

MISE EN EVIDENCE DES PROFILS D'EVOLUTION PLURIANNUELLE ASSOCIES AUX SERIES DE MESURES DE PARAMETRES HYDROBIOLOGIQUES EFFECTUEES DANS L'ESTUAIRE DE LA SEINE DANS LE CADRE DU RESEAU NATIONAL D'OBSERVATION DE LA QUALITE DU MILIEU MARIN.

GALLET P.

## 1. Introduction

La surveillance de l'évolution de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine, dans le cadre de l'une des orientations du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin (RNO), a permis la constitution de longues séries de mesures mensuelles de paramètres hydrobiologiques. Ces séries ont fait l'objet d'une analyse spécifique orientée vers la mise en évidence des profils d'évolution pluriannuelle associés aux différents paramètres mesurés, et pouvant rendre compte de l'évolution moyenne de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine sur une période de 7 ans (1977 à 1983). Les résultats présentés ici concernent les séries de mesures de concentrations en ammonium, nitrates, azote total minéral dissous ( $\text{NH}_4 + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$ ), phosphates, silicates et oxygène dissous, effectuées chaque mois aux stations 10, 11 et 12 (fig. 1) à une profondeur de 1 m.

## 2. Caractéristiques des séries étudiées

L'analyse de l'évolution pluriannuelle de ces paramètres à partir de séries de valeurs mensuelles suppose la souscription à l'hypothèse sur laquelle est fondée leur échantillonnage (en particulier la définition de l'intervalle de temps séparant deux mesures successives), et selon laquelle une suite de valeurs mensuelles est suffisante pour accéder à la connaissance de phénomènes pluriannuels. Cela revient à considérer qu'une mesure quelconque est représentative d'une situation moyenne associée à une période approximative d'un mois autour de la date de cette mesure. En d'autres termes, l'acceptation de cette hypothèse revient à considérer la variabilité des paramètres mesurés, sur une période d'un mois, comme étant négligeable par rapport aux variabilités saisonnières et pluriannuelles.

Or, la complexité du système représenté par l'estuaire de la Seine et celle des phénomènes physiques, chimiques et biologiques déterminant les caractéristiques de ces eaux, n'autorisent pas la formulation, a priori, d'une hypothèse aussi réductrice. Ainsi, le traitement que nous avons appliqué aux

\* Université de Bretagne Occidentale - Laboratoire d'Océanographie Biologique,  
29273 Brest Cedex.

séries de mesures, effectuées dans le cadre du RNO dans l'estuaire et la baie de Seine, démontre l'impossibilité d'estimer les tendances pluriannuelles à partir de certaines séries, du fait de la contamination exercée par la variabilité associée aux échelles de temps inférieures au mois.

Nous présentons ici les résultats des traitements ayant permis de mettre en évidence des schémas d'évolution pluriannuelle de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine. Ils concernent essentiellement les mesures effectuées à la station 12 (sauf pour ce qui concerne les mesures de concentrations en silicates) où les variations induites par les cycles de marée sont moins marquées qu'au niveau des stations 10 et 11 (donc la contamination exercée par la variabilité associée aux phénomènes liés à la marée est moindre).

### 3. Méthodologie de traitement des séries

#### 3.1. Technique de décomposition des informations contenues dans les séries

Notre démarche a consisté à décomposer l'information, contenue dans les séries de mesures dont nous disposons, en un cycle saisonnier moyen (12 termes mensuels moyens estimés à partir de 7 années de mesures) et une tendance discontinue ou profil d'évolution pluriannuelle (un coefficient par année), conformément à un mode de traitement devenu classique en analyse des séries chronologiques. Une attention particulière a été accordée à la formalisation mathématique de la relation unissant ces deux composantes ; nous avons considéré que le profil d'évolution pluriannuelle des paramètres étudiés pouvait se traduire soit par des amplifications successives du cycle saisonnier moyen (modèle multiplicatif), soit par de simples variations du niveau moyen des cycles saisonniers successifs n'affectant pas leur amplitude (modèle additif).

