

# Effet de la gestion du barrage Marne sur la qualité de l'eau à Noisiel : introduction de la notion de débit critique.

Daniéla Tican, Josette Garnier et Gilles Billen

*UMR Sisyphe 7619, CNRS/UPMC, Boite 123, Tour 26, étage 5, 4 place Jussieu, 75005 Paris*

Dans le contexte des réflexions menées actuellement sur les 'débits cibles', il est devenu nécessaire d'établir de manière rationnelle les potentialités et les limites d'une modification des règles de gestion des barrages-réservoirs en terme de qualité d'eau au droit des principales prises d'eau destinées à la production d'eau potable en région parisienne.

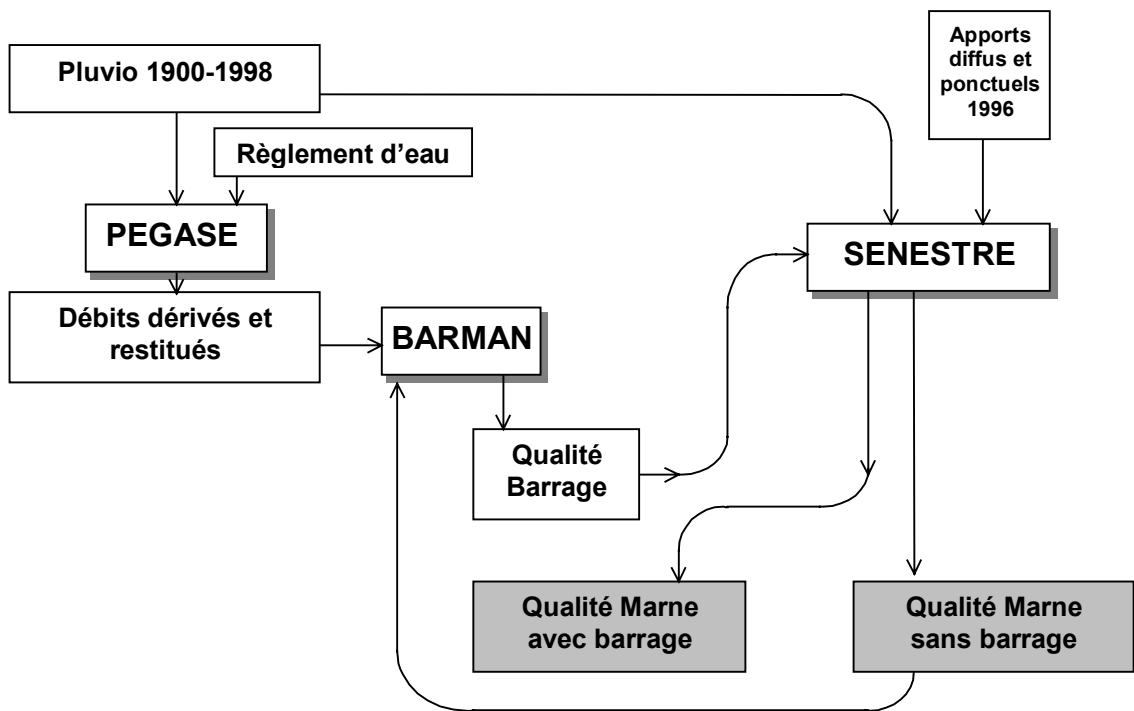
L'objectif que nous nous sommes fixé était d'évaluer les performances de la politique actuelle de gestion des barrages réservoirs en matière de **développement algal** et de **contamination ammoniacale** de la Marne dans le secteur aval de son cours, dans une gamme aussi large que possible de situations hydrologiques.

