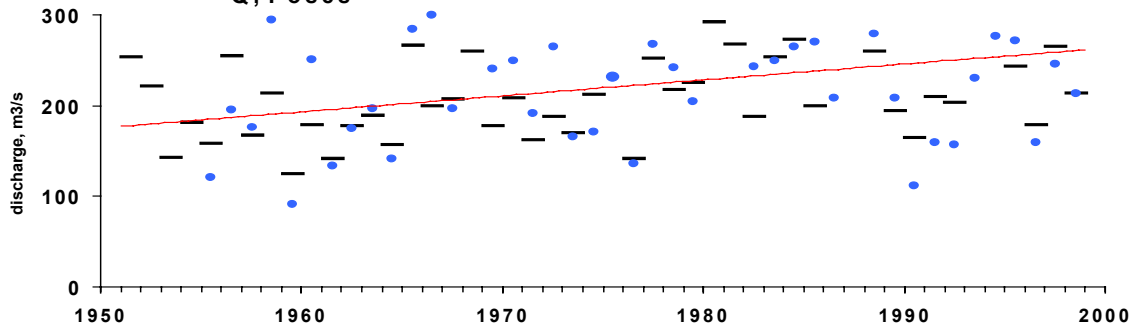
monthly rainfall



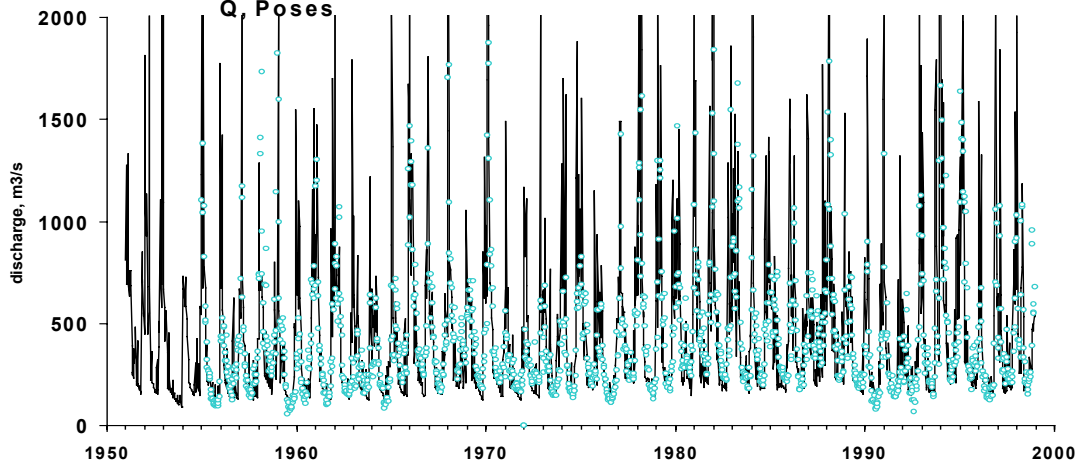
annual rainfall



Q, Poses



Q, Poses



3. Apports diffus et usage du sol

L'évolution depuis 50 ans de l'usage du sol et des apports diffus de nutriments (particulièrement de nitrates) qui en résultent sont discutées ailleurs dans ce rapport. Leur reconstitution, ainsi que celle du drainage agricole qui réduit sensiblement le pouvoir de rétention des zones ripariennes, a permis de simuler correctement l'évolution de la teneur en nitrates dans la Seine et la Marne en amont immédiat de Paris (Fig. 4).

