

**ELECTRICITE DE FRANCE.**

**ETUDE ECOLOGIQUE**

**(Complément d'avant-projet pélagique).**

**— PLOUMOGUER —**

**— PLOGOFF —**

*Rapport général*

UNIVERSITE DE BRETAGNE OCCIDENTALE

Laboratoire d'Océanographie Biologique.

CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCEANS

Département Environnement Littoral et Gestion du Milieu Marin.

COMPLEMENT D'ETUDE ECOLOGIQUE D'AVANT-PROJET SUR LES  
SITES DE PLOUMOGUER & PLOGOFF (FINISTERE) :

LE MILIEU PELAGIQUE

-:~:-

*Françoise QUINNIU, Jacques LE FEVRE, Mireille RYCKAERT*

INTRODUCTION.

Dans le cadre de son programme d'équipement, Electricité de France a entrepris l'installation de centrales nucléaires de très grande puissance (5200 MWe pour celles actuellement envisagées) refroidies en circuit ouvert. Aucun fleuve existant sur le territoire français ne peut répondre au besoin correspondant, et c'est pourquoi l'implantation de ces centrales est prévue sur le littoral, afin de disposer du volume, supposé illimité, de fluide de refroidissement offert par le milieu marin. Le fonctionnement de telles centrales se traduira pour celui-ci par le rejet, à un débit supérieur à  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ , d'une eau réchauffée d'environ  $15^\circ\text{C}$  par rapport au milieu environnant correspondant à la puissance thermique non utilisée pour la production d'électricité (plus de 10.000 MW). Ce rejet pose un certain nombre de problèmes quant à son effet sur le milieu naturel, physique et biologique, ainsi que sur les activités économiques (pêche) reposant sur l'exploitation de ce milieu naturel. C'est pourquoi Electricité de France est tenue de faire réaliser, en préalable à toute implantation, des études écologiques, confiées au Centre National pour l'Exploitation des Océans, et des études halieutiques (c'est-à-dire relatives à la pêche et aux activités voisines), confiées à l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes.

Dans un premier temps, lorsqu'un site est envisagé comme une simple possibilité, une étude dite d'avant-projet est entreprise ; elle dure environ un an, exploitation scientifique des résultats et rédaction du rapport comprises. Dans un second temps, si le site est envisagé plus sérieusement, une étude plus longue (deux années de prélèvements sur le terrain) est réalisée, pour servir, en l'état actuel de la pratique, de description d'un état de référence avant fonctionnement.

En ce qui concerne les sites de PLOUMOGUER et PLOGOFF, le Centre National pour l'Exploitation des Océans (C.N.E.X.O.) a sous-traité à l'Université de Bretagne Occidentale (U.B.O.) la réalisation de la plus grande partie des études écologiques d'avant-projet, qui n'ont porté dans un premier temps que sur les problèmes relatifs au benthos (faune et flore du fond). Une synthèse (ALLEN et al., 1978) des résultats obtenus lors des études d'avant-projet des sites bretons a fait apparaître que l'absence, sur ces deux sites, de résultats concernant le pélagos (faune et flore de pleine eau) était une lacune grave qui devait être comblée avant toute décision définitive. Le contrat cité en référence matérialise cette nécessité et porte sur la réalisation d'un complément d'étude d'avant-projet sur le domaine pélagique, à entreprendre conjointement par l'U.B.O. et le C.N.E.X.O., selon un partage des tâches qui attribue au C.N.E.X.O. la plus grande partie de l'étude du phytoplancton (flore de pleine eau), et à l'U.B.O. l'étude des autres éléments du milieu et la réalisation du travail de terrain. Ce travail est à réaliser dans le même esprit qu'une autre de même nature ayant porté sur le site d'ERDEVEN (LE FEVRE et al., 1977).

#### MATERIEL ET METHODES.

Seul figure ici un résumé de la stratégie d'échantillonnage pour chaque site. Les paramètres mesurés ne seront pas rappelés. Ceux d'entre eux pour lesquels l'interprétation est d'ores et déjà possible seront précisés dans les principaux paragraphes traitant des résultats.

#### PLOUMOGUER

Trois stations ont été étudiées selon une périodicité bimensuelle, du 3 Mai au 13 Septembre 1978, avec une interruption à la mi-Juin pour des raisons techniques. La station 1 est située dans le chenal de la Helle, sur des fonds de 35-40 m, en zone à forts courants. La station 2 est située à

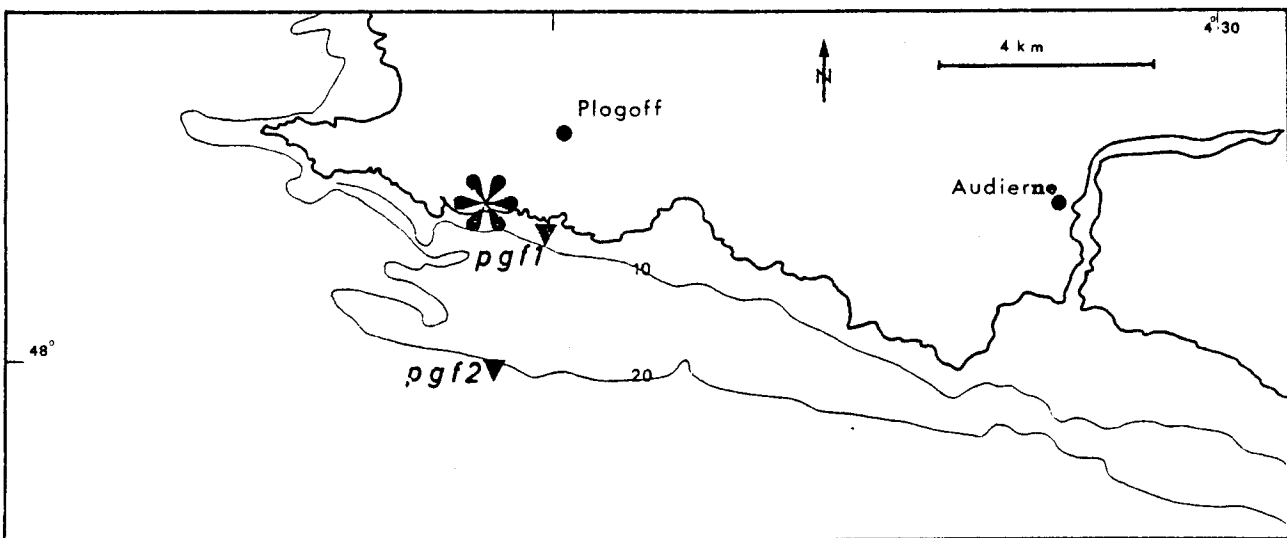
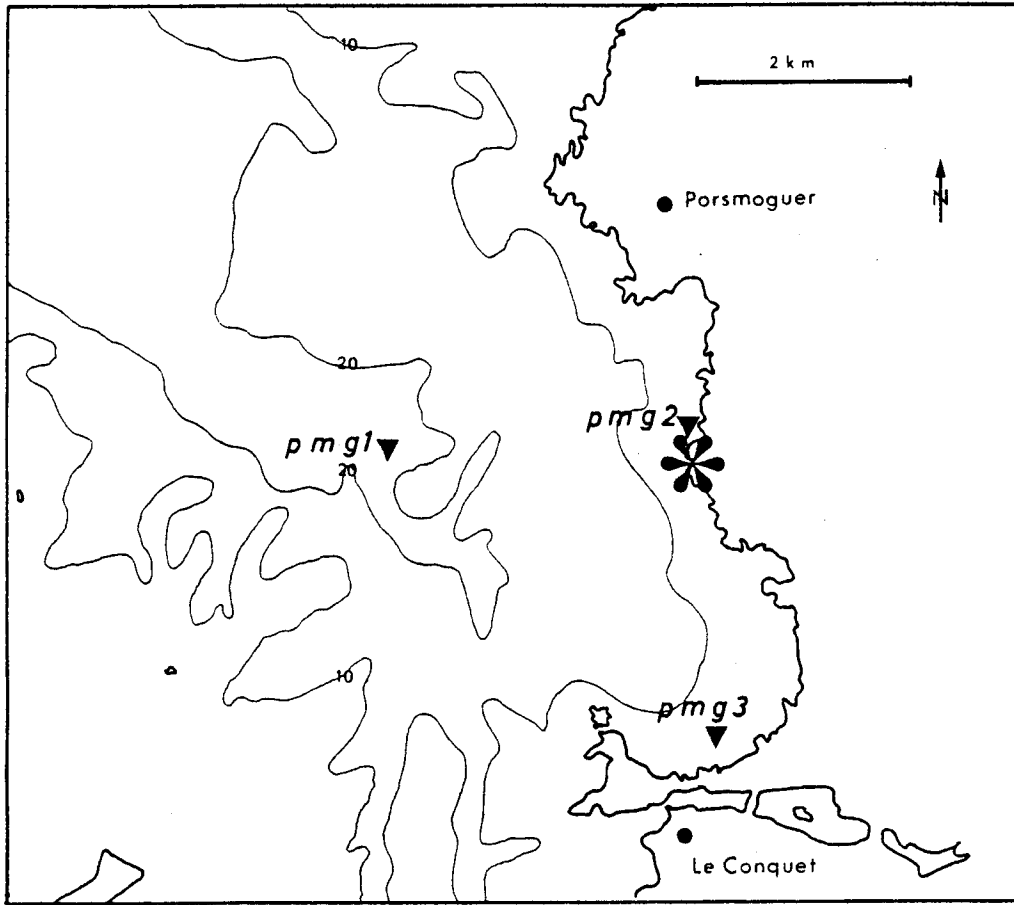


fig 1

LOCALISATION DES STATIONS ETUDIEES

- Au voisinage de PLOUMOGUER : en haut
- Au voisinage de PLOGOFF : en bas



\* Site d'implantation éventuel de la centrale  
▼ Station de prélèvements

proximité immédiate du site (Pointe de Breterc'h) ; la sonde usuelle y est de 7,5 m. La station 3 se trouve dans l'anse des Blancs Sablons, sur des fonds de 4 à 5 m. Cette répartition des stations répond au souci de représenter les différents types de secteurs présents au voisinage du site et de prendre ainsi en compte l'influence des contrastes qu'ils peuvent présenter. Le choix de l'anse des Blancs Sablons s'explique aussi par la présence d'un tourbillon susceptible d'influer sur la circulation des eaux de rejet (MANOHA, 1977 ; ALLEN, 1978a).

