

**DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT  
ET DES RECHERCHES OCEANIQUES**

**ASSOCIATION HALIEUTIQUE DU MORS-BRAS**

[Archimer](#), archive institutionnelle de l'Ifremer

**ETUDE**  
**de la MATIERE ORGANIQUE**  
**et DEMANDE en OXYGENE**  
**des SEDIMENTS en BAIE de VILAINE**

---

---

---

**RAPPORT FINAL**



*Michel MERCERON*



2009

IFREMER  
Centre de BREST  
S.D.P.  
B.P. 337  
29273 BREST CEDEX  
Tél. : 98.45.80.55  
Télex 940 627

DIRECTION ENVIRONNEMENT  
ET RECHERCHES OCEANIQUES

DEPARTEMENT ENVIRONNEMENT LITTORAL

|  |  |   |
|--|--|---|
| AUTEUR(S) :  |  | CODE :                                    |
| Michel MERCERON  |  | N° DERO-EL-20-EL                          |
| TITRE  |  | Date : Juin 1986                          |
| ETUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE ET DEMANDE EN<br>OXYGENE DES SEDIMENTS EN BAIE DE VILAINE  |  | Tirage nb : 80                            |
| Nb pages : 40  |  |   |
| Nb figures : 17  |  |   |
| Nb photos : 1  |  |   |
| CONTRAT<br>(intitulé)  |  | DIFFUSION                                 |
| Lettre-contrat   |  | Libre <input checked="" type="checkbox"/> |
| N° 85-2 435010   |  | Restreinte <input type="checkbox"/>       |
| DERO/EL  |  | Confidentielle <input type="checkbox"/>   |
| <p><u>RESUME</u> Suite à la mortalité de poissons par anoxie, survenue durant l'été 1982, la demande en oxygène des sédiments de la baie de Vilaine a été étudiée durant la belle saison. Elle est d'importance modérée et assez peu modulée dans l'espace et dans le temps. Une liaison significative avec la teneur en carbone organique du sédiment n'a pu être mise en évidence.</p> <p>La respiration de l'eau sus-jacente a été abordée. Elle s'avère globalement plus importante que celle du sédiment et serait susceptible de variations très importantes, pouvant conduire à des hypoxies prononcées, notamment lors des blooms phytoplanctoniques.</p> <p><u>ABSTRACT</u> After the fish mortality through an anoxia, which occurred during the summer of 1982 in the bay of Vilaine, the oxygen consumption of the sediment was investigated during spring and summer. It was found moderately important, submitted to limited evolutions along time and on different zones. A significant correlation with the organic carbon content of sediment could not be established.</p> <p>The oxygen consumption of the bottom waters was approached. In the bay of Vilaine as a whole, it was found more important than the sediment consumption. It could vary in a wide range, till leading to pronounced hypoxias, especially during phytoplankton blooms.</p> |  |   |
| <p>Mots-clés : Eaux côtières - Oxygène dissous - anoxie - respiration du sédiment<br/>respiration de la phase liquide - matière organique.</p>   |  |   |
| <p>Key words : Coastal waters - dissolved oxygen - anoxia - sediment oxygen<br/>consumption - water oxygen consumption - organic matter</p>  |  |   |



Ifremer Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer

IFREMER - SDP  
Centre de BREST  
Bibliothèque

B.P. 337 - 29273 BREST CEDEX

## S O M M A I R E

|   | <u>Pages</u> |
|---|--------------|
| AVANT-PROPOS .....                          | 1            |
| INTRODUCTION .....                          | 2            |
| I - SITES ET METHODES .....                 | 3            |
| 1) Site .....                               | 3            |
| 2) Méthodes .....                           | 4            |
| a) Principe .....                           | 4            |
| b) Matériel .....                           | 6            |
| c) Mise en oeuvre .....                     | 7            |
| d) Dépouillement des résultats .....        | 9            |
| e) Expression des résultats .....           | 9            |
| f) Deux campagnes ont été effectuées .....  | 12           |
| g) Analyses .....                           | 12           |
| II - RESULTATS ET INTERPRETATIONS .....     | 13           |
| A) Consommation d'oxygène du sédiment ..... | 13           |
| 1) Campagne 1984 .....                      | 13           |
| 2) Campagne 1985 .....                      | 18           |
| B) Consommation d'oxygène de l'eau .....    | 28           |
| III - CONCLUSIONS .....                     | 33           |
| BIBLIOGRAPHIE .....                         | 38           |

**AVANT - PROPOS**

Suite à des mortalités massives de poissons survenues dans la baie de Vilaine durant l'été 1982, il a été lancé en 1983 une série de travaux scientifiques destinés à comprendre les mécanismes et les causes du phénomène et, dans la mesure du possible, à proposer des mesures visant à en prévenir le retour. Depuis lors, l'apparition plus ou moins régulière dans cette zone de l'espèce phytoplanctonique Dinophysis acuminata, responsable d'intoxications diarrhéiques par l'intermédiaire des moules, a conduit à élargir le champ des investigations.

Les travaux ont été financés initialement par le Secrétariat d'Etat à la Mer, auquel d'autres partenaires se sont joints depuis lors (Secrétariat d'Etat à l'Environnement, Agence Financière de Bassin Loire-Bretagne, Etablissements Publics Régionaux de Bretagne et des Pays de Loire, Conseils Généraux du Morbihan et de Loire Atlantique). La coordination des travaux a été confiée à l'Association Halieutique du Mor Bras qui a été créée à cette occasion.

De par sa mission, l'IFREMER était directement concerné par les évènements précités, et a été amené à autofinancer la plus grande partie des travaux qu'il a effectués. Au contraire des précédents, ce travail a été cofinancé par l'Association Halieutique du Mor-Bras.

## INTRODUCTION

Durant l'été 1982, une mortalité importante de poissons de fond est survenue en baie de Vilaine. Plusieurs indices conduisaient à penser qu'il s'agissait d'un phénomène d'anoxie \*, ou d'hypoxie \*\* sévère des eaux de fond (faune endogée inerte à la surface du sédiment, récupération rapide de poissons pêchés en état de faiblesse, après une brève stabulation en eau aérée, etc .) (MAGGI, 1982). C'est également l'explication avancée par ROSSIGNOL-STRICK (1985) qui attribue cette anoxie à la stratification haline engendrée par les importantes quantités d'eau douce délivrées peu avant les mortalités par la Vilaine et le barrage d'Arzal. Durant les étés 1983 et 1984, l'IFREMER a réalisé en baie de Vilaine des enregistrements en continu de plusieurs paramètres (oxygène dissous, température, salinité, courants) et ceci en surface et au fond. Ces enregistrements ainsi que des mesures hydrologiques discrètes effectuées durant les années 1983, 1984 et 1985 ont permis de vérifier que l'oxygène dissous des eaux de fond était effectivement susceptible d'atteindre des valeurs très basses durant la période estivale ( $1,05 \text{ ml l}^{-1}$  en juin et en août 1983) ( $1 \text{ ml O}_2 = 1,429 \text{ mg O}_2$ ).

Nous avons pu observer également que la dessalure des eaux superficielles, en empêchant la réoxygénation des eaux de fond à partir de la surface, jouait effectivement un rôle important dans l'abaissement de la teneur en oxygène dissous près du fond.

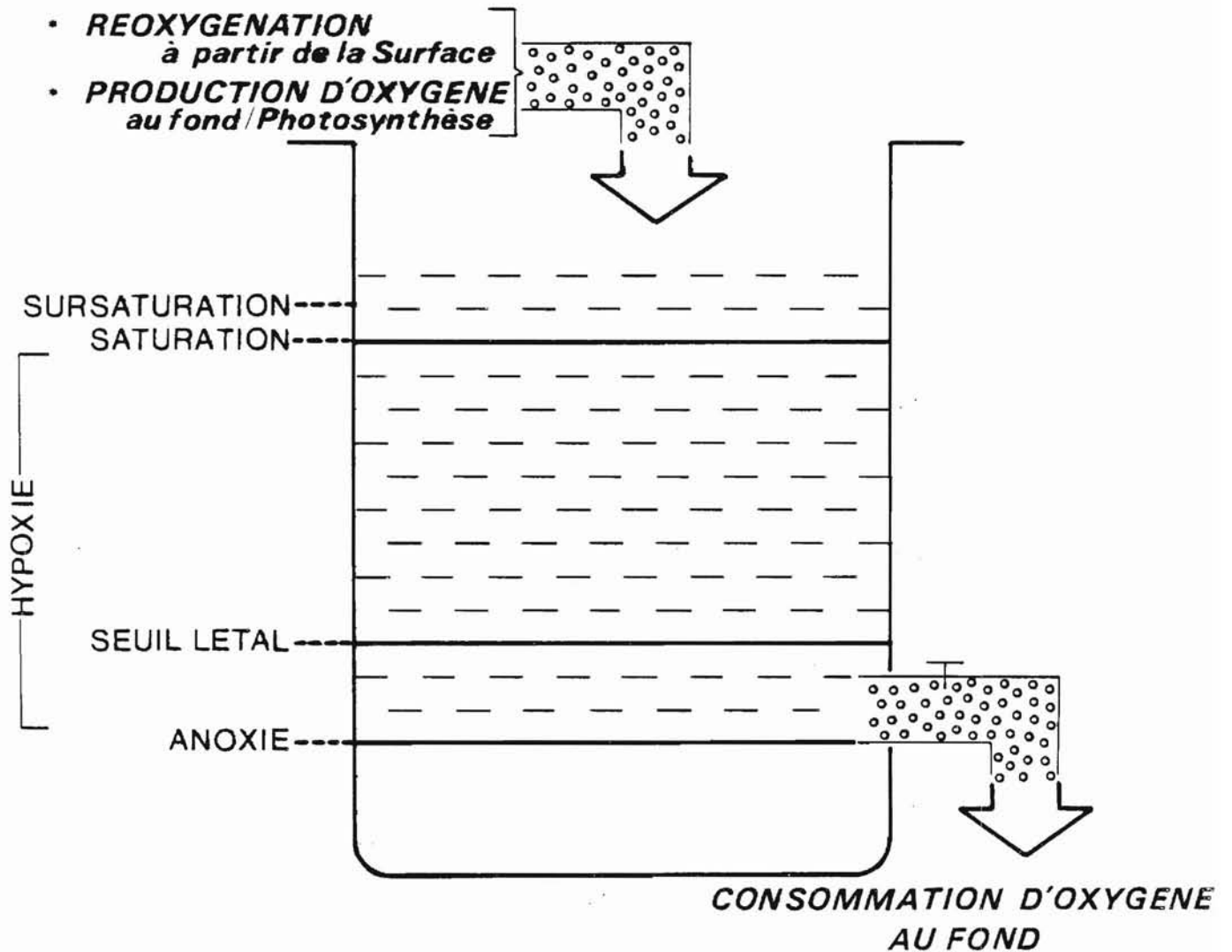
Sur un plan général le schéma n° 1 illustre de façon simplifiée les facteurs influençant directement la concentration d'oxygène dissous dans les eaux de fond.

Il apparaît aussi important de tenter de cerner la demande en oxygène au niveau du fond, que d'étudier les facteurs de réoxygénation. Quelle est l'importance de la consommation que l'on peut constater ? Selon quelles modalités cette consommation évolue-t-elle dans le temps et dans l'espace, notamment en fonction de

\* Absence d'oxygène dissous.

\*\* Teneur en oxygène dissous inférieure à la teneur de saturation.

# Schéma 1 : FACTEURS D'EVOLUTION DE LA CONCENTRATION DE L'OXYGENE DISSOUS DANS LES EAUX DE FOND



la teneur en matière organique du sédiment ? Peut-on avoir une idée de l'importance relative de la demande de l'eau de fond et de celle du sédiment ? Ce sont les réponses à de telles questions que le présent travail s'est attaché à fournir.

Après avoir exposé comment les observations de terrain ont été réalisées, nous en présenterons les résultats que nous analyserons, en séparant ceux concernant les sédiments de ceux concernant l'eau de fond.

## I - SITES ET METHODES

### 1) Site (figure 1)

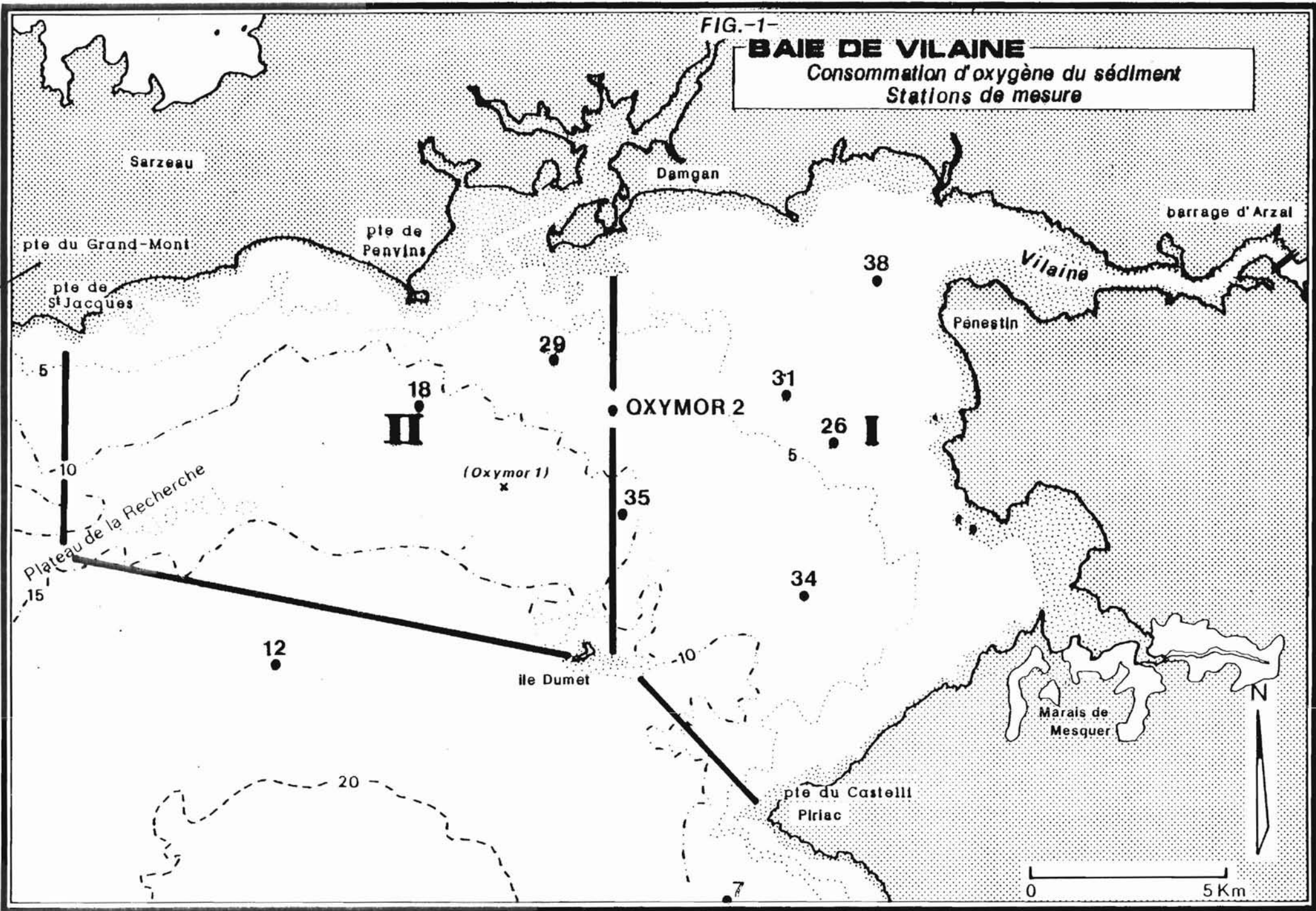
Au débouché de l'estuaire de la Vilaine, la baie du même nom correspond à une indentation de la côte ouverte aux influences du sud-ouest. Située à une trentaine de kilomètres au nord-ouest de l'embouchure de la Loire, elle est limitée à l'ouest par la Pointe du Grand-Mont et au sud par la Pointe du Castelli. Dans le présent travail, la zone d'étude qui sera dénommée ci-après "Baie de Vilaine" est un peu moins étendue. Du côté du large, sa limite est constituée par la ligne joignant la Pointe de St Jacques, la roche de Locmariaquer sur le plateau de la Recherche, l'île Dumet, et la Pointe du Castelli.

Les profondeurs y sont assez faibles (64 % des fonds sont compris entre 5 et 15 m). La profondeur moyenne est de 7,1 m. Lors d'une marée de vive-eau moyenne (coeff. 95) le marnage est de 4,75 m ; il est de 2,4 m lors d'une morte-eau moyenne (coeff. 45). Le niveau moyen est situé à 3,0 m au dessus du zéro des cartes marines. A la belle saison, on observe assez fréquemment une pycnocline \* située à

\* Discontinuité de densité liée à la superposition de 2 couches d'eau de salinité différente, la couche la moins salée étant située au dessus de l'autre.

FIG.-1-

**BAIE DE VILAINE**  
Consommation d'oxygène du sédiment  
Stations de mesure





une profondeur de 6 mètres sous la surface, profondeur qui demeure relativement stable au cours de la marée. Le tableau I indique les aires moyennes et les volumes liquides moyens situés sous la pycnocline, lorsque celle-ci est dans sa position la plus habituelle.

Les fonds meubles sont de loin les plus fréquents ; ils sont essentiellement constitués de sédiments vaseux et sablo-vaseux. Des sables fins peuvent être observés aux très faibles profondeurs situées devant l'embouchure de la Vilaine et devant l'exutoire des marais de Mesquer. Des fonds de graviers existent dans l'est-sud-est de l'île Dumet. Une étude de bionomie benthique de la Baie de la Vilaine a été récemment effectuée par LE BRIS (1986), et on pourra s'y reporter pour plus de précisions concernant la nature des fonds.

Le débit moyen de la Vilaine est de  $68 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (crue >  $400 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , étiage <  $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). Des données supplémentaires ayant trait à la Vilaine, à son bassin versant, à son estuaire et au barrage d'Arzal sont disponibles dans les documents suivants : SRAE (1984), SAUNIER Eau et Environnement (1985), et MERCERON (1985).

## 2) Méthodes

### a) Principe

Pour mesurer la consommation d'oxygène, le principe le plus couramment utilisé, consiste à incuber le substrat étudié (sédiment et eau, ou eau seule) dans une enceinte close, et à y observer la diminution de la teneur en oxygène dissous en fonction du temps.

