

Indices biochimiques et milieux marins. Journées du GABIM, Brest, 18-20 Nov. 1981  
*Publ. CNEOX (Actes Colloq.) n. 14, 1982, p. 47 à 66*

EVOLUTION SAISONNIERE DE LA MATIERE ORGANIQUE DISSOUE DANS LES EAUX  
COTIERES DE LA MANCHE OCCIDENTALE (BAIE DE MORLAIX).EVOLUTION SIMUL-  
TANEE DU CARBONE, DE L'AZOTE ET DU PHOSPHORE ORGANIQUES DISSOUS.

M. WAFAR\* et P. LE CORRE\*\*

Résumé

— Les évolutions saisonnières du carbone organique dissous (COD), de l'azote organique dissous (NOD) et du phosphore organique dissous (POD) ont été étudiées dans les eaux de la Baie de Morlaix (Manche Occidentale) et de son estuaire. COD varie entre 1,11 et 2,21 mgC/l, NOD entre 2,7 et 10,6 µatg N/l et POD entre 0,06 et 1,20 µatg P/l dans les eaux côtières. La production annuelle de COD a été estimée à 66 g C/m<sup>2</sup> et le transport par les rivières à environ 2,5 x 10<sup>8</sup> g C/an. Les apports internes et externes cumulés atteignent 20,5 x 10<sup>8</sup> g C/an pour l'ensemble de la baie de Morlaix et représentent 24% de la production primaire totale. La comparaison de l'évolution saisonnière du COD et de la chlorophylle dans les eaux côtières montre que la dégradation du plancton constitue la source principale de matières organiques dissoutes. Chacun des éléments (COD, NOD et POD) présente une évolution sensiblement différente.

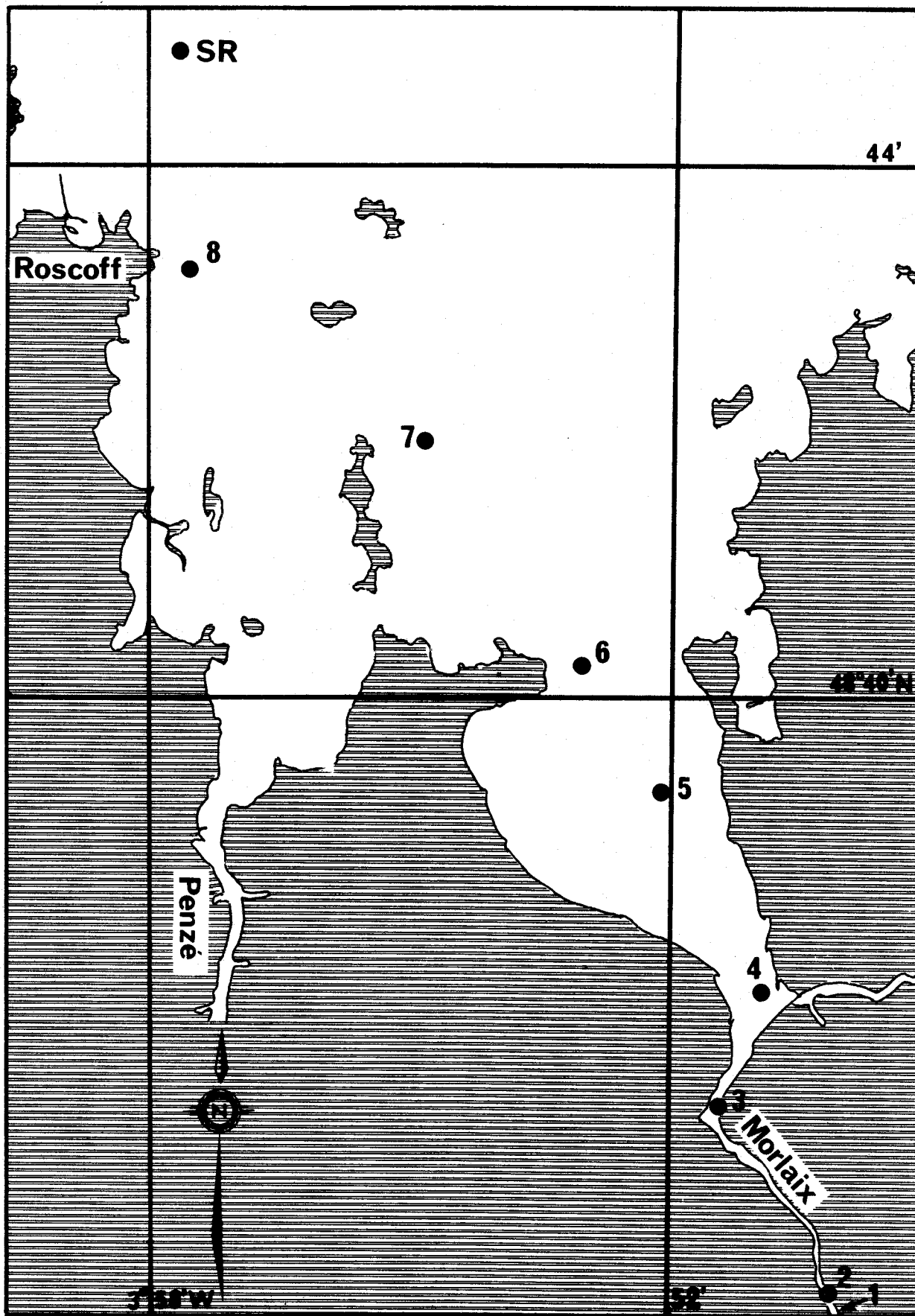
Summary

— Seasonal changes in dissolved organic carbon (DOC), dissolved organic nitrogen (DON) and dissolved organic phosphorus (DOP) were studied in coastal and estuarine waters of the Bay of Morlaix (Western English Channel). DOC in the coastal waters ranged from 1,11 to 2,21 mg C/l; DON from 2,7 to 10,6 µg.at N/l and DOP from 0,06 to 1,20 µg.at P/l. DOC production in coastal waters was in the order of 66 g C/m<sup>2</sup>/year. River transport of DOC to the coastal waters was about 2,5 x 10<sup>8</sup> g C/year. Input to the coastal DOC pool by allochthonous and autochthonous sources was about 20,5 x 10<sup>8</sup> g C which was about 24% of the total primary production in Bay of Morlaix waters. A comparison of the seasonal changes of dissolved organic matter with those of chlorophyll *a* in coastal waters shows that the degradation of plankton is the main source of DOC in seawater. Each of the three fractions measured, DOC, DON and DOP, showed seasonal cycles different from each other.

---

\* M. WAFAR, Station Biologique de ROSCOFF, 29211

\*\* P. LE CORRE, Laboratoire d'Océanographie Chimique, Université de Bretagne Occidentale  
6, Avenue Le Gorgeu, 29283 BREST CEDEX



**FIGURE 1** Emplacement des stations dans la baie de Morlaix et son estuaire. La station SR est la station de référence.

## **INTRODUCTION**

Parmi les différents constituants dissous de l'eau de mer, les matières organiques ont retenu ces dernières années un maximum d'attention. Ceci doit être relié au fait qu'il est devenu de plus en plus clair que les matières organiques dissoutes (MOD) peuvent intervenir dans le domaine pélagique au niveau des processus biologiques les plus importants. Ceux-ci en retour règlent pour une large part le mode de formation de ces substances, leur évolution et en fin de cycle leur décomposition. La grande majorité des études concernant les MOD dans le milieu marin a été réservée au domaine océanique et il existe encore relativement peu de données sur les eaux côtières que ce soit au niveau des teneurs, des cycles saisonniers ou encore des apports par les rivières.