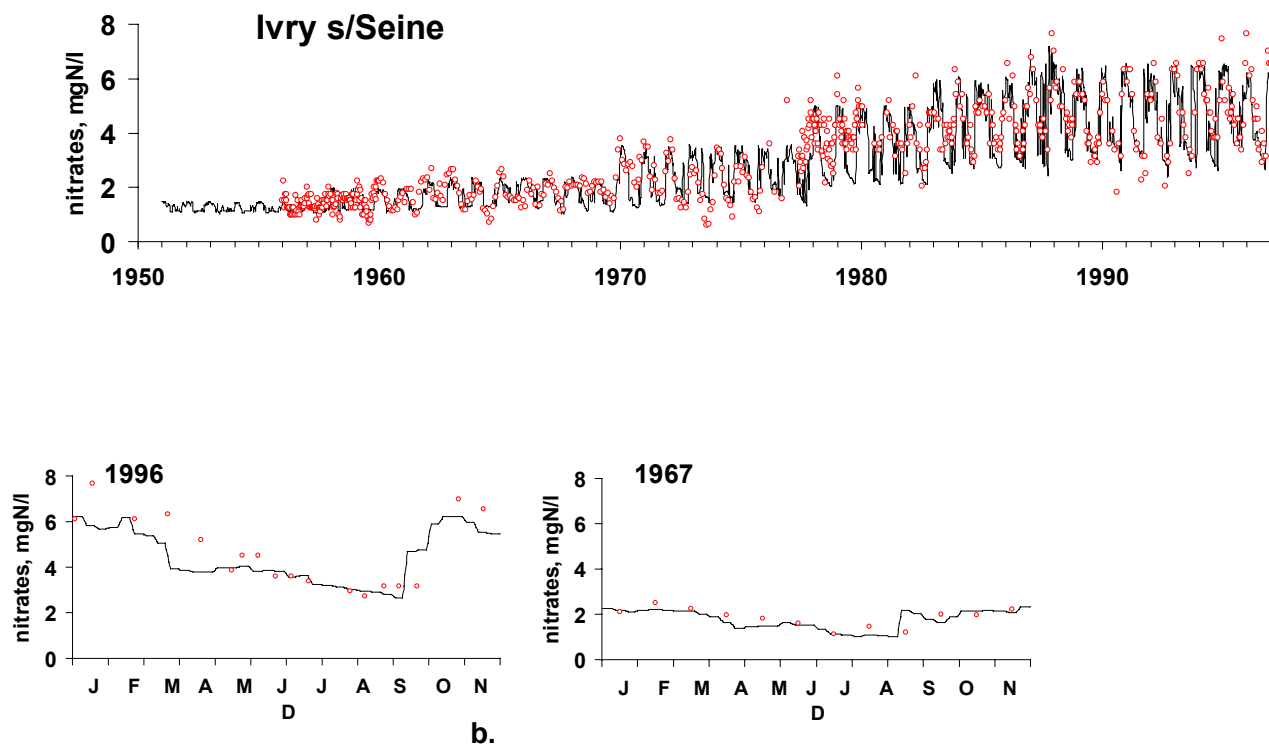


Figure 3. Concentration en nitrate dans la Seine en amont de Paris calculée par le Modèle Senèque et comparé aux observations disponibles à Ivry (Naves, 1989).

a. variations à long terme de 1951 to 1996.

b. La comparaison des variations saisonnières entre 1955 et 1996 (2 années de conditions hydrologiques comparables) montrent l'accroissement de la différence entre les niveaux de nitrates estivaux (représentatifs de l'eau de nappe) et hivernaux (représentatifs des eaux plus superficielles).

4. Apports ponctuels

4.1. Bassin amont

Les recensements complets de rejets ponctuels dans le bassin n'existent que depuis la mise en place des Agences de Bassins dans les années 70. Le premier inventaire national de la pollution, en 1971 (AESN, 1976) ne concerne que la DBO. Pour les périodes précédentes, nous nous sommes basés sur les recensements de population, sur les niveaux de raccordement à un système de collecte (INSEE) et sur les données de capacité des stations d'épurations installées (AESN). Une démarche d'ajustement permet alors de définir la meilleure hypothèse sur l'évolution des rejets domestiques ponctuels permettant de reproduire l'évolution observée de l'ammonium à l'entrée de Paris. (Fig. 4 et 5).