L'estimation d'un profil d'évolution pluriannuelle consiste donc à ajuster au sens des moindres carrés sur la série étudiée  $x(t)$ ,  $t = 1, 84$  une série modélisée comportant un cycle saisonnier moyen  $s(m)$ ,  $m = 1, 12$  sur lequel est appliqué un ensemble de coefficients  $p(a)$ ,  $a = 1, 7$  rendant compte des fluctuations pluriannuelles moyennes, de sorte qu'une valeur quelconque  $x(t)$  de la série initiale puisse être approchée par :

$$\hat{x}(t) = s(m) \cdot p(a) \text{ à l'aide du modèle multiplicatif,}$$

ou

$$\hat{x}(t) = s(m) + p(a) \text{ en utilisant le modèle additif,}$$

avec :

$$\begin{cases} a = \text{INT}((t - 1)/12) + 1 \\ m = t - (12(a - 1)) \end{cases}$$

où INT représente la fonction partie entière.

Le programme informatique que nous avons utilisé a été conçu par A. Laurec (Laurec A. et J.Y Le Gall, 1975 ; Ménesguen A. et A. Laurec, 1984) d'après certains éléments de la théorie des séries temporelles (Kendall M.G., 1983). L'estimation des paramètres du modèle consiste à minimiser la somme des carrés des écarts entre les valeurs de la série observée et celles prévues par le modèle soit :  $\sum_t (x(t) - \hat{x}(t))^2$ .

#### 3.2. Mise en oeuvre du traitement

Le découpage des séries analysées n'a pas été effectué en fonction des années "civiles" (de janvier à décembre), mais d'après la succession des cycles saisonniers. Les ajustements les plus performants ont été obtenus en faisant commencer l'année au moment du démarrage du cycle saisonnier plutôt qu'en janvier. Dans tous les cas et, a fortiori, lorsque l'estimation du cycle saisonnier n'était pas probante, nous avons procédé à plusieurs ajustements et retenu celui qui s'avérait le plus performant (% de variance résiduelle minimal). Ainsi, tous les ajustements présentés ci-dessous ont été réalisés sur la période comprise entre septembre 1976 et août 1983 (l'échantillonnage ayant

débuté en janvier 1977, la première année n'est représentée que par huit valeurs). Nous avons appliqué à chaque série une analyse comparative de l'adéquation des deux types de modèles (additif ou multiplicatif) afin de choisir le plus performant.

#### 4. Examen et interprétation des tendances pluriannuelles

Les figures 2 à 8 illustrent les résultats des ajustements réalisés sur les séries de mesures effectuées à la station 10, en ce qui concerne les silicates, et à la station 12 pour les autres paramètres. Les profils d'évolution pluriannuelle figurent sous forme de successions de barres verticales représentant les niveaux moyens des cycles saisonniers successifs. Le tableau 1 fournit pour chaque ajustement le pourcentage de variance résiduelle (variance des écarts entre la série observée et le modèle, rapportée à la variance de la série observée) et le pourcentage de variance de la série détendancialisée (variance de la série débarrassée de sa composante pluriannuelle, rapportée à la variance de la série brute).

	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	ATMD *	Oxygène dissous	PO <sub>4</sub>	SiOH	Débit de la Seine
Type de modèle	Mult.	Add.	Add.	Add.	Mult.	Add.	Mult.
% de variance résiduelle	28,4	22,8	39,8	19,3	38,4	30,8	38,5
% de variance de la série détendancialisée	85,6	29,4	56,1	87,8	87,2	91,3	98,3
Moyennes des cycles saisonniers successifs	( $\mu\text{mol/l}$ )	( $\mu\text{mol/l}$ )	( $\mu\text{mol/l}$ )	( $\text{ml/l}$ )	( $\mu\text{mol/l}$ )	( $\mu\text{mol/l}$ )	( $\text{m}^3/\text{s}$ )
1976-77	117,9	234	355	1,56	42,5	84,7	371,5
1977-78	54,2	214	283	2,71	25,8	96,9	552,3
1978-79	56	289	363	2,12	26,5	101,8	409,2
1979-80	41,4	372	434	2,47	29,3	106,4	488
1980-81	20,6	381	416	2,97	24,6	107,7	525,7
1981-82	16,6	373	403	3,56	20,4	81,4	571,1
1982-83	24,6	355	382	3,65	19,1	99,6	635,5

Tableau 1. Caractéristiques des ajustements illustrés respectivement par les figures 2 à 8. \* ATMD : azote total minéral dissous.