Les concentrations en carbone organique dissous (COD) d'azote organique (NOD) ou phosphore organique (POD) permettent d'évaluer la matière organique dans l'eau de mer. Ces mesures ont un caractère tout à fait global, elles ont cependant l'avantage de représenter la MOD dans son ensemble, ce qui demeure encore impossible à partir des analyses plus spécifiques classe par classe ou élément par élément. Peu d'études ont été menées en analysant simultanément lors de cycles saisonniers les trois composants majoritaires de la MOD. A notre connaissance, elles se limitent à deux séries de travaux : ceux de DUURSMA (1961) dans la Mer du Nord et ceux de BANOUB (1971) dans la Manche.

Dans ce travail, nous présenterons l'évolution simultanée du carbone, de l'azote et du phosphore organique dissous dans les eaux de la baie de Morlaix et de son estuaire et nous tenterons de déterminer et d'évaluer l'importance des différentes sources de MOD dans ces masses d'eaux côtières. L'intérêt de cette étude est renforcé par l'existence en Manche Occidentale d'un système hydrologique original caractérisé par un brassage permanent de toute la colonne d'eau (GRALL, 1972) qui se trouve à l'origine de cycles saisonniers s'écartant nettement des cycles classiques et bien connus en régime stratifié (WAFAR, 1981).

## **MATERIEL & METHODES**

Les études portent sur la baie de Morlaix (fig. 1), un secteur côtier de la Manche Occidentale placé sous l'influence prépondérante de deux rivières, la Penzé et la rivière de Morlaix. Le débit de ces rivières est très variable : maximum en période hivernale (décembre-mars), il décroît progressivement au printemps pour atteindre des valeurs minimales et faibles en été. (fig. 2).

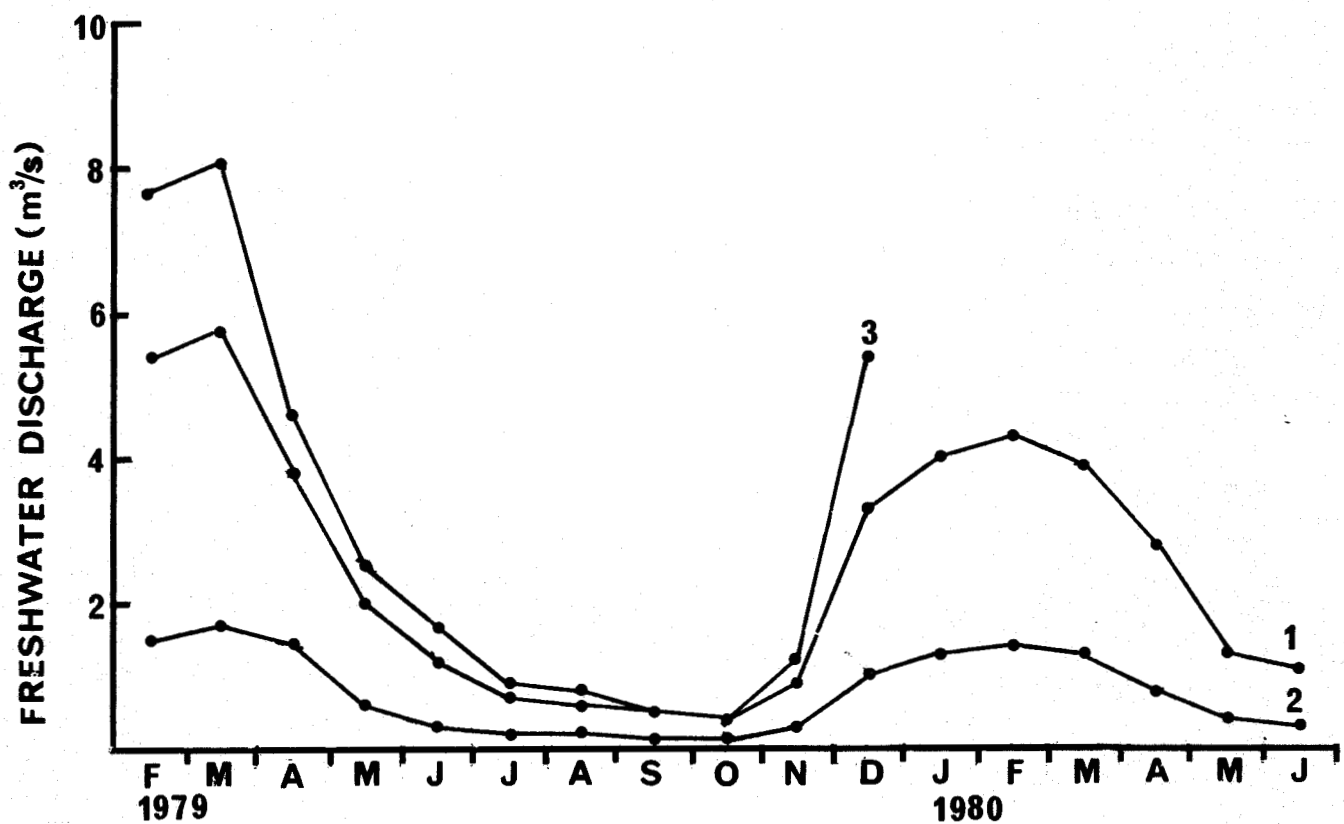


FIGURE 2 Evolution des débits moyens de la rivière de Morlaix (1), du Dourduff (2) et de la Penzé (3) durant la période des études. Les résultats ne sont pas disponibles pour la Penzé en 1980.

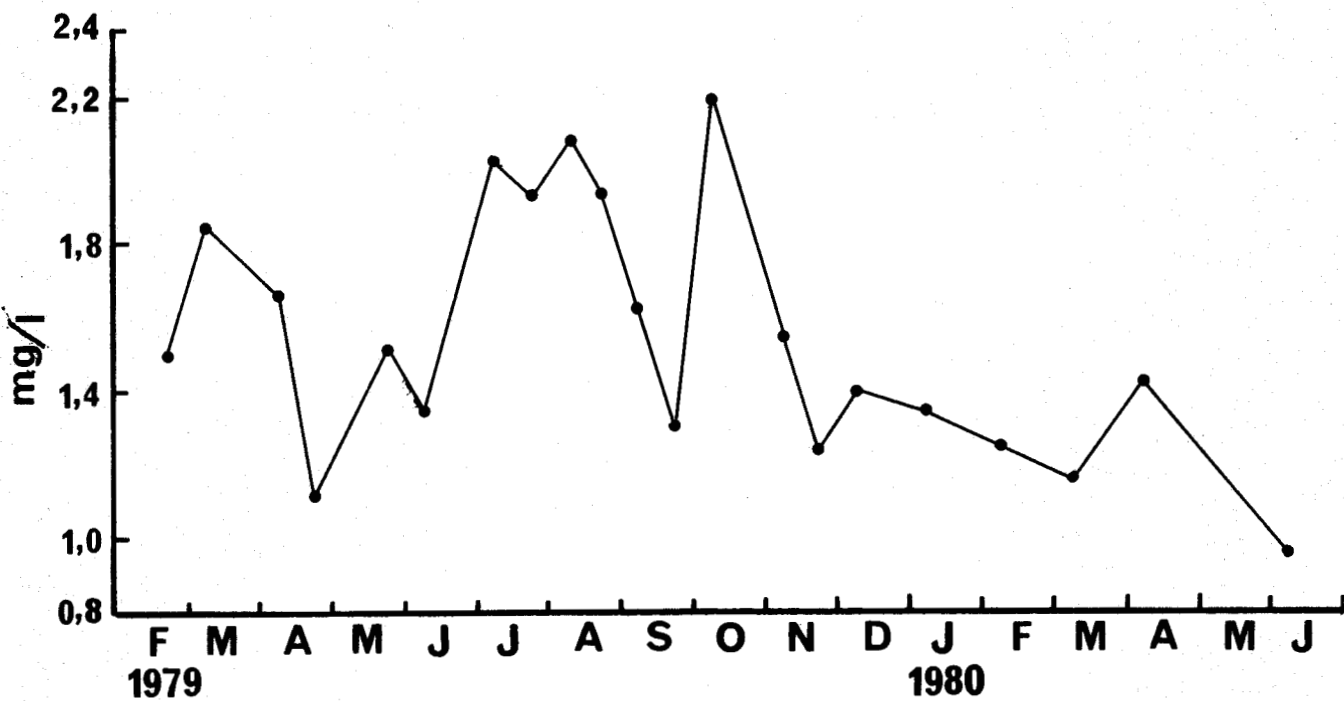


FIGURE 3 Evolution saisonnière du carbone organique dissous (valeurs moyennes intégrées) à la station de référence.