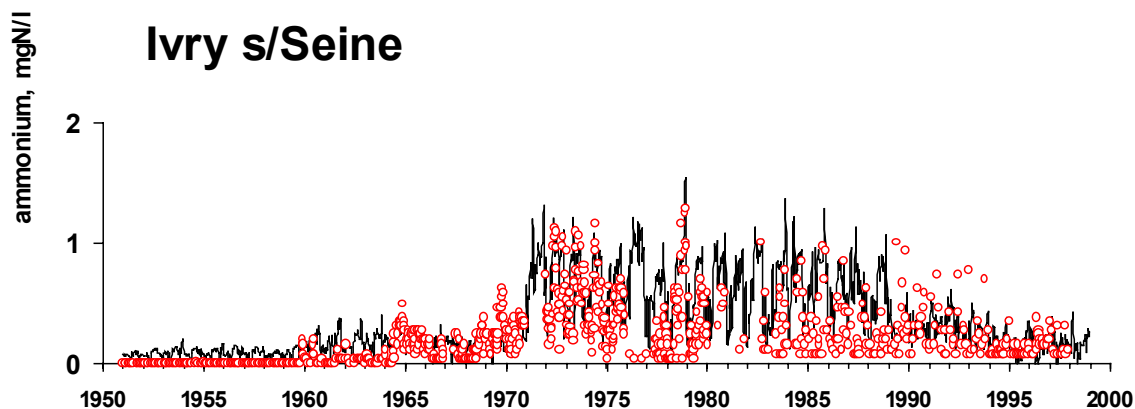


Figure 4. Concentration en ammonium à la station d'Ivry (données CRECEP) et simulation par le modèle SENEQUE obtenue par essai et erreur sur base d'une estimation des charges rejetées dans le bassin amont telle que représentée dans la figure 6.

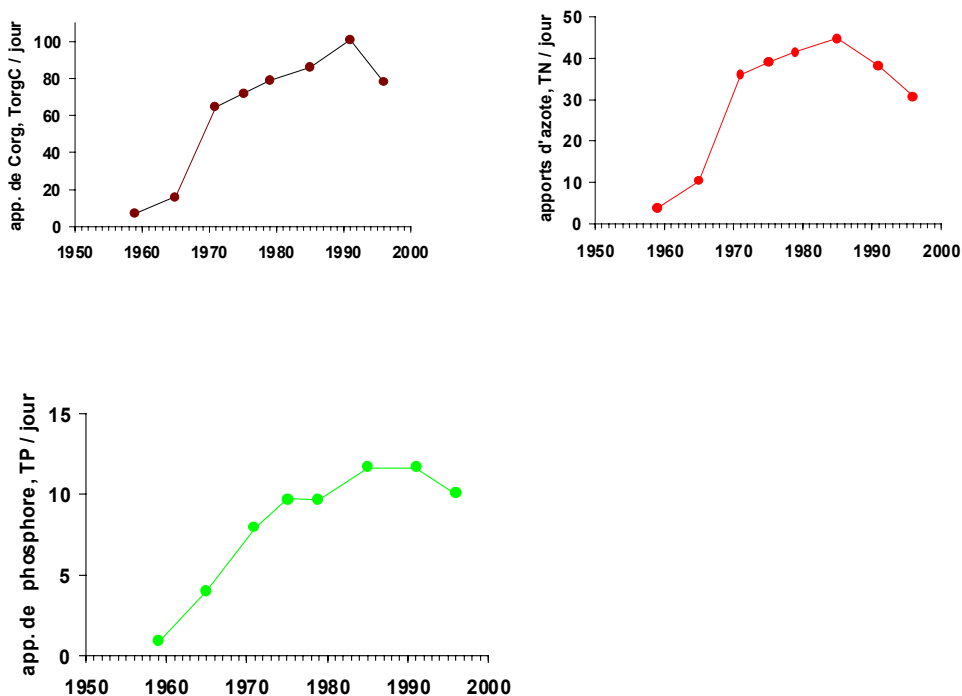


Figure 5. Reconstitution des apports ponctuels de matière organique, d'azote et de phosphore par les bassins amonts de la Seine (cumul Seine, Marne et Oise).

Le brusque accroissement observé au début des années 60, et qui se traduit par l'apparition d'ammonium en amont de Paris, jusque là non détectable, ne correspond évidemment pas à un accroissement démographique, mais à la généralisation de la collecte des eaux usées dans les bassins amonts. La diminution récente est le résultat d'une amélioration du traitement des eaux usées.