A titre de comparaison et d'aide à l'interprétation, nous avons appliqué l'analyse à une série de moyennes mensuelles du débit de la Seine, constituée à partir de mesures journalières effectuées à la station de Poses (située à environ 140 km de l'estuaire).

Les séries de mesures de concentration en ammonium effectuées à la station 12 présentent une très nette tendance décroissante entre 1977 et 1982 (fig. 2). Cette diminution de la charge moyenne des eaux de l'estuaire de la Seine en ammonium s'accompagne d'une augmentation des teneurs en nitrates entre 1978 et 1981 (fig. 3). L'évolution des teneurs moyennes en azote total minéral dissous, intégrant ces deux tendances contraires, présente une phase d'augmentation brutale entre 1978 et 1980, suivie d'une phase de diminution plus progressive à partir de 1981 (fig. 4). Cette évolution, sans doute liée à un effort d'épuration des rejets urbains et industriels dans le bassin versant, semble se traduire par une amélioration du degré d'oxygénation des eaux de l'estuaire de la Seine (fig. 5) conformément à une hypothèse émise par AVOINE et al. (1984).

L'interprétation du profil d'évolution pluriannuelle des teneurs moyennes en phosphates à la station 12 (fig. 6) nécessite le recours à l'examen du profil d'évolution du régime hydrologique moyen de la Seine (fig. 8). Nous remarquons d'une part que les fortes teneurs en phosphates mesurées en 76-77

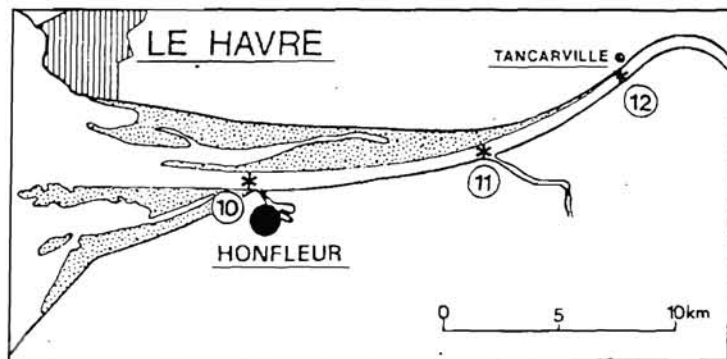


Figure 1. Localisation des stations du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin, utilisées pour la surveillance de l'estuaire de la Seine.

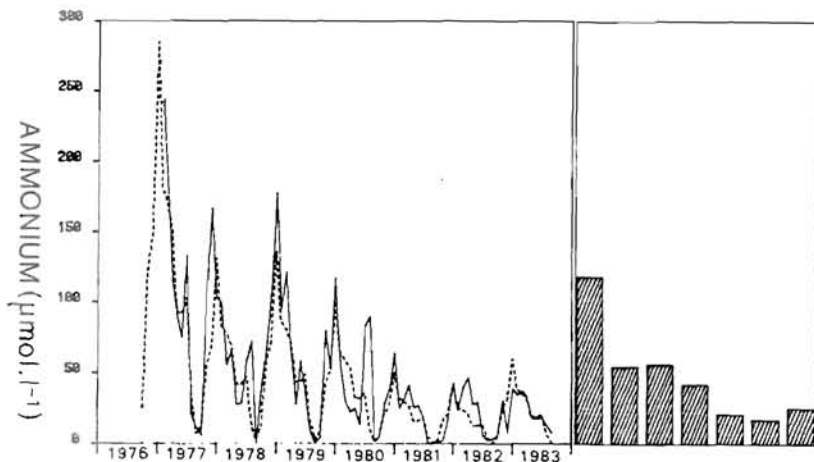


Figure 2. Illustration de l'ajustement réalisé sur la série de mesures de concentrations en ammonium, effectuées à la station 12 : — : série observée ; --- : série modélisée ; ▨ : profil d'évolution pluriannuelle.