Les résultats présentés en MOD correspondent à deux grandes séries de prélèvements. La première série concerne une station placée sur des fonds de 30 m (station de référence, fig. 1) dans la zone côtière. Cette station a été choisie de manière à ce qu'elle se situe en dehors de l'influence directe des rivières en période estivale alors que les débits sont réduits et que les activités biologiques sont à leur maximum. Elle a été suivie régulièrement de février 1979 à juin 1980 tous les quinze jours en période de morte-eau. Les échantillons ont été prélevés à sept profondeurs situées dans la zone euphotique (0, 2.5, 5, 7.5, 10, 20, 30 m) avec des bouteilles de 5 l de type Niskin et conservés congelés dans des flacons en verre lavés au mélange sulfochromique. Une seconde série de prélèvements concerne un ensemble de huit stations positionnées dans la baie de Morlaix et son estuaire (fig. 1). Ces stations ont été réparties de façon à couvrir l'ensemble du gradient de salinité et doivent permettre de suivre dans de bonnes conditions l'évolution de la MOD dans l'estuaire et de distinguer au niveau de la station de référence l'influence des apports internes (dus au cycle biologique) de celle des apports externes (apports des rivières). Les profondeurs de prélèvements varient entre une et trois selon la position de la station dans l'estuaire. Les échantillons ont été traités d'une manière similaire à ceux de la station de référence. Aux déterminations de MOD ont été associées pour l'ensemble des échantillons des mesures en température, salinité, oxygène, sels nutritifs et matières organiques particulières (WAFAR, 1981).

Au laboratoire, les échantillons ont été filtrés sur membrane en fibres de verre (Whatman GF/C) traités au préalable au four à 450°C. Le COD a été déterminé selon la méthode de MENZEL et VACCARO (1964). Il a été tenu compte des modifications apportées par SHARP (1973) qui réduisent les possibilités d'oxydation à froid de la MOD par le persulfate de potassium. Sous nos conditions d'utilisation la précision de la méthode est de  $\pm 0,05$  mg C/l. Malgré le doute qui peut subsister quant au rendement réel d'oxydation, cette méthode a été préférée aux méthodes par voie sèche plus performantes au niveau de l'oxydation mais plus sensibles aux pollutions. NOD et POD ont été mesurés par la méthode photochimique de ARMSTRONG et TIBBITS (1968). Les échantillons ont été irradiés durant 6 h par une lampe ultraviolette de 900 watts (HANAU TQ 1200). Les nitrates et les phosphates avant et après l'oxydation de l'azote et du phosphore organique ont été déterminés en analyse automatique selon les procédures décrites par TREGUER

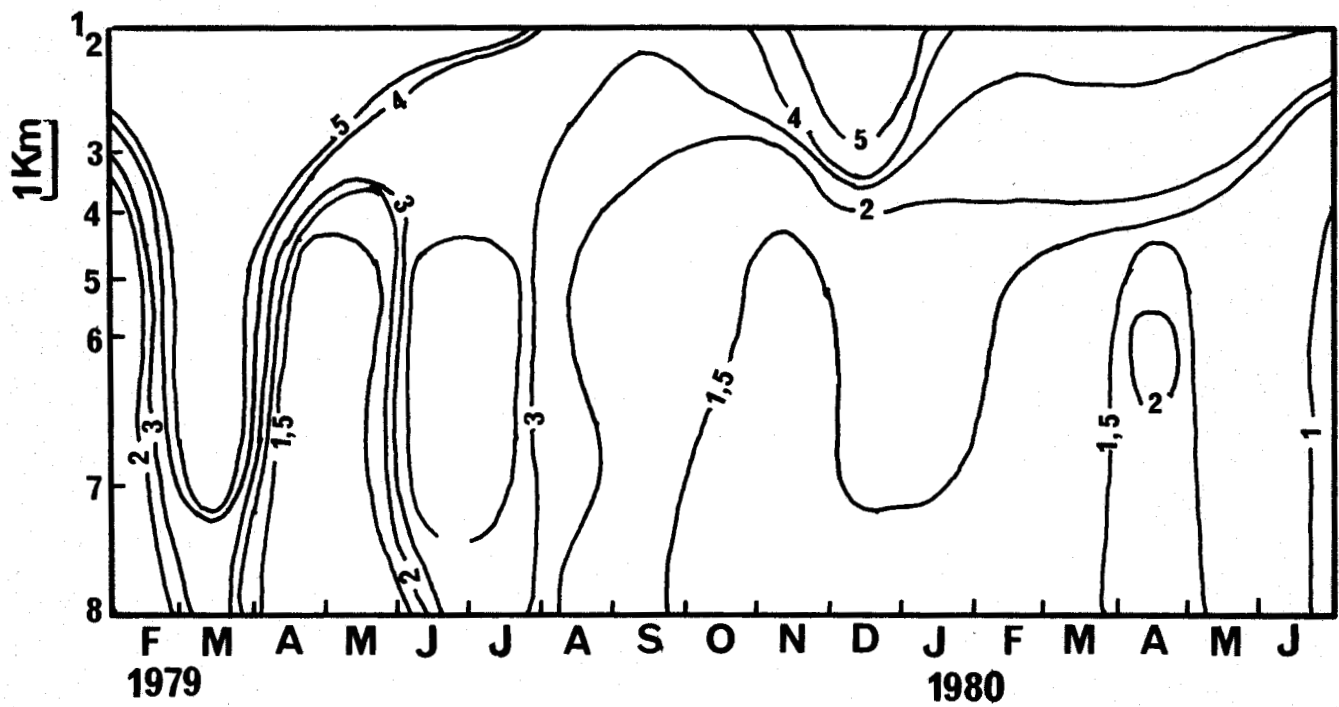


FIGURE 4 Distribution de surface et évolution saisonnière du carbone organique dissous dans l'estuaire.

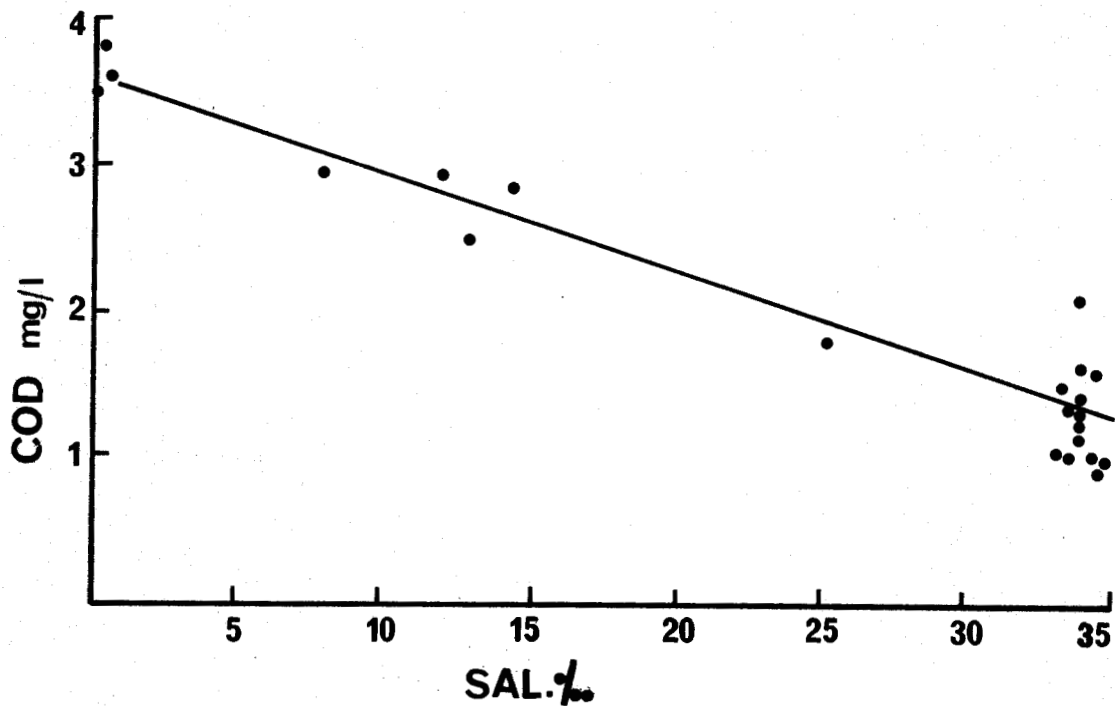


FIGURE 5 Relation entre le carbone organique dissous et la salinité en hiver (de janvier à mars 1980) dans l'estuaire.  
 $COD(mgC/l) = 3,62 - 0,07 S‰$  (N=23,  $r = -0,93$ )