## 1. Démarche

La démarche adoptée est résumée dans la figure 1. A partir de la base de données hydro-météorologiques couvrant la période 1900-1998, rassemblée par Sogréah (88 années disponibles), l'IIBRBS a reconstitué à l'aide de son logiciel PEGASE les débits journaliers de dérivation et de restitution du barrage Marne qui aurait résulté de l'application stricte du règlement d'eau actuel aux conditions hydrologiques de chacune de ces années. Ces données d'entrée ont alors permis de calculer, à l'aide du modèle SENEQUE 1.3 :

- Les variations saisonnières de la qualité de l'eau de la Marne en régime naturel (sans barrages réservoirs), compte tenu des apports diffus et ponctuels du bassin versant caractéristiques de la période actuelle.
- L'évolution de la qualité de l'eau du barrage réservoir s'il avait été géré selon le règlement d'eau actuel.
- Les variations saisonnières de la qualité de la Marne affectée par cette gestion du barrage réservoir.

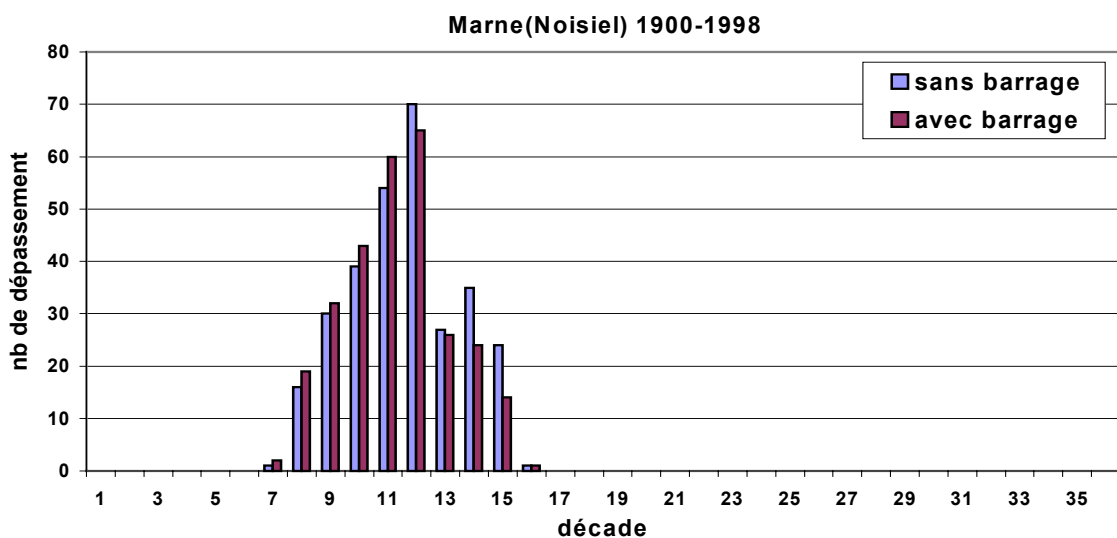
Nous avons constitué ainsi une base de données de qualité d'eau relative à *88 années fictives* de fonctionnement hydrologique varié, mais de mêmes apports polluants diffus et ponctuels, illustrant l'impact des règles de gestion actuelles du barrage réservoir sur la qualité de l'eau de la Marne.



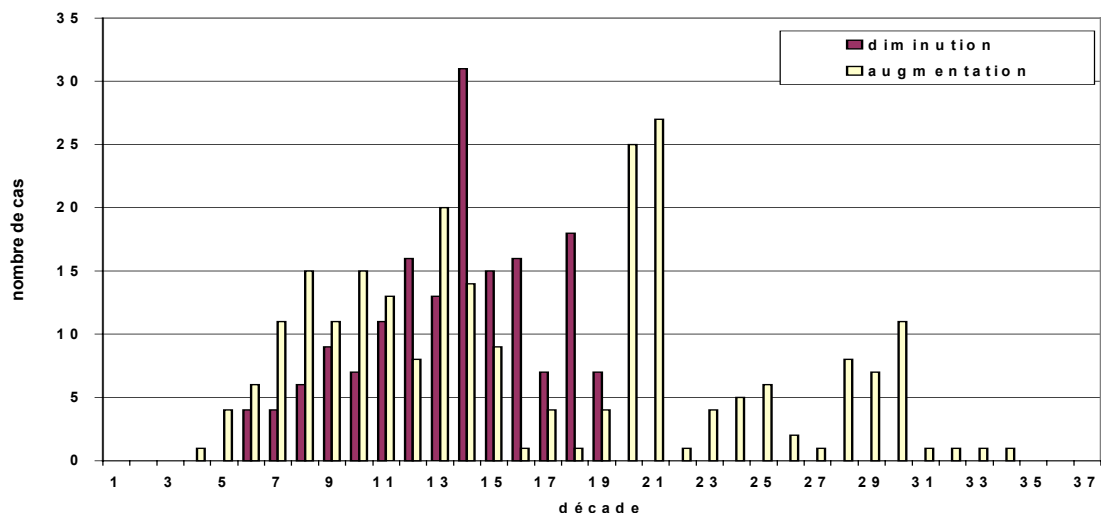
**Figure 1.** Démarche de modélisation de la qualité de l'eau de la Marne avec et sans barrage pour les 88 situations hydrologiques étudiées.