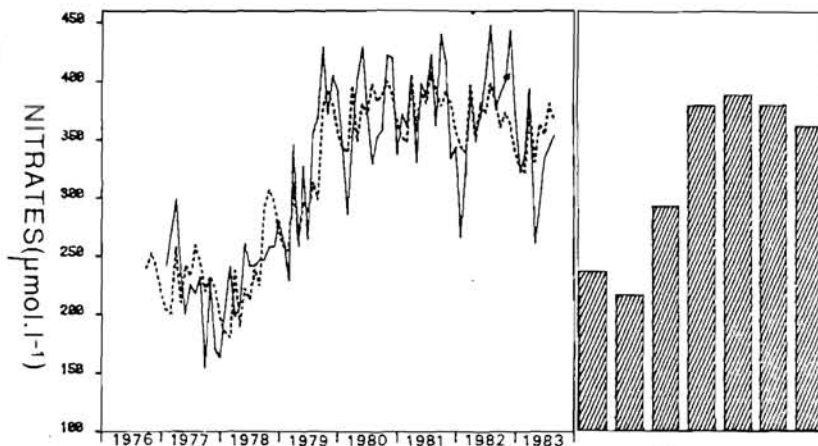


Figure 3. Illustration de l'ajustement réalisé sur la série de mesures de concentrations en nitrates, effectuées à la station 12 : — : série observée ; --- : série modélisée ; ▨ : profil d'évolution pluriannuelle.

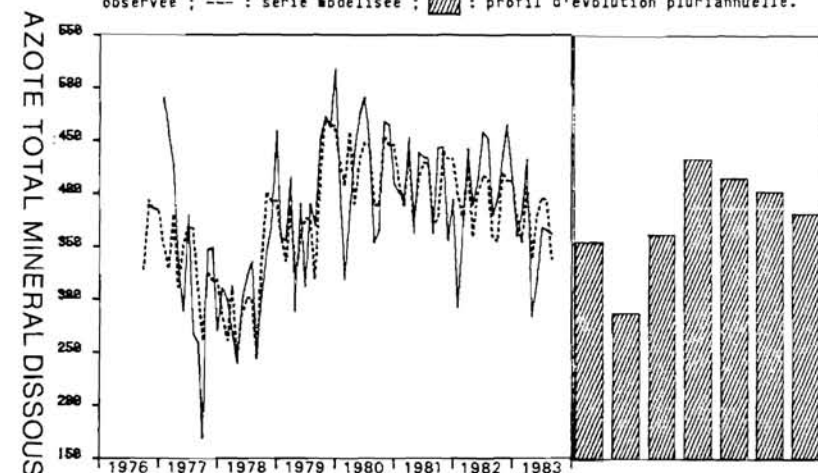


Figure 4. Illustration de l'ajustement réalisé sur la série de mesures de concentrations en azote total minéral dissous, effectuées à la station 12 : — : série observée ; --- : série modélisée ; ▨ : profil d'évolution pluriannuelle.

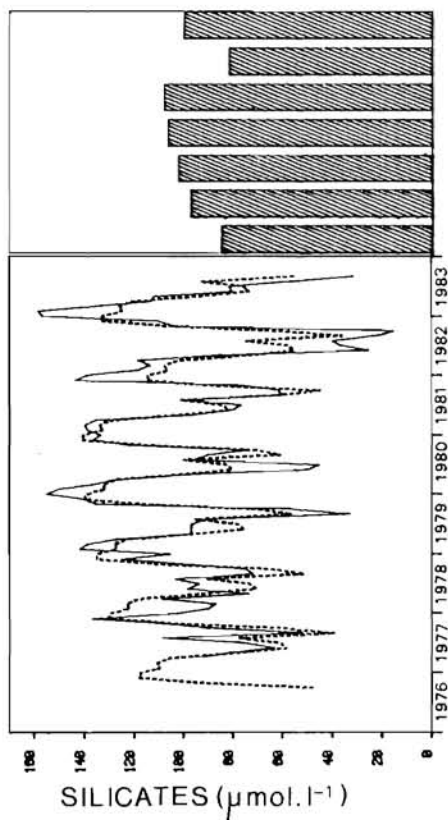


Figure 7. Illustration de l'ajustement réalisé sur la série de mesures de concentrations en silicates, effectuées à la station 10 : — : série observée ; - - - : série modélisée ; [hatched bar] : profil d'évolution pluriannuelle.