et LE CORRE (1975). Les précisions obtenues pour l'azote et le phosphore organique dissous sont alors respectivement de  $\pm 0,2 \mu\text{atg/l}$  et de  $\pm 0,02 \mu\text{atg/l}$ . Facile à mettre en oeuvre, assez peu sensible aux pollutions, la méthode photochimique est la méthode de choix pour doser l'azote et le phosphore organique dans l'eau de mer. Des difficultés ont été cependant mises en évidence au niveau de l'efficacité des ultraviolets à dégrader certains produits organiques azotés (BUTLER et al. 1979), en particulier en présence de fortes teneurs en nitrates (MANNY et al. 1971).

## RESULTATS

### 1 - EVOLUTION DU CARBONE ORGANIQUE DISSOUS (COD)

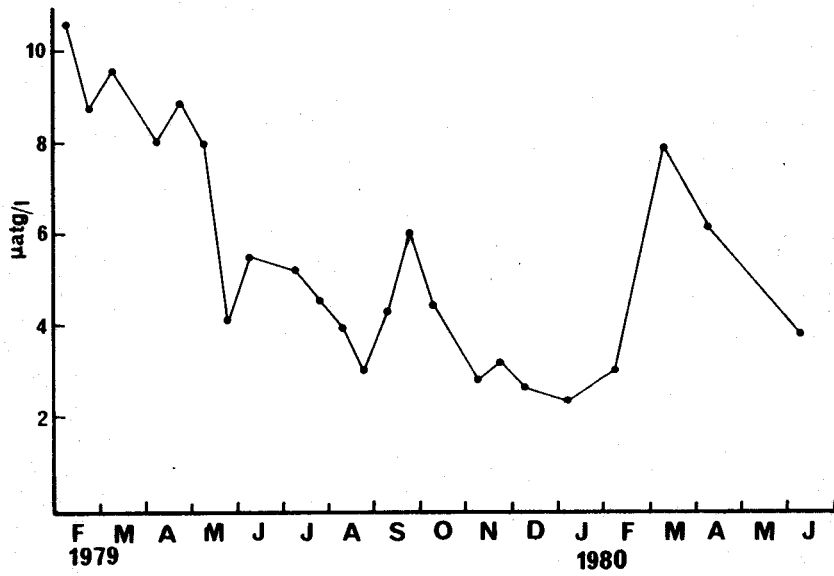
#### a) A la station de référence

L'évolution saisonnière en COD est représentée sur la fig. 3 sous forme de valeurs moyennes intégrées (sur 7 profondeurs). Les teneurs varient en 1979 de 1,11 mg C/l en avril à 2,21 mg en octobre. La moyenne pour l'ensemble des déterminations se situe au niveau de 1,55 mg C/l. En 1979, le cycle saisonnier révèle trois maxima : le premier en mars peut être relié aux apports des rivières (voir ci-après), les suivants, l'un en juillet-août, l'autre en octobre, qui dépassent les 2 mg C/l alors que les débits des rivières sont au plus bas ont une origine interne au système. En 1980, contrairement à l'année 1979, les apports hivernaux en COD sont peu marqués à la station de référence.

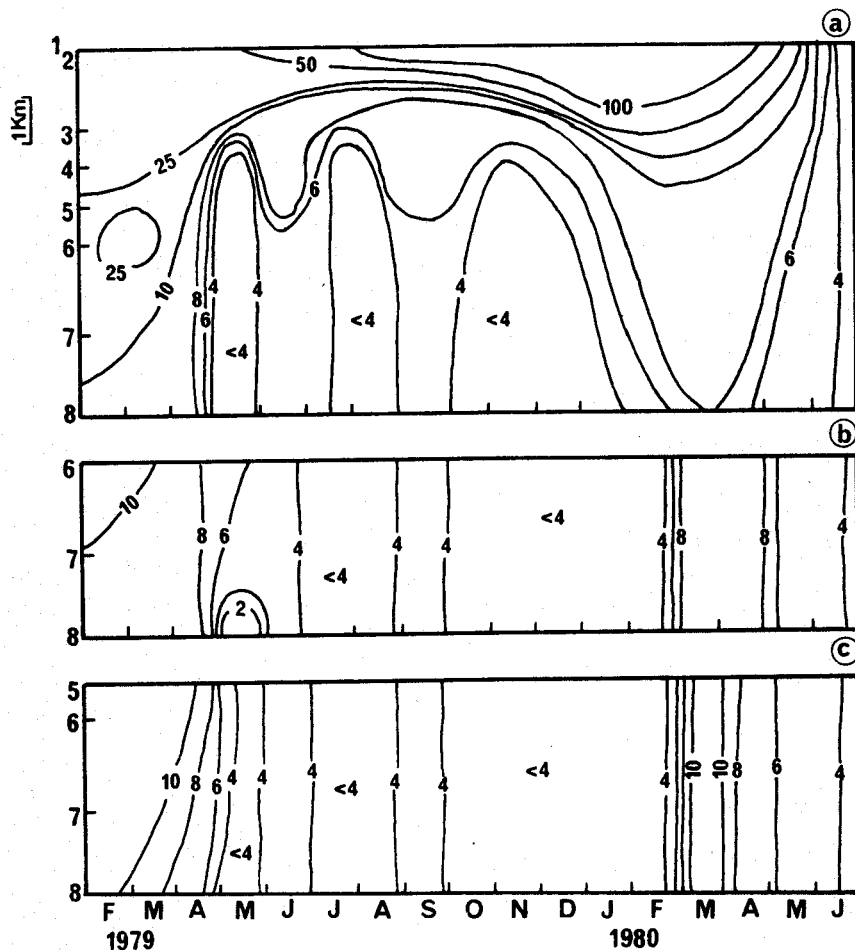
#### b) Aux stations de l'estuaire

L'évolution saisonnière du COD dans les eaux de surface de l'estuaire est représentée par la fig. 4. Le cycle saisonnier est assez comparable à ces stations à celui obtenu à la station de référence. Les résultats mettent en évidence durant l'hiver 1979 un transport important en MOD le long de l'estuaire, assez important pour venir, au mois de mars, influencer la station de référence et expliquer le maximum relevé à cette période à cette station. Ce phénomène n'est pas visible en 1980. A l'inverse de la station de référence, les stations de l'estuaire montrent un seul maximum estival en COD qui se révèle précoce (juin-juillet).