## 2. Développement algal printanier

Sur l'ensemble des 88 situations simulées le développement algal à l'exutoire de la Marne ne dépasse un seuil critique de  $40 \mu\text{gChla/l}$  qu'au printemps, entre la décade 7 (1<sup>ère</sup> de mars) et la décade 16 (1<sup>ère</sup> de juin). (Fig. 2)



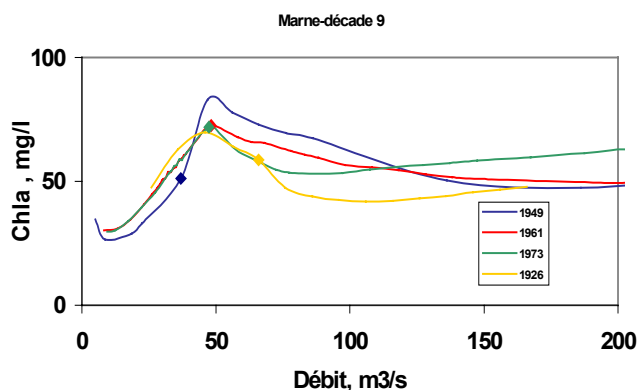
**Figure 2.** Nombre de cas sur chaque décade et sur les 88 années traitées où le phytoplancton dépasse la valeur de  $40\mu\text{gChla/l}$  avec et sans barrage-réservoir.



**Figure 3.** Nombre de cas où la gestion du barrage-réservoir conduit à une augmentation, ou à une diminution significative du phytoplancton (de plus de  $10 \mu\text{Chla/l}$ ), par rapport à la situation sans barrage-réservoir.

L'effet du barrage-réservoir n'est pas très marqué sur les blooms algaux (fig. 2). La politique actuelle de gestion des ouvrages induit le plus souvent un accroissement du phytoplancton en mars-avril (période de dérivation) et en été (période de restitution), tandis qu'une diminution s'observe le plus souvent en mai (en situation de dérivation) (fig. 3).

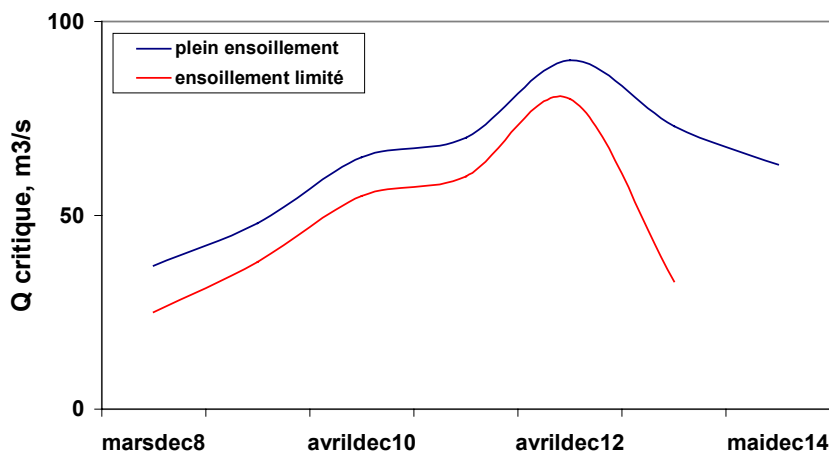
Paradoxalement donc, une diminution de débit (dérivation) peut conduire, selon les cas à une augmentation ou à un accroissement de la biomasse algale, de même qu'un accroissement du débit (restitution) amène le plus souvent un accroissement de la biomasse algale, contrairement à l'effet de dilution qu'on attendrait. La relation concentration algale / débit, à une période donnée, explorée à l'aide du modèle, comporte en effet un maximum. Il est donc possible de définir, pour chaque période, au moins un 'débit critique' qui donne lieu au maximum de développement algal à la station la plus aval de la Marne (Fig. 4).