#### PLOGOFF

Le réseau a été limité à deux stations, l'une à la côte, l'autre plus au large. Les premières informations disponibles pouvaient en effet faire penser que le milieu liquide était très homogène au voisinage de PLOGOFF et qu'un nombre minimum de stations pouvait être représentatif. La station 1 est située devant Pors Loubous, à proximité immédiate de la côte, par sonde moyenne de 7,5 m. La station 2 se trouve sur une ligne perpendiculaire à la direction générale de la côte et passant par la station 1, à environ 1,5 mille au large de cette dernière, ce qui correspond à un point situé sur la ligne de sonde de 20 m des cartes marines. En réalité, compte tenu de la marée, la profondeur était d'environ 25 m lors des prélèvements.

Les sorties en mer se sont échelonnées du 2 Mai au 12 Septembre, selon une périodicité bimensuelle, avec, comme pour PLOUMOGUER, une interruption technique forcée à la mi-Juin. Le calendrier initial prévoyait un début des travaux fin Mars, et des sorties ont été effectuées à partir de cette date. Sur place, cependant, le temps n'a pas permis de travailler. La sortie du 2 Mai elle-même a été réalisée dans des conditions particulièrement difficiles qui n'ont pas permis un programme complet d'échantillonnage.

Toutes les sorties, à PLOUMOGUER comme à ROSCOFF, ont été faites aux alentours d'une haute mer de morte eau. La raison en est double : le minimum de courant (à l'étale) est nécessaire à une bonne réalisation du travail ; d'autre part on étudie ainsi des conditions relativement défavorables à la dispersion de l'effluent, toute étude de ce type devant se placer en situation de risque maximum.

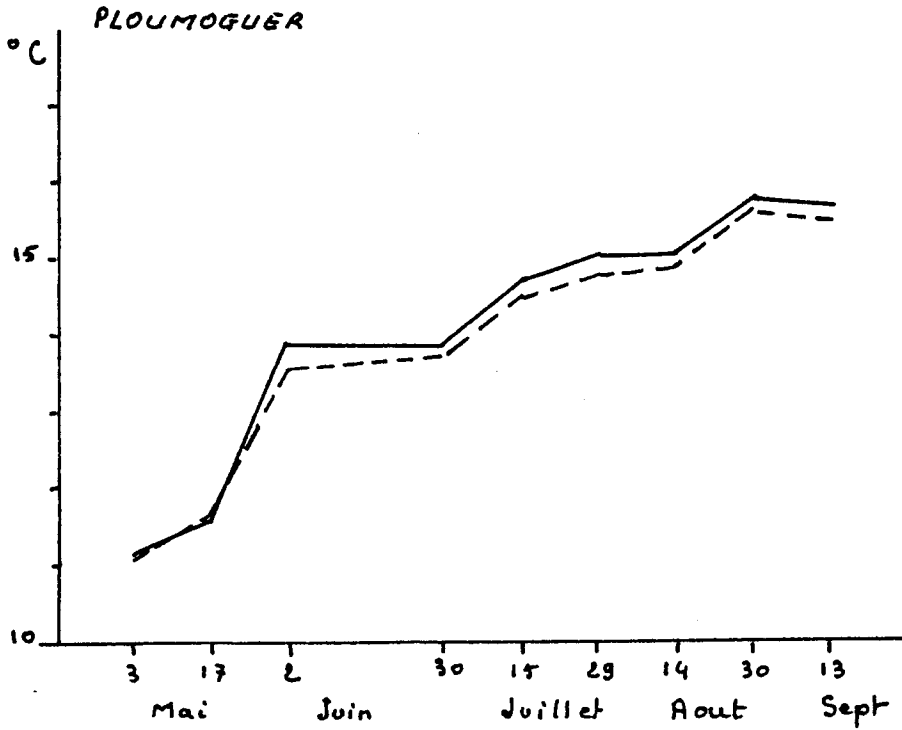
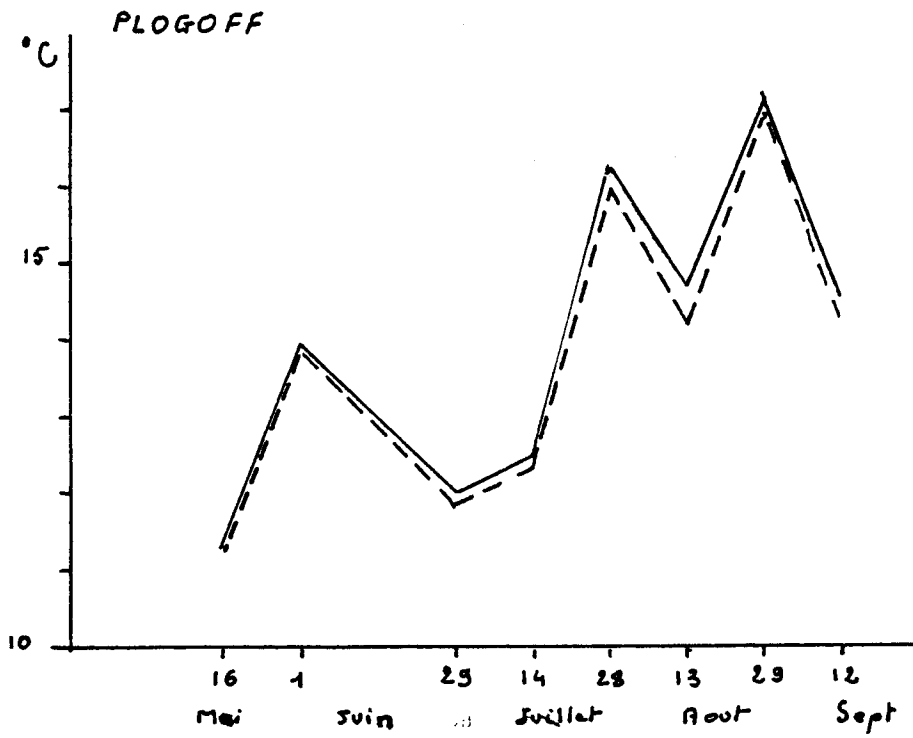
RESULTATS.

OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE

L'étude des peuplements animaux et végétaux de la masse d'eau est nécessairement étroitement liée à celle des conditions physiques régnant au sein de cette même masse d'eau. Les conditions de circulation, en particulier, ont une influence déterminante sur le plancton. En revanche certaines particularités de l'évolution des populations planctoniques aident à l'interprétation des données d'océanographie physique. Dans ce dernier domaine, les études menées directement par E.D.F. portent principalement sur les courants, la houle et la température. Celle-ci n'est cependant mesurée qu'au dixième de degré, précision généralement considérée comme insuffisante en océanographie physique, en particulier pour le calcul de la densité de l'eau de mer. De même la salinité n'est-elle mesurée qu'occasionnellement par E.D.F.

Nos données constituent donc un complément indispensable. Elles comportent des mesures effectuées à deux ou trois profondeurs à chaque station (en fonction de la sonde) et portant sur la température (au centième de degré près), la salinité (en pour mille avec deux décimales), l'oxygène dissous et les sels nutritifs (nitrates et phosphates), dont l'abondance conditionne en partie la production végétale. A partir de la température et de la salinité, l'on calcule la densité de l'eau de mer. Celle-ci est en effet d'autant plus lourde qu'elle est plus froide et plus salée, et d'autant plus légère, évidemment, qu'elle est plus chaude et moins salée ; l'existence, dans une zone donnée d'une seule couche d'eau de densité homogène, ou au contraire de plusieurs couches de densité différente, affecte profondément l'évolution du plancton. La densité de l'eau de mer est habituellement exprimée par le  $\sigma_t$ , constitué par les dernières décimales de la valeur de la densité. Ainsi un  $\sigma_t$  de 25,93 caractérise en fait une eau de mer dont la densité est de 1,02593 par rapport à l'eau pure à une température de 4° C. Avec la température et la salinité varie également la solubilité de l'oxygène dans l'eau. On exprimera donc

Fig. 2



Températures moyennes : — de surface  
--- générale

la teneur de ce dernier en pourcentage de saturation, 100 % de saturation correspondant à la quantité maximale théorique d'oxygène qu'il est possible de dissoudre dans une eau dont la température et la salinité sont celles qui ont été mesurées.

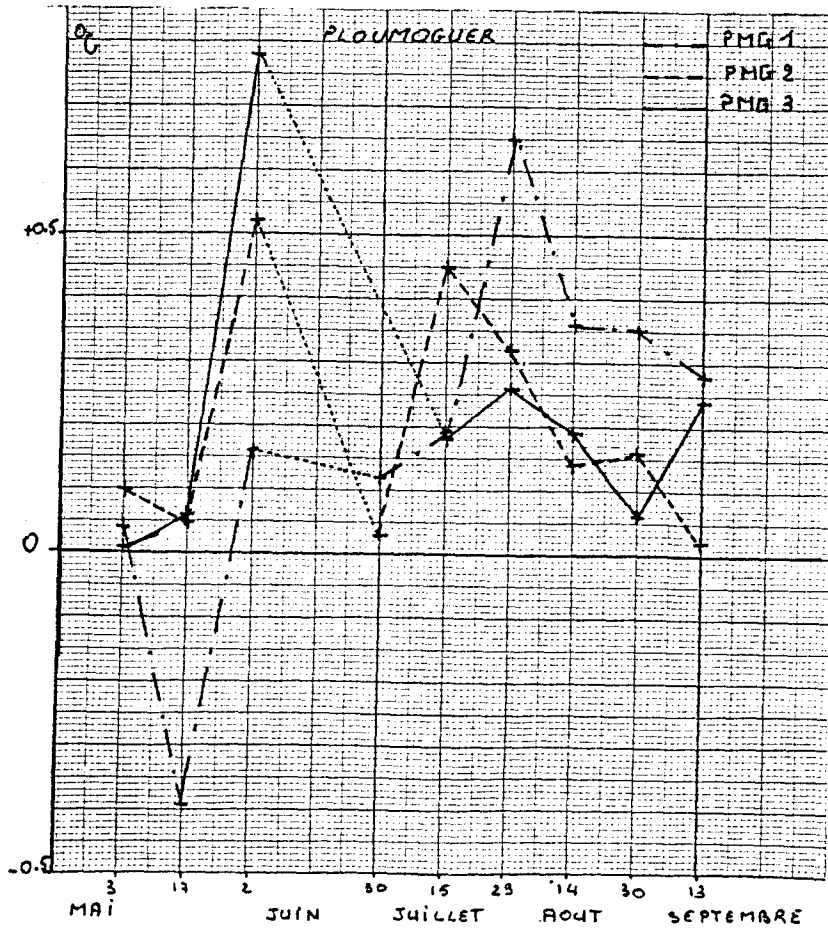
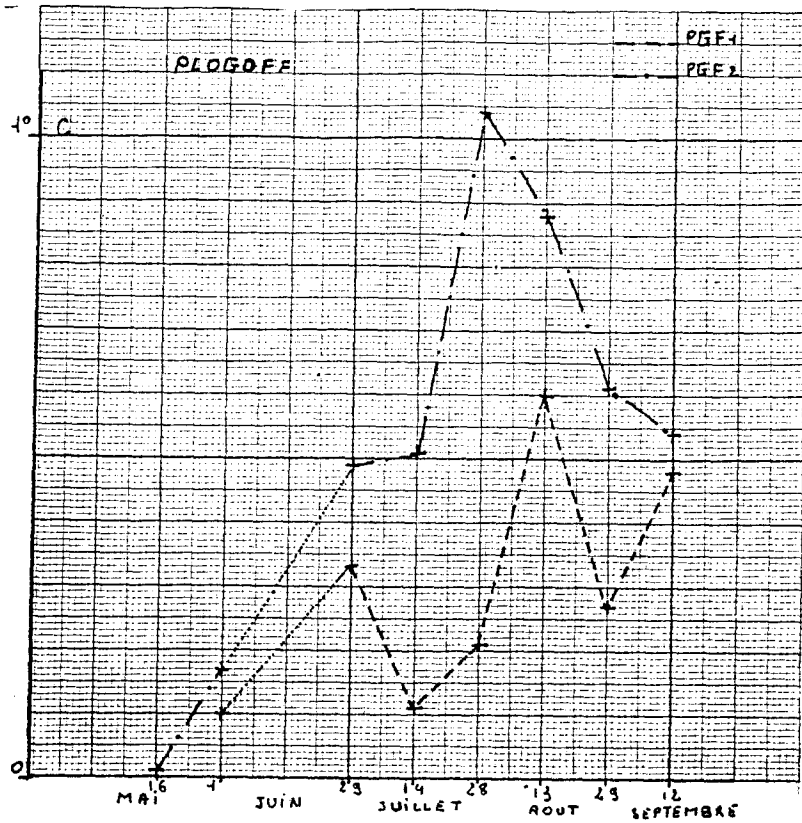
- *Température* :