Aux mois d'hiver, alors que l'activité biologique est réduite, il existe une bonne corrélation ( $r = 0.93$ ,  $n = 23$ ) entre le COD et la salinité (fig. 5). Ce résultat montre que les rivières constituent à cette période de l'année la principale source de MOD et qu'il existe par ailleurs relati-



**FIGURE 6** Evolution saisonnière de l'azote organique dissous (valeurs moyennes intégrées) à la station de référence.



**FIGURE 7** Distribution et évolution de l'azote organique dissous dans l'estuaire :  
 a) en surface,  
 b) à mi-profondeur,  
 c) au fond.



vement peu de variations dans les teneurs en COD des différentes eaux douces drainées dans la baie de Morlaix. Il montre aussi qu'à cette période, l'évolution du COD est conservative et qu'il existe globalement peu de transformation de la MOD pendant son transport au sein de l'estuaire. En période estivale, le niveau de corrélation entre le COD et la salinité devient peu significatif ( $r = -0,43$  pour  $n = 42$ ) et suggère l'existence de nouvelles sources pour la MOD qui aurait alors une origine biologique plus marquée.

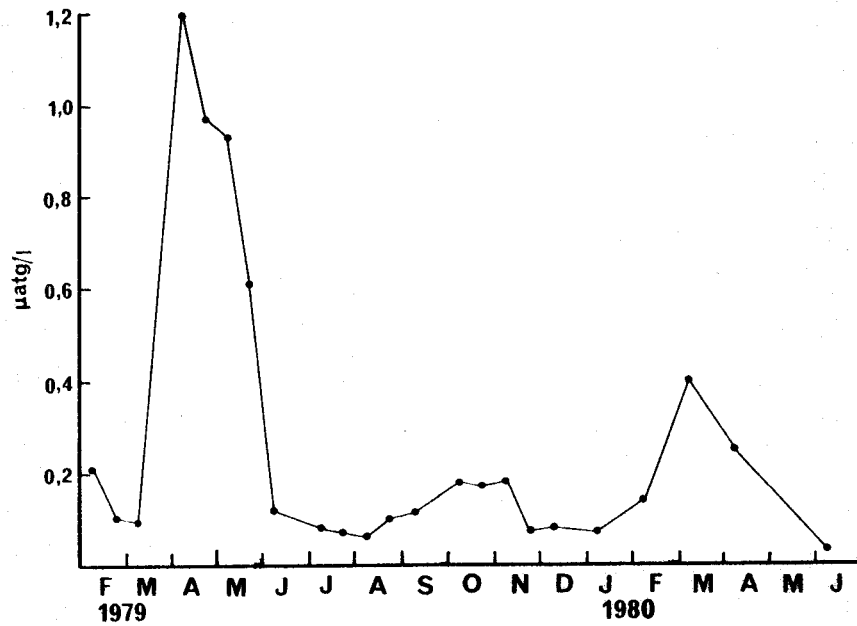
## 2 - EVOLUTION DE L'AZOTE ORGANIQUE DISSOUS (NOD)

### a) A la station de référence

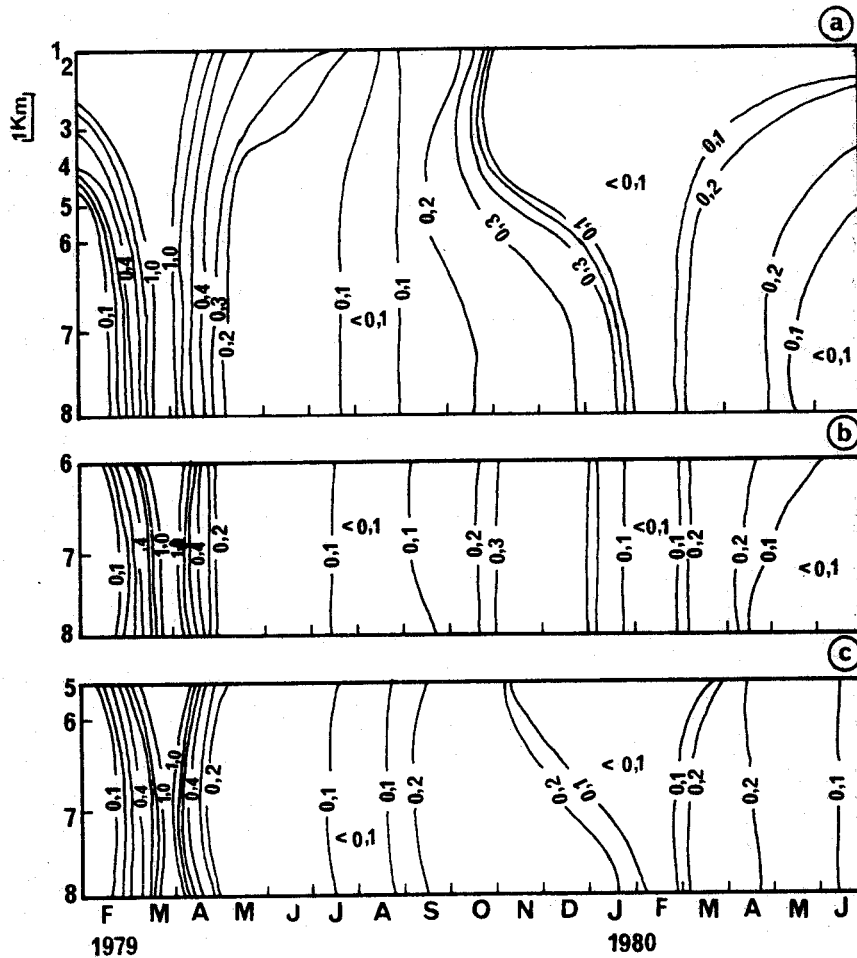
L'évolution saisonnière de l'azote organique dissous (sous forme de teneur moyenne intégrée sur la colonne d'eau) est représentée sur la fig. 6. Les teneurs en NOD en 1979 varient entre  $2,7 \mu\text{atg/l}$  en décembre et  $10,6 \mu\text{atg/l}$  en février qui représentent les valeurs extrêmes. En période hivernale, l'influence des rivières est très marquée (fig. 6 et 7). Cette influence est si importante (maximum de février, mars, avril 1979 et maximum de mars, avril 1980) qu'il devient difficile d'estimer les teneurs de référence en NOD au début du printemps avant le développement du plancton. Cependant, si l'on admet que les teneurs hivernales en NOD en 1979 avant que l'influence des rivières ne devienne prépondérante sont similaires à celles observées au début de l'hiver 1980 ( $2$  à  $3 \mu\text{atg/l}$ ) la courbe d'évolution de NOD met en évidence en période d'activité biologique élevée, deux maxima bien définis, l'un en juin et l'autre en septembre, chacun de ces maxima représentant une augmentation de  $2$  à  $3 \mu\text{atg/l}$ . Ce phénomène est aussi mis en évidence aux stations de l'estuaire qui confirment donc ce résultat.

### b) Aux stations de l'estuaire

L'évolution saisonnière de NOD à l'ensemble des stations de l'estuaire est représentée sur la fig. 7. Le tracé révèle, en période hivernale, le long de l'estuaire, des transports toujours importants en NOD, mais fluctuant selon les années. Dès que l'influence des rivières régresse, NOD décroît rapidement en surface, aux stations aval (stations 4 à 8) et en mai à ces stations les teneurs se situent au niveau de  $2 \mu\text{atg N/l}$ . En période estivale, deux maxima sont mis en évidence, l'un en juin et l'autre en septembre, séparés par une période de décroissance en juillet et août. En octobre,



**FIGURE 8** Evolution saisonnière du phosphore organique dissous (valeurs moyennes intégrées) à la station de référence.



**FIGURE 9** Distribution et évolution du phosphore organique dissous dans l'estuaire :  
 a) en surface,  
 b) à mi-profondeur,  
 c) au fond

les valeurs de surface diminuent alors que la perturbation introduite par les rivières se fait déjà sentir. Les teneurs en NOD augmentent dès novembre à la station 4 en amont ; l'influence de la rivière gagne progressivement l'ensemble de l'estuaire et au mois de mars NOD atteint des valeurs maximales à toutes les stations. L'évolution de NOD aux stations de l'estuaire en présentant deux maxima en période estivale confirme les résultats obtenus à la station de référence. A mi-profondeur et au fond, l'évolution de NOD suit généralement celle de surface. Il existe cependant des différences de comportement : tout d'abord le maximum de juin est moins marqué à mi-profondeur, ensuite, les faibles valeurs signalées au mois d'octobre en surface persistent jusqu'en février dans les couches plus profondes. Ceci doit être relié à l'écoulement préférentiel des eaux douces riches en NOD en surface dans l'estuaire.

