

ESTIMATION DE LA DYNAMIQUE DU PHOSPHORE A PARTIR DE LA RELATION PHOSPHORE-OXYGENE EN ZONE PROFONDE

Campagne 1991

PAR

Guy BARROIN

INSTITUT DE LIMNOLOGIE (INRA), F - 74203 THONON-LES-BAINS

RESUME

Etudier la relation $[P] = f[O_2]$ au fond du lac plutôt que chacun des paramètres séparément permet d'attribuer à la météorologie la part qui lui revient dans l'évolution des concentrations en phosphore qui, par ailleurs, dépend de celle des apports en provenance du bassin versant. La météorologie intervient de façon sensible, d'une part en termes de rigueur hivernale, d'autre part en termes de pluviosité estivale. La rigueur hivernale détermine l'intensité de la réoxygénation des eaux de fond, donc le relargage brut du phosphore. Quant à la pluviosité estivale, c'est d'elle que dépendent en grande partie les apports de particules capables de fixer le phosphore, donc d'abattre la charge interne brute pour donner la charge interne nette, celle que l'on observe. D'après l'étude de la relation $[P] = f[O_2]$ au fond du lac, l'année 1991 poursuit la légère amélioration engagée en 1990, tant du point de vue de l'état trophique que du pouvoir de déphosphatation. Cette amélioration semble devoir être attribuée à la diminution de la charge externe en phosphore plutôt qu'à la météorologie qui n'a guère été favorable.

1. INTRODUCTION

Au cours de la stagnation estivale, dans des lacs profonds comme le Léman, les eaux qui se trouvent au contact des sédiments des zones les plus profondes voient augmenter leur concentration en phosphore dissous (orthophosphates) alors que celle de l'oxygène dissous y diminue. Etudier le phosphore tout seul ne permet pas, dans l'évolution des concentrations, de distinguer ce qui appartient aux apports de ce qui est dû à la météorologie et laisse toute facilité d'attribuer les améliorations à la maîtrise des apports et les détériorations à la traîtrise de la météorologie. A moins que ce ne soit le contraire, tout dépend du point de vue de l'expert. En étudiant la relation phosphore-oxygène on attribue à la météorologie la part qui lui revient : non seulement pour sa rigueur hivernale qui conditionne la réoxygénation, donc l'intensité de la charge interne brute mais aussi pour sa pluviosité estivale qui induit un flux de particules d'érosion capables de fixer le phosphore, donc de diminuer l'intensité de la charge brute pour donner la charge nette, celle qu'on observe.

Cette relation phosphore-oxygène a pour analogue algébrique une fonction puissance dont l'équation diffère d'un lac à l'autre et, pour un même lac, d'une année à l'autre selon son état trophique et le pouvoir de sédimentation qu'il exerce sur le phosphore. Mis au point sur les lacs de Sylans, de Nantua, d'Annecy et du Bourget (BARROIN, 1986), ce moyen synthétique de mettre en évidence la dynamique du phosphore d'un lac a été appliqué au Léman pour les années 1970 à 1986 (BARROIN, 1988), puis 1987 à 1990 (BARROIN, 1990, 1991). L'étude réalisée de 1987 à 1990 a été reconduite dans les mêmes termes en 1991.

2. METHODE

Les échantillons sont prélevés à la station SHL 2 à environ 309 m de profondeur, à un mètre au-dessus du sédiment. Sur chaque échantillon sont dosés :

- les orthophosphates : concentration notée [P] exprimée en microgrammes par litre ($\mu\text{g P/l}$)
- l'oxygène dissous : concentration notée $[\text{O}_2]$ exprimée en milligrammes par litre (mg P/l)

A chaque échantillon correspond un couple de valeurs [P] et $[\text{O}_2]$ et chaque année regroupe un nombre de couples égal au nombre d'échantillons prélevés soit 20 pour 1991. Pour chaque année la relation $[\text{P}] = f[\text{O}_2]$ est mise sous la forme $y = a \cdot x^b$ où $y = [\text{P}]$ et $x = [\text{O}_2]$ et fait l'objet de deux types d'interprétation :