Les valeurs mesurées varient d'environ 11 à 16° C à PLOUMOGUER, d'environ 11,2 à 17,2° C à PLOGOFF. La figure 2 présente l'évolution des températures moyennes sur ces deux sites. La courbe en trait continu représente la moyenne des températures de surface (sur trois stations à PLOUMOGUER, deux à PLOGOFF) et la courbe en tirets la moyenne de l'ensemble des mesures, toutes profondeurs comprises. L'évolution des deux sites apparaît immédiatement très différente. A PLOUMOGUER, la température augmente assez régulièrement jusqu'à fin Août, pour amorcer une légère diminution en Septembre. A PLOGOFF au contraire, si l'on constate bien une tendance à l'augmentation à mesure qu'avance la belle saison, cette augmentation est extrêmement irrégulière et la courbe présente de grandes dents de scie, l'écart, d'une sortie à l'autre étant d'environ 2 à 4° C. Cette particularité tout à fait remarquable n'a rien d'accidentel. Elle avait déjà été mise en évidence l'année précédente par les mesures effectuées par E.D.F., qui montrent également des variations au cours du cycle de marée pouvant atteindre 3° C (ALLEN, 1978b). L'interprétation, qui est relativement aisée, en sera donnée plus loin.

La figure 3 représente l'évolution au cours du temps de l'écart de température sur la verticale. Les valeurs positives correspondent à des eaux plus chaudes en surface qu'en profondeur, les valeurs négatives à la situation inverse, qui n'est possible en principe que si une dessalure suffisante des eaux de surface compense l'effet de la température sur leur densité. Cependant, lorsque le courant est violent, des inversions temporaires de densité peuvent parfois être observées, l'eau de surface étant un peu plus lourde que celle du fond.



Fig. 3 - Ecart thermique sur la verticale

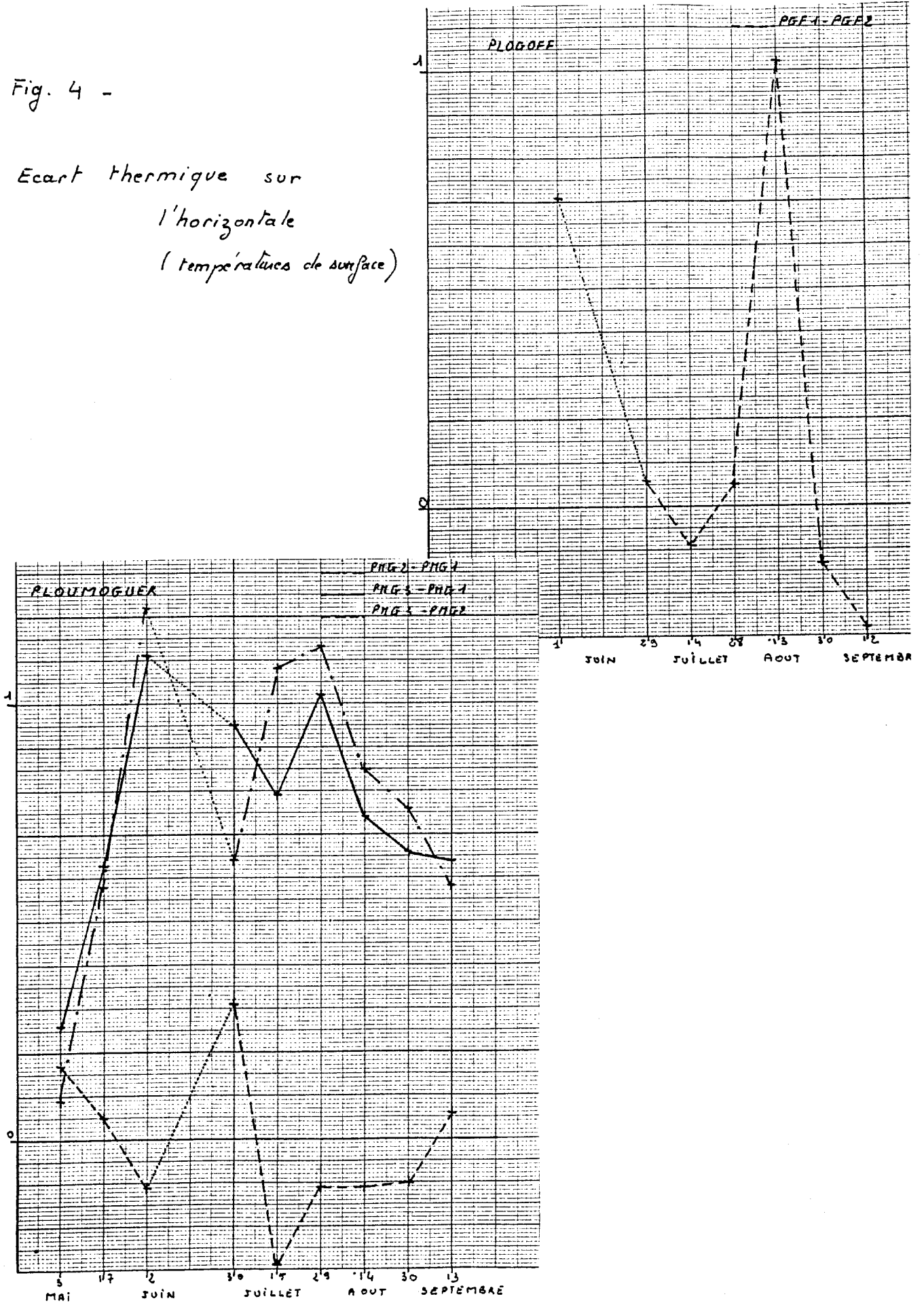


C'est à PLOGOFF que la situation est la plus simple. En début d'étude, l'eau est pratiquement homogène en température sur la verticale, puis l'écart augmente régulièrement à la station du large (PGF2) jusqu'en Juillet. Le maximum est observé le 28 Juillet, où un écart de plus de  $1^{\circ}$  C est mesuré entre 0 et 10 m, les mesures à la troisième profondeur (20 m) étant accidentellement indisponibles. Après cette date, l'écart de température décroît régulièrement, mais reste cependant supérieur au demi-degré jusqu'en fin d'étude (12 Septembre). A la station côtière (PGF1), l'évolution est plus irrégulière. L'écart est aussi plus faible et ne dépasse le demi-degré que le 13 Août. Cependant, cette station est située très près de la côte ; la couche d'eau y est peu épaisse, ce qui pourrait expliquer qu'elle soit tout entière atteinte par le réchauffement estival de surface, d'autant que le ressac, relativement important, même par temps calme, peut faciliter un brassage local.

A PLOUMOGUER, la situation est plus difficile à interpréter. Le 3 Mai, les températures sont pratiquement homogènes sur la verticale. Tel est encore le cas aux deux stations côtières le 17 Mai. Le 2 Juin, par contre, l'écart atteint le demi-degré à la station PMG2 (site) et même presque  $0,8^{\circ}$  C à la station PMG3 (Blancs Sablons). Ces écarts sont relativement importants compte tenu des faibles profondeurs (5 m) sur lesquels ils sont observés. Ensuite, à ces deux stations, les écarts de température décroissent irrégulièrement jusqu'en fin d'étude. Cette décroissance, qui va de pair avec une augmentation de la température elle-même, signifie que la totalité de la mince couche d'eau de ces stations est peu à peu atteinte par le réchauffement superficiel estival. Un peu plus au large, il en va sans doute autrement : le 18 Août 1977, l'E.D.F. mesurait à sa station de référence, située sur des fonds de 20 m, un écart de  $1,7^{\circ}$  C entre surface et fond, avec un brutal décrochement de  $1^{\circ}$  entre 2 et 4 m (ALLEN, 1978a). La station PMG1 est plus au large encore et délibérément située dans le chenal de La Helle, où le courant est violent. La température y est homogène le 3 Mai. Le 17 Mai, l'eau est plus froide en surface de  $0,4^{\circ}$  C (gradient inverse). Le gradient se rétablit ensuite dans le sens normal pour la saison (température plus élevée en surface). Il est en général peu important, mais atteint tout de même  $0,65^{\circ}$  C le 29 Juillet.

Fig. 4 -

Ecart thermique sur  
l'horizontale  
(températures de surface)



A PLOUMOGUER, en fait, les contrastes en température sur le plan horizontal (Fig. 4) prennent le pas sur les écarts verticaux : sauf le 3 Mai la différence de température de surface entre station PMG1 (large) et station PMG2 (site) n'est jamais inférieure au demi-degré. Elle approche ou dépasse le plus souvent le degré. A PLOGOFF, au contraire, l'écart de température de surface entre les deux stations est le plus souvent faible. Il approche cependant le degré le 2 Juin et le dépasse le 13 Août. C'est à cette dernière date qu'à PLOGOFF les écarts de température sont au total le plus marqués, avec le plus fort contraste surface fond à la côte ( $0,60^{\circ}$  C) et le deuxième plus fort au large ( $0,88^{\circ}$  C), s'ajoutant à l'écart qui vient d'être noté entre les stations.