Pratiquement, l'incubation peut être réalisée de deux façons, in situ ou en laboratoire. Dans le premier cas, on utilise un respiromètre constitué schématiquement d'une cloche que l'on enfonce partiellement dans le sédiment et dont l'oxygène de l'eau emprisonnée est dosé périodiquement. Les enceintes utilisées peuvent être de forme et de volume variables. La deuxième méthode consiste à prélever sur le terrain des carottes de sédiment que l'on met en incubation le plus rapidement possible dans un bac thermostaté. La première méthode

TABLEAU I - AIRES MOYENNES ET VOLUMES  
LIQUIDES MOYENS SITUES SOUS LA PYCNOCLINE

(L'épaisseur de la pycnocline a été prise pour 6 m à partir du niveau moyen ; les aires et les volumes ont donc été comptabilisés sous le niveau - 3 m par rapport au zéro des cartes marines (C.M.)).

| Isobathes    | Prof. moyenne (mC.M.) | Hauteur sous pycnocline (m) | ZONE INTERNE                       |                                      | ZONE EXTERNE                       |                                      |
|--------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
|              |                       |                             | Aire ( $\times 10^6 \text{ m}^2$ ) | Volume ( $\times 10^6 \text{ m}^3$ ) | Aire ( $\times 10^6 \text{ m}^2$ ) | Volume ( $\times 10^6 \text{ m}^3$ ) |
| de 3 à 5 m   | 4                     | 1                           | 24,55                              | 24,55                                | -                                  | -                                    |
| de 5 à 10 m  | 7,5                   | 4,5                         | 49,10                              | 220,96                               | 21,32                              | 95,93                                |
| de 10 à 15 m | 12,5                  | 9,5                         | 7,35                               | 69,83                                | 52,19                              | 495,81                               |
| > 15 m       | 15,5                  | 12,5                        | -                                  | -                                    | 13,97                              | 174,57                               |
| TOTAL        |                       |                             | 81,00                              | 315,34                               | 87,48                              | 766,31                               |

Volume moyen sous pycnocline =  $1081,6 \times 10^6 \text{ m}^3$

Aire moyenne " " =  $168,5 \times 10^6 \text{ m}^2$

Hauteur moyenne " " = 6,4 m

présente l'avantage de ne perturber le sédiment qu'au minimum, et de ne pas nécessiter de bateau important (pas de carottier, ni d'enceinte thermorégulée). La deuxième méthode permet de ne rester sur station que le temps du carottage et de faire un plus grand nombre de mesures.

Une première comparaison de la validité des deux méthodes, faite par PAMATMAT (1971), faisait ressortir une sous-estimation de la consommation d'oxygène en laboratoire de 16 à 69 % par rapport aux mesures effectuées in situ. Le tube de carottage utilisé s'étant révélé perméable à l'oxygène, l'auteur a modifié son matériel et a effectué une deuxième comparaison donnant des résultats identiques pour les deux méthodes.

EDBERG et HOFSTEN (1973) ont également procédé à une comparaison des deux méthodes sur des fonds mous. L'imperméabilité à l'oxygène du matériel ayant été vérifiée, ils ont observé une sous-estimation des mesures en laboratoire plus importante que celle notée par PAMATMAT lors de sa première comparaison. Ils attribuent ce déficit à la perturbation par le carottage de la structure du sédiment, et par conséquent de son activité biologique. Des mesures réalisées par EDBERG et HOFSTEN sur une série de carottes, immédiatement après leur prélèvement, puis régulièrement pendant une semaine ou deux, montrent qu'après ce temps de stockage, les consommations se stabilisent à des niveaux à peu près doubles des niveaux initiaux ; durant cette période, le sédiment avait recouvert une activité biologique stable. L'hypothèse de EDBERG et HOFSTEN paraît donc fondée, et on peut logiquement penser que les déficits de consommation observés en laboratoire puissent être différents selon les sédiments et même négligeables dans certains cas. Pour éviter une sous-estimation de la consommation d'oxygène du sédiment, nous avons opté pour la méthode de mesure in situ.

#### b) Matériel

Le matériel que nous avons utilisé se composait d'une cloche métallique de section carrée ( $0,0625 \text{ m}^2$ ) et d'une sonde à oxygène

(ORBISPHERE) couplée à un enregistreur analogique (RUSTRACK) ; la sonde et l'enregistreur étaient inclus dans un container installé sur un trépied métallique (cf. photo). Pour faciliter l'évacuation d'éventuelles bulles d'air, le toit de la cloche était légèrement pyramidal et l'orifice acceptant le tête de sonde était situé à son sommet.

c) Mise en oeuvre

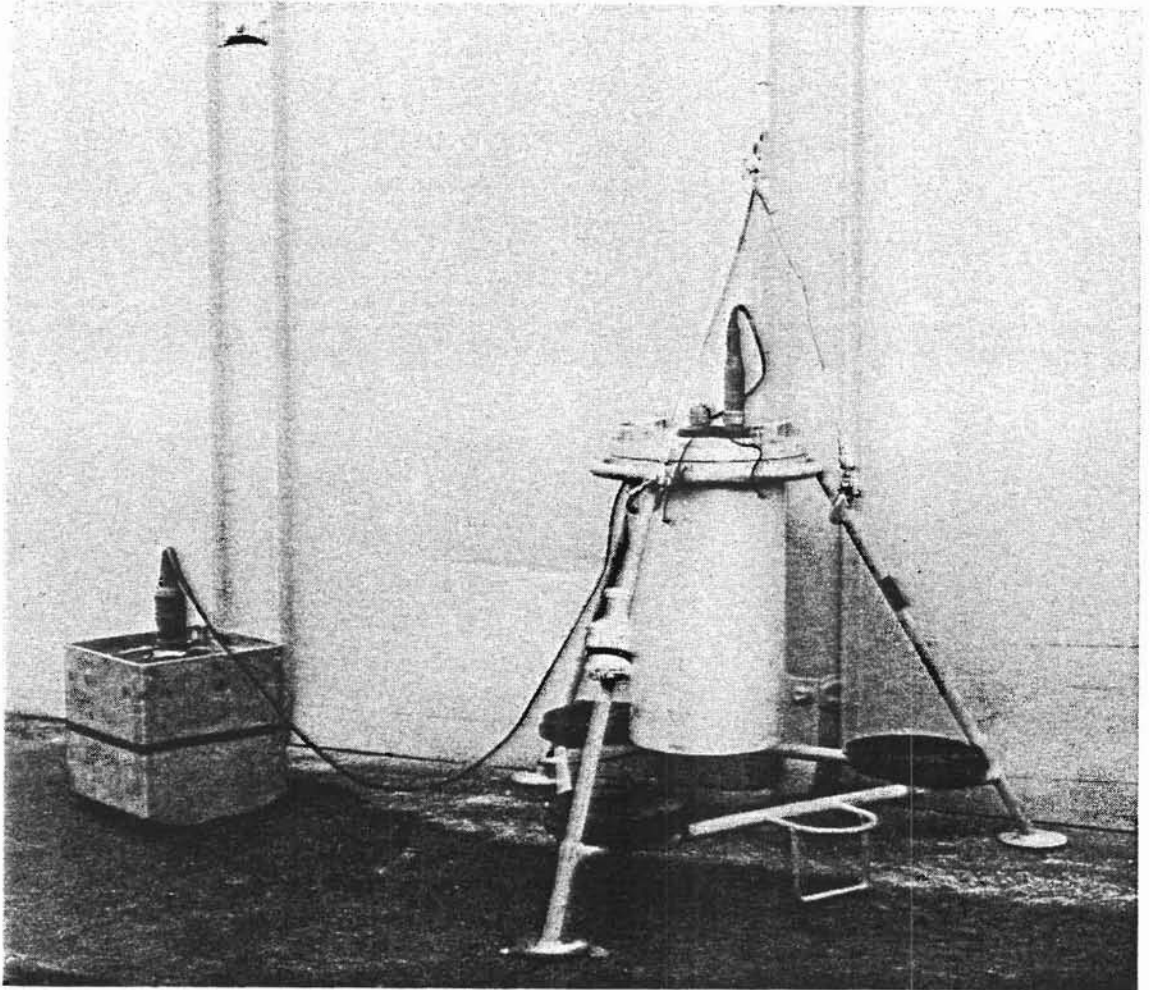
Après la descente du matériel sur le fond, la cloche était mise en place dans le sédiment à l'aide de plongeurs (\*). Ceux-ci, après avoir vérifié l'absence de bulles d'air dans la cloche, l'enfonçaient lentement dans le sédiment de façon à le perturber le moins possible. Ils mesuraient la hauteur d'eau dans la cloche à l'aide d'une règle graduée, et y installaient la tête de sonde. Celle-ci était munie d'un agitateur tournant servant à prévenir une stratification sous la cloche, sans remettre le sédiment en suspension. Le volume d'eau dans la cloche a varié de 5,5 l à 12,5 l selon les mesures. La consommation d'oxygène par la sonde elle-même était négligeable par rapport à celle du sédiment.

Au même moment, de l'eau de fond était prélevée avec une bouteille à renversement. Sa température était notée et des échantillons étaient conservés pour le dosage ultérieur de la salinité et de l'oxygène dissous. Un flacon supplémentaire de cette eau était installé pour incubation à l'obscurité, sur le trépied du respiromètre, durant le temps de mesure de la consommation d'oxygène du sédiment. Cette durée a varié de 3,5 à 47 heures.

Lors de chaque mesure, un échantillon de sédiment a été prélevé pour l'analyse ultérieure de la granulométrie et le dosage de la matière organique.

---

(\* ) Nous tenons à remercier les sapeurs-pompiers de la Ville de Vannes qui ont effectué les plongées nécessaires aux mesures de terrain.



Respiromètre utilisé. A gauche, la cloche métallique surmontée du capteur de la sonde à oxygène (ORBISPHERE). A droite le tripode qui surmonte :

- le container abritant l'oxymètre et l'enregistreur couplé,
- un flacon de type Winkler enrobé de papier aluminium, en situation d'incubation (cf. texte).

Pour des raisons techniques, il n'a pas été possible de disposer comme prévu d'un respiromètre spécialement adapté à la mesure de la consommation d'oxygène de l'eau sus-jacente. En conséquence, les mesures de consommation d'oxygène par l'eau ont été obtenues simplement par comparaison des flacons d'eau de fond cités plus haut.

#### d) Dépouillement des résultats

L'évolution de l'oxygène au cours d'une mesure est représentée sous sa forme brute par un tracé régulier et décroissant plus ou moins rapidement en fonction du temps (cf. figure 2). Au démarrage d'une mesure, après la mise en place de l'appareillage sur le fond, un délai d'un quart d'heure environ est nécessaire pour une équilibration correcte de la sonde à oxygène.

Le calage des valeurs d'oxygène fournies par la sonde est effectué à l'aide du dosage d'oxygène dissous effectué sur l'eau de fond prélevée au début de la mesure. Il se traduit par l'addition (ou la soustraction) d'une valeur constante pour chaque mesure. La courbe ainsi obtenue correspond à la demande en oxygène du sédiment et de l'eau isolés par la cloche. La demande en oxygène du sédiment seul est obtenue par différence entre la demande totale et la demande de l'eau. Cette dernière est elle-même obtenue par différence entre la teneur en oxygène dosée dans le flacon fixé en début de mesure, et celle dosée dans le flacon incubé à l'obscurité durant le temps de la mesure. En fait, la consommation par l'eau s'est avérée très faible par rapport à la consommation totale. Elle a donc été négligée.

#### e) Expression des résultats

L'évolution des teneurs en oxygène observées montre une allure exponentielle décroissante (cf. figures 2 et 3). Ceci est en conformité avec le fait que la consommation des animaux marins diminue (selon des modalités diverses) lorsque la concentration d'oxygène dissous baisse dans le milieu ambiant (PERSON-LE RUYET, 1985 ; MANGUM

FIG.-2-

**EVOLUTION de l'OXYGENE DISSOUS**

**Station OXYMOR 2** — du 24/07 au 25/07/84

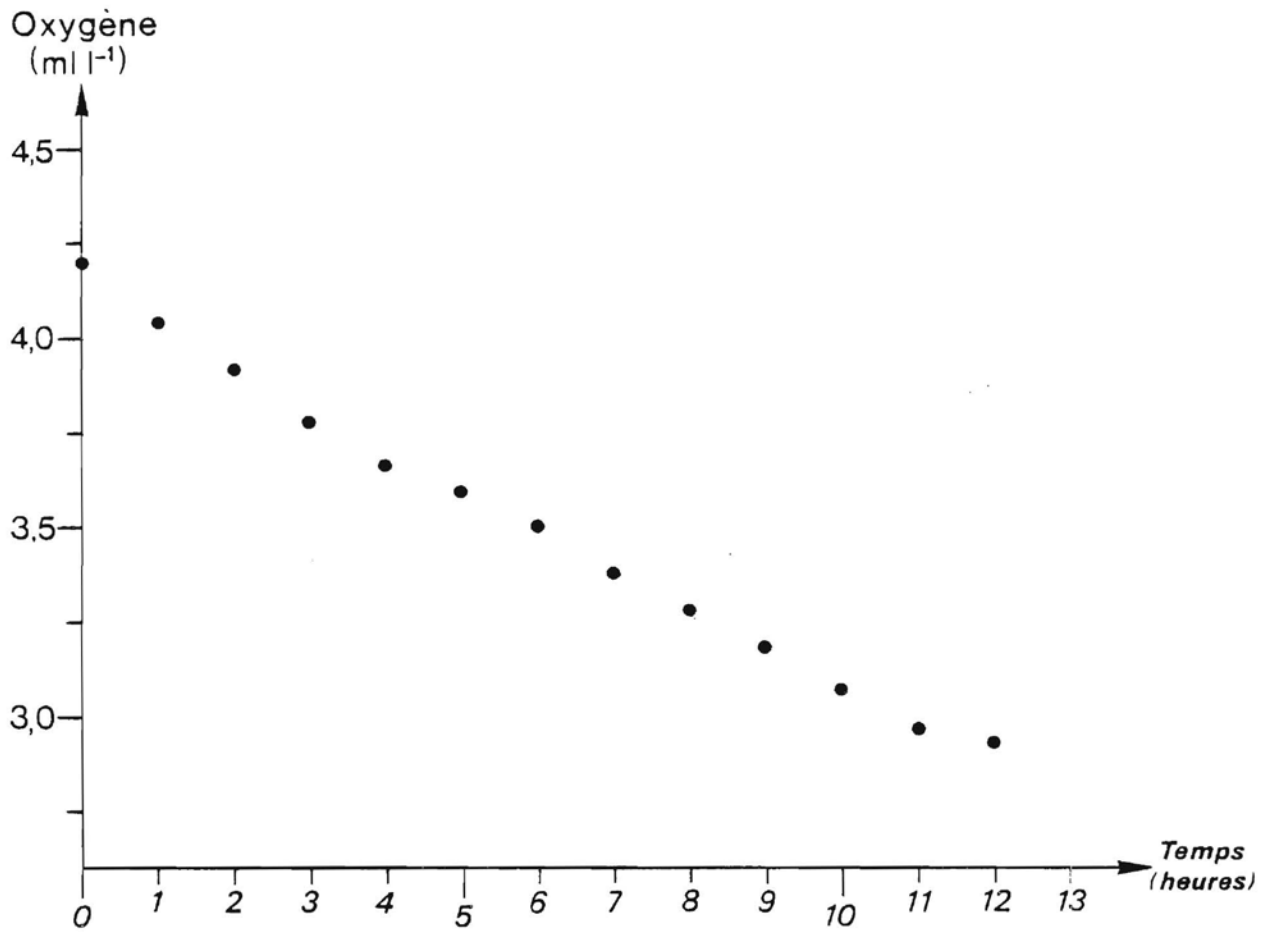
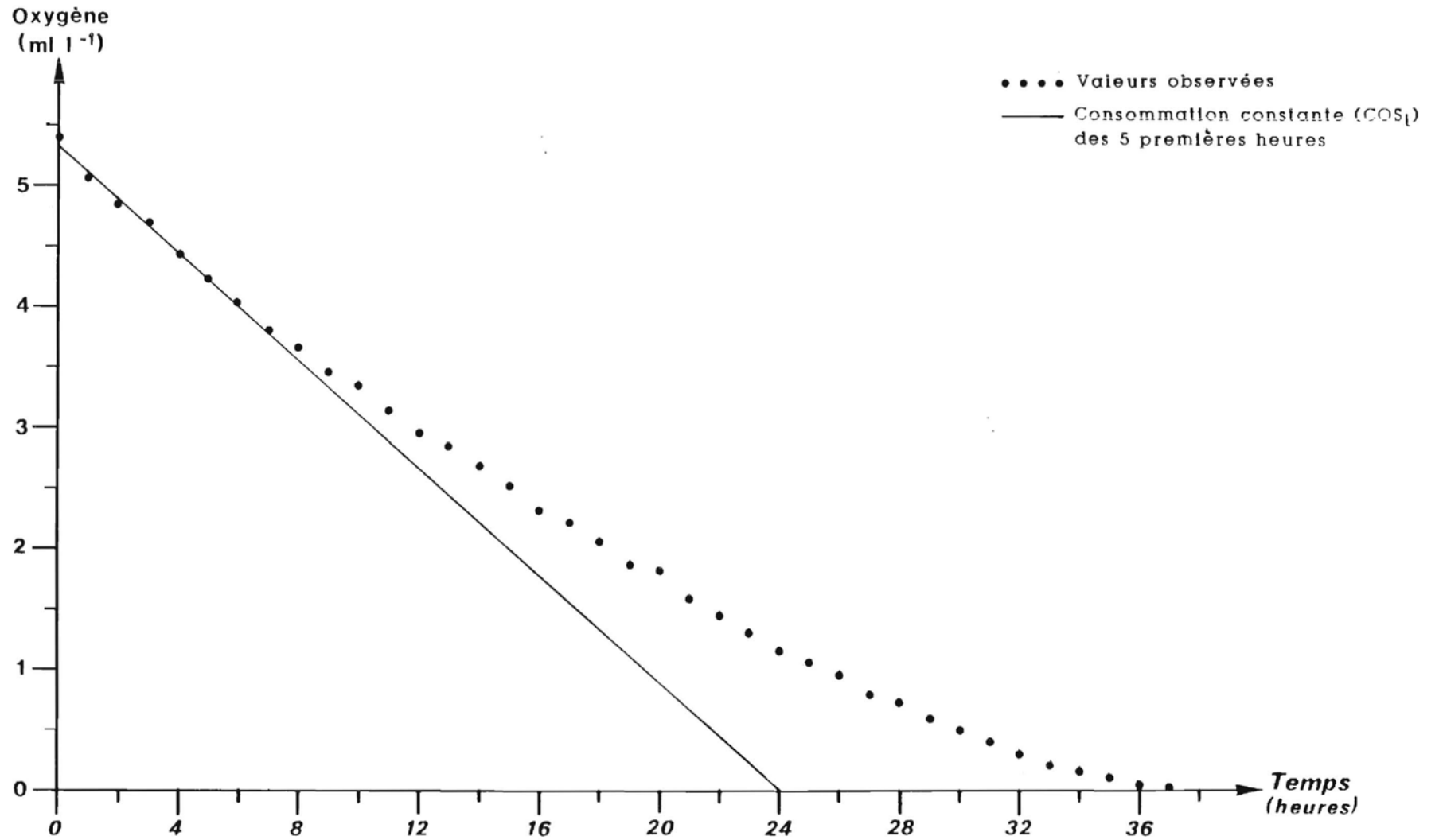


FIG.-3-

EVOLUTION de l'OXYGENE DISSOUS

Station OXYMOR 2 — du 08/10 au 10/10/1984





et VAN WINCKLE, 1973 ; SUBRAHMANYAM, 1980). Nous formulerons cette relation de la façon suivante :

$$\text{COS}_E = kC,$$

où  $\text{COS}_E$  est la consommation d'oxygène du sédiment,  
 $C$  est la concentration d'oxygène dissous ( $\text{ml l}^{-1}$ ),  
 $k$  est le coefficient de proportionnalité que l'on recherche.