- Une interprétation géométrique qui porte sur les courbes d'équation $[\text{P}] = a \cdot [\text{O}_2]^b$ dans l'espace orthonormé pour les gammes de concentrations observées ($0 < [\text{P}] < 280 \mu\text{g P/l}$; $0 < [\text{O}_2] < 12 \text{ mg/l}$). Chaque courbe est limitée arbitrairement à une extrémité par la valeur maximale d'oxygène $[\text{O}_2]_{\text{max}}$ et la valeur de phosphore correspondant $[\text{P}] = a \cdot [\text{O}_2]_{\text{max}}^b$: à l'autre extrémité par la valeur maximale de phosphore $[\text{P}]_{\text{max}}$ et la valeur correspondante d'oxygène $[\text{O}_2] = ([\text{P}]_{\text{max}}/a)^{1/b}$. Cette interprétation met en oeuvre les éléments caractéristiques de la courbe théorique de la figure 1, éléments dont la signification est donnée par le tableau 1.
- Une interprétation analytique qui porte sur les points de coordonnées (a;b) dans l'espace orthonormé ($0 < a < 600$; $0 > b > -1$). La dérivée première de la fonction $y = a x^b$ étant $y' = a b x^{b-1}$, b est égal à $x y'/y$. Pour la valeur standard $x = (\text{O}_2) = 10 \text{ mg.l}^{-1}$, $y' = \text{tg } \alpha$ et $|b| = 10 \text{ tg } \alpha / (\text{P})_{10}$. A une constante près, $|b|$ est donc égal au rapport $\text{tg } \alpha / (\text{P})_{10}$ qui permet d'estimer le pouvoir de sédimentation exercé sur le phosphore par les particules fixatrices, notamment celles amenées par les pluies d'été. A une faible valeur de $|b|$ correspond un fort pouvoir de sédimentation et inversement. D'autre part, pour un environnement géologique et climatique donné, donc pour $|b|$ fixé, l'état trophique d'un lac se traduit par une courbe $y = a x^b$ c'est-à-dire une valeur déterminée de (a) : à une faible valeur de (a) correspond un état oligotrophe et inversement. Pour plus de détail consulter BARROIN (1986, 1988).

3. RESULTATS POUR L'ANNEE 1991

En 1991 la dispersion des points observés autour de la courbe théorique témoigne une fois de plus de la complexité de l'hydrodynamique profonde (BARROIN, 1988), ce qui est d'autant plus apparent que l'amplitude de la consommation d'oxygène est faible (figure 2).