- Salinité :

Un certain nombre de valeurs sont encore indisponibles pour des raisons techniques, ce qui n'autorise pour l'instant qu'une interprétation partielle. Les valeurs manquantes sont celles de fin Juin pour les deux sites, celles de la mi-Juillet, également pour les deux sites, à l'exception de deux valeurs pour PLOUMOGUER, et quatre valeurs sur sept pour le 3 Mai à PLOUMOGUER.

A PLOGOFF, les valeurs sont voisines de  $34,8 \text{ ‰}$  en début d'étude, pour atteindre des chiffres proches de  $35,2 \text{ ‰}$ , voire un peu plus, à partir de la fin Juillet. Une irrégularité est observée le 29 Août, où une décroissance temporaire se manifeste, toutes les valeurs étant comprises entre  $35,09$  et  $35,11 \text{ ‰}$ , à l'exception de celle de 20 m à la station PGF2 (large), qui reste normale ( $35,20 \text{ ‰}$ ). Les points particuliers à noter sont les suivants :

- une légère dessalure en surface le 16 Mai à la station PGF1 :  $34,76 \text{ ‰}$  contre  $34,82$  à 5 m et  $34,81$  sur toute la colonne au large
- une très curieuse répartition des valeurs le 13 Août, avec des salinités élevées en surface aux deux stations ( $35,28 \text{ ‰}$  à PGF1,  $35,26$  à PGF2), mais nettement plus faibles ( $35,18 \text{ ‰}$ ) à la profondeur suivante (5 m à la côte, 10 m au large). Au fond (20 m) à la station du large, on retrouve, par contre, une salinité élevée ( $35,27 \text{ ‰}$ ). La coïncidence de la faible valeur à profondeur

moyenne aux deux stations rend très improbable qu'une erreur de mesure soit impliquée, d'autant qu'en raison de l'effet des écarts de température, on trouve un gradient normal de la densité, qui augmente nettement de la surface au fond.

- une tendance à la sursalure en surface le 12 Septembre, qui ne peut s'expliquer que par l'évaporation subie par une eau restée longtemps en surface sans avoir subi de mélange.

A PLOUMOGUER, la situation est un peu différente selon que l'on considère les stations côtières ou celle du large. A cette dernière, on note une croissance assez régulière d'environ 34,7 ‰ à un peu moins de 35,3 ‰ tout au long de l'étude, et les écarts sur la verticale ne dépassent pas 0,1 ‰, si l'on fait abstraction d'une valeur anormalement élevée à 10 m le 14 Août, qui correspond probablement à un échantillon mal conservé. Les deux stations côtières se caractérisent par une salinité toujours plus faible que celle du large. L'écart est maximum en début d'étude (0,25 ‰) pour décroître ensuite (sauf à la mi-Août où il atteint 0,23 ‰) mais sans jamais s'annuler tout à fait, montrant ainsi que des apports d'eau douce exercent leur influence à la côte même en plein été. Sur la verticale, on observe le 17 Mai une différence importante aux Blancs Sablons compte tenu de la profondeur (34,67 ‰ en surface, 34,73 ‰ à 3 m). Une différence plus importante encore est notée le 14 Août aux deux stations côtières (35,02 ‰ en surface, 35,14 ‰ à 5 ou 4 m). Aux autres dates estivales, cependant, la tendance aux stations côtières est plutôt à la sursalure en surface, avec un écart maximum de 0,05 ‰ aux deux stations le 29 Juillet. Le 13 Septembre l'excès de salinité en surface est de 0,03 ‰ à PMG2 (site), tandis qu'aux Blancs Sablons les valeurs trouvées sont 35,22 ‰ à 5 m et 35,40 ‰ en surface. Cette dernière valeur est probablement erronée par excès et correspond sans doute à un échantillon mal conservé.

- Densité :

Les valeurs de densité ont peu d'intérêt en elles-mêmes, mais les écarts de densité, sur la verticale comme d'une station à l'autre, sont au contraire extrêmement importants pour caractériser le régime de circulation des eaux. Le degré de stratification observé à une station se caractérise par

un coefficient de stabilité :  $\frac{\Delta\sigma_t}{\Delta z} \times 1000$

où  $\Delta\sigma_t$  est la différence entre le  $\sigma_t$  de surface et le  $\sigma_t$  en profondeur (on a retenu ici à chaque fois la plus grande profondeur à laquelle des mesures soient disponibles), et  $\Delta z$  la différence de profondeur (en mètres) entre les points de mesure des deux  $\sigma_t$ . En pratique, ici,  $\Delta z$  est l'immersion correspondant à la mesure la plus profonde. Les résultats sont donnés dans le Tableau I, qui rappelle également les écarts de température ( $\Delta T$ ). Les blancs de ce tableau provisoire correspondent aux valeurs qui n'ont pu encore être calculées (faute des valeurs de salinités), tandis que le tiret pour PGF1 le 16 Mai correspond à une valeur définitivement manquante (non fonctionnement du thermomètre en surface).

Pour interpréter les valeurs du coefficient de stabilité, on dispose comme référence d'une étude consacrée à la zone ouest-Bretagne en Juillet 1967 et dont les résultats montrent de forts contrastes entre zones brassées et zones stratifiées (LE FEVRE & GRALL, 1970). Les zones stratifiées se caractérisent par un coefficient de stabilité généralement supérieur à 20 (avec un minimum de 18,4) et pouvant dépasser 30 ou 40. Les zones brassées, au contraire, se caractérisent par un coefficient de stabilité très faible, en général voisin de 2. Entre les deux se trouvent des zones frontières, où les propriétés physiques de l'eau changent très brutalement sur de courtes distances. Deux stations seulement, dans l'étude citée en référence, se trouvent sur de telles frontières. Elles se caractérisent par des coefficients de stabilité proches de 10 (calculés sur un écart 0-25 m).

La première remarque à formuler pour commenter le Tableau I est la présence de 6 valeurs négatives, correspondant, donc, en principe, à une eau plus lourde en surface qu'en profondeur. La première explication à rechercher en pareil cas est celle d'une erreur de mesure. Tel est probablement le cas pour la valeur du 13 Septembre à PMG3, où la salinité de surface est sans doute erronée par excès, comme il a été dit plus haut, et où l'inversion de densité calculée dépasse toute vraisemblance. Les cinq autres valeurs, cependant, correspondent à des instabilités beaucoup plus faibles, et ne

## TABLEAU I

Stabilité verticale et écart thermique  
sur la colonne d'eau

Date	Station	$\Delta Z$ m.	stabilité $\frac{\Delta \sigma_T}{\Delta Z} \times 1000$	$\Delta T$ °C	Date	Station	$\Delta Z$ m.	stabilité $\frac{\Delta \sigma_T}{\Delta Z} \times 1000$	$\Delta T$ °C
					3.5.78	PMG1	0-30		0,04
					3.5.78	PMG2	0-5		0,10
					3.5.78	PMG3	0-4		0,01
16.5.78	PGF1	0-5	-	-	17.5.78	PMG1	0-30	-2,0	-0,39
16.5.78	PGF2	0-5	0,0	0,01	17.5.78	PMG2	0-5	4,0	0,05
					17.5.78	PMG3	0-3	20,0	0,06
1.6.78	PGF1	0-5	2,0	0,10	2.6.78	PMG1	0-30	-1,7	0,16
1.6.78	PGF2	0-15		0,17	2.6.78	PMG2	0-5	24,0	0,52
					2.6.78	PMG3	0-5	36,0	0,78
29.6.78	PGF1	0-5		0,33	30.6.78	PMG1	0-30		0,12
29.6.78	PGF2	0-15		0,49	30.6.78	PMG2	0-5		0,03
					30.6.78	PMG3	0-5	-	-
14.7.78	PGF1	0-4		0,11	15.7.78	PMG1	0-30		0,19
14.7.78	PGF2	0-15		0,51	15.7.78	PMG2	0-5		0,45
					15.7.78	PMG3	0-5		0,18
28.7.78	PGF1	0-5	10,0	0,21	29.7.78	PMG1	0-30	4,7	0,65
28.7.78	PGF2	0-10	25,0	1,04	29.7.78	PMG2	0-5	8,0	0,32
					29.7.78	PMG3	0-4		0,26
13.8.78	PGF1	0-5	12,0	0,60	14.8.78	PMG1	0-30	-0,3	0,36
13.8.78	PGF2	0-20	9,5	0,88	14.8.78	PMG2	0-5	26,0	0,14
					14.8.78	PMG3	0-4	32,5	0,19
29.8.78	PGF1	0-5	14,0	0,27	30.8.78	PMG1	0-30	3,2	0,35
29.8.78	PGF2	0-10	15,0	0,61	30.8.78	PMG2	0-5	8,0	0,16
					30.8.78	PMG3	0-5	2,0	0,06
12.9.78	PGF1	0-5	-2,0	0,48	13.9.78	PMG1	0-25	2,8	0,28
12.9.78	PGF2	0-10	7,0	0,54	13.9.78	PMG2	0-5	-2,0	0,02
					13.9.78	PMG3	0-5	(-16,0)	0,24

L'écart de température  $\Delta T$  est compté comme positif si l'eau de surface est plus chaude que celle du fond (situation normale pour la période de l'année où ont été faites les mesures), négatif dans le cas contraire.

Le coefficient de stabilité exprime l'intensité du gradient de densité sur la colonne d'eau. Il est positif pour de l'eau plus légère en surface (cas normal), négatif dans la situation inverse.

Les blancs correspondent aux cas où la stabilité n'a pu encore être calculée (données de salinité non encore disponibles), les tirets aux valeurs définitivement manquantes (incidents de mesure). Entre parenthèses, une valeur probablement erronée.

Pour plus de précisions, voir texte.

doivent pas être rejetées sans examen. Trois d'entre elles concernent la station PMG1, en zone de fort courant. Elles traduisent donc probablement un intense brassage, qui paraît général à cette station où les valeurs du coefficient de stabilité sont toujours faibles. Deux autres valeurs faiblement négatives sont observées, l'une le 12 Septembre à PGF1, l'autre le 13 Septembre à PMG2. Dans les deux cas, l'inversion de densité est très faible, et correspond à un écart d'une seule unité sur la deuxième décimale du  $\sigma_t$  (c'est-à-dire sur la cinquième décimale de la densité). Un tel écart ne diffère sans doute pas significativement de zéro. Dans les deux cas, on observe une légère sursalure en surface, tandis que le gradient de température est normal pour la saison. Cette situation traduit une évaporation subie par une eau ayant longtemps séjourné en surface sans être renouvelée. En fin de saison (ces valeurs ont été mesurées à la mi-Septembre), l'évaporation a été suffisante pour que l'augmentation de salinité compense, du point de vue de la densité, l'effet de la température. Ces eaux sont alors destinées à plonger sur place et à se mélanger à celles qui se trouvent sous elles.