4.2. Agglomération parisienne

Les données relatives aux volumes d'eau usées collectés, traités et rejetés dans l'agglomération parisienne nous ont aimablement été transmis par le SIAAP (Nous remercions pour leur aide Mme Paffoni et M. Rousselot). Ces données (Fig. 6) montrent que durant les 50 dernières années l'accroissement continu du volume d'eau usées produites n'a été rattrapé qu'avec retard par l'accroissement des capacités de traitement installées. Jusqu'à la construction d'Achères III en 1972, des volumes considérables d'eau usées non traités étaient déchargés à Clichy même par temps sec. L'évolution des charges résultant de l'amélioration du traitement sont reportés sur la figure 7.

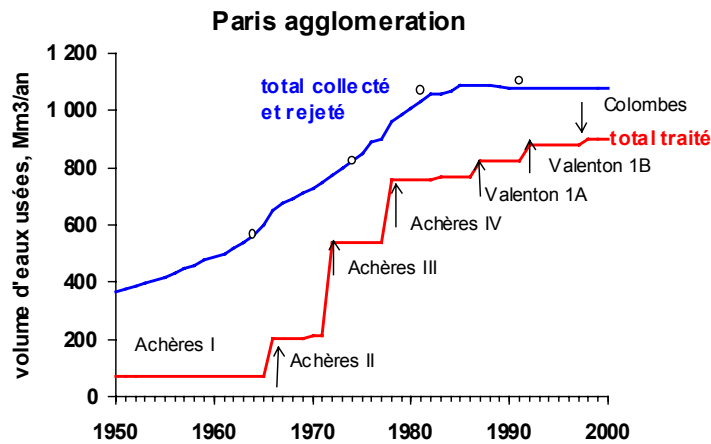


Figure 6. Evolution des volumes d'eaux usées collectées et de la capacité de traitement dans l'agglomération parisienne (données SIAAP)

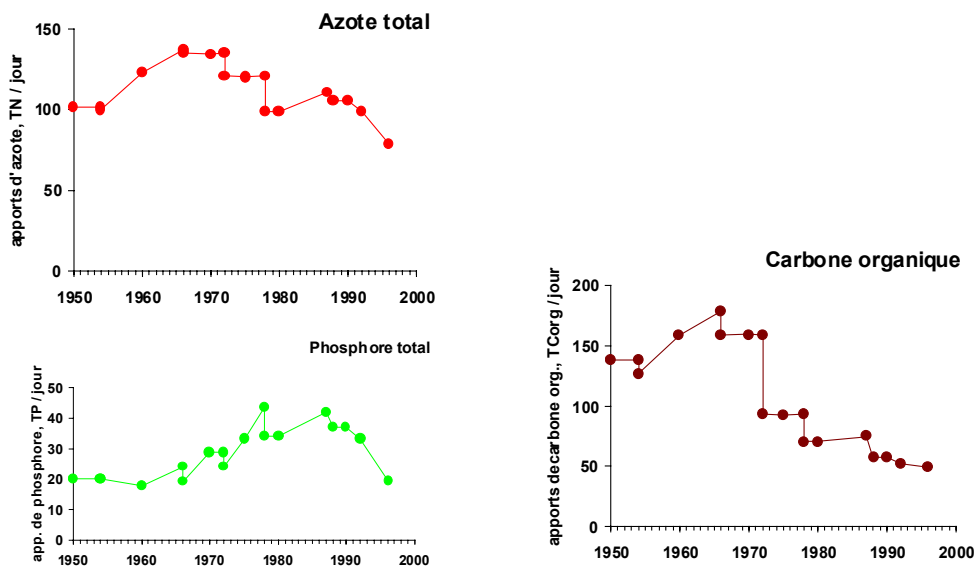


Figure 7. Evolution des charges rejetées par l'agglomération parisienne

5. Qualité de l'eau en aval de Paris

La simulation de la teneur en oxygène en aval de Paris par le Modèle SENEQUE, utilisant les données de charges discutées ci-dessus est représentée dans la figure 8. Elles mettent bien en évidence l'amélioration des conditions d'oxygénation dans le secteur Paris-Achères consécutif à l'arrêt des

rejets de temp sec à Clichy, mais aussi la permanence des conditions de mauvaise oxygénation dans le secteur estuarien.