### 3 - EVOLUTION DU PHOSPHORE ORGANIQUE DISSOUS (POD)

#### a - A la station de référence

L'évolution saisonnière du POD à la station de référence est représentée par la fig. 8. Les valeurs moyennes intégrées se situent en 1979 entre 0,06  $\mu\text{atg P/l}$  en août et 1,20  $\mu\text{atg P/l}$  au début avril. Le cycle saisonnier présente deux maxima, l'un au début du printemps et l'autre bien après la fin du maximum estival de production en octobre et novembre. L'observation des résultats obtenus dans l'estuaire indiquerait que les teneurs inhabituellement élevées, déterminées au printemps 1979, seraient apportées par les rivières.

b - L'évolution saisonnière du POD aux stations placées dans l'estuaire Elle est proche de celle observée à la station de référence. Au début du printemps 1979, les teneurs sont élevées à toutes les stations et à toutes les profondeurs, fig.9. Ceci montre clairement que durant cette période, les apports en POD par les rivières sont très abondants, assez abondants pour venir perturber la station de référence. Il faut cependant remarquer qu'au printemps 1980, alors que les apports en POD par la rivière de Morlaix sont particulièrement faibles, un maximum persiste à la station de référence et aux stations aval de l'estuaire. L'origine de ce maximum n'est pas claire. Il peut être difficilement relié au développement du phytoplancton qui n'est pas

encore à son maximum à cette période de l'année, L'une des sources internes possibles pour le POD peut être alors constituée par les macroalgues benthiques qui se développent abondamment dans ce système côtier. Il reste cependant à étayer cette hypothèse par des preuves directes. (fig.9.)

#### 4 - PRODUCTION DE MATIERES ORGANIQUES DISSOUTES DANS LES EAUX CÔTIÈRES ET APPORTS EXTERNES.

A partir des résultats obtenus à la station de référence, il est possible d'évaluer la production annuelle moyenne de MOD dans les masses d'eaux côtières. Le COD commence à croître fin avril et ceci tout d'abord jusqu'au mois d'août (fig.3). L'augmentation est globalement de 0,98 mg C/l et peut représenter la production nette de MOD durant cette période. Pour évaluer la production totale il est nécessaire de déterminer la quantité de MOD perdue par le système par décomposition pendant le même laps de temps. La décroissance mesurée en hiver lorsque l'activité du phytoplancton est minimale, de décembre 1979 à mars 1980, aboutit à une perte en COD de 0,08 mg C/l/mois. Si l'on admet que la vitesse de décomposition de la MOD est peu variable durant l'année, la perte globale de COD par dégradation sera de 0,32 mg C/l durant la phase de production s'étendant d'avril à août. La production totale de COD pour ces quatre mois sera de 1,30 mg C/l. Lorsqu'on y ajoute la production qui correspond au maximum du mois d'octobre (0,91 mg C/l) la production totale se situe à un niveau de 2,2 mg C/l. Intégrée sur une profondeur de 30 m, la production annuelle en COD atteint 66 g C/m<sup>2</sup> et représente 21% de la production primaire nette évaluée à 314 g C/m<sup>2</sup>/an à cette station (WAFAR, 1981).

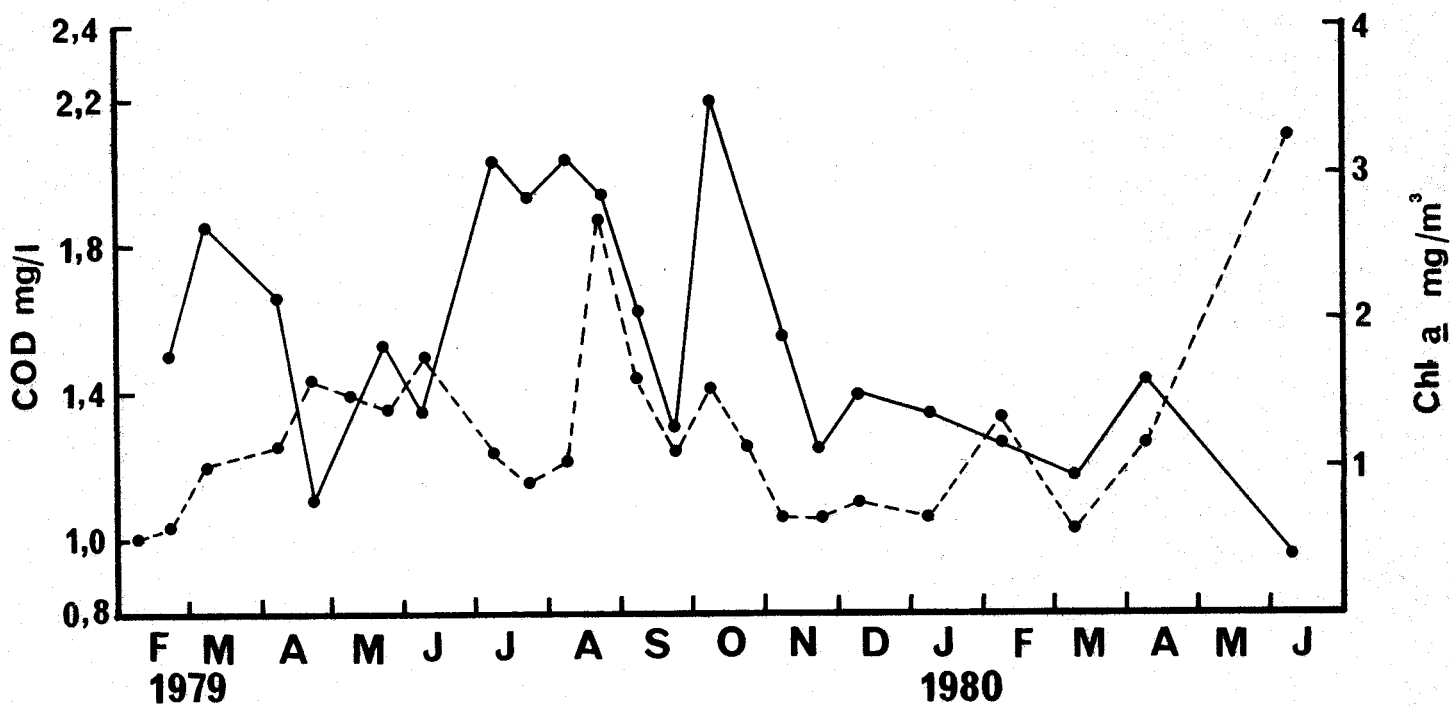
Cette production en COD est remarquablement proche de celle évaluée en mer du Nord (52 g C/m<sup>2</sup>/an) par DUURSMA (1963). BANOUB & WILLIAMS (1973) par un calcul similaire pour leur part, ont obtenu 34 g C/m<sup>2</sup> à la station E<sub>1</sub> dans la Manche. Ces estimations aboutissent à des valeurs sous-évaluées, les périodes de production étant limitées dans les calculs à quelques mois; de plus, les flux d'autres substances organiques dissoutes qui peuvent constituer des apports significatifs ne sont pas pris en compte (BANOUB & WILLIAMS, 1973).

Les apports des rivières en matières organiques dans les eaux côtières de la Baie de Morlaix ont été suivis (WAFAR, 1981) et évalués à  $2,5 \times 10^8$  g C/an. Si l'on prend en compte la production interne biologique sur l'ensemble de la baie, ce sont  $20,5 \times 10^8$  g C/an qui sont ajoutés par an à ces eaux côtières. Il faut cependant remarquer que ces MOD représentent uniquement 24% de la production primaire de ces masses d'eaux estimées à  $86 \times 10^8$  g C. Les productions internes de NOD et POD ont été évaluées d'une manière similaire à celle du COD. Les calculs donnent respectivement 3,4 g N/m<sup>2</sup>/an et 264 mg P/m<sup>2</sup>/an.