On peut évaluer  $k$  en écrivant un bilan d'oxygène dans l'enceinte du respiromètre :

$$\text{soit } Q_0 = VC,$$

où  $Q_0$  est la quantité d'oxygène dissous (ml),  
 $V$  est le volume liquide isolé sous la cloche ( $\text{m}^3$ ).

La variation de  $Q_0$  est donnée par la relation suivante :

$$\frac{dQ_0}{dt} = V \frac{dC}{dt}, \text{ puisque } V \text{ est constant durant chaque mesure.}$$

La consommation par le sédiment lors de chaque mesure est donnée par la relation suivante :

$$\text{consommation} = k C \cdot S,$$

où  $S$  est la surface de sédiment emprisonnée sous la cloche  
 (=  $0,0625 \text{ m}^2$ ).

Puisque, par hypothèse, la variation de la quantité d'oxygène sous la cloche lors de chaque mesure résulte de la consommation d'oxygène par le sédiment, on a :

$$\frac{dC}{dt} = - \frac{S}{V} kC ; \text{ et par intégration il vient :}$$

$$C = C_0 e^{-\frac{S}{V} kt}$$

où  $C_0$  correspond à la valeur initiale de  $C$ ,

$$-K = -\frac{S}{V} k \quad . \quad K \text{ est obtenu par ajustement exponentiel de la}$$

courbe d'évolution de la concentration d'oxygène dissous en fonction du temps.  $K$  est déterminé pour chaque mesure à partir de l'expression  $C_i = C_0 e^{-Kt}$ . D'où  $k = \frac{K \cdot V}{S}$ .

S

Cependant, la quasi totalité de la littérature scientifique traitant de cette question assimile cette courbe à une droite et exprime la consommation d'oxygène par une constante. L'approximation est valable dans la mesure où les temps d'expérience ne dépassent pas quelques heures, et où les teneurs ambiantes en oxygène dissous ne diminuent pas trop. Pour faciliter les comparaisons, nous exprimerons également les consommations d'oxygène du sédiment sous la forme d'une constante, correspondant aux cinq premières heures de mesure au plus. En chaque station, la quantité d'oxygène dissous disponible sous la cloche s'écrit toujours  $Q_0 = V \cdot C$ . Mais, la consommation d'oxygène par le sédiment est alors égale à  $COS_L \cdot S$ ,

où  $COS_L$  est la consommation d'oxygène par le sédiment concerné, prise comme une constante ( $ml \ m^{-2} \ h^{-1}$ ).

Le bilan devient donc :

$$\frac{dC}{dt} = - \frac{COS_L \cdot S}{V}$$

$\frac{dC}{dt} = a$ , et représente la pente de la droite de régression des concentrations d'oxygène dissous en fonction du temps, obtenue à chaque station.

$$\text{D'où il vient, } COS_L = \frac{-a \cdot V}{S}$$

Dans l'exposé des résultats et leur interprétation, nous traiterons la consommation d'oxygène du sédiment selon les deux

modèles précités, consommation constante (décroissance linéaire des concentrations) et consommation proportionnelle à la concentration (décroissance exponentielle).

f) Deux campagnes ont été effectuées :

\* en 1984 d'avril à octobre en une même station (OXYMOR 2) située au milieu de la baie (profondeur = 8 m CM), neuf mesures ont été effectuées pour tenter de discerner l'influence de la température sur la respiration du sédiment (figure 1) ;

\* en 1985 une dizaine de stations réparties dans la baie de la Vilaine ont fait l'objet d'une mesure. L'emplacement des stations (figure 1) a été choisi à l'aide de la carte de bionomie benthique nouvellement établie par LE BRIS et aimablement communiquée. Les mesures se sont déroulées entre la mi-juin et le début de septembre.

g) Analyses

Les dosages d'oxygène en flacon ont été effectués par la méthode de WINKLER au Laboratoire Municipal de Brest.

Les analyses granulométriques du sédiment ont été réalisés à l'IFREMER/Centre de Brest (DERO/EL) selon le schéma suivant : séparation du sédiment en 2 fractions sur un tamis de 63  $\mu\text{m}$ . La fraction de taille supérieure à 63  $\mu\text{m}$  a été passée sur une colonne de tamis simplifiée (100, 200, 500 et 2000  $\mu\text{m}$ ). La fraction fine a fait l'objet d'une analyse microgranulométrique à l'aide d'un compteur de particules COULTER couplé à un logiciel de traitement spécifique. Ce logiciel permet de calculer tous les indices classiques en granulométrie et de figurer les volumes occupés par chaque classe de taille, ainsi que la courbe cumulative correspondante.

La matière organique du sédiment a été dosée par l'intermédiaire du carbone organique contenu (le ratio est de l'ordre

de 2,0/1) \* . Celui-ci a été dosé par le Laboratoire Municipal de Brest par la méthode de ANNE, par oxydation par le bichromate de potassium en milieu sulfurique. Les résultats sont exprimés en milligrammes de carbone organique par gramme de sédiment sec, total, non tamisé.

## II - RESULTATS ET INTERPRETATIONS

### A) Consommation d'oxygène du sédiment

#### 1) Campagne 1984

Elle concerne la station OXYMOR 2.

Consommation constante en fonction du temps. Ces consommations ont été calculées pour les cinq premières heures au plus. Elles sont indiquées dans le tableau II.

Entre les mois d'avril et d'octobre, la consommation d'oxygène du sédiment ( $= \text{COS}_L$ ) au point OXYMOR 2 a évolué dans une gamme comprise entre 17,9 et 59,5  $\text{ml m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Ce maximum de consommation correspond à une mesure lors de laquelle le respiromètre a été installé sur une concentration très dense d'invertébrés benthiques (Pennatulidés). Cette valeur particulière mise à part, la  $\text{COS}_L$  a atteint un maximum de 31,3  $\text{ml m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , et la moyenne a été de 24,4  $\text{ml m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  ( $S = 4,8$ ).

Les valeurs de  $\text{COS}_L$  que l'on peut trouver dans la littérature sont nombreuses. Nous avons restreint la comparaison aux régions subissant plus ou moins régulièrement des anoxies ou des hypoxies des eaux de fond. Nous y avons sélectionné les mesures effectuées in situ et correspondant à des conditions de profondeur, et d'hydroclimatologie relativement proches de la baie de Vilaine (tableau III). On constate que les valeurs observées à OXYMOR 2 correspondent plutôt à la partie inférieure de la gamme de ce qui est observé ailleurs dans des conditions similaires.

\* Ce rapport est compris entre 2,3 et 2,5 pour les glucides, entre 1,2 et 1,5 pour les lipides, et entre 1,8 et 2,2 pour les protides et les acides humiques (communication personnelle de A. AMINOT).

TABLEAU II

CONSOMMATION D'OXYGENE DU SEDIMENT  
CAMPAGNE 1984 - VALEURS CONSTANTES (COS<sub>L</sub>)

| Date           | Durée totale (h) | Volume sous cloche (l) | Température fond (°C) | Salinité fond (g kg <sup>-1</sup> ) | Carbone organique (mg g <sup>-1</sup> de sédiment sec total) | % fines (< 63 µm) | Maxi et mini oxyg. observés (ml l <sup>-1</sup> ) (a) | COS <sub>L</sub> (a) (ml <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ) | r (a) (b) |
|----------------|------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------------|--|-------------------|---|--|-----------|
| 18/04/84       | 2,5              | 6,8                    | 9,6                   | 33,12                               | 12,4   | -                 | 6,12-5,60   | 22,8   | 0,999     |
| 16/05/84       | 12,5             | 8,4                    | 11,0                  | 33,62                               | -  | -                 | 6,00-4,85   | 21,3   | 0,999     |
| 19 au 20/06/86 | 12               | 8,7                    | 11,7                  | 33,19                               | 14,3   | 97,6              | 5,80-4,85   | 17,9   | 0,995     |
| 24 au 25/07/84 | 12               | 12,5                   | 16,0                  | 34,33                               | 10,8   | 7,1 (c)           | 6,00-5,15   | 23,4   | 0,992     |
| 25/07/84       | 5                | 10,6                   | 14,3                  | 34,60                               | 13,1   | 36,8              | 6,50-4,00   | 59,5(d)  | 0,999     |
| 27/07/84       | 3,5              | 9,3                    | 14,1                  | 34,49                               | 12,3   | 54,2              | 3,70-2,90   | 22,6   | 0,994     |
| 05/09/84       | 6,5              | 10,0                   | 18,4                  | 34,26                               | 13,3   | 94,3              | 6,95-5,40   | 31,9   | 0,989     |
| 05 au 06/09/84 | 22               | 8,7                    | 17,0                  | 34,40                               | 11,5   | 86,4              | 5,00-3,35   | 31,3   | 0,998     |
| 08 au 10/10/84 | 47               | 6,8                    | 14,5                  | 34,43                               | 13,3   | 83,2              | 7,70-6,05   | 24,1   | 0,997     |

(a) Durant les cinq premières heures au plus.

(b) Coefficient de corrélation empirique de la régression de la concentration d'oxygène dissous sur le temps.

(c) Très nombreux fragments coquilliers.

(d) Très nombreux pennatulidés sous la cloche.

TABLEAU III

CONSOMMATIONS D'OXYGENE DU SEDIMENT (= COS<sub>L</sub>)  
TIREES DE LA LITTERATURE

| Sites             | Auteurs                                      | Saison              | Durée<br>de mesure<br>(h) | Consommation<br>d'oxygène du<br>sédiment<br>(ml m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ) | Observations  |
|-------------------|--|---------------------|---------------------------|---|---|
| Chesapeake Bay    | KEMP et BOYNTON (1981)<br>PHOEL et al (1981) | 6 mesures/an<br>été | 1 - 3                     | de 8,3 à 146  | Maximum en juin<br>Pour des concentrations<br>ambiantes d'oxygène<br>> 2 ml l <sup>-1</sup> |
|                   | 3 - 19                                       |                     | de 33,0 à 72              |   |   |
| New York Bight    | BOYNTON et KEMP (1985)                       | mai et août         | 1 - 3                     | de 43,7 à 90,4  | Pas de différence évidente<br>entre mai et août   |
|                   | SMITH et al (1974)                           | 4 saisons           | 2 - 4                     | de 28,0 à 53,2  | Zone de rejets de matière<br>organique<br>Hors zone de rejets                               |
|                   |  |                     |                           | de 11,2 à 36,4  |   |
| ROWE et al (1977) | été  | -                   | de 14,3 à 34,1            |   |   |
| Limfjorden        | JORGENSEN (1980)                             | été                 | 1 - 2                     | 10,3  | Anoxie tous les 2 ou 3 ans  |

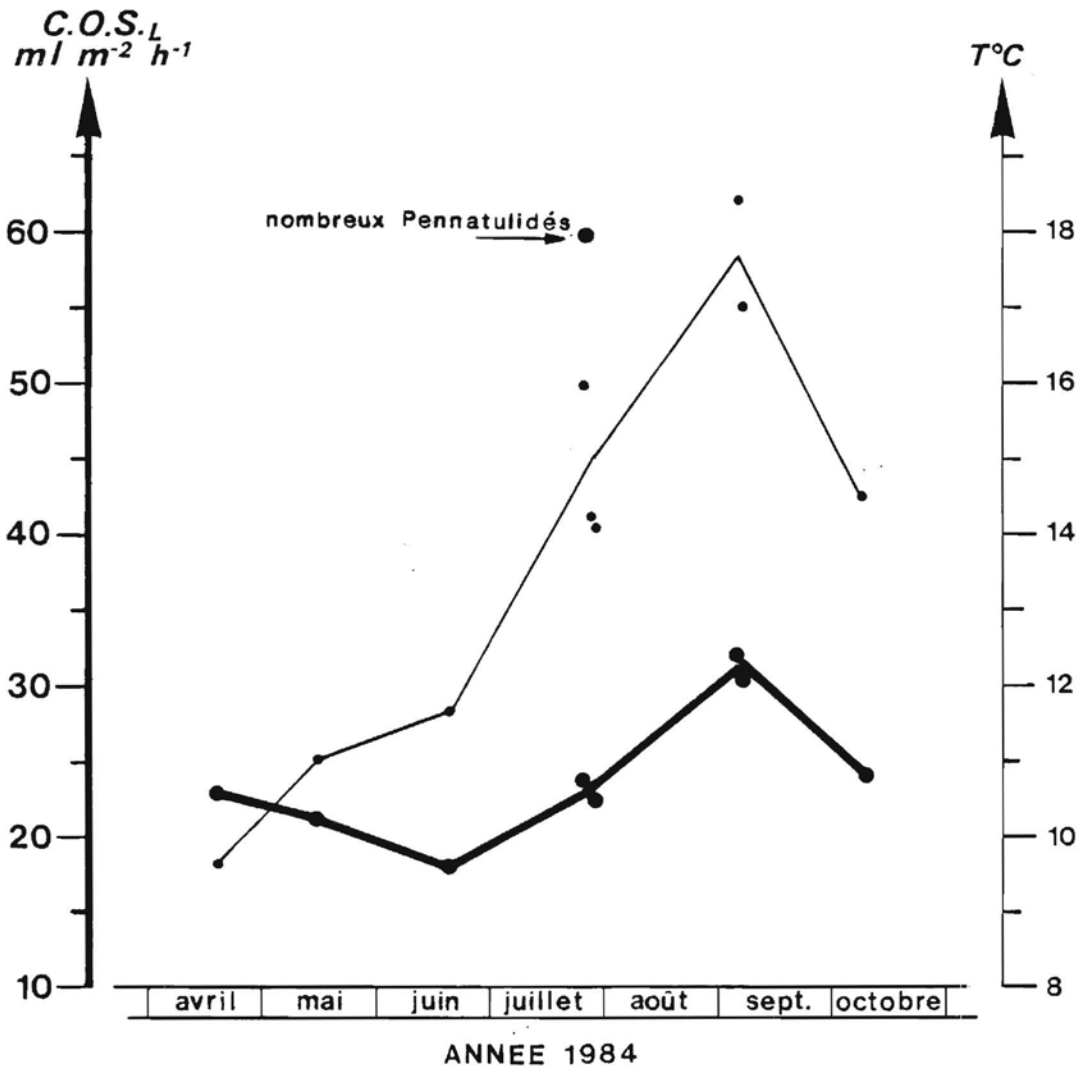
L'évolution de la  $\text{COS}_L$  à OXYMOR 2 au cours du temps est représentée sur la figure 4. La valeur de  $59,5 \text{ ml m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  étant mise à part, la méthode de mesure montre sa très bonne reproductibilité à l'occasion des observations rapprochées de la fin du mois de juillet et du début de septembre. Le tracé correspond à une demande relativement stable d'avril à fin juillet, suivie d'une hausse jusqu'en septembre, elle même suivie d'une diminution en octobre.

Des corrélations ont été testées entre le  $\text{COS}_L$  et divers paramètres du milieu à priori susceptibles de l'influencer : température et teneur initiale en oxygène dissous de l'eau de fond, pourcentage de matières fines et de carbone organique du sédiment. La variation de la salinité de (33,12 à 34,60 ‰) a été jugée trop faible pour pouvoir jouer un rôle significatif, et ce paramètre n'a pas été testé. Le pourcentage de matières fines ainsi que la teneur en carbone organique du sédiment ne présentent pas de liaison avec la  $\text{COS}_L$ . Bien qu'assez paradoxale, l'absence de liaison apparente entre matière organique et  $\text{COS}_L$  a été également observée par plusieurs auteurs (EDBERG et HOFSTEN ; HARGRAVE ; THOMAS et al). Il est possible que le carbone organique constitue un paramètre trop global, recouvrant des substances organiques de nature et de dégradabilité très différentes. De plus, à OXYMOR 2, la teneur en carbone organique du sédiments varie relativement peu durant la période considérée. En revanche, l'absence de corrélation entre la  $\text{COS}_L$  et l'oxygène ambiant semble imputable à l'influence prépondérante de la température qui la masque ; en fait, cette liaison existe bien comme nous le verrons plus loin.

Entre le  $\text{COS}_L$  et la température, nous avons testé différents types de relation : exponentiel, logarithmique, puissance, linéaire. Toutes ces relations sont significatives avec une probabilité d'erreur comprise entre 1 et 5 %. On observe d'ailleurs dans la littérature que chaque type de relation a été utilisé par un auteur ou par un autre. La meilleure adéquation de telle ou telle relation dépendrait de la position de la gamme des températures concernées par rapport à l'optimum thermique du système étudié (EDBERG et HOFSTEN, 1973). La

FIG.-4-

**EVOLUTION**  
**de la CONSOMMATION d'OXYGENE du SEDIMENT**  
**et de la TEMPERATURE**  
**OXYMOR 2 -1984-**





respiration augmenterait d'autant moins vite avec la température que l'on se rapproche de l'optimum thermique. Pour notre part, nous avons choisi la relation linéaire, car elle présentait le meilleur coefficient de corrélation (figure 5).

$$\text{COS}_L = 1,247 t + 6,901 \quad (r = 0,796 ; n = 8).$$

A OXYMOR 2 le  $\text{COS}_L$  est donc de  $29,3 \text{ ml m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  à  $18^\circ\text{C}$  et de  $16,9 \text{ ml m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  à  $8^\circ\text{C}$  (mesure du 25.7 mise à part). Le Q10 calculé entre ces deux températures (gamme annuelle des températures au fond) est de 1,74. Pour des plages de température comparables à celles rencontrées en baie de Vilaine, THOMAS et al observent dans le New-York Bight Apex un Q10 de 1,3 à 2,3, tandis que SMITH (1974) en note un de 1,64 et GARSIDE et MALONE un de 2,38. En eau douce, EDBERG et HOFSTEN indiquent 2,1, Mc DONNEL et Hall 1,9, et HARGRAVE (1969) 2,2.