Les valeurs négatives étant expliquées, la situation de chaque site peut maintenant être caractérisée. A PLOUMOGUER, la station du large, où la stratification est toujours faible ou nulle, s'oppose aux deux stations côtières. Ces dernières sont nettement stratifiées le 2 Juin, le 14 Août, et, en ce qui concerne les Blancs Sablons, le 17 Mai. Cette stratification résulte de l'effet cumulé des écarts de température et des écarts de salinité (bien que ces derniers soient faibles sur la verticale le 2 Juin). Lorsque les stations côtières apparaissent homogènes ou peu stratifiées, un écart plus ou moins important en température et en salinité les sépare toujours de la station du large, traduisant l'existence d'une limite hydrologique plus ou moins nette entre les deux zones. La différenciation physique des eaux du large de celles de la côte fait intervenir, même en été, une dessalure littorale, dont on cherchera à établir la source dans la discussion qui suit la présentation des résultats. Cet effet de dessalure n'empêche pas l'eau côtière, qui paraît peu renouvelée, de subir en surface une certaine évaporation. En fin de saison, on trouve ainsi à la côte une eau plus salée en surface qu'au fond (mais moins salée qu'au large), dont la densité augmente et qui est donc destinée à se mélanger à l'eau du fond sous l'effet de la pesanteur.



A PLOGOFF, une seule valeur, celle de la station du large le 28 Juillet, traduit une stratification bien établie. Cette stratification est principalement due à la température, l'écart de salinité, qui existe, étant faible (35,21 ‰ en surface, 35,23 ‰ à 10 m). Il faut cependant remarquer que cette stratification est établie pour la couche de 0 à 10 m. Il est dommage que les mesures soient indisponibles à cette date pour la proximité du fond, ce qui interdit de savoir si le gradient total sur la colonne d'eau était ou non plus important. Les valeurs correspondant à une nette homogénéité verticale sont également peu nombreuses. Elles se trouvent soit au début de l'étude, lorsqu'une mer encore relativement agitée suffit à assurer le brassage vertical, soit au contraire en fin d'étude. Dans ce dernier cas, la disparition de stratification s'explique par le mécanisme d'évaporation de l'eau de surface qui a déjà été évoqué. La plupart des valeurs disponibles (Juillet-Août) du coefficient de stabilité sont intermédiaires entre forte stratification et homogénéité. Elles correspondraient plutôt à celle d'une zone frontière. Si tel est le cas, on peut supposer que cette frontière se situe entre une zone brassée à l'ouest, au voisinage du Raz de Sein, et une zone stratifiée à l'est, en baie d'Audierne. Nous verrons lors de la discussion les informations, assez nombreuses et concordantes, qui permettent de confirmer cette interprétation.

- *Oxygène dissous* :

Les valeurs de la sortie du 28 Juillet à PLOGOFF et du 29 Juillet à PLOUMOGUER sont définitivement perdues à la suite d'un incident technique dans la préparation des réactifs. Un petit nombre de mesures, éparses dans la grille de prélèvement, manquent également pour des raisons diverses (flacon cassé lors du transport, etc ...). De plus, tous les calculs de pourcentage de saturation n'ont pu encore être faits, faute de certaines mesures de salinité. Ces imperfections n'empêchent cependant pas de présenter les conclusions générales.

A PLOUMOGUER, la situation ne présente pas de particularités notables. Toutes les mesures, du 3 Mai au 30 Août correspondent à des teneurs

en oxygène supérieures à la saturation théorique, avec un maximum le 2 Juin où certaines valeurs sont proches de 130 %. Il paraît peu probable que ces résultats soient dûs à des erreurs de mesure (qui sont généralement par excès), car ils diffèrent parfois sensiblement de ceux obtenus sur des échantillons récoltés à PLOGOFF la veille dans les mêmes conditions, pour lesquels les mêmes lots de réactifs ont été utilisés, et qui ont été dosés simultanément. Il est plus probable que ces valeurs élevées correspondent à une production sur place d'oxygène par photosynthèse, par un plancton végétal à forte activité physiologique. Le 13 Septembre, par contre, les teneurs sont plus faibles, et très proches de la saturation. Sur 6 valeurs disponibles, une seule la dépasse, une autre est exactement à la saturation et les trois autres légèrement en dessous, avec un minimum de 98,8 % (station du large, 25 m).

La situation est très différente à PLOGOFF. Une très légère sur-saturation est observée le 16 Mai, qui augmente le 1er Juin (valeurs proches de 120 % à la côte, de 110 % au large). Pour les trois sorties suivantes, les valeurs sont indisponibles, définitivement pour le 28 Juillet, non calculées faute des valeurs de salinités le 29 Juin et le 14 Juillet. Si l'on suppose cependant que les salinités à ces deux dates sont comprises entre 34,8 ‰, valeur du 1er Juin et 35,2 ‰, valeur du 28 Juillet, on peut calculer une fourchette pour les pourcentages de saturation d'oxygène. On trouve ainsi une chute des teneurs le 29 Juin, avec des pourcentages à peine supérieurs à la saturation (101-102 %) à la côte, et même inférieurs (96-99 %) au large. Cette chute s'accroît même à la sortie suivante (14 Juillet), avec des pourcentages de saturation compris dans la gamme 82-88 %. Le 13 Août, on constate un retour à une situation plus normale, avec des valeurs nettement sursaturées à la côte, plus faiblement au large. Le 29 Août, les valeurs sont toujours sursaturées. Le 12 Septembre par contre, une nouvelle chute des taux d'oxygène dissous se produit, avec des pourcentages de saturation compris entre 89 et un peu plus de 93 %. En moyenne, sur l'ensemble de la durée de l'étude, la station côtière est assez systématiquement un peu plus riche en oxygène dissous, ce que le ressac pourrait peut-être suffire à expliquer. Le trait remarquable du site de PLOGOFF est donc l'apparition irrégulière de baisses importantes du taux d'oxygène dissous. Un premier

facteur explicatif envisageable, lorsque l'on constate une telle désoxygénation des eaux, réside dans l'apport d'une grande quantité de matière organique par le rejet, par exemple, d'effluents domestiques ou industriels. Cette éventualité paraît exclue à PLOGOFF. De plus, les sous-saturations observées sont plus importantes que celles résultant de la dégradation du pétrole de l'AMOCO-CADIZ devant PORTSALL, où les taux d'oxygène dissous à la mi-Avril ne descendent pas au-dessous de 97 % de la saturation (AMINOT & KEROUËL, 1978). Reste donc comme seule possibilité le fait que les eaux où la désoxygénation s'observe ont subi un confinement important et de longue durée. En Juin-Juillet, d'ailleurs, la chute des teneurs en oxygène coïncide avec une baisse de température, caractéristique peu compatible avec l'hypothèse d'une pollution côtière. Cette coïncidence elle-même suggère une explication hydrologique au phénomène constaté. Cependant, un rappel des grandes caractéristiques océanographiques des secteurs ouest et sud Bretagne est nécessaire avant de formuler cette hypothèse, qui ne sera donc évoquée que dans la discussion. Retenons pour l'instant que les taux d'oxygène dissous mesurés sont incompatibles avec la vision jusqu'ici admise du site de PLOGOFF, qui supposait un intense brassage et un bon renouvellement des eaux.

*- Sels nutritifs :*

Les mesures ont porté sur l'ensemble nitrates + nitrites, dont les teneurs sont exprimées en micro-atomes-grammes d'azote par litre d'eau de mer, ainsi que sur les phosphates, exprimées en  $\mu\text{atg/l}$  de phosphore. On estime ainsi évaluer les stocks disponibles en substances azotées et phosphatées nécessaires à la production des végétaux de pleine eau (phytoplancton). Quelques valeurs de nitrates paraissent anormalement élevées et correspondent vraisemblablement à une contamination de l'échantillon par des particules en suspension. Dans ces quelques cas, on aurait donc mesuré des teneurs en azote particulaire et non en azote dissous. Les échantillons étaient pourtant recueillis au travers d'un filtre, mais celui-ci avait sans doute une maille trop grosse (200  $\mu$ ) pour éliminer les particules fines. Sur le conseil de

P. TREGUER (Laboratoire d'Océanographie Chimique, Université de Bretagne Occidentale), on a donc rejeté quelques valeurs anormales. Le problème ne se pose pas pour les phosphates, sauf pour une seule mesure (PGF1, surface, 1er Juin : 0,47  $\mu$ atg P/l, alors que les autres valeurs pour la même sortie vont de 0,10 à 0,27). Cette valeur a donc, par prudence, été également éliminée de l'interprétation.

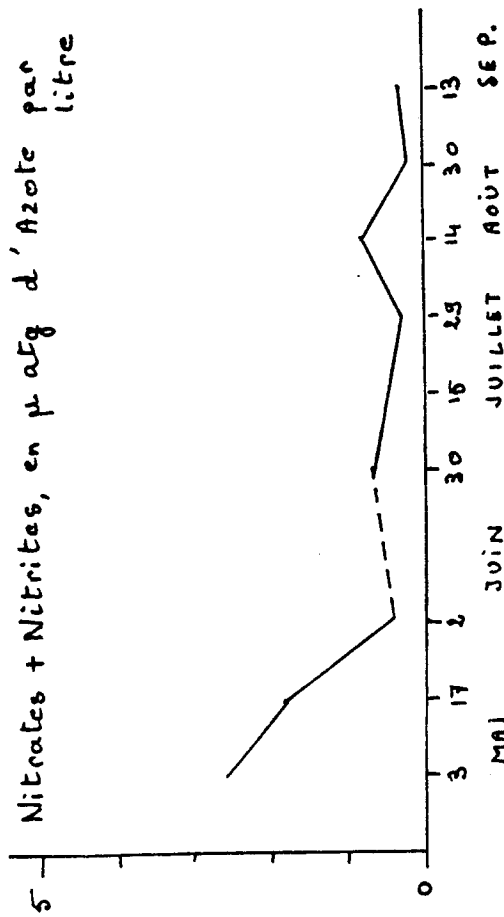
Les résultats sont présentés Figure 5, qui représente l'évolution des teneurs en nitrates et phosphates, exprimée en valeur moyenne pour chaque sortie, toutes profondeurs et stations confondues (valeurs normales seulement), le détail des variations (d'ailleurs faibles) entre profondeurs et station à une même date étant réservé pour le rapport final. On remarquera que l'échelle adoptée pour les nitrates correspond à des valeurs dix fois plus importantes que pour les phosphates, ce qui correspond au rapport normal de l'abondance de ces substances en mer.