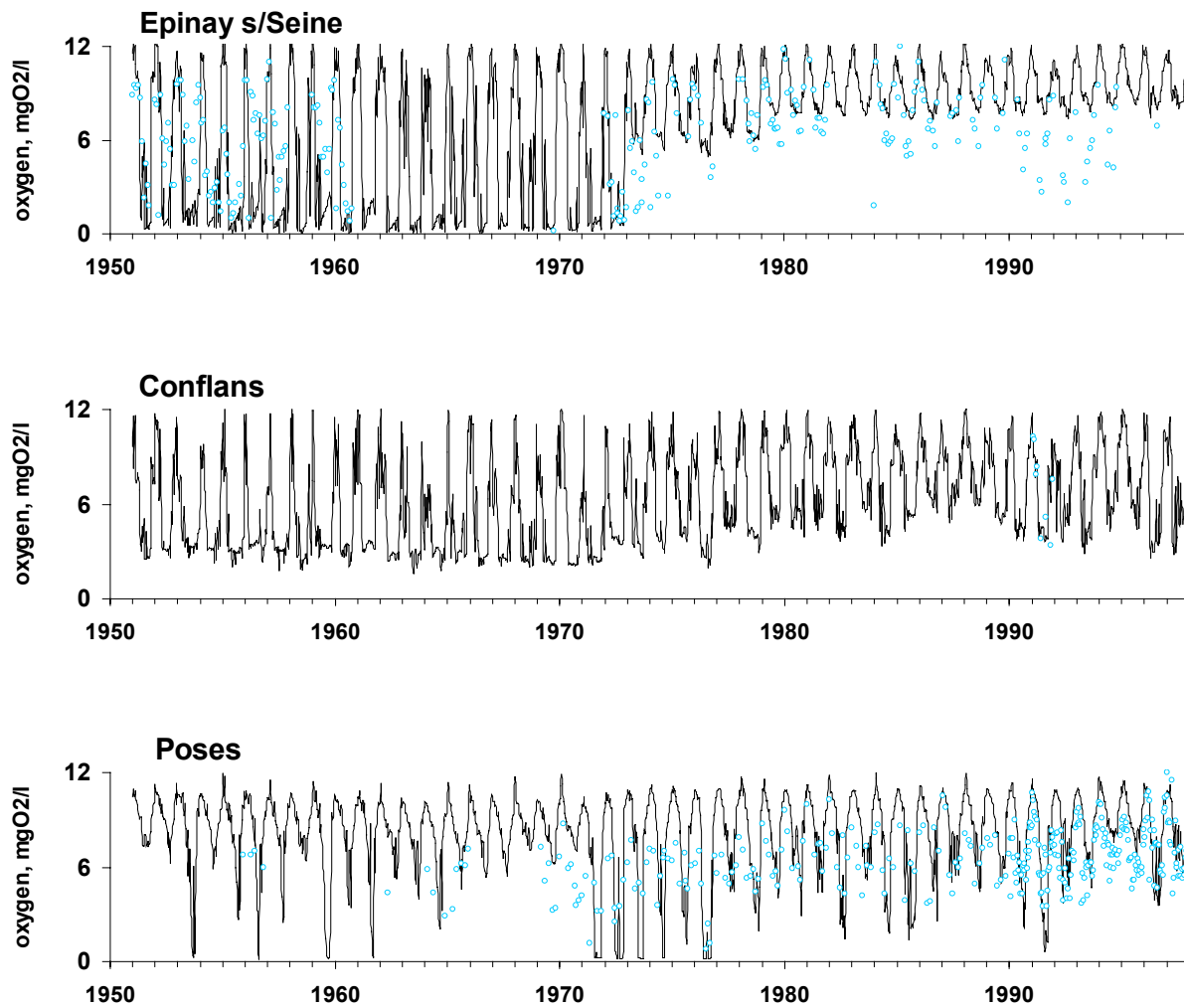


Figure 8. Simulation par le modèle SENEQUE de la concentration en oxygène à Epinay, à Conflans fin d'Oise et à Poses, comparées aux données de qualité disponibles (CRECEP et SNS Rouen)

6. Apports de nutriments à la Baie de Seine

Le modèle SENEQUE permet aussi de reconstituer les flux de nutriments apportés par la Seine vers la mer (Fig. 9).