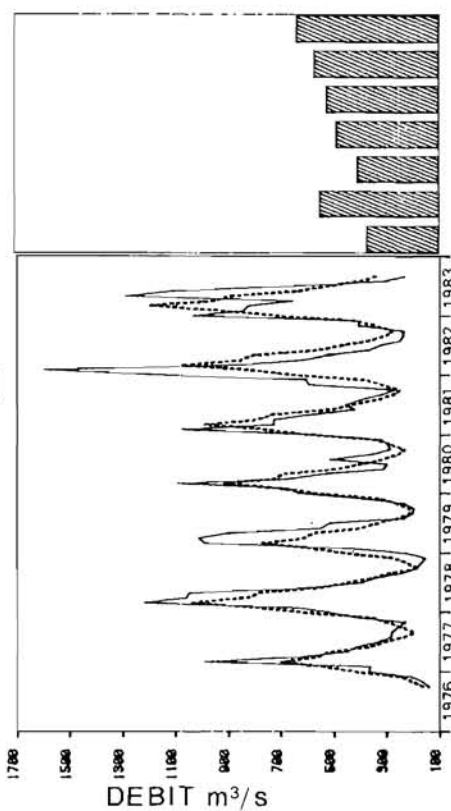


Figure 8. Illustration de l'ajustement réalisé sur la série de moyennes mensuelles du débit de la Seine à Poses : — : série observée ; - - - : série modélisée ; [hatched bar] : profil d'évolution pluriannuelle.

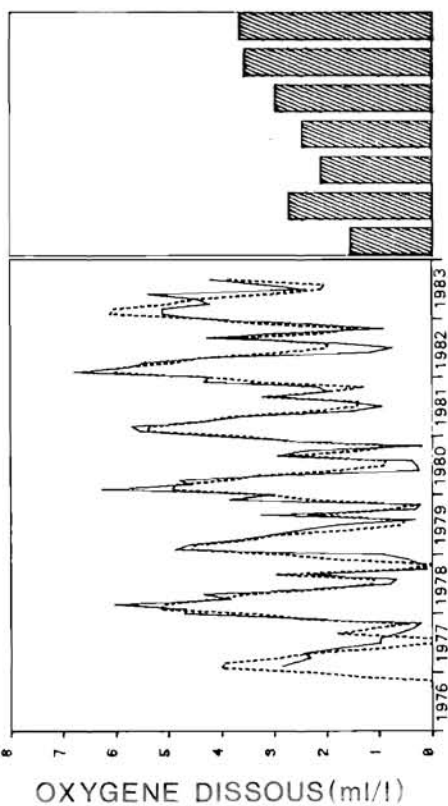


Figure 5. Illustration de l'ajustement réalisé sur la série de mesures de concentrations en oxygène dissous, effectuées à la station 12 : — : série observée ; - - - : série modélisée ; [hatched bar] : profil d'évolution pluriannuelle.

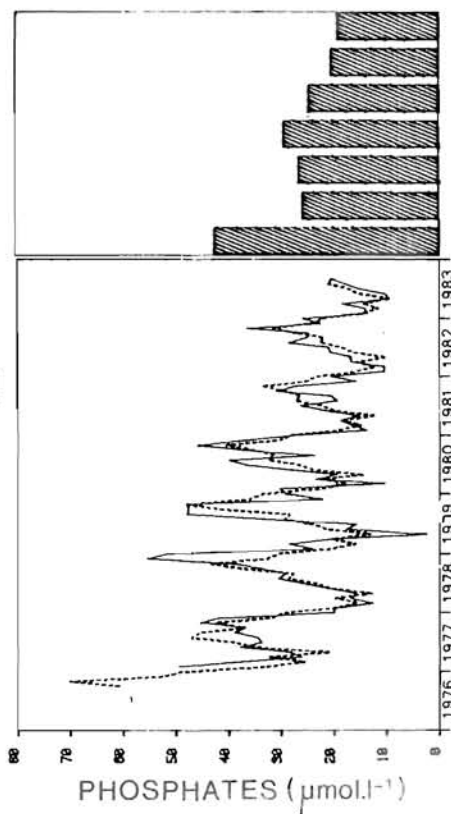


Figure 6. Illustration de l'ajustement réalisé sur la série de mesures de concentrations en phosphates, effectuées à la station 12 : — : série observée ; - - - : série modélisée ; [hatched bar] : profil d'évolution pluriannuelle.