#### Consommation en fonction de la concentration en oxygène dissous

Il n'est pas possible d'appliquer aux basses teneurs en oxygène les consommations linéaires calculées à partir des premières heures de mesure. La figure 3 montre qu'en extrapolant ainsi, la durée d'épuisement de l'oxygène sous la cloche est de 24 heures, alors qu'elle fut en réalité de 37 heures environ. Une expression linéaire simple de la consommation n'est donc pas utilisable sur une gamme étendue de teneurs en oxygène ; elle est mal adaptée en particulier à la modélisation des phénomènes d'anoxie/hypoxie.

Le tracé des observations 1984 au point OXYMOR 2 en coordonnées semi-logarithmiques permet de vérifier le caractère exponentiel de l'évolution des concentrations d'oxygène dissous au cours du temps (figures 6 et 7). La pente de chaque mesure est le coefficient K à partir duquel nous obtenons k, coefficient de proportionnalité entre consommation et concentration d'oxygène ( $k = \frac{K}{V}$ ). Les différentes valeurs de k sont groupées dans le tableau IV. <sup>S</sup> Le coefficient k est exprimé en mètres par jour, les concentrations d'oxygène (C) le sont en millilitres par litre, et si elle était exprimée, la  $\text{COS}_E$  le serait en millilitres par mètre carré et par jour ( $\text{COS}_E = 10^3 kC$ ).

FIG.-5-

**CORRELATION TEMPERATURE**  
**Consommation d'Oxygène du Sédiment**  
**OXYMOR 2 -1984-**

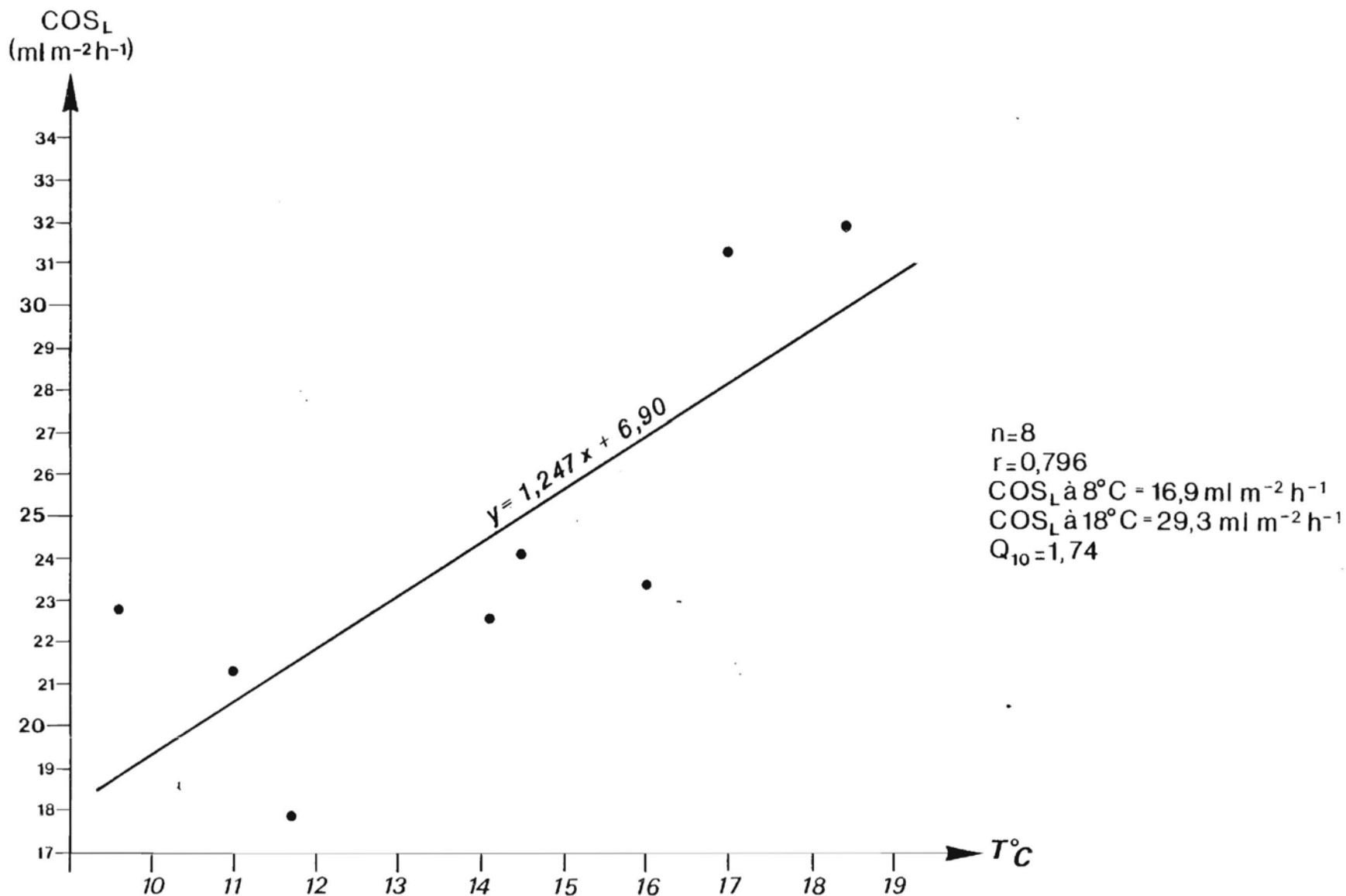


FIG-6-

**EVOLUTION des CONCENTRATIONS d'OXYGENE**  
**OXYMOR 2 - 1984 -**

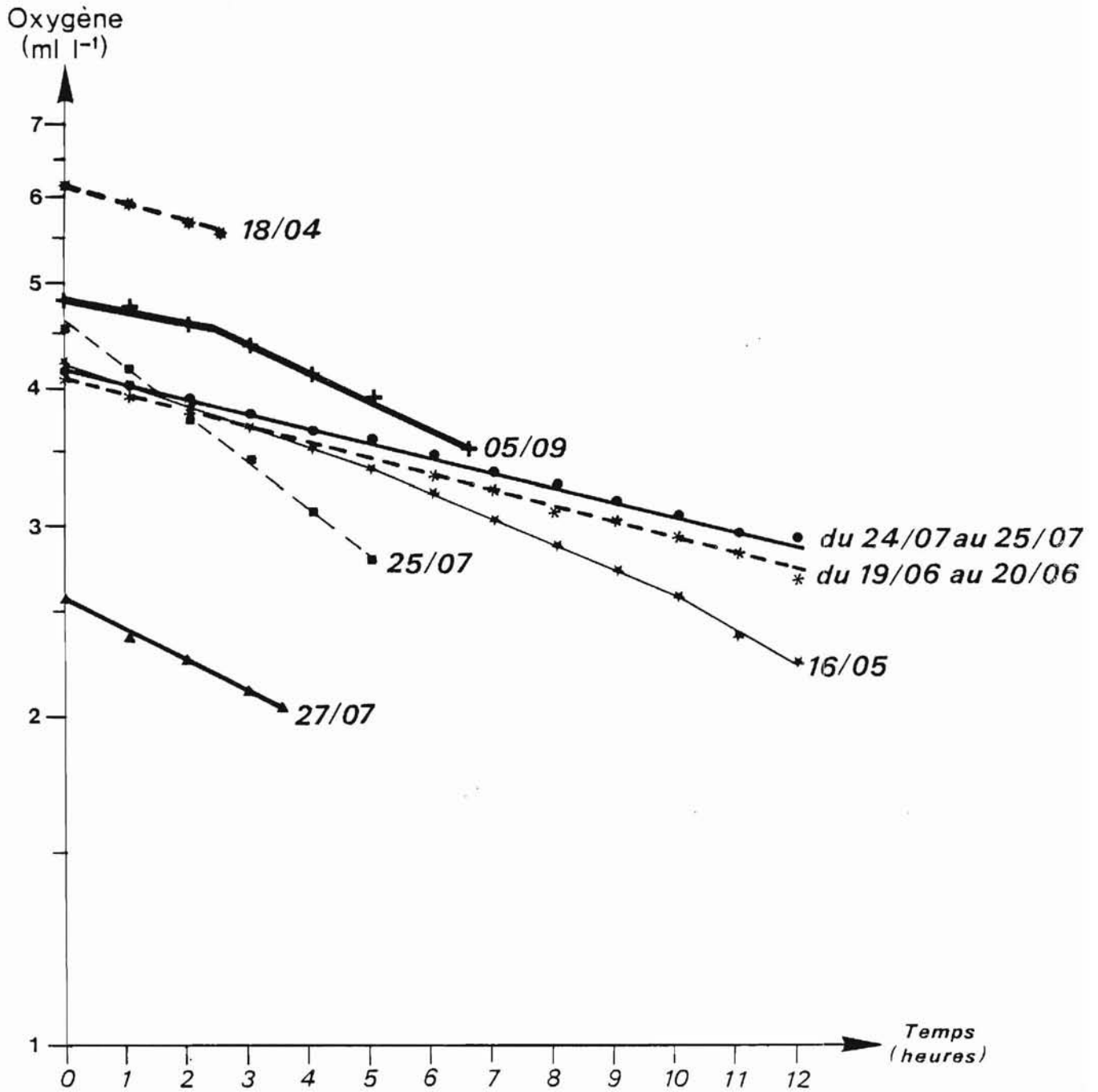
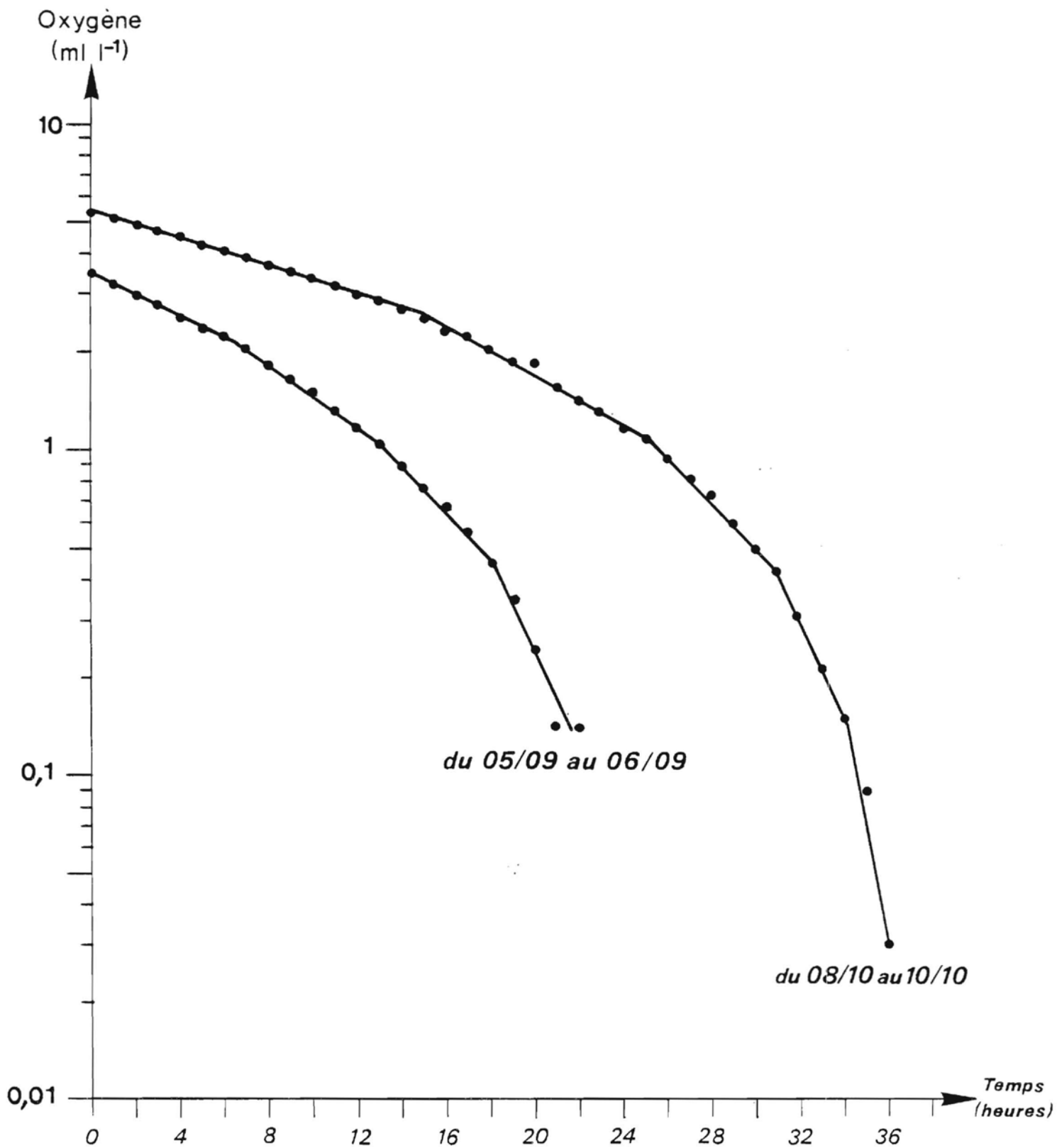


FIG-7-

**EVOLUTION des CONCENTRATIONS d'OXYGENE**

**OXYMOR 2 - 1984 -**



Pour certaines mesures où l'enregistrement a été un peu prolongé, le tracé des concentrations en fonction du temps correspond à une succession de courbes exponentielles de pentes différentes. Les premiers changements de pente se produisent généralement à des teneurs en oxygène inférieures à  $3,5 \text{ ml l}^{-1}$ . Plusieurs explications peuvent être avancées. On peut supposer que cette modification de la consommation correspond au démarrage de différents stades de la transformation de la matière organique dégradable, ou à un changement de la respiration du benthos. D'autre part, il a pu être noté que l'addition algébrique d'une valeur constante d'oxygène durant la totalité de la mesure permet de linéariser le tracé et de transformer la relation en une exponentielle unique. On pourrait donc aussi incriminer un calage défectueux de la sonde. Les  $k$  successifs correspondants ont été portés sur le tableau IV ( $k_2$ ,  $k_3$ , etc.).

L'ensemble des coefficients  $k$  est représenté sur la figure 8 en fonction des teneurs en oxygène correspondantes. Pour les teneurs ambiantes supérieures à  $2,5 \text{ ml l}^{-1}$ , les valeurs de  $k$  sont assez comparables et se situent entre 0,09 et 0,25. Puis lorsque l'oxygène diminue encore,  $k$  augmente de plus en plus rapidement.

Globalement, les mesures effectuées en 1984 à OXYMOR nous apprennent que les facteurs primordiaux réglant la consommation d'oxygène du sédiment sont la teneur ambiante en oxygène, la température, et l'abondance de la biomasse benthique dont l'importance a été aperçue à une occasion.

## 2) Campagne 1985

Les mesures ont été effectuées en 9 stations localisées sur la figure 1. Elles se sont déroulées entre la mi-juin et la mi-septembre.

### - Consommation constante en fonction du temps ( $\text{COS}_L$ )

Elle a été calculée à partir des cinq premières heures de mesure au plus (cf. Tableau V).

TABLEAU IV

## FACTEUR k AU POINT FIXE OXYMOR 2 (1984)

| Date        | $k_1$<br>( $m j^{-1}$ ) | Gamme<br>oxygène<br>( $ml l^{-1}$ ) | $k_2$<br>( $m j^{-1}$ ) | Gamme<br>oxygène<br>( $ml l^{-1}$ ) | $k_3$<br>( $m j^{-1}$ ) | Gamme<br>oxygène<br>( $ml l^{-1}$ ) | $k_4$<br>( $m j^{-1}$ ) | Gamme<br>oxygène<br>( $ml l^{-1}$ ) |
|-------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 18/04       | 0,094                   | 6,1 - 5,6                           |                         |                                     |                         |                                     |                         |                                     |
| 16/05       | 0,130                   | 4,2 - 3,5                           | 0,177                   | 3,5 - 2,6                           | 0,213                   | 2,6 - 2,2                           |                         |                                     |
| 19 et 20/06 | 0,110                   | 4,1 - 2,7                           |                         |                                     |                         |                                     |                         |                                     |
| 24 et 25/07 | 0,139                   | 4,2 - 2,9                           |                         |                                     |                         |                                     |                         |                                     |
| 25/07 *     | 0,411                   | 4,6 - 2,8                           |                         |                                     |                         |                                     |                         |                                     |
| 27/07       | 0,229                   | 2,6 - 2,0                           |                         |                                     |                         |                                     |                         |                                     |
| 05/09       | 0,104                   | 4,9 - 4,5                           | 0,234                   | 4,5 - 3,5                           |                         |                                     |                         |                                     |
| 05 et 06/09 | 0,251                   | 3,5 - 2,2                           | 0,357                   | 2,2 - 1,0                           | 0,548                   | 0,9 - 0,5                           | 1,086                   | 0,5 - 0,1                           |
| 08 au 10/10 | 0,131                   | 5,4 - 2,5                           | 0,225                   | 2,5 - 1,1                           | 0,431                   | 0,9 - 0,4                           | 0,909                   | 0,4 - 0,1                           |

\* Très nombreux Pennatulidés.