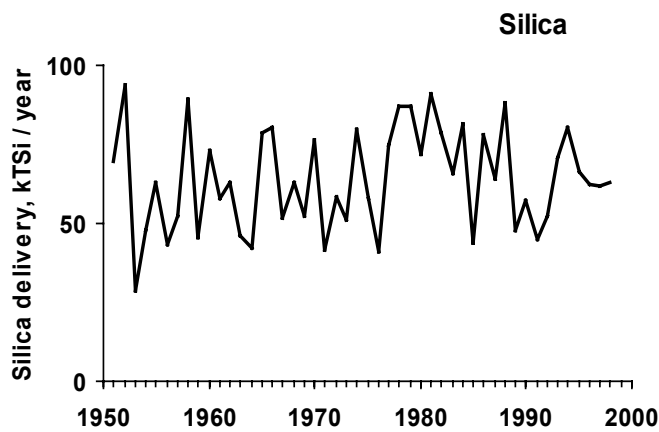
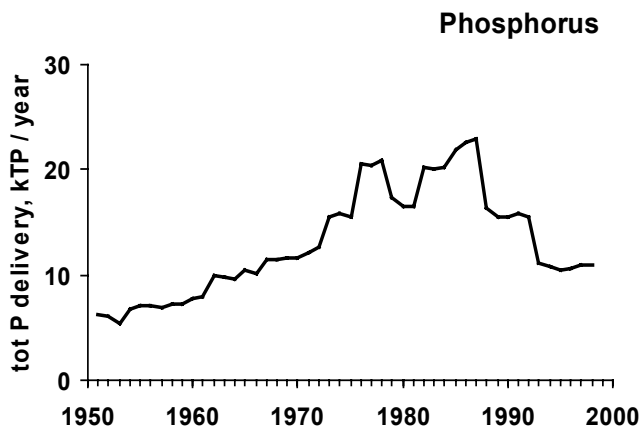
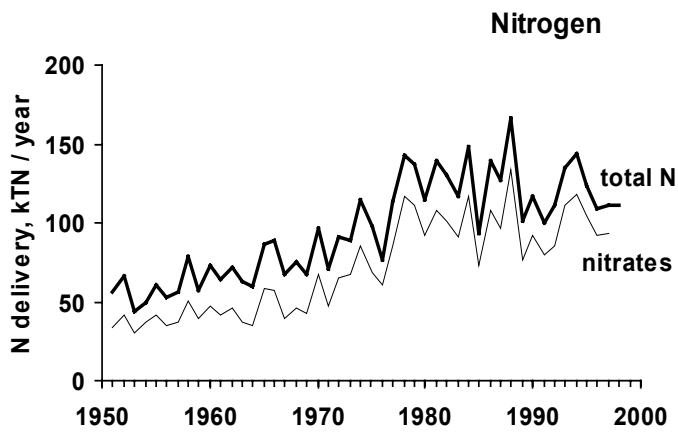


Figure 9. Evolution des apports de nutriments par la Seine vers la mer, tels que reconstitués par le modèle SENEQUE.

En ce qui concerne l'azote l'accroissement observé est lié essentiellement à celui des apports diffus de l'agriculture. Les variations interannuelles reflètent celles de la pluviométrie. En ce qui concerne le phosphore, les apports sont essentiellement domestiques et ponctuels. Les apports diffus de phosphore, bien qu'évalués de manière assez grossière, ne jouent qu'un rôle mineur dans le bilan. Il est donc logique que l'évolution de la charge domestique spécifique s'observe effectivement dans

les apports totaux de phosphore aux eaux de surface, avec un accroissement considérable au cours des années 70-80 et une nette tendance récente à la diminution. En ce qui concerne la silice, les variations ne traduisent que celles de la pluviométrie.