**Figure 4.** Exemple de relation biomasse algale/ débit, calculée par le modèle pour la fin du mois de mars, en modifiant le débit autour du débit naturel par des dérivations ou des restitutions d'eau du barrage.

On comprend l'existence de ce maximum si l'on songe que le développement phytoplanctonique se fait au cours du cheminement des masses d'eau dans l'axe canalisé de la Marne, et est suivi d'une décroissance liée au développement des organismes prédateurs ou parasites des algues. L'effet d'une diminution ou d'une augmentation du débit est donc de déplacer le pic de biomasse algale, respectivement vers l'amont ou vers l'aval.

Le débit critique s'accroît de mars à juin, c'est à dire que le maximum de développement algal est atteint à Noisiel à des débits inférieurs en mars qu'en avril (Fig. 5). A partir de la fin avril, plusieurs maxima apparaissent sur les courbes, témoignant de la complexité du développement algal à ces saisons, où plusieurs oscillations proie-prédateurs peuvent se manifester dans le cours de la Marne, selon l'importance du débit.



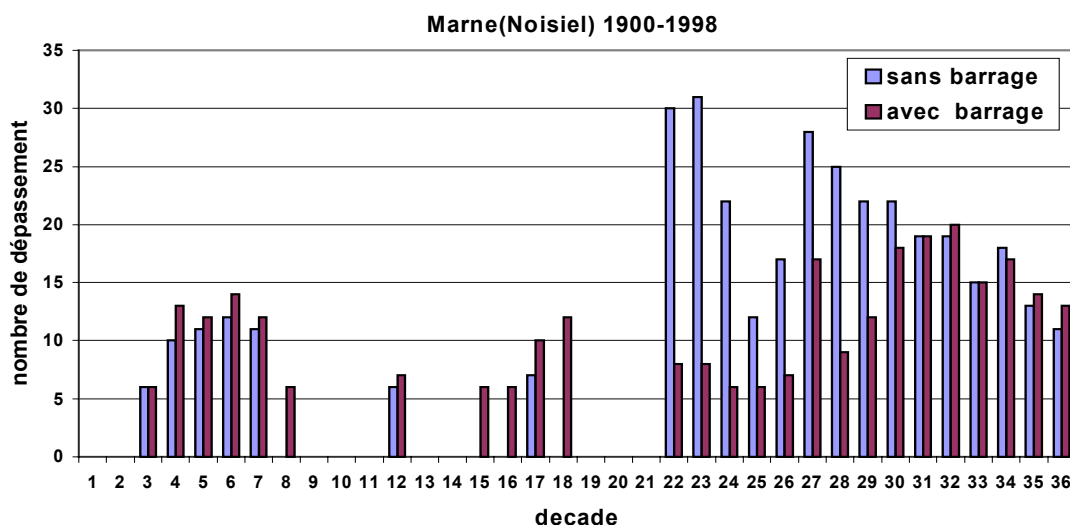
**Figure 5.** Variations saisonnières du débit critique donnant lieu au maximum de développement phytoplanctonique à Noisiel.