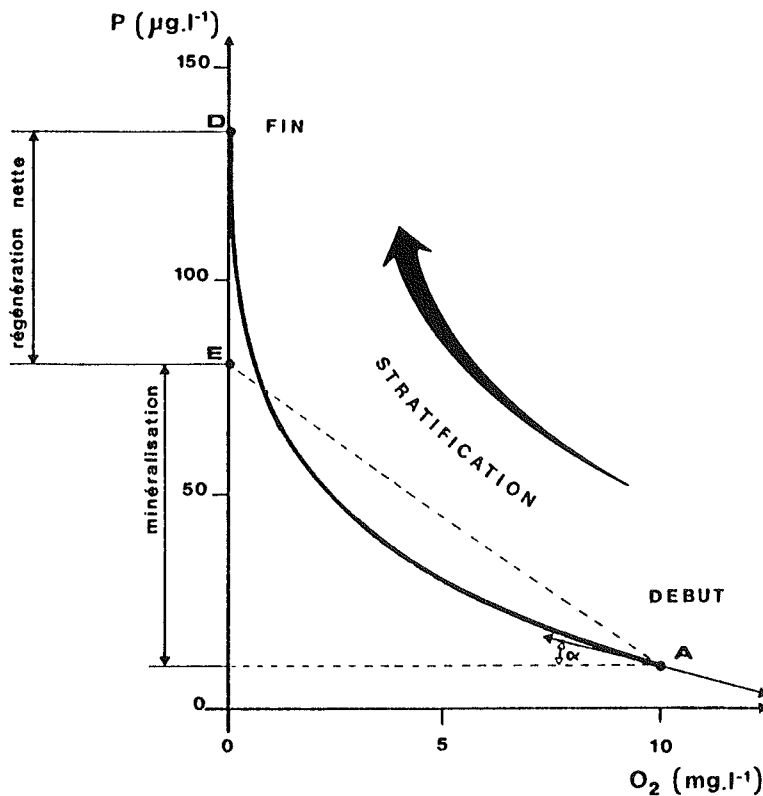


Figure 1 : Courbe théorique $[P] = a [O_2]^b$

ELEMENT	SIGNIFICATION	EN RELATION AVEC
X_A	Maximum d'oxygène observé (# valeur vraie)	-efficacité de la destratification -(fréquence des observations)
Y_A	Minimum de phosphore calculé d'après X_A Equivalent à une fertilité de base	-apports en phosphore -pertes en phosphore à l'exutoire et par sédimentation - X_A
AE	Droite de Redfield	-équation de minéralisation théorique
α	Relargage net du phosphore en début de stagnation	-efficacité du piégeage du phosphore -efficacité de la destratification
$Y_E - Y_A$	Phosphore minéralisé pour X_A d'oxygène consommé	- X_A
Y_D	Maximum de phosphore observé (<valeur réelle)	-fréquence des observations -intensité de la stratification -teneur en fer des particules sédimentaires
$Y_D - Y_E$	Minimum net de phosphore relargué en conditions anaérobies	- X_A - Y_D
$Y_D - Y_E > 0$ $Y_D - Y_E < 0$	Relargage de phosphore Piégeage de phosphore	

TABLEAU 1 - Signification des éléments caractéristiques de la courbe $[P] = a [O_2]^b$