coïncident avec les faibles débits de la Seine enregistrés cette année là. D'autre part, la tendance à la diminution des concentrations moyennes en phosphates de 1980 à 1983 s'inscrit dans une phase d'augmentation du débit moyen de la Seine. Ces phénomènes peuvent être expliqués par la prépondérance des rejets constants d'origine urbaine et industrielle dans le déterminisme de la charge moyenne en phosphates des eaux de l'estuaire de la Seine (Avoine *et al.*, 1984).

La série de concentrations en silicates, enregistrées à la station 10, présente une légère tendance à l'augmentation entre 1977 et 1981, suivie d'une baisse brutale en 1982 (coïncidant avec une augmentation du débit moyen de la Seine). Ces éléments permettent de relativiser l'importance du régime hydrologique moyen de la Seine dans l'évolution de la charge moyenne en silicates des eaux de l'estuaire de la Seine, au niveau de la station 10.

## 5. Conclusion

Compte tenu du caractère exceptionnel des longues séries de mesures mensuelles effectuées depuis 1977 dans le cadre du RNO, il nous a paru intéressant de définir les contributions que leur analyse pouvait fournir quant à la connaissance des phénomènes régissant l'évolution de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine. On pourra donc considérer à juste titre que ce travail s'inscrit dans une politique de mise en valeur des données collectées dans le cadre du RNO.

Les résultats qui ont été présentés ici semblent confirmer certaines hypothèses établies à la suite de l'étude des flux de contaminants dans l'estuaire de la Seine. Des tendances évolutives très marquées ont pu être mises en évidence démontrant, s'il en était besoin, l'intérêt de disposer d'une structure permettant de suivre l'évolution temporelle de la qualité des eaux de l'estuaire de la Seine.

- AVOINE J., D. BOUST et J.F. GUILLAUD (1984).- Flux et comportement des contaminants dissous et particuliers dans l'estuaire de la Seine. CIEM/CIES Symposium on contaminant fluxes through the coastal zone.
- CNEXO-COB-ELGMM (1979).- Rapport scientifique. Les éléments nutritifs en baie de Seine. p. 187-193.
- CNEXO-COB-ELGMM (1980).- Port Autonome du Havre. Qualité des eaux des bassins.
- GUILLAUD J.F. et X. SANDRIN (1980).- Analyse critique des méthodes d'acquisition et de traitement des données du RNO. Début d'interprétation des résultats obtenus sur le site de la Seine (juin 1974 à décembre 1978). CNEXO-COB.
- GUILLAUD J.F. (1983).- Les flux de sels nutritifs dans l'estuaire de la Seine ; rôle et importance du bouchon vaseux au cours du mélange estuarien. Journal Canadien des Sciences Halieutiques et Aquatiques, vol. 40, suppl. n° 1, p. 180-187.
- KENDALL M.G., A. STUART et J.K. ORD (1983).- The advanced theory of statistics (3 vol.). Griffin, Londres.
- LAUREC A. et J.Y. LE GALL (1975).- De-seasonalizing of the abundance of a species. Application to the albacore (*Thunnus alalunga*) monthly catch per unit of effort (CPUE) by the Atlantic Japanese Longline Fishery. Bull. Far Seas Fish. Res. Lab. 12 : 145-169.
- MENESGUEN A. et A. LAUREC (1984).- Analyse statistique de l'évolution temporelle des paramètres hydrobiologiques dans les bassins du port du Havre. Oceanologica Acta, vol. 7, n° 1.
- RNO (1981).- Synthèse des travaux de surveillance 1975-1979 du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin. CNEXO-COB.
- SAUM. Estuaire de la Seine. Synthèse des connaissances. Dossier n° 8. 1980.