Le rapport Si/N et Si/P des apports de nutriments par le Seine, qui conditionne la part du phytoplancton diatomique par rapport aux floraisons d'algues non siliceuses souvent indésirables dans les zones marines côtières, n'a cessé de diminuer depuis 50 ans (Fig. 10), rendant les conditions en Baie de Seine de plus en plus propices à une eutrophisation gênante. Le rapport N/P des apports de nutriments au milieu marin, situé au début des années 50 au dessus du rapport de Redfield correspondant à l'équilibre des besoins du phytoplancton (limitation par le phosphore de la production primaire marine), est passé en dessous au cours des années 60-80 (limitation par l'azote), pour revenir dans les années récentes à une situation de limitation par le phosphore. Il en résulte que les problèmes d'eutrophisation marine sont maintenant susceptibles de répondre directement aux variations des rejets de phosphore dans les rivières.

7. Références

Billen, G., Garnier, J., Ficht, A. & Cun, C. (soumis) Modelling water quality in the Seine River Estuary in response to changes in human activity in the watershed over the last 50 years. soumis à Estuaries.

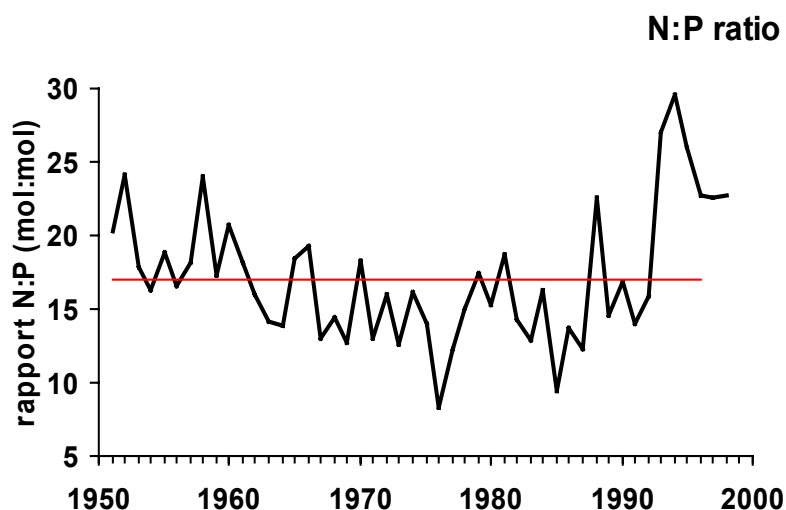
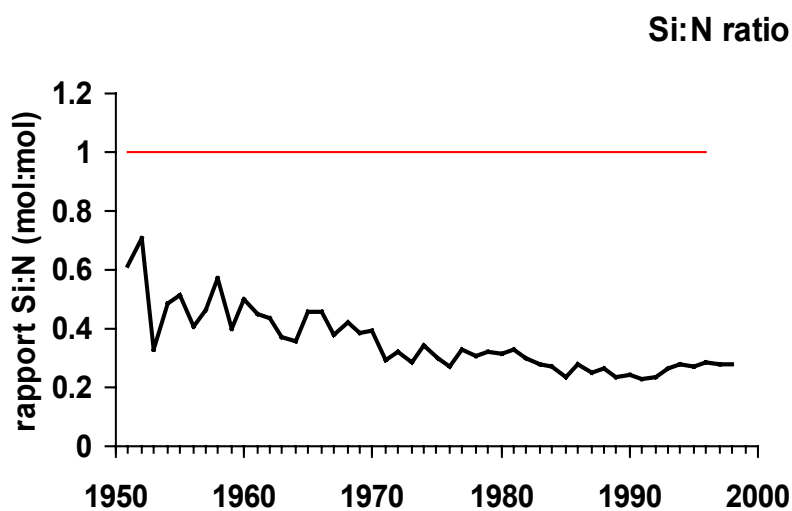


Figure 10. Evolution au cours des 50 dernières années du rapport des nutriments (N/Si et N/P) apportés par la Seine à la mer, comparé au rapport dans lequel ces éléments sont consommés par les diatomées. Le rapport Si/N n'a cessé de décroître, traduisant une carence de plus en plus importante vis à vis des besoins des diatomées. L'évolution du rapport N/P montre quant à lui que, pour la croissance des algues non siliceuses, le phosphore était l'élément limitant dans les années 50, qu'il a été remplacé ensuite dans ce rôle par l'azote, mais qu'il le redevient depuis quelques années.