Le concept de 'débit critique' en une station, que nous venons de définir, permet de prévoir, de manière théorique, si à une date et dans une situation hydrologique données, une modification du débit par dérivation ou restitution d'eau de barrage, est susceptible d'entraîner une diminution de biomasse algale à la station concernée. Une telle diminution ne peut en effet être attendue que si la manipulation de débit le conduit à s'écarter du débit optimum, en plus ou en moins.

Si on se situe dans un cas où le débit est plus petit que le 'débit critique' une restitution entraînerait une augmentation de la teneur en phytoplancton. En revanche une diminution du débit par dérivation diminuerait la biomasse algale. Par contre si on se situe dans un cas où le débit est plus grand que le 'débit critique' la restitution diminuerait la teneur phytoplanctonique alors que la dérivation accroîtrait le phytoplancton. Dans la situation où le débit naturel est proche du 'débit critique', les restitutions comme les dérivations conduiraient à une diminution de la biomasse algale.

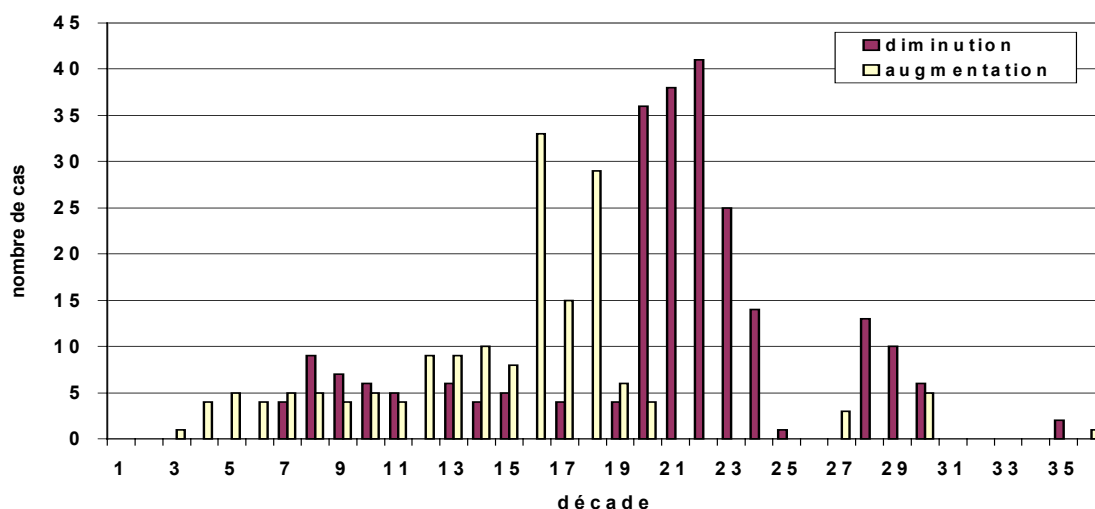
### 3. Contamination ammoniacale hivernale

Sur l'ensemble des 88 années simulées, la teneur en ammonium à l'exutoire de la Marne dépasse un seuil critique de 0,4 mgN /l dans 15% des cas au cours des mois de février-mars, entre la décade 3 et la décade 7 et dans près de 30% des cas de septembre à décembre entre la décade 22 et la décade 36. (Fig.6 )



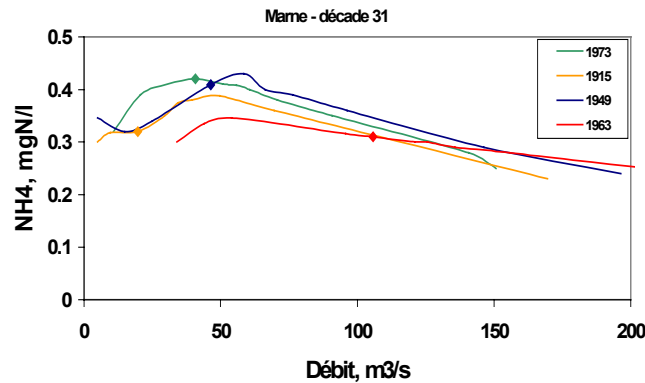
**Figure 6.** Nombre de cas sur chaque décade et sur les 88 années traitées où la teneur en ammonium dépasse la valeur de 0.4 mgN/l en l'absence ou en présence de barrage-réservoir.