TABLEAU V

CONSUMMATION D'OXYGENE DU SEDIMENT  
CAMPAGNE 1985 - VALEURS CONSTANTES (COS<sub>L</sub>)

| Station          | Date           | Durée totale (h) | Volume sous cloche (l) | Température (°C) | Salinité fond. (g l <sup>-1</sup> ) | Carbone organique (mg g <sup>-1</sup> de sédiment sec total) | % Fines (< 63 µm) | Biomasse (g mat.sèche m <sup>-2</sup> ) (c) | Maxi et mini oxyg. observés (a) (ml l <sup>-1</sup> ) | COS <sub>L</sub> (a) (ml m <sup>2</sup> h <sup>-1</sup> ) | r (a) (b) |
|------------------|----------------|------------------|------------------------|------------------|-------------------------------------|--|-------------------|---|---|---|-----------|
| 7                | 17/06          | 16,0             | 9,3                    | 11,7             | 35,04                               | 10,5   | 98,5              | > 20  | 3,67 - 2,27   | 41,3  | 0,996     |
| 38               | 19/06          | 11,0             | 10,6                   | 16,2             | 32,04                               | 9,8  | 87,5              | 1   | 6,96 - 5,39   | 51,5  | 0,998     |
| 34               | 20/06          | 10,5             | 10,6                   | 14,9             | 33,59                               | 1,6  | 2,97              | 5   | 6,26 - 5,21   | 36,1  | 0,998     |
| 12               | 27/06          | 11,0             | 6,8                    | 13,5             | 34,61                               | 5,3  | 31,4              | < 10  | 3,81 - 1,64   | 46,4  | 0,997     |
| 31               | 04/07          | 5,5              | 8,7                    | 16,3             | 33,85                               | 2,1  | 39,0              | 4   | 6,23 - 5,07   | 32,1  | 0,999     |
| 26               | 04 et 5/07     | 14,0             | 5,5                    | 16,4             | 33,83                               | 4,1  | 48,7              | 4   | 6,30 - 3,53   | 49,8  | 0,998     |
| 29               | 10 et 11/9     | 10,5             | 8,7                    | 18,5             | 33,80                               | 9,0  | 40,1              | < 10  | 5,25 - 3,01   | 51,7  | 0,991     |
| 18               | 11 et 12/9     | 13,0             | 6,8                    | 19,8             | 34,21                               | 14,0   | 33,8              | > 30  | 5,04 - 2,87   | 46,5  | 0,994     |
| 35               | 12/09          | 5,5              | 8,7                    | 17,9             | 34,43                               | 8,8  | 33,5              | 22  | 4,37 - 3,04   | 35,0  | 0,990     |
| Baie de Quiberon | 21/06/85       | 5,0              |                        | 14,4             | 34,56                               | 6,1  | 29,4              |   | 6,37 - 3,60   | 69,8  | 0,999     |
| Etang du Frêt    | 22/08/84       | 4,5              |                        | 21,5             | 35,15                               | 88,9   | 66,1              |   | 4,93 - 1,85   | 64,4  | 0,996     |
| Etang du Frêt    | 22 et 23 08/84 | 14,5             |                        | 21,5             | 35,06                               | -  | 55,8              |   | 6,86 - 3,43   | 73,3  | 0,996     |
| Port de Brest    | 20/09/84       | 5,0              |                        | 16,1             | 35,07                               | 21,2   | 42,7              |   | 5,39 - 2,90   | 48,8  | 0,997     |

a) Durant les cinq premières heures au plus.

b) Coefficient de corrélation empirique de la régression de la concentration d'oxygène dissous sur le temps.

c) D'après une carte provisoire des biomasses de LE BRIS (non publiée).

Pour les différentes stations de la Baie de Vilaine, la consommation minimale observée a été de  $32,1 \text{ ml m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , et la valeur maximale de  $51,7 \text{ ml m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ; la moyenne des observations est de  $43,4 \text{ ml m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  ( $S = 7,5$ ). Le minimum observé en 1985 est légèrement supérieur au maximum mesuré à OXYMOR 2 en 1984. Pour des raisons matérielles, il ne nous a pas été possible de refaire en 1985 une mesure à OXYMOR 2 pour effectuer un calage interannuel. En revanche, les valeurs observées en 1985 en Baie de Vilaine sont très comparables aux mesures effectuées à l'étranger et listées au tableau III.

Les consommations observées en Baie de Vilaine restent cependant inférieures à ce que nous avons pu mesurer nous-mêmes ailleurs avec le même appareil :

- en Baie de Quiberon, sur le parc d'élevage expérimental d'huitres de l'IFREMER ( $69,8 \text{ ml m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ),

- dans le Port de Brest à environ 300 mètres de l'exutoire de la station d'épuration de Brest-Port ( $48,8 \text{ ml m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ),

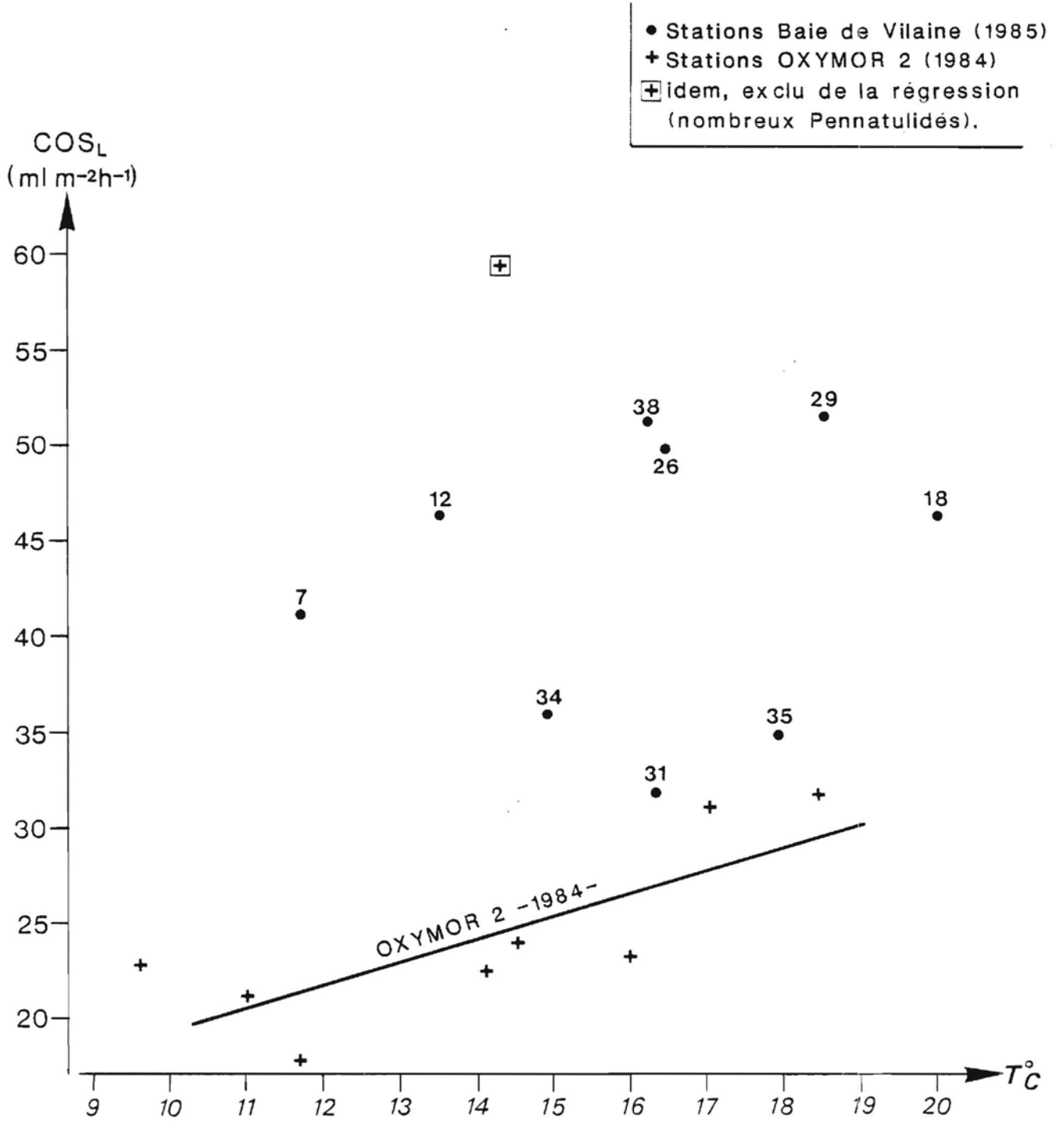
- dans l'étang du Frêt, étang côtier de la rade de Brest, très eutrophisé ( $64,4$  et  $73,3 \text{ ml m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ).

Il aurait été intéressant de normaliser en température les  $\text{COS}_L$  de la baie de Vilaine à partir de la relation extraite des résultats d'OXYMOR 2 (cf. figure 9). Mais rien ne permet de choisir la modalité de correction : faut-il conserver la pente de la droite et faire varier d'ordonnée à l'origine ou inversement ? Nous n'avons pas trouvé dans la littérature de traitement de ce type. Par ailleurs, on constate sur la figure 9 que la variation de la  $\text{COS}_L$  induite à OXYMOR 2 par l'effet de la température ( $12 \text{ ml m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ), est nettement inférieure à la variation entre stations à température égale ( $20 \text{ ml m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ). Cette dernière variation peut être imputée à une différence de biomasse des divers compartiments benthiques (macro, méio et microbenthos), de la consommation d'origine biochimique, de la concentration d'oxygène ambiante. Pour ces raisons, nous n'avons pas effectué de normalisation en température.



FIG-9-

**RELATION entre  $COS_L$  et TEMPERATURE**  
**BAIE de VILAINE et OXYMOR 2**



Des corrélations ont été testées entre la  $COS_L$  d'une part, et d'autre part le pourcentage de matières fines, la teneur en carbone organique des sédiments, la salinité de l'eau de fond, des données provisoires de la biomasse sèche du sédiment, aimablement fournies par LE BRIS (non publiées). Seule une régression linéaire de la  $COS_L$  avec le pourcentage de matières fines présente un coefficient de corrélation à la limite de la significativité ( $0,05 < p < 0,1$ ).

Par ailleurs, sur la fraction granulométrique de taille inférieure à  $63 \mu m$ , des microgranulométries ont été systématiquement effectuées. Sur l'ensemble des stations (OXYMOR 2 compris), le diamètre moyen des grains est compris entre 28 et  $49 \mu m$  ( $10 < S < 16$ ). En fait, la très grande majorité des observations se situe entre 30 et  $40 \mu m$ .

D'un point de vue global, la consommation d'oxygène du sédiment en baie de Vilaine a pu être estimée, en multipliant la  $COS_L$  des différentes stations par l'aire des unités de peuplements correspondants incluse dans la zone (figure 10, d'après LE BRIS). L'évaluation est effectuée dans le tableau VI. La demande en oxygène du sédiment situé sous la pycnocline est de  $6944 m^3$  d'oxygène par heure. Cela correspond à une consommation moyenne pondérée du sédiment en Baie de Vilaine de  $44,0 ml m^{-2} h^{-1}$ . Cette  $COS_L$  moyenne se trouve être quasiment identique dans la zone interne et dans la zone externe. Ces estimations ne sont évidemment utilisables que pour des teneurs en oxygène ambiant moyennes ou élevées (par exemple  $> 50 \%$  de la valeur de saturation).

- Consommation en fonction de la concentration en oxygène dissous

L'évolution temporelle des concentrations d'oxygène dissous aux différentes stations de la Baie de Vilaine a été tracée dans un repère semi-logarithmique (figure 11), mettant ainsi en évidence sa forme exponentielle. Comme à OXYMOR 2, on note qu'en une même station,

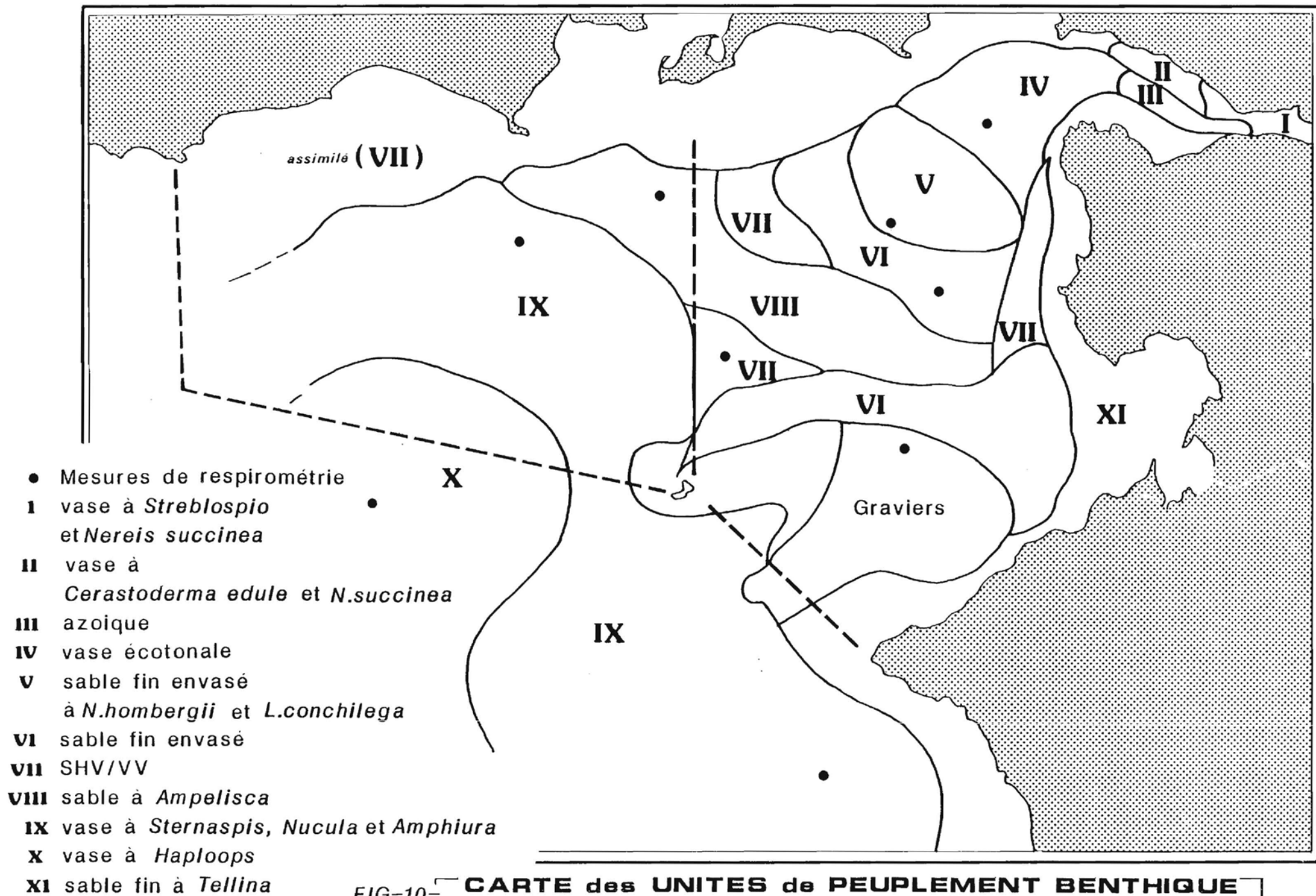


FIG.-10- **CARTE des UNITES de PEUPLEMENT BENTHIQUE**  
 (d'après LE BRIS, document provisoire)

TABLEAU VI

## CONSOMMATION D'OXYGENE DU SEDIMENT

(COS<sub>L</sub>) DE LA BAIE DE VILAINE (> 3 mètres CM)

| Peuplement         | Station | COS <sub>L</sub><br>(ml m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> ) | ZONE INTERNE (I)           |   | ZONE EXTERNE (II)          |   |
|--------------------|---------|---|----------------------------|---|----------------------------|---|
|                    |         |   | AIRE<br>(km <sup>2</sup> ) | DOS <sub>L</sub> *<br>(m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ) | AIRE<br>(km <sup>2</sup> ) | DOS <sub>L</sub> *<br>(m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ) |
| IV                 | 38      | 51,5  | 0,88                       | 45,3  | -                          | -   |
| V                  | 31      | 32,1  | 2,65                       | 85,1  | -                          | -   |
| VI                 | 26      | 49,8  | 29,98                      | 1493,0  | -                          | -   |
| VII                | 35      | 35,0  | 7,56                       | 264,6   | -                          | -   |
| VIII               | 29      | 51,7  | 15,00                      | 775,5   | 6,32                       | 326,7   |
| IX                 | 18 et 7 | 43,9  | 0,88                       | 38,6  | 55,13                      | 2420,2  |
| X                  | 12      | 46,4  | -                          | -   | 8,53                       | 395,8   |
| Graviers de Piriac | 34      | 36,1  | 17,20                      | 620,9   | -                          | -   |
| Autres (# VII)     | 35      | 35,0  | p.m.                       | -   | 13,67                      | 478,4   |
| TOTAUX             |         |   | 74,15                      | 3323,0  | 83,65                      | 3261,1  |

\* DOS<sub>L</sub> : Demande en oxygène du sédiment (d'après modèle "linéaire").