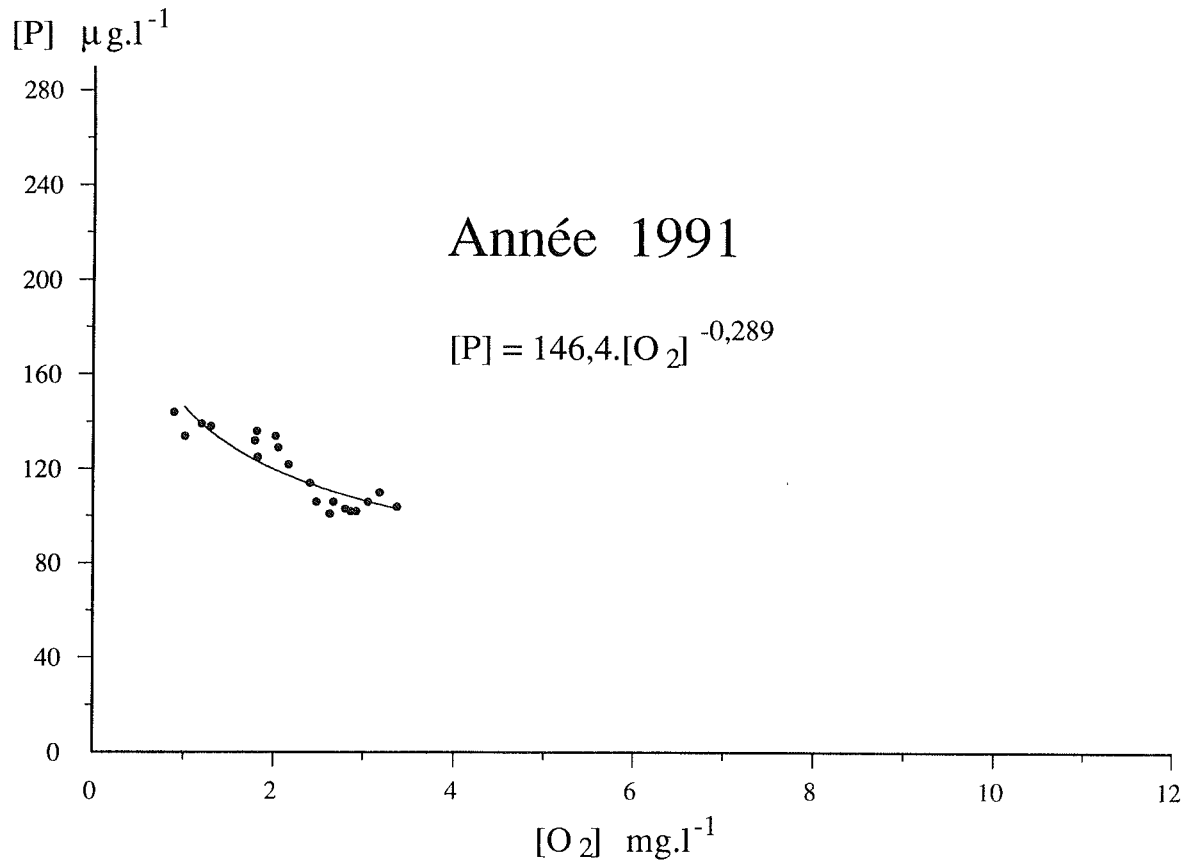


Figure 2 : Courbe $[P] = f [O_2]$ en 1991

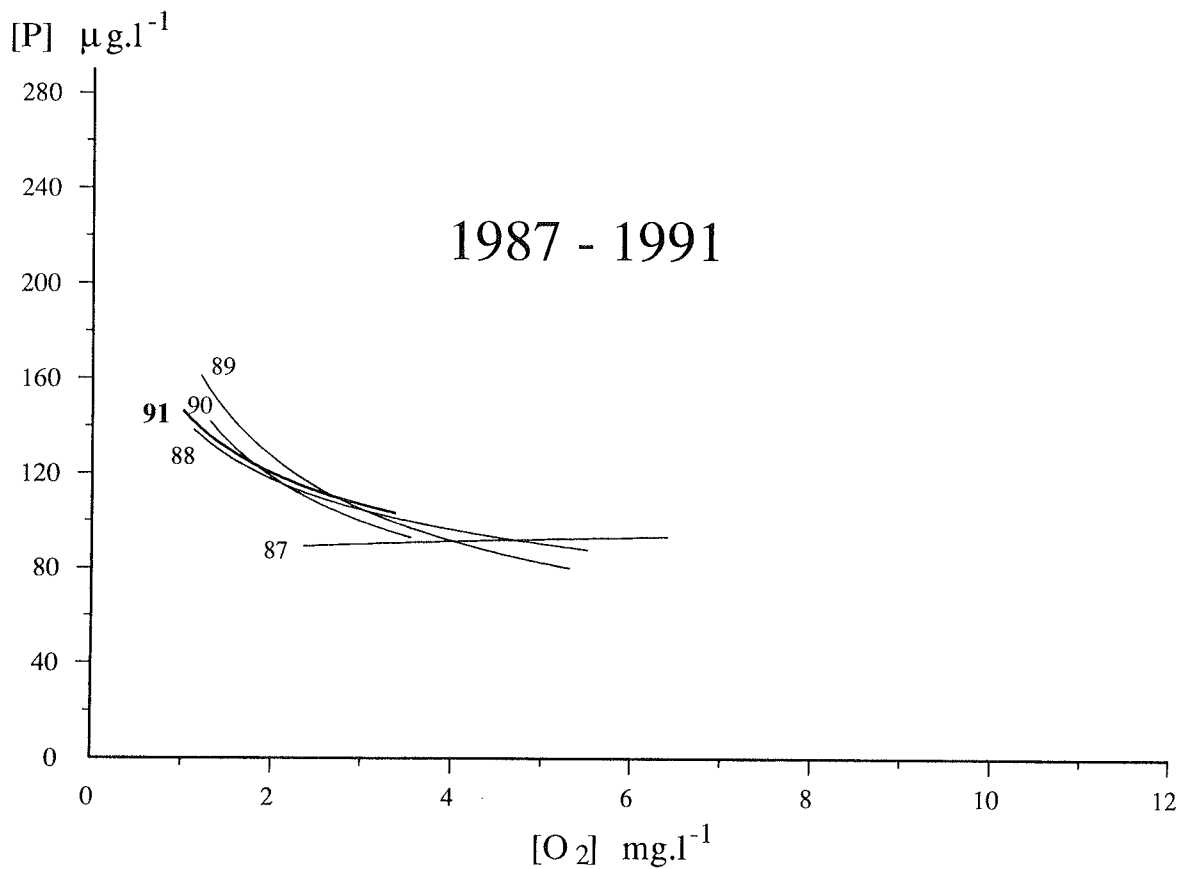


Figure 3 : Evolution de la courbe $[P] = a [O_2]^b$ de 1987 à 1991

L'année 1991 est caractérisée par une oxygénation initiale légèrement plus médiocre qu'en 1990, c'est-à-dire inférieure à 4 mg/l d'oxygène, soit environ 2 mg/l de moins que les années 1988, 1989 (figure 3). De ce point de vue, la série 1988-1989-1990-1991 ressemble à la série 1973-1974-1975 qui, faut-il le rappeler, s'est poursuivie dans la médiocrité des réoxygénations hivernales jusqu'en 1978, année record où le phosphore avait atteint, dans les couches profondes, les 260 $\mu\text{g/l}$ au plus fort de leur désoxygénation.

Malgré ce "mauvais départ", 1991 ne finit pas plus mal que les années précédentes aussi bien en ce qui concerne la désoxygénation que la montée de phosphore qui ne dépasse guère 140 $\mu\text{g/l}$ (figure 2). Rappelons qu'en 1975, la désoxygénation avait plongé en dessous de 1 mg/l et que le phosphore avait dépassé 180 $\mu\text{g/l}$.

La faible amplitude de la consommation d'oxygène qui caractérise 1990-1991 et qui, avec environ 2.5 mg/l, est la plus faible de ces vingt dernières années, ne s'explique pas par un artefact d'observation, ni par une réalimentation des eaux de fond en oxygène, ni par une durée exceptionnellement courte de la stratification. On ne peut guère l'attribuer qu'à un faible apport de matières organiques comme l'ont signalé BLANC et al. (1991, 1992).

La courbe représentant la concentration du phosphore en fonction de celle de l'oxygène pour 1991 se rapproche de celle de 1988. Il en est de même pour son point représentatif (a, b) qui jouxte celui de 1988 (figure 4). L'"oligotrophisation" et la restitution du pouvoir de déphosphatation amorcés discrètement en 1990 semblent vouloir se poursuivre.