## DISCUSSION

Relativement peu de données existent en COD dans le domaine des eaux côtières. Les résultats concernent la mer du Nord (0,5 - 1,8 mg C/l, DUURSMA, 1963); la mer de Norvège (0,45 - 1,38 mg C/l, DUURSMA, 1961); la baie de la Jolla (1mg C/l. HOLMES *et al.*, 1967) ; le détroit de Géorgie (1,2 - 3,2 mg C/l, PARSONS *et al.* 1970); les eaux côtières du Golfe du Mexique (1,1 - 3,4 mg C/l, MAURER et PARKER, 1972) et de son plateau continental (0,58 - 2,35 mg C/l, FREDERICKS & SACKETT, 1970); de la Manche anglaise (0,56 - 0,96 mg C/l, BANOUB, 1971); des eaux côtières du Sud Bretagne (0,9 - 3,5 mg C/l, LE CORRE *et al.*, 1972); du Menai Strait (1 - 4 mg C/l, MORRIS et FOSTER, 1971), et de la Baie de Sagami (0,8 - 1,7 mg C/l, OGURA *et al.*, 1975). Bien que les plages de variations mises en évidence par ces auteurs ainsi que les maxima observés peuvent paraître variables et être reliées aux conditions hydrologiques locales, aux taux de production de matières organiques, ou encore aux tendances à l'eutrophisation, la grande majorité des valeurs se situent entre 1 et 2 mg C/l. Les teneurs que nous observons dans les eaux côtières de la Manche Occidentale se placent dans cette gamme et sont comparables à celles relevées par ces différents auteurs. Il faut remonter dans l'estuaire aux faibles salinités (inférieures à 15‰) pour s'écarter de cette gamme et atteindre 4 à 5 mg C/l des valeurs relativement modestes.

L'évolution saisonnière du COD dans l'eau de mer a été rarement étudiée, très probablement du fait de la mise en oeuvre difficile des techniques d'analyse. DUURSMA (1961) a été le premier à suivre, et ceci dans la mer du Nord, pendant un an, les variations saisonnières en COD. Il détecte un maximum en COD plusieurs semaines après la poussée du phytoplancton et en conclut que la dégradation des organismes vivants en particulier du phytoplancton serait responsable de cette accumulation. HOLMES *et al.* (1967) ne mettent pas en évidence d'évolution marquée du COD dans la Baie de la Jolla au cours des saisons. Ils remarquent cependant une croissance rapide du COD lors de la dégradation d'un phénomène d'eaux rouges. PARSONS *et al.* (1970) suggèrent que, dans le détroit de Géorgie, le maximum estival en COD qui suit le développement printanier du phytoplancton résulterait d'une sénescence partielle de la matière vivante dans la zone euphotique. MORRIS et FOSTER (1971) ne constatent pas d'augmentation du COD immédiatement après la poussée printanière du phytoplancton, ils pensent que la production primaire y est maintenue en été à un niveau comparable à celui du printemps, ce qui expliquerait l'accumulation du COD dans la colonne d'eau jusqu'en automne où il



**FIGURE 10** Evolutions saisonnières comparées du carbone organique dissous et de la chlorophylle a à la station de référence (ligne continue le carbone, ligne discontinue la chlorophylle a).

atteint son maximum. OGURA *et al.* (1975) mettent en évidence des relations entre le COD, la température et la salinité. Ils observent aussi que les hautes teneurs en COD peuvent être associées aux forts développements du phytoplancton. D'une manière générale, la plupart de ces études aboutissent donc à la conclusion d'une possible relation entre le développement du phytoplancton et l'existence d'un maximum en COD.

Nos résultats montrent que l'évolution du COD et celle de la chlorophylle sont nettement liées (fig.10). A chaque maximum de chlorophylle  $\alpha$  et décalé dans le temps (en période de décroissance) est associé un maximum en COD. Entre février 1979 et juin 1980, la chlorophylle  $\alpha$  évolue en passant par cinq maxima qui se situent respectivement en avril, juin, août, octobre 1979 et février 1980. De la même manière, le COD montre aussi cinq maxima (si l'on exclut celui de mars 1979 qui correspond à des apports par les rivières). Non seulement les maxima de COD suivent ceux de chlorophylle  $\alpha$  avec un décalage sensiblement constant (environ un mois), mais en plus, leurs intensités se trouvent en rapport avec les biomasses phytoplanctoniques des maxima qui leur sont associés. La reproductibilité des phénomènes (décroissances successives du phytoplancton et augmentations successives des teneurs en COD) et l'existence d'une certaine proportionnalité dans les intensités suggèrent fortement que le MOD provient de la décomposition du plancton et très probablement en majeure partie du phytoplancton. D'après ces résultats, l'excrétion du phytoplancton ne serait pas une source prépondérante de MOD dans le milieu.

Les études qui concernent l'évolution saisonnière de NOD sont encore relativement peu nombreuses (DUURSMA, 1961; BANOUB et WILLIAMS, 1973; RAO et RAO, 1974; HO et BARRETT, 1977; SOLDORZANO & EHRLICH, 1977; BUTLER *et al.*, 1977). Bien que ces auteurs parviennent à des résultats parfois différents, l'ensemble de ces études indique qu'il existe une augmentation estivale de la quantité de NOD qui suit de quelques semaines le développement du phytoplancton. Dans les eaux côtières de la baie de Morlaix, le cycle biologique est complexe. Il existe cependant une similitude entre l'évolution de la chlorophylle  $\alpha$  (fig.10) et celle de NOD (fig.6). Aux deux principaux maxima de chlorophylle  $\alpha$  sont associée une augmentation notable de NOD. Le maximum en NOD du mois de juin suit presque immédiatement le développement phytoplanctonique des mois de mai et juin et celui de septembre, de quelques semaines la poussée du mois d'août. Comme pour le COD, il existe une certaine proportionnalité entre les deux phénomènes, ce qui tendrait à prouver que la dégradation du plancton constituerait aussi la principale source de NOD. On pourra par ailleurs remarquer un décalage entre les phases d'accumulation de NOD et de COD dans le milieu (fig.3 et 6), un phénomène qui n'avait jamais été signalé par ailleurs.

Le POD, contrairement aux autres éléments constitutifs de la MOD, a donné lieu à des études relativement nombreuses et ceci en raison de la fa-

cilité avec laquelle il peut être mesuré dans l'eau de mer. L'ensemble des études (REDFIELD et al., 1937 ; ARMSTRONG et HARVEY, 1950 ; ARMSTRONG et BUTLER, 1959 ; BANOUB et WILLIAMS, 1973 ; BUTLER et al., 1979 ; DUURSMA, 1961 ; STRICKLAND et AUSTIN, 1960 ; RAO et RAO, 1974 ; MATSUDA et al., 1975) montrent des variations en POD en période de développement planctonique. Nos résultats (fig. 8) confirment cette tendance ; ils révèlent aussi que le POD a un comportement original par rapport au COD et au NOD. Si l'on met à part l'important maximum de février-mars dont l'origine est incertaine, le POD montre une décroissance en période de production soutenue (d'avril à août). Il est difficile d'affirmer qu'il existe une utilisation du POD par le phytoplancton lors de son développement, par contre si l'excrétion du POD par le phytoplancton existe, elle ne constitue pas une source importante pour cet élément dans le milieu. Dans les eaux côtières de la Baie de Morlaix, l'accumulation du POD (fig. 8) s'effectue à partir du mois d'août pour atteindre son maximum au mois d'octobre et de novembre, très probablement par décomposition du matériel planctonique dans une période où la régénération devient le phénomène prépondérant. L'excrétion directe par le zooplancton semble exclue, en effet les herbivores développent leur maximum dans ces masses d'eaux en juin-juillet (LEFEVRE-LEHOERFF, 1972).