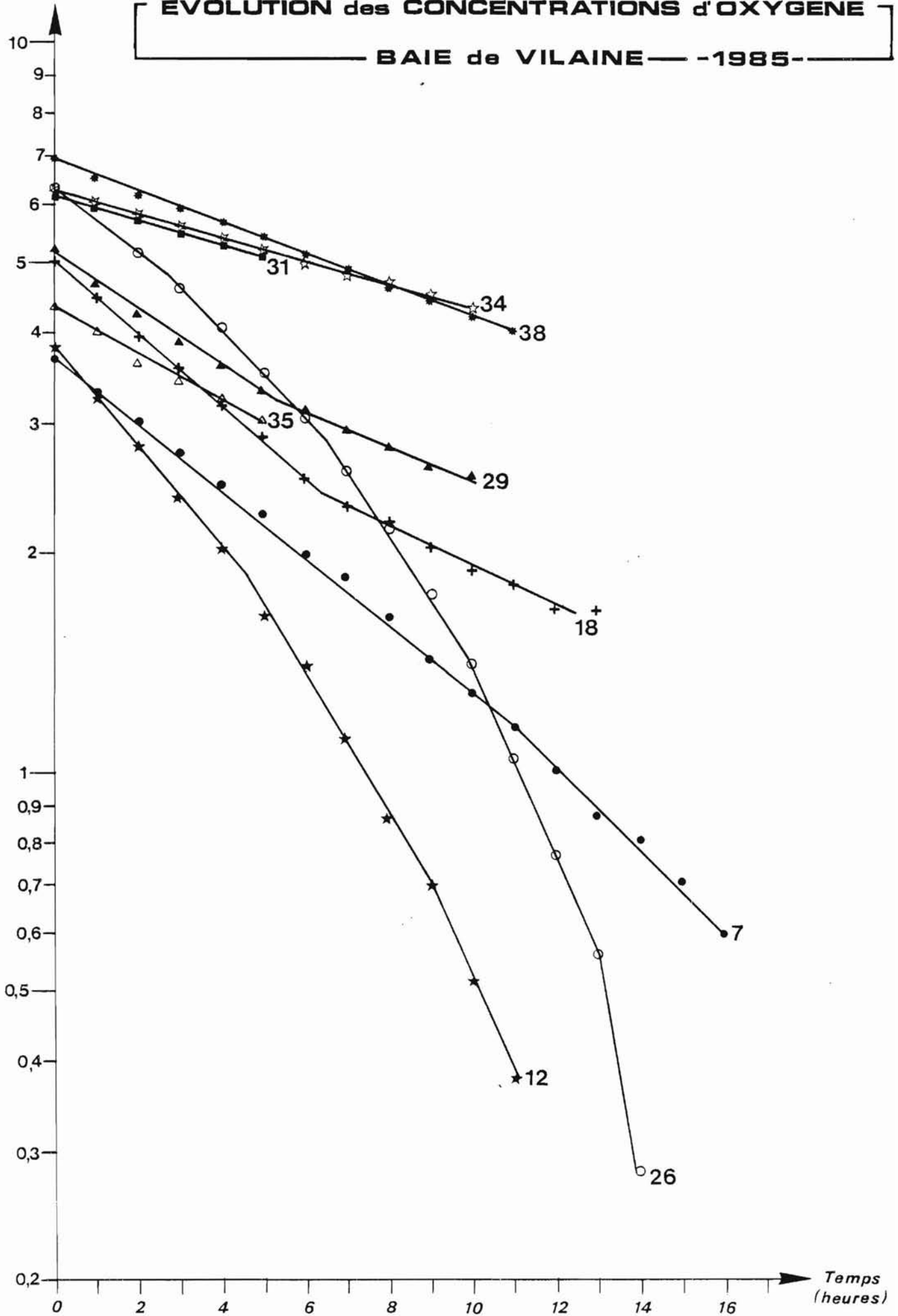
DOS<sub>L</sub> de la Baie de Vilaine : 6944,1 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>

Oxygène  
(ml l<sup>-1</sup>)

FIG.-11-

EVOLUTION des CONCENTRATIONS d'OXYGENE

BAIE de VILAINE -1985-



des pentes successives (K) peuvent exister lors d'une mesure prolongée. Les valeurs de k qui en sont issues (k1, k2, etc.) ont été regroupées dans le tableau VII. Les hypothèses explicatives sont les mêmes que celles proposées pour la campagne 1984. Les différentes valeurs de k en fonction des teneurs en oxygène dissous sont représentées sur la figure 12.

La décroissance exponentielle de l'oxygène dissous a été globalisée à l'échelle de la totalité de la baie de Vilaine (tableau VIII). Pour cela, nous avons pratiqué une uniformisation des k aux stations 7, 12, 26, 29 et 18, à l'aide d'un recalage numérique constant de K comme indiqué à propos de la campagne 1984. Les k des différents stations ont été pondérés par les superficies des unités de peuplement benthique correspondantes. Le k moyen ainsi obtenu pour l'ensemble de la baie de Vilaine est de 0,246. On peut alors estimer un temps moyen d'abattement de l'oxygène de l'eau de fond suivant l'expression suivante :

$$C_m = C_{m0} e^{-\frac{0,246}{h} t}, \text{ soit } t = \frac{h (\text{Log } C_{m0} - \text{Log } C_m)}{0,246},$$

- où -  $C_{m0}$  est la concentration initiale d'oxygène de l'eau de fond ( $\text{ml l}^{-1}$ ),
- $C_m$  est la concentration finale d'oxygène de l'eau de fond ( $\text{ml l}^{-1}$ ),
  - $h$  est la hauteur d'eau de fond (en mètres) concernée par la consommation du sédiment (= à priori la hauteur d'eau située sous la pycnocline),
  - $t$  est le temps nécessaire pour abaisser la valeur du  $C_{m0}$  à  $C_m$  (en jours).

TABLEAU VII

## FACTEUR k EN BAIE DE VILAINE (1985)

| Station | k1<br>(m j <sup>-1</sup> ) | Gamme<br>oxygène<br>(ml l <sup>-1</sup> ) | k2<br>(m j <sup>-1</sup> ) | Gamme<br>oxygène<br>(ml l <sup>-1</sup> ) | k3<br>(m j <sup>-1</sup> ) | Gamme<br>oxygène<br>(ml l <sup>-1</sup> ) | k4<br>(m j <sup>-1</sup> ) | Gamme<br>oxygène<br>(ml l <sup>-1</sup> ) |
|---------|----------------------------|---|----------------------------|---|----------------------------|---|----------------------------|---|
| 7       | 0,378                      | 3,67 - 1,15                               | 0,450                      | 1,15 - 0,59                               |                            |   |                            |   |
| 38      | 0,203                      | 6,96 - 4,02                               |                            |   |                            |   |                            |   |
| 34      | 0,155                      | 6,26 - 4,20                               |                            |   |                            |   |                            |   |
| 12      | 0,433                      | 3,81 - 1,82                               | 0,559                      | 1,82 - 0,70                               | 0,781                      | 0,70 - 0,38                               |                            |   |
| 31      | 0,134                      | 6,23 - 4,97                               |                            |   |                            |   |                            |   |
| 26      | 0,220                      | 6,30 - 4,90                               | 0,294                      | 4,90 - 2,80                               | 0,422                      | 2,80 - 1,40                               | 0,646                      | 1,40 - 0,56                               |
| 29      | 0,274                      | 5,25 - 3,25                               | 0,184                      | 3,25 - 2,45                               |                            |   |                            |   |
| 18      | 0,292                      | 5,04 - 2,41                               | 0,154                      | 2,41 - 1,68                               |                            |   |                            |   |
| 35      | 0,214                      | 4,37 - 2,97                               |                            |   |                            |   |                            |   |

FIG-12-

**RELATION de  $k$**   
**avec la CONCENTRATION d'OXYGENE DISSOUS**  
**BAIE de VILAINE -1985-**

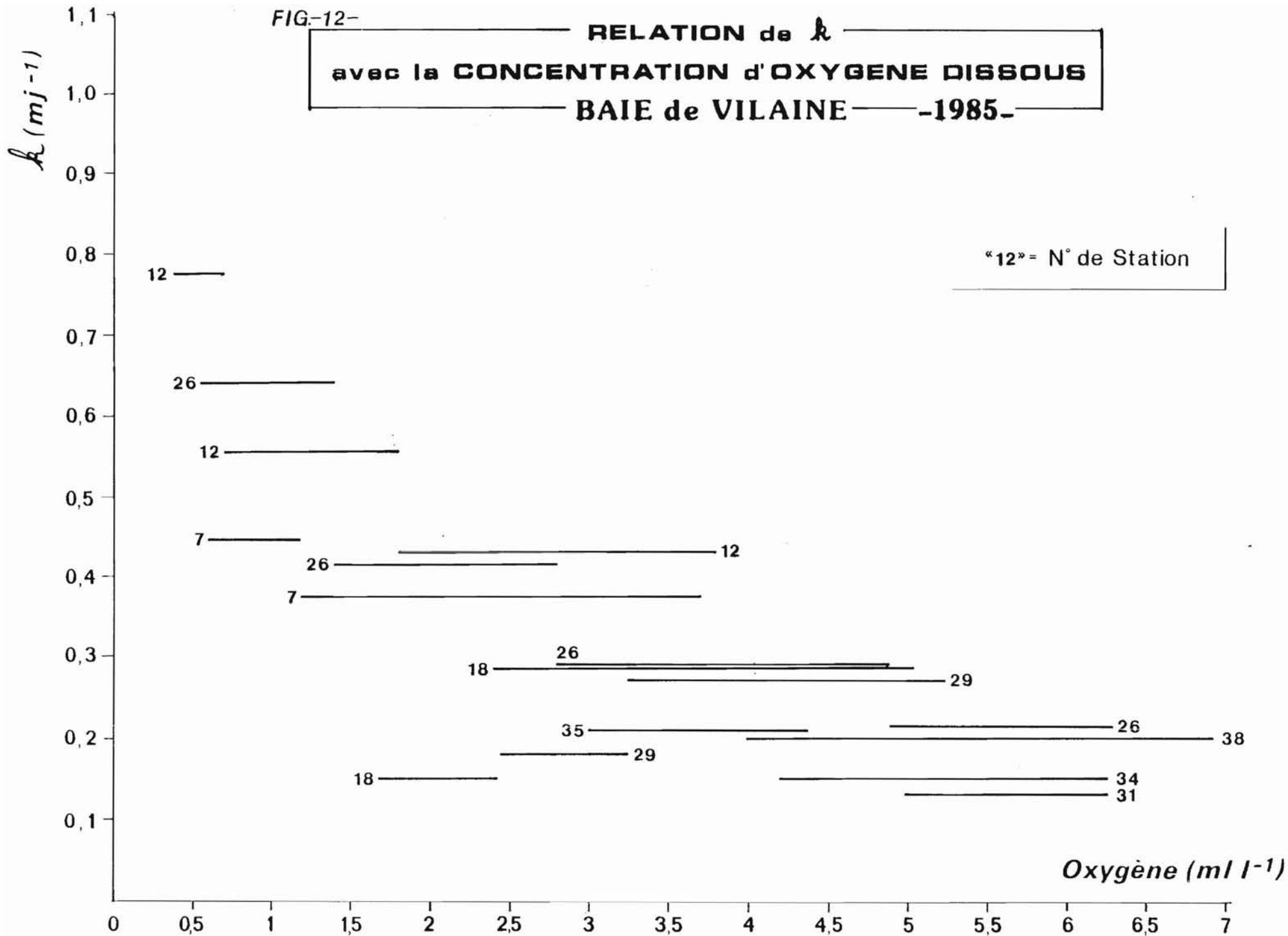




TABLEAU VIII

GLOBALISATION DE LA DECROISSANCE EXPONENTIELLE  
DE L'OXYGENE DISSOUS A L'ECHELLE DE LA BAIE DE VILAINE

| Unité de peuplement | Aire<br>(km <sup>2</sup> ) = A | Station correspondante | k<br>(m j <sup>-1</sup> ) | k x A  |
|---------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------|--------|
| IV                  | 0,88                           | 38                     | 0,203                     | 0,179  |
| V                   | 2,65                           | 31                     | 0,134                     | 0,355  |
| VI                  | 29,98                          | 26                     | 0,209                     | 6,266  |
| VII                 | 7,56                           | 35                     | 0,214                     | 1,618  |
| VIII                | 21,32                          | 29                     | 0,488                     | 10,404 |
| IX                  | 56,01                          | 18 et 7                | 0,209                     | 11,706 |
| X                   | 8,53                           | 12                     | 0,326                     | 2,781  |
| Graviers de Piriac  | 17,20                          | 34                     | 0,155                     | 2,666  |
| Autre (# VII)       | 13,67                          | 35                     | 0,214                     | 2,925  |

$$\Sigma_1 = 157,80$$

$$\Sigma_2 = 38,900$$

$$\frac{\Sigma_2}{\Sigma_1} = \bar{k} = 0,246$$

On suppose évidemment le système simple et isolé, c'est-à-dire sans advection, sans autre source ni puits d'oxygène. La consommation d'oxygène par l'eau elle-même est supposée nulle, et la diffusion d'oxygène à travers la pycnocline également.

Dans les faits, les observations montrent que la couche mélangée située au-dessus de la pycnocline a très souvent une épaisseur voisine de 6 mètres. Le niveau moyen de la surface de l'eau étant situé à 3 mètres au-dessus du zéro des cartes marines, c'est donc en moyenne, la hauteur d'eau située sous l'isobathe - 3 m (C.M.) qui sera concernée par la  $COS_L$  (cf. fig. 13). Celle-ci a été estimée à 6,4 m pour l'ensemble de la baie de Vilaine (Tableau I). En prenant une concentration initiale d'oxygène dissous de  $5,4 \text{ ml l}^{-1}$  (valeur de saturation à  $18^\circ\text{C}$  et  $35\%$   $\rho\rho$ ), et une valeur finale de  $1 \text{ ml l}^{-1}$ , le temps nécessaire pour que le sédiment abaisse ainsi la concentration de l'oxygène dissous peut être évalué à 44 jours. En choisissant une valeur finale de  $0,55 \text{ ml l}^{-1}$  (seuil létal pour les juvéniles de mulets, bars, turbots), le temps nécessaire devient 60 jours.

Une autre façon d'appréhender le temps nécessaire à l'abattement de la teneur en oxygène de l'eau de fond par le sédiment est envisageable. Elle consiste à calculer ce temps séparément pour chaque unité de peuplement (Tableau IX), puis à représenter pour chaque unité (donc pour chaque durée) l'aire concernée par cet abattement. La figure 14 représente cette relation sous une forme cumulative.

Finalement, les valeurs de la consommation d'oxygène du sédiment ( $COS_L$ ) sous forme linéaire, que l'on a pu observer en plusieurs points de la baie de Vilaine, sont relativement peu modulées selon les unités de peuplement. La seule liaison mise en évidence l'a été avec la teneur en matières fines du sédiment. L'étude de la décroissance exponentielle de l'oxygène par le sédiment seul nous a permis d'estimer des temps d'abattement de l'oxygène dissous de l'eau de fond. Dans ces conditions et pour l'ensemble de la baie de Vilaine,

**Fig.13 : Position de la PYCNOCLINE**

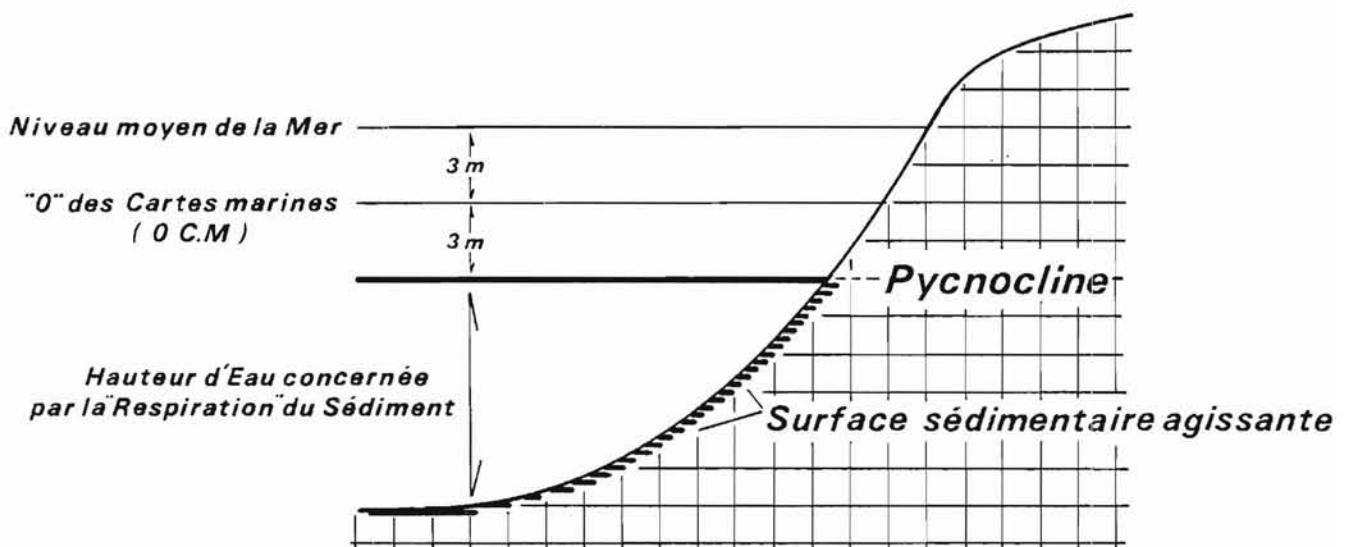


TABLEAU IX

ESTIMATION DES TEMPS D'ABATTEMENT  
DE L'OXYGENE AU FOND POUR CHAQUE UNITE DE PEUPLEMENT  
DE LA BAIE DE VILAINE

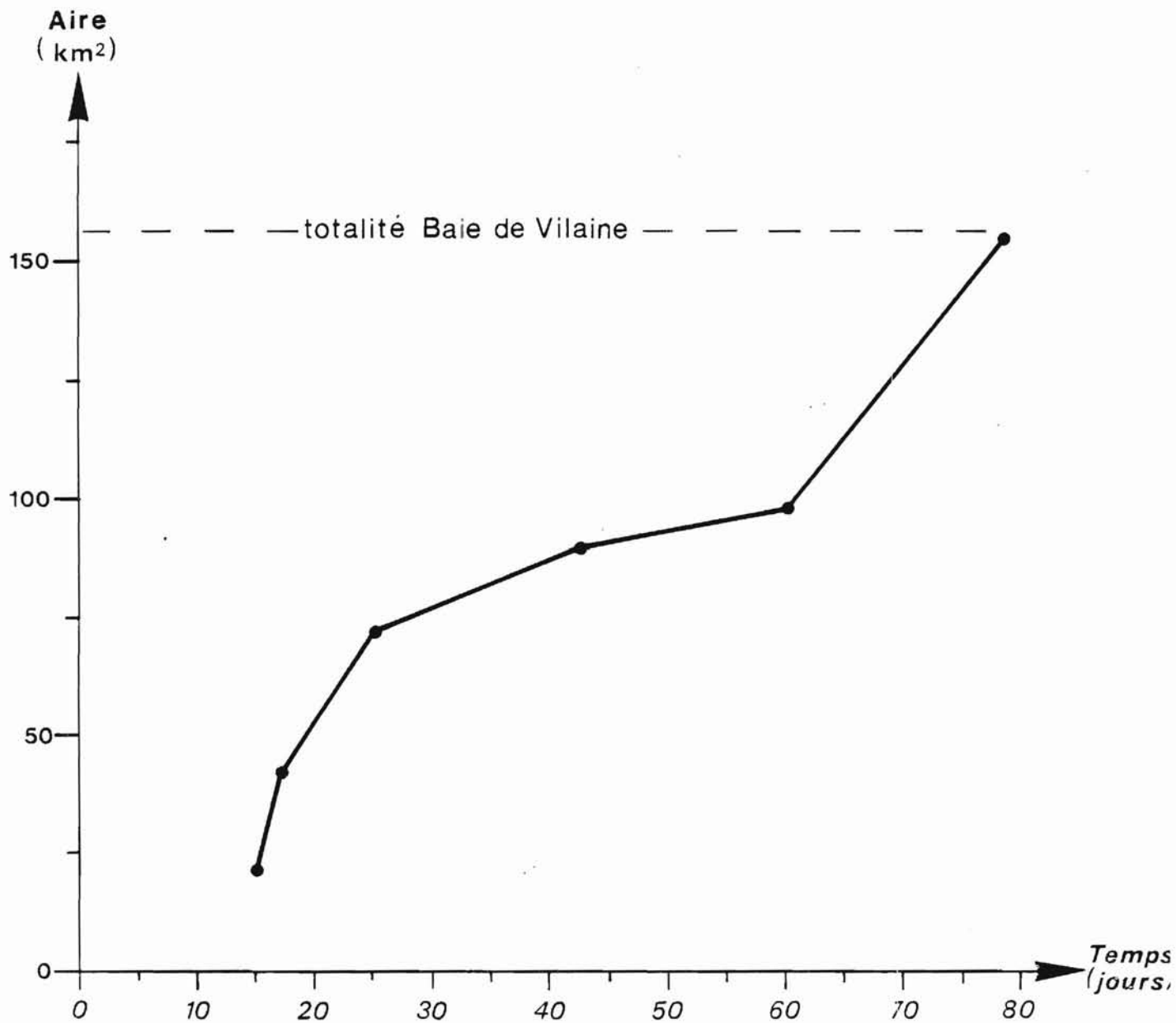
| Unité de peuplement | Air <sub>g</sub><br>(km <sup>2</sup> ) | Station correspondante | k<br>(m j <sup>-1</sup> ) | h sous<br>- 3 m (CM) | t (a) en jours |
|---------------------|--|------------------------|---------------------------|----------------------|----------------|
| IV                  | 0,88                                   | 38                     | 0,203                     | -                    | -              |
| V                   | 2,65                                   | 31                     | 0,134                     | -                    | -              |
| VI                  | 29,98                                  | 26                     | 0,209                     | 2,8                  | 22,6           |
| VII                 | 7,56                                   | 35                     | 0,214                     | 2,0                  | 15,8           |
| VIII                | 21,32                                  | 29                     | 0,488                     | 5,0                  | 17,3           |
| IX                  | 56,01                                  | 18 et 7                | 0,209                     | 10,0                 | 80,9           |
| X                   | 8,53                                   | 12                     | 0,326                     | 12,0                 | 62,2           |
| Graviers de Piriac  | 17,20                                  | 34                     | 0,155                     | 4,0                  | 43,6           |
| Autres (# VII)      | 13,67                                  | 35                     | 0,214                     | 2,0                  | 15,8           |

(a) t = temps d'abattement de la concentration en oxygène dissous de l'eau de fond de 5,4 ml l<sup>-1</sup> à 1 ml l<sup>-1</sup> sous l'effet du sédiment seul, (h est la hauteur d'eau moyenne sous la pycnocline).