L'analyse des variations de la concentration ammoniacale sous l'effet des barrages réservoirs (fig. 7) montre que leur gestion actuelle conduit à une diminution significative de la contamination ammoniacale en période de soutien d'été, mais fréquemment à un accroissement de cette contamination en période de remplissage hivernal et printanier. Qualitativement, l'effet de dilution semble donc dominer.



**Figure 7.** Nombre de cas où la gestion du barrage-réservoir conduit à une augmentation, ou à une diminution significative de la teneur en ammonium (de plus de 0.1 mgN/l), par rapport à la situation sans barrage-réservoir.

Pour diverses années choisies dans la base de données, on a étudié l'effet du débit (modifié par dérivation ou restitution d'eau du barrage) sur la concentration en ammonium à l'exutoire de la Marne, dans des situations de fortes teneurs en fin d'automne (mois de novembre, celles là même qui posent le plus de problèmes aux traiteurs d'eau). (Fig. 8)



**Figure 8.** Exemple de relation concentration en ammonium/ débit, calculée par le modèle pour le début du mois de novembre, en modifiant le débit autour du débit naturel par des dérivations ou des restitutions d'eau du barrage. Les conditions correspondant au débit naturel de chacune des années considérées sont indiqués par un point.

L'allure des courbes obtenues est loin de celle qu'on attendrait d'un simple effet de dilution. Elles montrent un maximum pour des débits critiques de l'ordre de 50 m<sup>3</sup>/s. Ici encore, selon la position du débit naturel de la Marne par rapport à ce 'débit critique', la restitution d'eau du barrage peut provoquer un accroissement ou une diminution de contamination, de même qu'une dérivation peut provoquer une diminution ou un accroissement de teneur en ammonium.

La raison de l'existence de ce débit critique, qui contredit le raisonnement intuitif basé sur la notion de dilution, est liée à l'existence du phénomène de nitrification dont l'effet se marque d'autant plus que les temps de séjour des masses d'eau dans l'axe de la Marne sont prolongés par la faiblesse du débit.

#### 4. Conclusions

Les résultats obtenus dans ce travail devraient être affinés par le recours à un modèle plus fin que la version SENEQUE 1.3 que nous avons choisi pour des raisons de rapidité de calcul, permettant de traiter une très grande base de données hydroclimatiques. Ils pourraient aussi être étendus au cas de la Seine et à celui de l'aval de l'agglomération parisienne. Dès à présent pourtant ils débouchent sur deux conclusions :

Nous avons montré la faisabilité d'une démarche d'évaluation statistique de l'effet d'une politique définie de dérivation-restitution par rapport à un critère donnée de qualité d'eau. Diverses modifications du règlement d'eau pourraient être testées de cette manière, et leurs bénéfices respectifs comparés.

Nous avons montré que la prévision de l'effet de la gestion des ouvrages de rétention sur la qualité de l'eau ne peut se baser sur un raisonnement simple faisant appel à la notion de dilution. Les relations concentration – débit étudiées ici pour le phytoplancton et la teneur en ammonium sont complexes et s'écartent très largement des courbes hyperboliques que l'on attendrait d'un processus de dilution dominant. Nous avons été conduits à introduire le concept de 'débit critique', qui permet de prévoir dans quelles conditions une manipulation du débit peut conduire à une amélioration de la qualité de l'eau. Ce concept nous semble devoir être pris en compte dans les discussions en cours actuellement sur la définition de débits-cibles dans la gestion des barrages réservoirs du bassin de la Seine.

Pour aller plus loin, il serait souhaitable que les divers utilisateurs des ressources en eau, et particulièrement les producteurs d'eau potable, puissent préciser les contraintes techniques qu'ils rencontrent du fait d'une qualité sub-optimale de l'eau des rivières régulées.