La situation observée à PLOUMOGUER est classique. En Mai-début Juin, les teneurs en nitrates chutent de manière importante, dans des proportions de 10 à 1 environ. Cette chute correspond à l'épuisement du stock disponible, en raison de l'utilisation par la production végétale. Les valeurs de départ sont cependant déjà faibles par rapport à un stock hivernal normal, ce qui signifie sans doute que l'on assiste seulement à la fin du processus d'épuisement par la poussée printanière du phytoplancton. Celle-ci aurait donc débuté en Avril, comme cela se produit habituellement en Rade de Brest (TREGUER & LE CORRE, communication personnelle). Pendant tout le reste de la période d'étude, les teneurs en nitrates restent à un niveau très bas, proche de l'épuisement. La régénération automnale n'est pas observée. En ce qui concerne les phosphates, la diminution du stock a déjà eu lieu en début d'étude, et les valeurs mesurées tout au long de celle-ci sont uniformément basses et sans variations notables. Elles sont cependant nettement au-dessus de l'épuisement total. Pendant l'été, les teneurs en phosphates sont presque égales à celles des nitrates, alors qu'elles devraient normalement être de l'ordre du dixième. Il y a donc un excès relatif de phosphore par rapport à l'azote qui est une caractéristique fréquente des eaux côtières soumises à des apports phosphatés en provenance d'effluents domestiques (détergents) ou des terres agricoles (engrais).

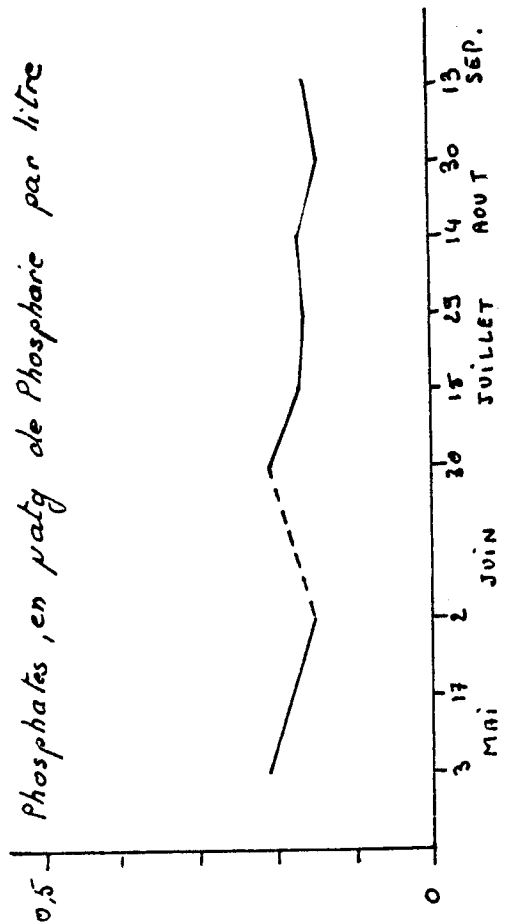
Figure 5 - Evolution des teneurs moyennes en sels nutritifs.

a) à PLOUMOGUER

Nitrates + Nitrites, en  $\mu$ atg d'Azote par litre

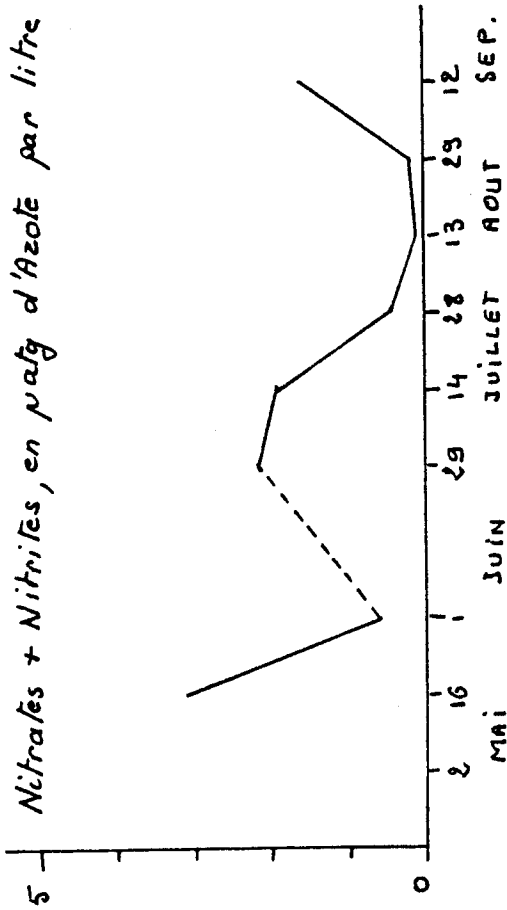


Phosphates, en  $\mu$ atg de Phosphore par litre

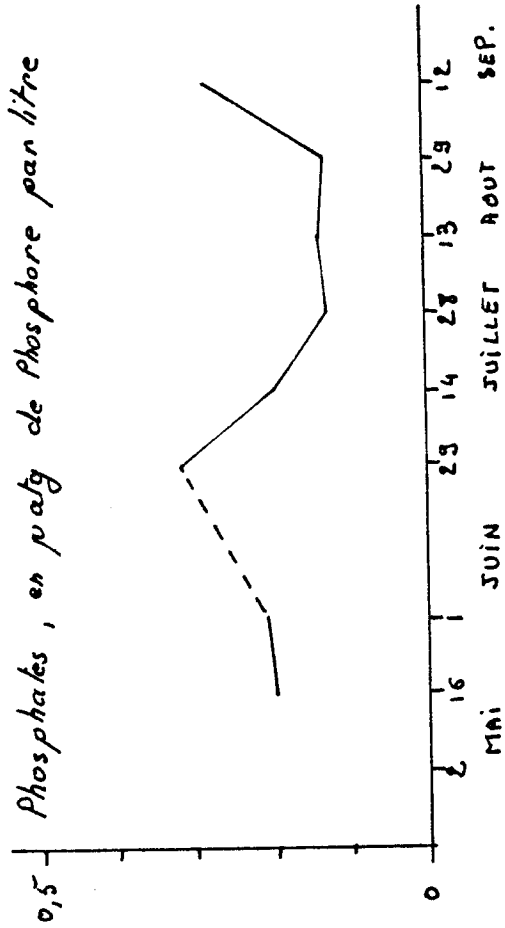


b) à PLOGOFF

Nitrates + Nitrites, en  $\mu$ atg d'Azote par litre



Phosphates, en  $\mu$ atg de Phosphore par litre



A PLOGOFF, la situation est très différente. On observe bien une chute des nitrates en début de saison et un épuisement en Août, période pendant laquelle on trouve un excès relatif de phosphore analogue à celui trouvé à PLOUMOGUER, mais pour le reste, le cours des événements est très différent. L'évolution est beaucoup plus irrégulière et une importante remontée se produit le 29 Juin, qui persiste, atténuée pour les phosphates, le 14 Juillet. Le 12 Septembre, une augmentation des teneurs, aussi bien pour les nitrates que pour les phosphates, correspond vraisemblablement au début de la régénération automnale. L'explication est beaucoup moins aisée pour le cas des valeurs relativement fortes de fin Juin début Juillet. On constate qu'à ces valeurs correspond un rapport azote-phosphore qui se situe dans la gamme normale en mer, et s'éloigne par conséquent de celui des eaux côtières influencées par des rejets domestiques ou agricoles. On constate aussi que cette remontée du taux des sels nutritifs coïncide (comme d'ailleurs en Septembre) avec une chute des teneurs en oxygène (cf. ci-dessus). Ce fait est compatible avec l'hypothèse qu'une régénération des sels nutritifs a lieu, par minéralisation de matière organique morte, dont la décomposition consommerait de l'oxygène. Ce même fait est cependant tout aussi compatible avec une autre hypothèse, de nature hydrologique, et dont nous avons dit qu'elle serait évoquée dans la discussion.

PHYTOPLANCTON

I) GENERALITES

L'étude du phytoplancton, responsable de la production primaire pélagique, premier échelon de la chaîne trophique marine, est abordée dans ce travail par trois méthodologies différentes :

1) Evaluation de la biomasse chlorophyllienne (chlorophylle a)

la chlorophylle ou plutôt les chlorophylles contenues dans les cellules phytoplanctoniques sont les pigments responsables de l'utilisation de l'énergie lumineuse pour l'élaboration de leur matière organique. Les chlorophylles ne sont sensibles qu'à une certaine gamme de longueurs d'onde et leur minimum d'absorption se situe autour de 520 nm, ce qui correspond également aux radiations les plus pénétrantes dans l'eau de mer. D'autres pigments sont donc nécessaires, bruns par exemple (diatomées, dinoflagellés) pour transférer l'énergie reçue aux chlorophylles. Les chlorophylles sont nécessaires pour l'activité autotrophe des organismes phytoplanctoniques, mais leur présence n'est pas obligatoirement indicatrice d'une bonne activité. Sous l'action de différents facteurs, la chlorophylle peut se dégrader irréversiblement en donnant des phéopigments, inactifs.

2) Dénombrement et détermination des organismes

les organismes dénombrés sont des unicellulaires (solitaires ou en colonies) appartenant à différents groupes de comportement écologique différent.

Deux sont dominants dans les eaux marines tempérées :

- diatomées (ou bacillariophycées) : les diatomées sont des algues unicellulaires enfermées dans une sorte de coque siliceuse. Leur taux de croissance et leur production sont élevés et ces algues constituent la nourriture principale du plancton animal herbivore. Totalement immobiles, elles tendent, lorsque les eaux sont calmes, à sédimenter sur le fond, où les conditions leur sont généralement défavorables (absence ou insuffisance de lumière au-delà de quelques dizaines de mètres). Les diatomées se développent donc bien lorsque les eaux sont suffisamment brassées, et que d'autres conditions favorables sont réunies (lumière et sels nutritifs en quantité suffisante). De 5 à 200 microns de longueur,

autotrophes, elles sont subdivisées en deux groupes selon leur mode de division :

- . pennées, essentiellement benthiques (fixées sur un substrat), dont le genre le plus représenté est *Navicula*. Certaines espèces sont cependant planctoniques, telle *Asterionella*, *Thalassionema* et quelques *Nitzschia*. Les taxons benthiques apparaissent dans les échantillons pélagiques après un brassage des eaux important (tempêtes, forts courants de marée),
- . centriques, pour la grande majorité pélagique. Ce sont les principales représentantes des populations planctoniques.

Les diatomées peuvent présenter de forts développements quasi monospécifiques (eaux brunes) dans certaines conditions mal définies (*Skeletonema costatum*, certains *Coscinodiscus*).