FIG-14-

**Baie de VILAINE**  
**Effet de la RESPIRATION du SEDIMENT**  
**sur la couche d'eau située sous la Pycnocline.**

Courbe cumulative des aires soumises à une chute de concentration de l'oxygène dissous de 5,2 à 1,1ml l<sup>-1</sup>(cf.texte)



44 jours sont nécessaires pour que cette teneur en oxygène soit abaissée de 5,4 à 1 ml l<sup>-1</sup>. Cette durée peut être considérée comme assez longue, d'autant que pour cette estimation, la pycnocline est supposée interdire toute réoxygénation à partir de la surface, ce qui n'est pas le cas dans la réalité.

## B) Consommation d'oxygène de l'eau

### Remarques méthodologiques

Il faut rappeler que de véritables mesures en continu de la consommation d'oxygène de l'eau n'ont pas pu être pratiquées en baie de Vilaine pour des raisons techniques. Les résultats présentés ci-après s'appuient simplement sur la différence entre deux dosages d'oxygène dissous de l'eau de fond. L'un a été pratiqué au début de la mesure de la respiration du sédiment, et l'autre concerne la même eau mais après incubation à l'obscurité près du respiromètre, durant la mesure sur le sédiment. Les concentrations d'oxygène dosées ont toujours été supérieures à 2,60 ml l<sup>-1</sup>. A partir de deux points, il n'est évidemment pas possible d'inférer la forme de la consommation d'oxygène de l'eau. Nous nous en tiendrons à une formulation constante de la consommation d'oxygène de l'eau (= COE). Elle se trouve donc a priori inapplicable aux basses concentrations ambiantes d'oxygène.

Par ailleurs, on aurait pu penser que le phytoplancton contenu dans le flacon d'eau présenterait une certaine inertie dans les processus de photosynthèse, après sa mise en incubation à l'obscurité. Cela l'aurait conduit à produire de l'oxygène durant le début de la période obscure. En fait, MARRA (1978 et 1980) dans une expérience de photosynthèse en éclairnement discontinu, a mis en évidence un arrêt quasi-immédiat de la production d'oxygène lors du passage de la lumière à l'obscurité.

### Résultats

Le résultats de la consommation d'oxygène par l'eau de fond (COE) sont présentés dans les tableaux X et XI.

TABLEAU X

CONSOMMATION D'OXYGENE DE L'EAU DE FOND (= COE)  
OXYMOR 2 - 1984

| Date        | Concentration<br>oxygène<br>initiale<br>(ml l <sup>-1</sup> ) | Concentration<br>oxygène<br>finale<br>(ml l <sup>-1</sup> ) | durée<br>d'incubation<br>(heures) | COE<br>(ml m <sup>-3</sup> h <sup>-1</sup> ) |
|-------------|---|---|-----------------------------------|--|
| 18/04       | 6,12  | 6,09  | 2,5                               | 12,0   |
| 16/05       | 4,20  | *   | 13,0                              | -  |
| 19 au 20/06 | 4,06  | 3,99  | 18,5                              | 3,8  |
| 24 au 25/07 | 4,20  | 4,09  | 13,0                              | 8,5  |
| 25/07       | *   | *   | 6,0                               | -  |
| 27/07       | 2,59  | 2,62  | 4,0                               | (- 7,5) *                                    |
| 05/09       | 4,86  | 4,83  | 7,0                               | 4,3  |
| 05 au 6/09  | 3,50  | 3,46  | 23,0                              | 1,7  |
| 08 au 11/10 | 5,39  | 5,25  | 70,5                              | 2,0  |
| 21/06 **    | 4,13  | 4,13  | 5,5                               | 0,0  |

\* Limite de précision du dosage

\*\* Mesure effectuée entre l'île Dumet et la pointe du Castelli.

TABLEAU XI

## CONSOMMATION D'OXYGENE DE L'EAU DE FOND

(= COE) BAIE DE VILAINE - 1985

| Station             | date        | Concentration<br>oxygène<br>initiale<br>(ml l <sup>-1</sup> ) | Concentration<br>oxygène<br>finale<br>(ml l <sup>-1</sup> ) | durée<br>d'incubation<br>(en heures) | COE<br>(ml m <sup>-3</sup> h <sup>-1</sup> ) |
|---------------------|-------------|---|---|--------------------------------------|--|
| 7                   | 17/06       | 3,67  | *   | 16,0                                 | -  |
| 38                  | 19/06       | 6,96  | 6,75  | 11,0                                 | 19,1   |
| 34                  | 20/06       | 6,26  | 6,09  | 10,5                                 | 16,2   |
| 12                  | 27/06       | 3,81  | 3,67  | 11,0                                 | 12,7   |
| 31                  | 04/07       | 6,23  | 5,60  | 6,5                                  | 96,9   |
| 26                  | 04 au 05/07 | 6,30  | 6,23  | 15,0                                 | 4,7  |
| 29                  | 10 au 11/09 | 5,25  | *   | 11,5                                 | -  |
| 18                  | 11 au 12/09 | 5,04  | 4,30  | 13,5                                 | 54,8   |
| 35                  | 12/09       | 4,37  | 4,41  | 6,0                                  | (- 6,67)                                     |
| Baie de<br>Quiberon | 21/06       | 6,37  | 6,23  | 5,5                                  | 25,4   |

\* Limite de précision du dosage



On constate que les consommations sont fréquemment faibles à très faibles, notamment en 1984. La différence entre les concentrations d'oxygène dissous avant et après incubation est souvent équivalente à la précision pratique de la mesure ( $0,03 \text{ ml l}^{-1}$ ). Les consommations négatives relevées en 1984 et 1985 sont d'ailleurs vraisemblablement imputables à une imprécision de la mesure. En 1985, les COE sont plus élevées, et le 04/07 à la station 31, on observe un maximum de  $96,9 \text{ ml m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ .

### Discussion

Soit par exemple une COE de l'eau de fond de  $8,5 \text{ ml m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ , analogue à celle observée du 24 au 25/07/84 à OXYMOR 2. En appliquant cette consommation au volume d'eau de la baie de Vilaine situé sous la pycnocline ( $1082 \times 10^6 \text{ m}^3$ ), on obtient une demande globale d'oxygène de  $9200 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  par l'eau de fond. La demande globale d'oxygène du sédiment, exprimée elle aussi comme une constante, a été estimée à  $6944 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . On constate donc que pour l'ensemble de la baie de Vilaine, une COE même faible constitue une demande d'oxygène supérieure à celle exercée par la  $\text{COS}_L$  moyenne. Les estimations de COE que nous avons pu réaliser ne concernent pas des périodes de bloom intense ; il est extrêmement probable qu'à de telles périodes, les COE et les demandes en oxygène correspondantes doivent être largement plus élevées.

Ceci est à rapprocher d'observations que nous avons pu effectuer lors des enregistrements en continu de l'oxygène dissous à OXYMOR 1 en 1983 et à OXYMOR 2 en 1984 (figures 15 et 16). Elles concernent l'eau de fond en période de bloom printanier ou post-printanier. En 1983, lors d'un bloom secondaire de Diatomées (Nitzschia, Rhizosolenia et Chaetoceros), on a pu observer entre le 29.5 et le 2.6 une série de chutes très brutales et très importantes d'oxygène dissous, suivies la plupart du temps de remontées aussi rapides des concentrations. Les oscillations ont duré de 1 à 6 heures et ont occasionné des chutes allant jusqu'à  $2,55 \text{ ml l}^{-1}$ . Les concentrations sont descendues très temporairement à  $1,05$  et  $1,15 \text{ ml l}^{-1}$  au cours d'une journée.

**FIG. 15- OXYMOR 1 (1983)**  
**Concentration d'Oxygène Dissous de l'eau de fond (mg l<sup>-1</sup>)**

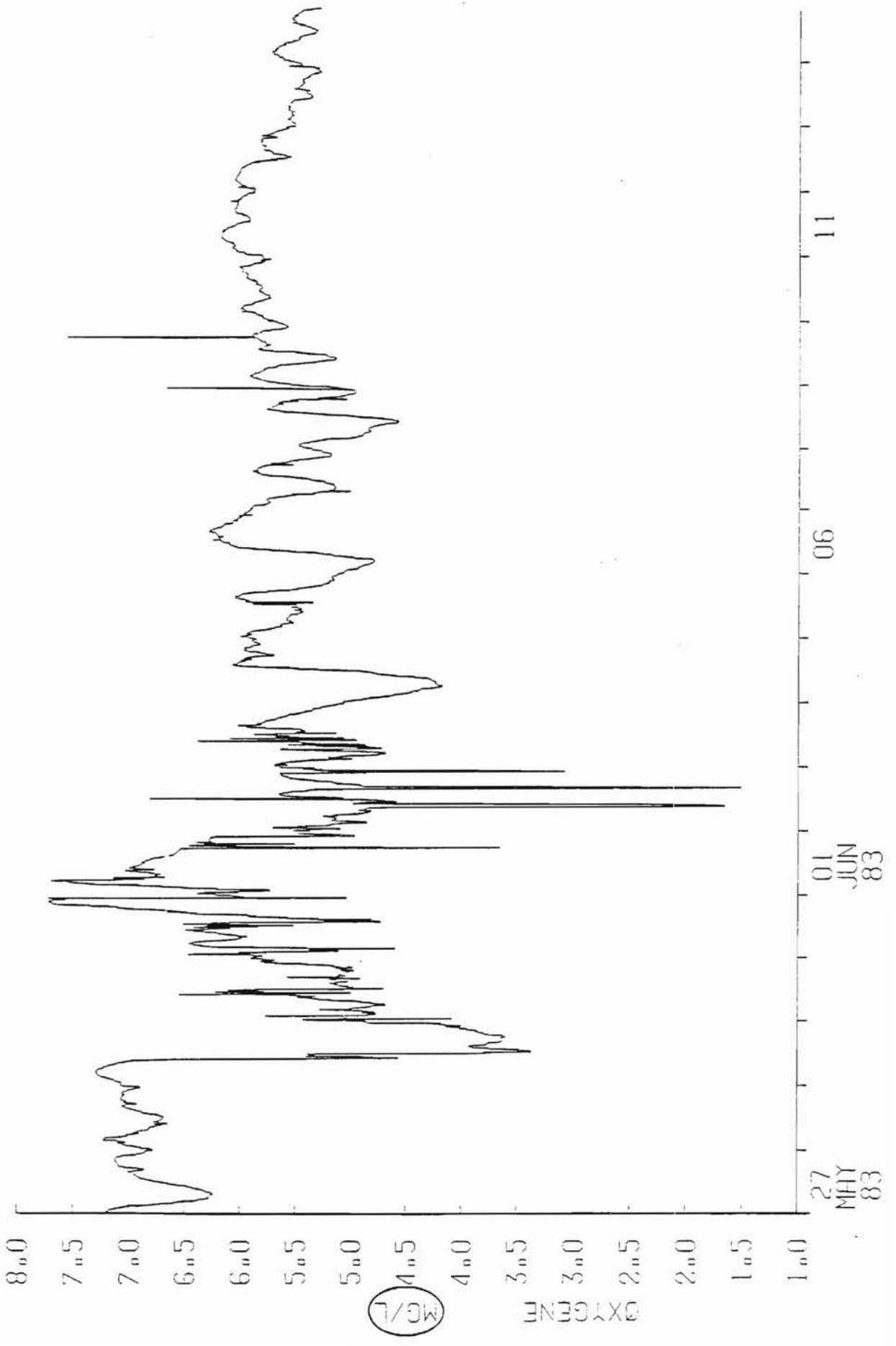
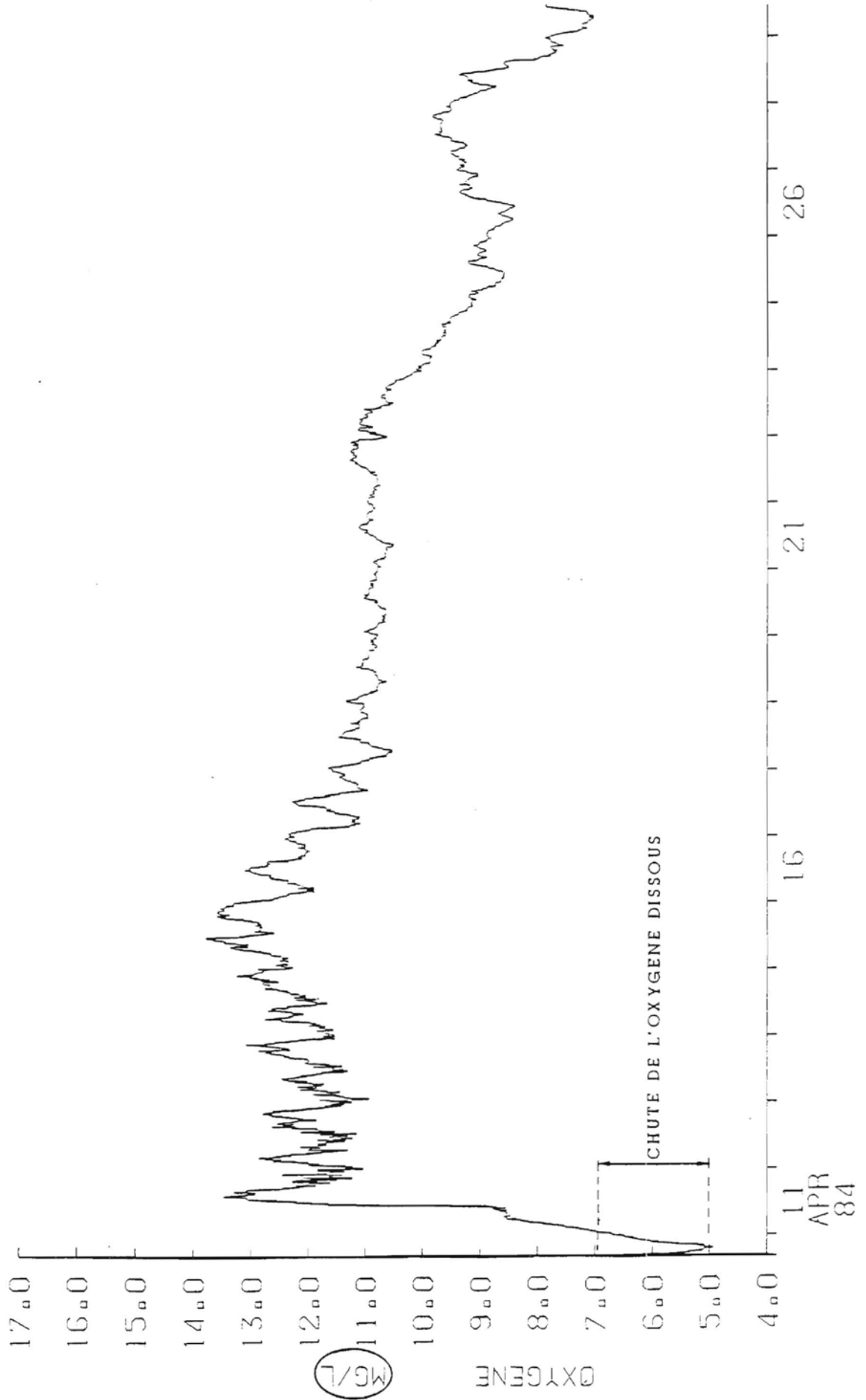


FIG:16 -

OXYMOR 2 (1984)

Concentration d'Oxygène Dissous de l'eau de fond (mg l<sup>-1</sup>)



En 1984, l'immersion des enregistreurs à OXYMOR 2 s'est effectuée en plein bloom de diatomées ( $15 \cdot 10^6$  Skeletonema costatum par litre le 11/04). L'eau était de couleur marron foncé, et l'enregistrement d'oxygène en surface montre une sursaturation allant jusqu'à 173 % à ce moment. Les toutes premières mesures enregistrées au fond montrent une chute de l'oxygène dissous de  $1,75 \text{ ml l}^{-1}$  en 3 h, suivie d'une remontée plus lente. Tout ceci tend à prouver que la COE peut effectivement augmenter de façon importante, notamment en période de bloom intense.