Les cycles présentés en 1980 présentent des différences assez marquées par rapport à ceux de 1979. Ceci doit résulter essentiellement de variations dans les conditions météorologiques : le régime des pluies est assez similaire dans le temps pour les deux années d'études (maximum de pluies en février et mars) mais la pluviosité a été nettement plus importante en 1979 et le débit des rivières en période de crue révèle une augmentation d'environ 20 % par rapport à 1980 (figure 2). L'hiver et le printemps 1980 ont montré des périodes plus ensoleillées (WAFAR, 1981), ceci explique un meilleur développement du phytoplancton avec un maximum en chlorophylle très prononcé fin mai et une poussée dès février.

L'évolution de la MOD montre des similitudes pour les deux périodes estivales d'études, ceci est surtout vrai pour NOD et POD (figures 6 et 8). Du fait de la réduction des débits des rivières en 1980, les apports externes, très importants en février et mars 1979 pour chacun des composants élémentaires de la MOD, se trouvent nettement réduits à la même période en 1980. Le COD ne révèle cependant aucun maximum à la même période (figure 3). Ce résultat paradoxal est confirmé par l'ensemble



des mesures effectuées aux stations de l'estuaire. Il traduirait une grande variation dans le temps de la composition des matières organiques véhiculées par les rivières. Comme en 1979, l'évolution du COD semble bien suivre celle de la chlorophylle : au maximum de chlorophylle de février peut être associée une augmentation du COD en avril. Le maximum du à la poussée de mai n'est pas détecté, les mesures de MOD n'ayant pas été développées au-delà du mois de juin 1980.

### CONCLUSION

L'évolution saisonnière de la matière organique a été suivie dans les eaux côtières de la Baie de Morlaix et de son estuaire par des mesures simultanées en COD, NOD et POD. Chacun de ces éléments révèle une évolution bien définie qui peut être reliée au développement du phytoplancton. Il existe dans les eaux de l'estuaire et de la Baie de Morlaix une accumulation estivale de MOD qui résulte principalement de la dégradation du matériel planctonique. La contribution de l'excrétion du phytoplancton serait faible. Les apports externes dus aux rivières varient considérablement d'une année à l'autre mais leur influence comparée à la production interne demeure réduite : ils représentent environ 15 % de la production de MOD in situ. Chacun des éléments constitutifs de la MOD (COD, NOD et POD) montre une évolution saisonnière propre qui reflète des vitesses de formation et de décomposition différentes.

## REFERENCES

- Armstrong, F. A. J. and Harvey, H. W., 1950. The cycle of phosphorus in the waters of the English Channel. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, 29, 145-162.
- Armstrong, F. A. J. and Butler, E. I., 1959. Chemical changes in sea water off Plymouth during 1957. *Ibid.*, 38, 41-45.
- Armstrong, F. A. J. and Tibbits, S., 1968. Photochemical combustion of organic matter in sea water for nitrogen, phosphorus and carbon determination. *Ibid.*, 48, 143-152.
- Banoub, M. W., 1971. The cycle and balance between organic and inorganic matter in the English Channel. Ph. D. Thesis, University of Southampton, pp. 216.
- Banoub, M. W. and Williams, P. J. Le B., 1973. Seasonal changes in the organic forms of carbon, nitrogen and phosphorus in seawater at E<sub>1</sub> in the English Channel during 1968. *J. mar. biol. Ass. U. K.*, 53, 695-703.
- Butler, E. I., Knox, S. and Liddicoat, M. I., 1979. The relationship between inorganic and organic nutrients in sea water. *Ibid.*, 59, 239-250.
- Duursma, E. K., 1961. Dissolved organic carbon, nitrogen and phosphorus in the sea. *Neth. J. Sea Res.*, 1, 1-147.
- 1963. The production of dissolved organic matter in the sea, as related to the primary gross production of organic matter. *Ibid.*, 2, 85-94.
- Fredericks, A. D. and Sackett, W. M., 1970. Organic carbon in the Gulf of Mexico. *J. geophys. Res.*, 75, 2199-2206.
- Grall, J. R., 1972. Recherches quantitatives sur la production primaire du phytoplancton dans les parages de Roscoff. Thèse Doct. Sci. nat. University of Paris, pp. 247.
- Ho, C. L. and Barrett, B. B., 1977. Distribution of nutrients in Louisiana's coastal waters influenced by the Mississippi river. *Estuar. and Coast. mar. Sci.*, 5, 173-195.
- Holmes, R. W., Williams, P. M. and Eppley, R. W., 1967. Red water in La Jolla Bay. *Limnol. Oceanogr.*, 12, 503-512.
- Ketchum, B. H. and Corwin, N., 1965. The cycle of phosphorus in a plankton bloom in the Gulf of Maine. *Ibid.*, 10(Suppl), R148-R161.
- Le Corre, P., Treguer, P. and Courtot, P., 1972. Evaluation de la matière organique dissoute dans les eaux côtières de la Bretagne méridionale en avril 1970. *Cah. Biol. mar.*, 13, 443-455.
- LeFevre-Lehoërff, G., 1972. Populations planctoniques d'un estuaire à marée ; la rivière de Morlaix. Leurs relations avec les conditions hydrologiques. Thèse Doct. 3ème cycle, University of Paris, pp. 212.

- Manny, B. A., Miller, M. C. and Wetzel, R.C., 1971. Ultraviolet combustion of dissolved organic nitrogen compounds in lake waters. *Limnol. Oceanogr.*, 16, 71-85.
- Matsuda, O., Endo, T. and Koyama, H., 1975. On the balance and seasonal variation of dissolved and particulate organic phosphorus in an eutrophicated coastal environment. *J. Fac. Fish. Anim. Husb.*, Hiroshima University, 14, 217-240.
- Maurer, L. G. and Parker, P. L., 1972. The distribution of dissolved organic matter in the nearshore waters of the Texas coast. *Contrib. mar. Sci.*, 16, 109-124.
- Menzel, D. W. and Vaccaro, R. F., 1964. The measurement of dissolved and particulate carbon in sea water. *Limnol. Oceanogr.*, 9, 138-142.
- Morris, A. W. and Foster, P., 1971. The seasonal variation of dissolved organic carbon in the inshore waters of Menai strait in relation to primary production. *Ibid.*, 16, 987-989.
- Ogura, N., Kamatani, A., Nakamoto, N., Funakoshi, M. and Iwata, S., 1975. Fluctuation of dissolved organic carbon in seawater off Sagami Bay during 1971-1972. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 31, 43-47.
- Parsons, T. R., Le Brasseur, R. J. and Barraclough, W. E., 1970. Levels of production in the pelagic environment of the Strait of Georgia, British Columbia : A Review. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 27, 1251-1264.
- Rao, V. C. and Rao, T. S. S., 1974. Distribution of dissolved organic phosphorus and nitrogen in the Bay of Bengal. *J. mar. biol. Ass. India*, 16, 775-790.
- Redfield, A. C., Smith, H. P. and Ketchum, B., 1937. The cycle of organic phosphorus in the Gulf of Maine. *Biol. Bull.*, 73, 421-443.
- Sharp, J. H., 1973. Total organic carbon in sea water. Comparison of measurements using persulfate oxidation and high temperature combustion. *Mar. Chem.*, 1, 211-229.
- Solórzano, L. and Ehrlich, B., 1977. Chemical investigations of Loch Etive, Scotland. II. Dissolved organic compounds. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 29, 65-79.
- Strickland, J. D. H. and Austin, K. H., 1960. On the forms, balance and cycle of phosphorus observed in the coastal and oceanic waters of the north eastern Pacific. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 17, 337-345.
- Treguer, P. and Le Corre, P., 1975. Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer (utilisation de l'autoanalyseur II Technicon) 2ème édition, Université de Bretagne Occidentale, pp. 110.
- Wafar, M. V. M., 1981. Nutrients, primary production, and dissolved and particulate organic matter in well-mixed temperate coastal waters (Bay of Morlaix - western English Channel). Thèse Doct. 3ème cycle, University of Paris, pp. 226.