- dinoflagellés (ou dinophycées) : de classe de taille à peu près identique aux diatomées, flagellés (deux flagelles) autotrophes et/ou hétérotrophes. Ils ont une structure cellulaire plus élaborée que les diatomées, avec en particulier présence de grains d'amidon et parfois de taches photosensibles. Ils peuvent absorber de la matière organique dissoute ou particulaire. Deux groupes principaux se distinguent, les dinoflagellés nus (ou gymnodinides) principalement représentés par *Gymnodinium* et *Gyrodinium*, et les dinoflagellés cuirassés, à thèque "bivalve" (*Dinophysis*, *Prorocentrum*) ou segmentées en plaques polygonales (*Peridinium*, *Gonyaulax*, etc.). Ils deviennent plus abondants en été et automne et arrivent parfois à supplanter les diatomées. Les dinoflagellés ont un faible taux de croissance et sont peu appréciés comme nourriture par le plancton herbivore. Certains d'entre-eux sont d'ailleurs toxiques, y compris pour l'homme, qui peut entrer en contact avec eux par les embruns ou en ingérant des coquillages contaminés. La plupart des dinoflagellés planctoniques ont la possibilité de nager ; d'autres sont plus légers que l'eau et se rassemblent en surface. Les dinoflagellés sont donc aptes à se développer par temps calme et dans des eaux stratifiées. Ils occupent alors la couche superficielle ou la limite entre celle-ci et la couche profonde. Certaines espèces de dinoflagellés peuvent se rencontrer à des densités de plusieurs millions de cellules/litre. Leur présence modifie alors la couleur de la mer, qui prend le plus souvent une teinte rouge sang (dans une zone en général très limitée), d'où le nom d'eau rouge donné à ces phénomènes. Les eaux rouges entraînent fréquemment des mortalités massives d'organismes marins, soit parce qu'elles sont dues à des espèces toxiques, soit pour d'autres raisons encore mal élucidées.



Parmi les dinoflagellés, il existe un organisme de "grande" taille (de l'ordre du millimètre), plus souvent dénombré avec le zooplancton, il s'agit de *Noctiluca miliaris*. Bien qu'il soit parfois présent dans les cuves à sédimentation, il en sera discuté essentiellement au niveau du zooplancton (organisme hétérotrophe).

Les diatomées et dinoflagellés ne sont pas les seuls représentants des populations prélevées. Dans la classe de taille inférieure à 5 microns ("ultraplancton" de la plupart des auteurs, mais baptisé ici "nanoplancton"), se rencontrent des bactéries difficilement reconnaissables au grossissement employé, et des flagellés chlorophylliens (essentiellement des cryptophycées) en grand nombre. Egalemeut communs sont les silicoflagellés, représentés surtout par un seul taxon (*Dictyocha speculum*). Quelques Euglènes sont parfois présentes.

En-dehors des organismes chlorophylliens sont dénombrés des protozoaires, tels que les ciliés dont la détermination précise n'est pas effectuée. Leur rôle écologique est assez important, leur abondance est plus ou moins liée à l'abondance de matières organiques dans le milieu.

Les caractères écologiques très différents des diatomées et des dinoflagellés expliquent le cycle que l'on observe généralement au cours de l'année dans les eaux tempérées. En hiver, faute de lumière et aussi en raison des basses températures, la production végétale est presque nulle et les sels nutritifs, non utilisés, sont à leur maximum. Au printemps, lorsque lumière et température augmentent et que les eaux sont encore brassées, apparaît une floraison, en général assez brusque, du phytoplancton, due aux diatomées. Cette poussée végétale épuise assez rapidement les sels nutritifs et doit se ralentir. Dans l'intervalle, cependant, l'abondance des animaux planctoniques herbivores a suivi celle de leur nourriture. Ces animaux, en s'attaquant au stock végétal, le font diminuer. Par leur excrétion de déchets ils tendent à remettre en circulation des sels nutritifs, favorisant à nouveau la production végétale. A la fin du printemps, un équilibre tend à s'établir, avec des quantités assez élevées de plancton animal et des quantités faibles de diatomées (mais dont la production, immédiatement consommée, peut être élevée) et des concentrations minimales de sels nutritifs, constamment réutilisés. En été, si les courants ne sont pas trop violents,

le réchauffement superficiel des eaux tend au développement de deux couches de température différente, séparées par une discontinuité appelée thermocline. Les conditions sont devenues défavorables aux diatomées, auxquelles succèdent alors les dinoflagellés. En automne, lorsque reprend l'agitation due aux vents et que se rétablit le brassage des eaux (éventuellement favorisé par l'alourdissement, par évaporation des eaux de surface), une deuxième poussée de diatomées se produit, généralement moins importante que la première, les conditions devenant vite défavorables. Lorsqu'il ne s'établit pas de stratification estivale, comme en Manche où les courants de marée sont violents, il se produit une seule poussée, au printemps, et la dominance des diatomées dans le phytoplancton dure toute la belle saison (GRALL, 1972).

La mesure des paramètres 1 et 2 ne peut être faite qu'à un temps donné et ne représente qu'un état transitoire de l'évolution des populations. Une méthode "dynamique" complète les précédentes.

### 3) Evaluation de la production primaire potentielle

Elle permet d'apprécier les possibilités d'élaboration de matière organique en un temps donné par les populations reconnues selon les méthodes précédentes. Le taux de production est dépendant de la composition spécifique des échantillons, du nombre de cellules autotrophes par unité de volume, de leur volume (des petites cellules ont en général une production plus élevée) et de leur état physiologique, en plus des paramètres physiques comme lumière et température. Le rapport Production/Biomasse chlorophyllienne n'est pas constant sur l'année et varie de 0 à 10. Un rapport élevé indique des populations soumises à un fort taux de renouvellement.

## II) MATERIEL ET METHODES

### 1) Chlorophylle

Un demi litre d'eau est filtré à travers une membrane filtrante Whatman de 0.5  $\mu\text{m}$  de diamètre de pore. Les filtres sont conservés au congélateur avant analyse au laboratoire. L'extraction se fait après broyage du filtre et addition de 5 ml d'acétone à 90 %. La fluorescence émise est mesurée à l'aide d'un fluorimètre Turner modèle 111. Le calcul du taux de chlorophylle s'effectue selon l'équation de Lorenzen.

## 2) Enumération et détermination du phytoplancton

Les échantillons sont fixés au lugol acide. Selon la méthode d'Utermöhl, un volume de 50 cm<sup>3</sup> est mis à décanter dans des chambres à sédimentation pendant 24 heures. Le fond de ces cuves est constitué d'une lamelle de verre permettant l'observation des organismes décantés grâce à un microscope à optique inversée. Si les individus d'un ou plusieurs taxons sont suffisamment nombreux (plus de 100), ils sont comptés sur une fraction du fond de cuve, le reste étant dénombré sur la moitié du fond de cuve.

A chaque niveau de prélèvement ne correspond qu'un seul échantillon.

L'incertitude liée à la valeur de ces échantillons uniques est donc assez importante. Des comptages effectués par ailleurs (Paluel, 1er cycle d'études) sur trois sous-échantillons montrent une incertitude de l'ordre de 30 %.

C'est une évaluation peut être un peu forte pour les échantillons de Plogoff et Ploumoguer, dont le volume observé est plus important (25 cm<sup>3</sup> au lieu de 1) ainsi que le nombre total d'individus (1000 en moyenne - plus de 200 pour le plus pauvre contre 100 à Paluel). On peut considérer globalement sur les comptages 20 à 25 % d'erreur.

A chaque échantillon sont dénombrés tous les organismes déterminables. Des précisions sont apportées sur l'état des cellules : nombre de cellules en division, nombre de cellules mortes (frustules vides ou contenant un cytoplasme très réduit). Ces nombres sont ensuite rapportés au nombre total de cellules de microplancton par le calcul de leur pourcentage. Il n'est pas toujours évident de préciser les limites de choix d'une cellule en division ou d'une cellule "morte". Les diatomées faiblement siliceuses se dissolvent rapidement après la mort du cytoplasme, par exemple. Le calcul du taux de cellules en division peut être un indice de l'activité cellulaire.

## 3) Production primaire

Sur les lieux du prélèvement, des échantillons de 100 ml sont inoculés avec un millilitre de solution de NaH<sup>14</sup>CO<sub>3</sub> dosé à 4 microcuries. Ils sont ensuite incubés à la lumière artificielle et à la température de l'eau de surface. A chaque niveau de prélèvement correspondent deux échantillons incubés dans des flacons à parois transparentes et un échantillon incubé dans un flacon à parois opaques. Après environ 4 heures d'incubation, les échantillons sont filtrés sur membrane Sartorius de 0.45 microns de diamètre de pores.

Au laboratoire, les filtres sont séchés et introduits dans des flacons et additionnés de 10 ml de liquide scintillant (Instagel-Packard). Le comptage de l'activité résiduelle s'effectue à l'aide d'un compteur à scintillation liquide (Intertechnique SL30). Les résultats sont exprimés en  $\text{mgC.m}^{-3}.\text{h}^{-1}$  ou, après intégration sur la colonne d'eau, en  $\text{mgC.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ .

Cette production ne représente que les potentialités productives d'une population autotrophe à une intensité lumineuse qui correspond à une moyenne sur l'année, de l'intensité lumineuse naturelle. Cette intensité employée est donc sursaturante en hiver, et sous-saturante en été. De plus, la composition spectrale de la lumière émise dans l'incubateur se rapproche de celle de la lumière naturelle. Si cette méthode permet de comparer les productions de populations entre-elles, à énergie lumineuse équivalente, elle est difficilement extrapolable à la productivité naturelle, en l'absence de mesures de photométrie atmosphériques et marines.

L'idéal est bien entendu d'effectuer en même temps les mesures in situ avec immersion de filières portant les flacons d'échantillon à leur niveau de prélèvement. Mais, si cette technique est applicable en Méditerranée, elle est peu réalisable en mer à marée, en raison des courants qui y règnent, spécialement à proximité des sites éventuels de centrales nucléaires (une des raisons principales du choix des sites).

Cependant, lors d'une mission en baie de Seine (mai 1978), des mesures ont permis de comparer des échantillons incubés en lumière artificielle d'une part, et, d'autre part, après immersion à leur profondeur de prélèvement. Les résultats obtenus sont sensiblement identiques dans les deux cas pour les échantillons de surface.

Dans la limite de la durée de l'étude (mai à septembre), on peut donc considérer les valeurs de production primaire potentielle effectuées en surface comme proches des valeurs de production in situ.

### III) RESULTATS

Les prélèvements à analyser disponibles proviennent de 8 campagnes (16 mai au 12 septembre) pour la chlorophylle et la production primaire à Plogoff et 6 campagnes (1er juin au 29 août) pour les déterminations et comptages.