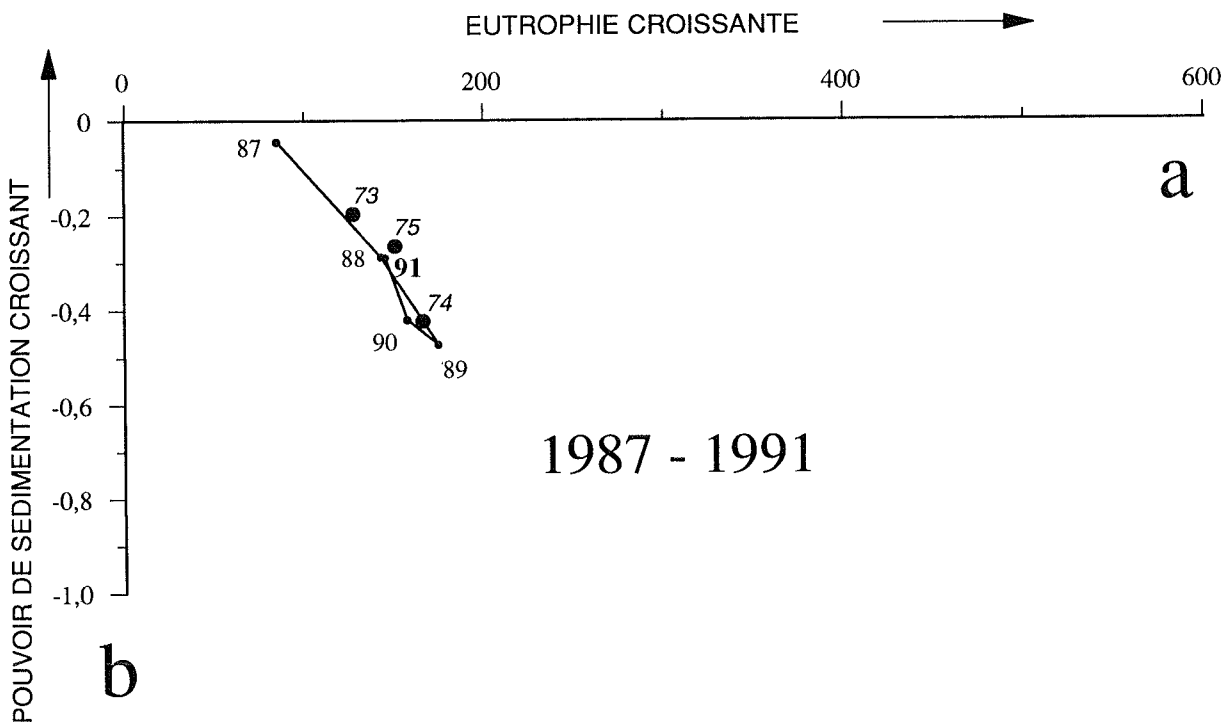


Figure 4 : Evolution des paramètres (a) et (b) de 1987 à 1991

4. CONCLUSION

Bien que 1991 n'ait bénéficié que d'une réoxygénation hivernale encore bien médiocre, la situation en fin de stagnation n'est pas plus mauvaise pour autant, aussi bien en ce qui concerne l'oxygène que le phosphore. Il se confirme qu'elle n'est pas due à des conditions météorologiques favorables, comme en 1987 où l'inactivation de la charge interne brute avait été remarquable, mais à la diminution de la charge externe en phosphore.

BIBLIOGRAPHIE

- BARROIN G. (1986) : Relation phosphore-oxygène : un outil mathématique pour caractériser le métabolisme phosphoré de lacs profonds. *Sciences de l'Eau*, 5, 29-42.
- BARROIN G. (1988) : Estimation du métabolisme du phosphore dans le Léman à partir de la relation phosphore-oxygène en zone profonde. In: *Eutrophication and lake restoration. Water Quality and biological Impacts*. BALVAY (Ed.), INRA Thonon-les-Bains, 63-78.
- BARROIN, G. (1990) : Estimation de la dynamique du phosphore à partir de la relation phosphore-oxygène en zone profonde. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.*, Campagne 1989, 137-144.
- BARROIN, G. (1991) : Estimation de la dynamique du phosphore à partir de la relation phosphore-oxygène en zone profonde. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.*, Campagne 1990, 99-104.
- BLANC P., CORVI C., RAPIN F. (1991) : Evolution physico-chimique des eaux du Léman. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.*, Campagne 1990, 23-44.
- BLANC P., CORVI C., RAPIN F. (1992) : Evolution physico-chimique des eaux du Léman. *Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut.*, Campagne 1991.