Dans la demande totale en oxygène, la COS et la COE additionnent leurs effets. En baie de Vilaine, la COE semble bien tenir une place prépondérante, particulièrement lorsque se produisent des chutes importantes d'oxygène dissous, susceptibles de provoquer des hypoxies ou des anoxies. Ceci rejoint les conclusions de plusieurs auteurs. CHRISTENSEN et PACKARD (1976) ont étudié à ce propos un fjord de l'état de Washington, et estiment que la part de la COE dans la demande totale est comprise entre 70 et 85 %. Dans la baie de Chesapeake, TAFT et al (1980) concluent également à la nette prépondérance du rôle de la colonne d'eau de fond sur celui du sédiment. BOYNTON et KEMP (1985) complètent les données des auteurs précédents en chiffrant la part de la COE à 50-84 % de la demande totale en oxygène du système.

Il s'avère donc très intéressant d'étudier plus précisément la respiration de l'eau et ses modalités en baie de Vilaine. Cette consommation de la colonne d'eau de fond est probablement très fluctuante, et de nombreux facteurs sont susceptibles d'influer sur elle (biomasse planctonique, espèces phytoplanctoniques, stade de croissance de la population, éclaircissement, taux de broutage, biomasse du zooplancton, composition spécifique, etc.). Pour appréhender les modalités de la respiration de l'eau susceptibles d'induire des phénomènes d'anoxie-hypoxie, il serait préférable de situer les investigations au long d'un bloom phytoplanctonique, et lors du développement zooplanctonique qui lui succède généralement.

### III - CONCLUSIONS

Les mortalités massives de poissons survenues en baie de Vilaine en juillet 1982 avaient pu être imputées à une anoxie des eaux de fond. Il avait pu être également prouvé qu'une baisse de la concentration de l'oxygène dissous dans l'eau de fond était fréquemment en relation avec une stratification. Celle-ci empêchait l'approvisionnement en oxygène des eaux de fond à partir des niveaux superficiels. Il restait à mieux connaître la consommation d'oxygène au niveau du fond durant la période de risque maximum (printemps, été), son importance, son origine, ses modalités. C'était l'objectif de la présente étude.

Dans ce but, il a été effectué en 1985 des mesures de consommation d'oxygène en une dizaine de stations. Ces stations ont été réparties entre les diverses unités de peuplement benthique de la baie de Vilaine, telles qu'elles ont été cartographiées récemment par LE BRIS. Ces mesures avaient été précédées en 1984 d'une campagne d'une dizaine de mesures également réalisées en un même point (OXYMOR 2). Cette première campagne avait permis de tester la reproductibilité de la méthode employée et d'évaluer l'effet de la température sur la consommation d'oxygène du sédiment.

Chaque mesure a consisté à isoler une certaine surface de sédiment dans une cloche et à suivre l'effet de sa consommation d'oxygène sur la concentration en oxygène dissous de l'eau sus-jacente. Cette concentration a été suivie grâce à une sonde de type polarographique couplée à un enregistreur. La durée des mesures a presque toujours été supérieure à 5 heures, et a été prolongée à une occasion jusqu'à près de trois jours. Nous avons préféré cette méthode in situ à celle consistant à pratiquer les incubations en laboratoire, à cause des risques importants de sous-estimation de la consommation d'oxygène que présente cette dernière méthode.

Simultanément aux mesures de respiration du sédiment, quelques paramètres potentiellement explicatifs ont été mesurés dans le but de cerner les causes de sa variation (température, salinité, granulométrie et teneur en matière organique du sédiment).

Il était initialement prévu de ne mesurer que la respiration du sédiment. Nous avons cependant voulu mesurer également celle de l'eau de fond. Mais, faute de disposer du matériel adéquat, nous avons dû restreindre l'abord de cette question aux deux mesures d'oxygène de l'eau de fond effectuées pour le calage de chaque mesure de respiration du sédiment.

Les résultats de consommation d'oxygène du sédiment ont été exprimés selon deux modèles :

- l'un exprimant la consommation par une constante indépendante de la teneur en oxygène et correspondant à une décroissance linéaire de celle-ci en fonction du temps ; seuls les résultats des cinq premières heures de mesure ont été alors pris en compte. Ce modèle était destiné à situer nos résultats par rapport à ceux obtenus ailleurs dans des zones également critiques. Il nous a également servi à comparer la respiration du sédiment avec celle de l'eau.

- l'autre, dans lequel la consommation d'oxygène du sédiment est fonction de la teneur en oxygène dissous (décroissance exponentielle en fonction du temps). Il représente plus fidèlement la réalité, et peut être utilisé dans des modèles couvrant les basses concentrations d'oxygène, contrairement au précédent.

La consommation de l'eau de fond, quant à elle, n'a été formulée que sous la forme d'une constante.

Les principaux résultats de cette étude sont les suivants :

- dans l'hypothèse d'une consommation constante, la demande en oxygène du sédiment de la baie de Vilaine situé sous la pycnocline est de  $6944 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  ; cela correspond à une consommation moyenne d'oxygène par le sédiment de  $44,0 \text{ ml m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Cette moyenne recouvre une gamme de valeurs s'échelonnant de 34,4 à  $55,4 \text{ ml m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ . Au point fixe (OXYMOR 2), nous avons pu déterminer le  $Q_{10}^*$  qui est de 1,74 entre 8 et  $18^\circ\text{C}$ . Ces données sont comparables à celles observées par d'autres auteurs dans des sites analogues ;

- dans l'hypothèse d'une consommation fonction de la concentration en oxygène dissous, le facteur de proportionnalité (k) entre ces deux valeurs a été déterminé pour chaque type de peuplement benthique. Une globalisation à l'échelle de la baie de Vilaine a été effectuée en calculant un k moyen pondéré par les aires des différents peuplements benthiques ( $k \text{ moyen} = 0,246$ ). Avec lui, il a pu être calculé un temps moyen théorique d'abattement de l'oxygène sous la thermocline ( $h = 6,4 \text{ m}$ ), en supposant que le système fonctionne de façon totalement isolée, sans autre perte ni approvisionnement en oxygène, et sans advection. Dans ces conditions, pour que le sédiment abaisse la concentration d'oxygène de l'eau de fond de  $5,5 \text{ ml l}^{-1}$  (saturation à  $18^\circ$  et  $35^\circ$  / ..) à  $1,0$  et à  $0,55 \text{ ml l}^{-1}$ , le temps moyen requis a été estimé respectivement à 44 et à 60 jours. La concentration de  $1,0 \text{ ml l}^{-1}$  serait atteinte sur l'ensemble de l'aire concernée en 81 jours. Toutes ces durées semblent très longues.

Outre la relation établie entre respiration du sédiment d'une part, et la température et l'oxygène dissous d'autre part, il a pu être mis en évidence une liaison avec le pourcentage de matières fines du sédiment. Par contre, en ce qui concerne l'influence de la biomasse macrozoobenthique et celle du taux de matière organique du sédiment, elles n'apparaissent clairement que ponctuellement pour des accroissements très importants de ces paramètres.

\* Quotient de l'intensité d'une activité physiologique (ici la consommation d'oxygène du sédiment) mesurée à une température donnée  $t^\circ$ , par l'intensité de la même activité mesurée à  $t^\circ - 10^\circ\text{C}$ .

La consommation d'oxygène de l'eau de fond a pu être estimée au point fixe en 1984 (de 0,0 à 12,0 ml m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>), et en divers points de la baie en 1985 (de 4,7 à 96,9 ml m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup>). Si la consommation de l'eau enfermée sous la cloche s'est révélée négligeable par rapport à celle du sédiment, il en est autrement lorsque cette consommation est appliquée au volume d'eau situé sous la pycnocline. Ainsi, à une valeur (plutôt basse) de 8,5 ml m<sup>-3</sup> h<sup>-1</sup> correspond une demande globale d'oxygène en baie de Vilaine de près de 9200 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, redevable à l'eau de fond. Cette valeur est supérieure à la demande provenant du sédiment. Encore, nos mesures de respiration de l'eau n'ont-elles pas concerné des périodes de bloom phytoplanctonique intense, lors desquelles les valeurs augmentent probablement de façon très importante. C'est du moins ce que l'on peut penser en observant les chutes extrêmement importantes et brutales de l'oxygène dissous que nous avons pu enregistrer au point fixe au fond en 1983 et en 1984, lors de périodes de bloom intense de diatomées. Il faut rappeler que les mortalités de 1982 auraient été précédées d'un bloom analogue, selon les témoignages des pêcheurs locaux rapportés par MAGGI (1982).

La consommation d'oxygène par l'eau serait sous la dépendance d'un certain nombre de facteurs au nombre desquels la production planctonique in situ jouerait un rôle particulièrement important. Cette respiration serait susceptible de présenter des variations spatiales très brusques, probablement en relation avec la distribution du plancton en taches. Une variation temporelle, plus progressive, à l'échelle de la baie entière pourrait s'y superposer. Elle correspondrait à l'évolution de la biomasse planctonique globale et sa période serait alors de l'ordre de une à quelques semaines. Il serait intéressant d'examiner ces hypothèses dans le cadre d'une étude traitant de la relation entre respiration de l'eau et plancton, effectuée de préférence en période de bloom.



Cependant, il est à noter que d'une façon générale, l'intensité des blooms phytoplanctoniques est favorisée par la stabilité verticale de la masse d'eau et par une augmentation de la concentration des sels nutritifs, deux conditions qui sont sous l'influence directe des apports d'eau douce. En baie de Vilaine, à la belle saison, il y aura donc fréquemment conjonction de l'apparition d'un bloom intense avec celle d'une stratification dont on sait qu'elle tend à s'opposer à la réoxygénation du fond. A une situation de demande en oxygène augmentée ou exacerbée, correspondra souvent le facteur aggravant d'une stratification.

En définitive, on peut schématiser la demande globale en oxygène subie par les eaux de fond de la baie de Vilaine comme la somme de deux demandes présentant des caractéristiques différentes :

- la demande d'origine sédimentaire, d'importante modérée, relativement peu modulée dans l'espace et dans le temps, et indépendante de la présence de la pycnocline,

- la demande de l'eau elle-même, plus importante semble-t-il, beaucoup plus variable dans l'espace et dans le temps, probablement susceptible d'atteindre des niveaux très élevés en période de bloom phytoplanctonique. Elle serait alors couplée avec l'installation ou le renforcement de la pycnocline. Il serait intéressant d'approfondir nos connaissances à son propos.

Dès à présent, on peut cependant penser qu'une diminution de l'importance du bloom, ou une réduction de sa brutalité serait susceptible de favoriser une meilleure oxygénation des eaux de fond en baie de Vilaine. QUEGUINER et al ont montré que les sels nutritifs limitant la production primaire durant la belle saison étaient les phosphates. Une réduction des disponibilités en phosphates, si elle est possible, peut donc constituer une des voies conduisant au but poursuivi.

BIBLIOGRAPHIE

- BALZER W., 1984. Organic matter degradation and biogenic element cycling in a nearshore sediment (Kiel Bight). Limnology and Oceanography, **29** (6), pp. 1231-1246.
- BALZER W., GRASSHOFF K., DIECKMANN P., HAARDT H., et PETERSOHN U., 1983. Redox-turnover at the sediment/water interface studied in a large bell jar system. Oceanologica acta, **6** (4), pp. 337-344.
- BOWMAN G.T. et DELFINO J.J., 1980. Sediment oxygen demand techniques : a review and comparison of laboratory and in situ systems. Water research, **14**, pp. 491-499.
- BOYNTON W.R. et KEMP W.M., 1985. Nutrient regeneration and oxygen consumption by sediments along an estuarine salinity gradient. Mar. Ecol., Progr. Ser., **23**, pp. 45-55.
- CHIARO P.S. et BURKE D.E., 1980. Sediment oxygen demand and nutrient release. Journal of the Environmental Engineering Division, 106/EE1, pp. 177-195.
- CHRISTENSEN J.P. et PACKARD T.T., 1976. Oxygen utilization on plankton metabolism in a Washington fjord. Estuarine and Coastal Marine Science, **4**, pp. 339-347.
- Mc DONNEL A.J. et HALL S.D., 1969. Effect of environmental factors of benthic oxygen uptake. Journal of the water Pollution Control Federation, **41** (8), pp. 353-363.
- EDBERG N. et HOFSTEN B.V., 1973. Oxygen uptake of bottom sediments studied in situ and in the laboratory. Water Research, **7**, pp. 1285-1294.
- ES F.B. VAN et RUARDIJ P., 1982. The use of a model to assess factors affecting the oxygen balance in the water of the Dollard. Netherland Journal of Sea Research, **15** (3/4), pp. 313-330.
- GARSDIE C. et MALONE T.C., 1978. Monthly oxygen and carbon budgets of the New York Bight Apex. Estuarine and Coastal Marine Science, **6**, pp. 93-104.
- HARGRAVE B.T., 1969. Similarity of oxygen uptake by benthic communities. Limnology and Oceanography, **14** (5), pp. 801-805.
- HARGRAVE B.T. et PHILLIPS G.A., 1981. Annual in situ carbon dioxide and oxygen flux across a subtidal marine sediment. Estuarine, Coastal and Shelf Science, **12**, pp. 725-737.
- JØRGENSEN B.B., 1980. Seasonal oxygen depletion in the bottom waters of a Danish fjord and its effect on the benthic community. Oikos, **34**, pp. 68-76.

- KEMP W.M. et BOYNTON W.R., 1981. External and internal factors regulating metabolic rates of an estuarine benthic community. Oecologia, **51**, pp. 19-27.
- LE BRIS H., 1986. Etude sur l'utilisation des indices biologiques en milieu marin littoral. Contrat UBO, Brest/Région Bretagne n° 29.10.1984, 48 pp.
- MAGGI P., 1982. Les mortalités massives de poissons en baie de Vilaine (juillet 1982). Rapport ISTPM, 18 pp. dactylog.
- MANGUM C. et VAN WINKLE W., 1973. Responses of aquatic invertebrates to declining oxygen conditions. American zoologist, **13**, pp. 529-541.
- MARRA J., 1978. Effect of short term variations in light intensity on photosynthesis of a marine phytoplankter : a laboratory simulation study. Marine Biology, **46**, pp. 191-202.
- MARRA J., 1980. Vertical mixing and primary production in : Primary productivity in the sea edited by P.G. Falkowski, Environmental Science Research Vo.: 19, pp. 121-137.
- MERCERON M., 1985. Impact du barrage d'Arzal sur la qualité des eaux de l'estuaire et de la baie de la Vilaine. Rapport IFREMER-DERO-85.06-EL, 31 pp.
- PAMATMAT M.M., 1968. Ecology and metabolism of a benthic community on an intertidal sand-flat. Inter. Revue. Ges. Hydrobiol., **53** (2), pp. 211-298.
- PAMATMAT M.M., 1971. Oxygen consumption by the seabed. IV. Shipboard and laboratory experiments. Limnology and Oceanography, **16** (3), pp. 536-550.
- PERSON-LE RUYET J., 1985. Les besoins en oxygène des poissons marins et leur comportement en condition hypoxiques. Revue bibliographique. Rapport interne, IFREMER. 15 pp. + annexes.
- PHOEL W.C., WEBB K.L., D'ELIA C.F., 1981. Inorganic nitrogen regeneration and total oxygen consumption by the sediments at the mouth of the York River, Virginia. In : NEILSON B.J., CRONIN L.E. (ed.). Estuaries and nutrients, Humana Press, Clifton N.J., pp. 607-618.
- PRATT D.M. et BERKSON H., 1959. Two sources of error in the oxygen light and dark bottle method. Limnology and Oceanography, **4**, pp. 328-334.
- QUEGUINER B., TREGUER P., HAFSAOUI M. et MASSON A., 1985. Mise en évidence des facteurs limitant la production de phytoplancton dans le Mor-Bras (Bretagne Méridionale). Rapport Scientifique IEM-UBO, 23 p. dactyl.
- ROSSIGNOL-STRICK M., 1985. A marine anoxic event on the Brittany coast, july 1982. Journal of Coastal Research, **1** (1), pp. 11-20.

- ROWE G.T., SMITH K.L. Jr et CLIFFORD C.H., 1977. Benthic pelagic coupling in the New York Bight. Am. Soc. Limnol. Oceanogr., Spec. Symp. 2, pp. 370-376.
- SAUNIER Eau et Environnement, 1985. Pr  tude des bassins versants ayant le Mor-Bras comme exutoire. Rapport dactylog. Cahiers du Mor-Bras, n   6, 125 pp + annexes.
- SMITH K.L. Jr., 1978. Benthic community respiration in the N.W. Atlantic ocean : in situ measurements from 40 to 5200 m. Marine Biology, 47, pp. 337-347.
- SMITH K.L., ROWE G.T. et CLIFFORD C.H., 1974. Sediment oxygen demand in an outwelling and upwelling area. Tethys, 6 (1-2), pp. 223-230.
- SORENSEN J. JORGENSEN B.B. et REVSBECH N.P., 1979. A comparison of oxygen, nitrate, and sulfate respiration in coastal marine sediments. Microbiol. ecology, 5, pp. 105-115.
- S.R.A.E., 1984. Qualit   des eaux dans la retenue d'Arzal en 1983. Rapport dactylog. 2 Vol., 34 pp et 73 pp.
- SUBRAHMANYAM C.B., 1980. Oxygen consumption of estuarine fish in relation to external oxygen tension. Comparative Biochemistry and Physiology, 67 A, pp. 129-133.
- TAFT J.L., TAYLOR W.R., HARTWIG E.O. et LOFTUS R., 1980. Seasonal oxygen depletion in Chesapeake Bay. Estuaries, 3 (4), p. 242-247.
- TEAL J.M. et KANWISHER J., 1961. Gas exchange in a Georgia salt marsh. Limnology and Oceanography, 6 pp. 388-399.
- THOMAS J.P., PHOEL W.C., STEIMLE F.W., O'REILLY J.R. et EVANS C.A., 1977. Sea bed oxygen consumption-New York Bight apex. Amer. Soc. Limnol. Oceanogr., Spec. Symp. 2, pp. 354-369.
- WASSMANN P., 1984. Sedimentation and benthic mineralization of organic detritus in a Norwegian fjord. Marine Biology, 83, pp. 83-94.