A Ploumoguer, les résultats correspondent à 8 campagnes pour détermination et comptage (3 mai au 30 août) et pour la production primaire (17 mai au 13 septembre) et à 9 campagnes pour la chlorophylle (3 mai au 13 septembre). Les résultats quantitatifs sont présentés dans les tableaux IVa et IVb, et les résultats qualitatifs dans les tableaux VIa1 à VIb8 (annexe). Ils seront discutés en fonction des variations saisonnières et en fonction des variations spatiales (verticales et horizontales) pour chaque site. Les variations spatiales sur la colonne d'eau sont présentées dans les tableaux Va et Vb (annexe). Le mode de calcul choisi pour figurer les différences sur la colonne d'eau est un rapport de la différence entre les niveaux sur la moyenne des valeurs des deux niveaux considérés ; cette différence devient un pourcentage de la moyenne des valeurs. Ceci permet d'éviter de faire entrer en compte les fortes différences qui apparaissent nécessairement lorsque les valeurs sont élevées. Cette différence est positive lorsque le niveau de surface est plus riche.

#### 1) Paramètres quantitatifs

Les paramètres quantitatifs concernent le nombre de cellules par unité de volume, la biomasse chlorophyllienne et la production primaire potentielle.

##### a) Variations saisonnières

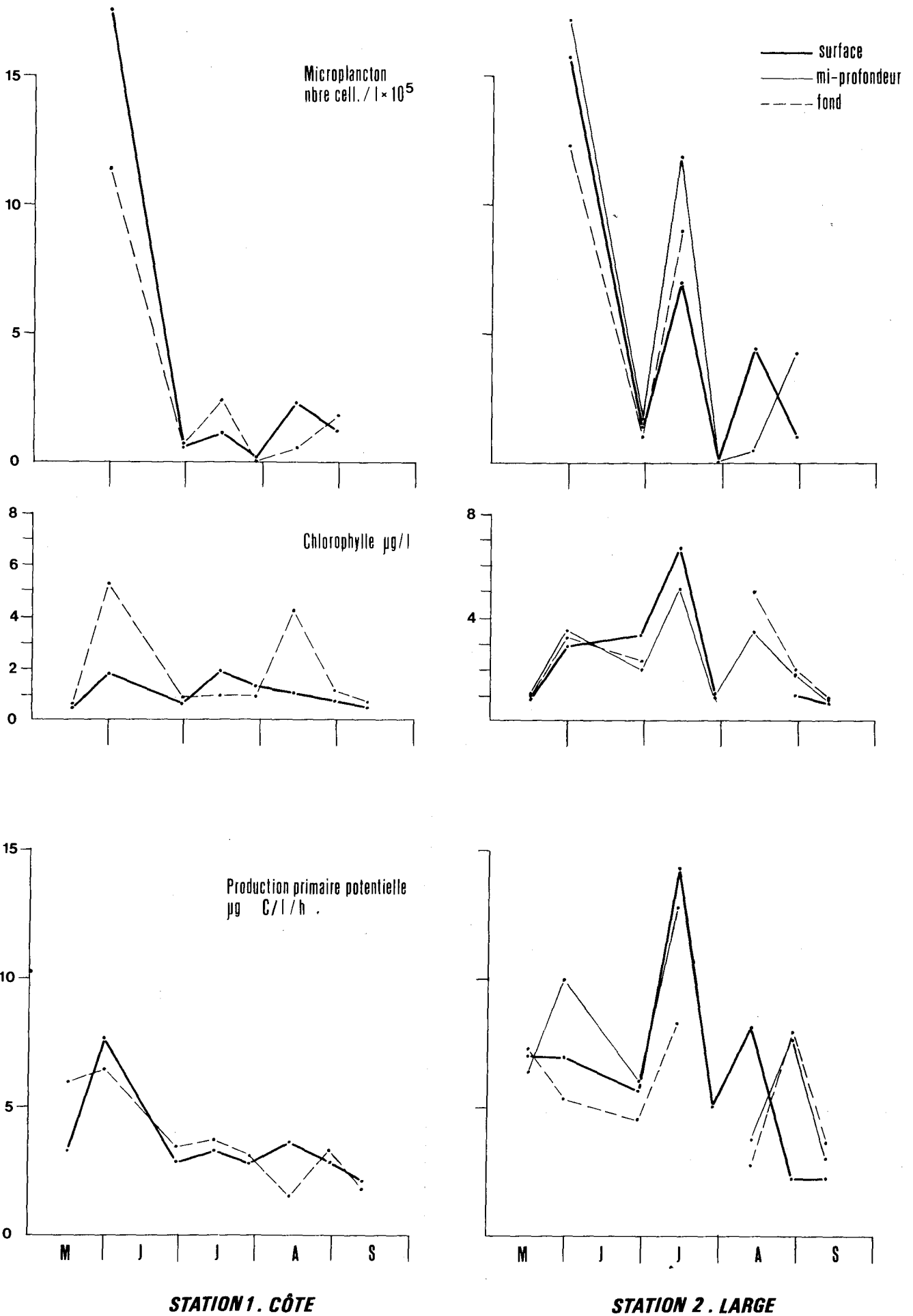
###### - Plogoff (figures 1 et 2)

En nombre de cellules, trois pics d'abondance se succèdent dans la limite de la durée de l'étude :

- 1er juin :  $1,5 \cdot 10^6$  cellules au litre en moyenne, avec 90 % de petites cellules de la diatomée *Nitzschia delicatissima*. La production primaire correspond à cette population et se situe autour de 7 mgC/m<sup>3</sup>/h avec une évaluation de la biomasse chlorophyllienne à environ 3 mg/m<sup>3</sup>.

**Variations saisonnières de quelques paramètres biologiques**

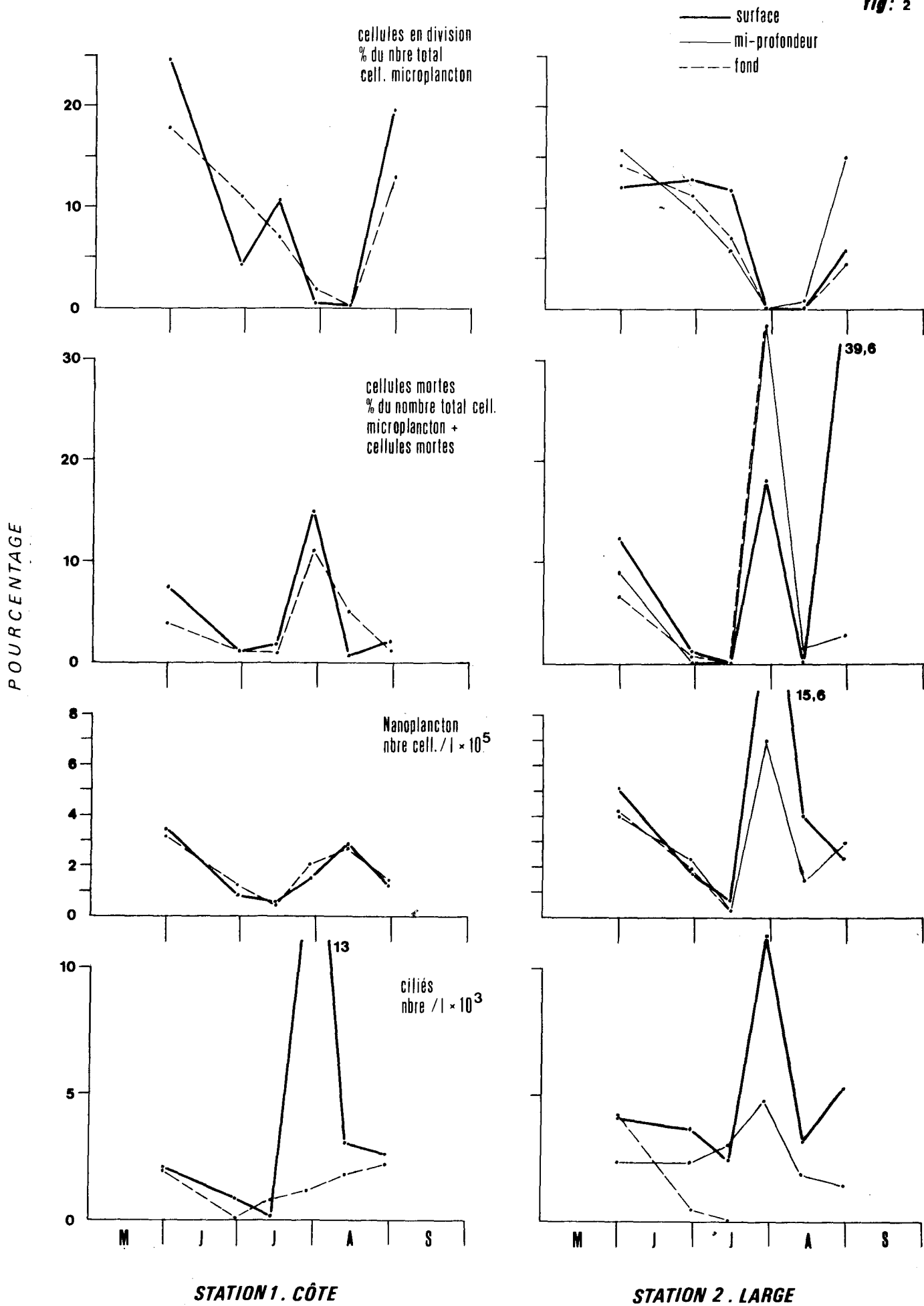
**fig. 1**



**PLOGOFF 1978**

*Variations saisonnières de quelques paramètres biologiques*

fig: 2



- . 14 juillet : de  $10^5$  à  $10^6$  de cellules au litre (selon les stations), population principalement composée de diatomées comme *Chaetoceros (curvisetum et debile)* et *Thalassiosira*. La plus grande différence d'abondance entre les deux stations au niveau du nombre de cellules (plus riche au large) se retrouve pour la production primaire (3 et 11 mgC/m<sup>3</sup>/h) et la chlorophylle (1 et 5 mg/m<sup>3</sup>).
- . 13 et 29 août : les deux importantes différences spatiales (horizontales et surtout verticales), rencontrées lors des deux campagnes d'août, font osciller les valeurs entre  $5 \cdot 10^4$  et  $6 \cdot 10^5$  cellules au litre, avec dinoflagellés (*Gyrodinium aureolum*) le 13 et réapparition des diatomées le 29 (*Leptocylindrus danicum*). Le taux de chlorophylle est plus élevé le 13 août (1 à 5 mg/m<sup>3</sup>) que le 29 (0,7 à 2 mg/m<sup>3</sup>), alors que la production primaire potentielle varie moins en moyenne (1,3 à 8 µgC/m<sup>3</sup>/h).

Une campagne est également remarquable, celle du 28 juillet, où le nombre de cellules de microplancton, la chlorophylle et la production primaire sont peu élevés, mais où l'on observe une très nette abondance de ciliés liée à un fort pourcentage de cellules mortes. C'est à cette date que les dinoflagellés commencent à supplanter les diatomées (avec *Gyrodinium aureolum*).

- Ploumoguier (figures 3, 4 et 5)

Quelles que soient les stations, deux pics d'abondance se dessinent :

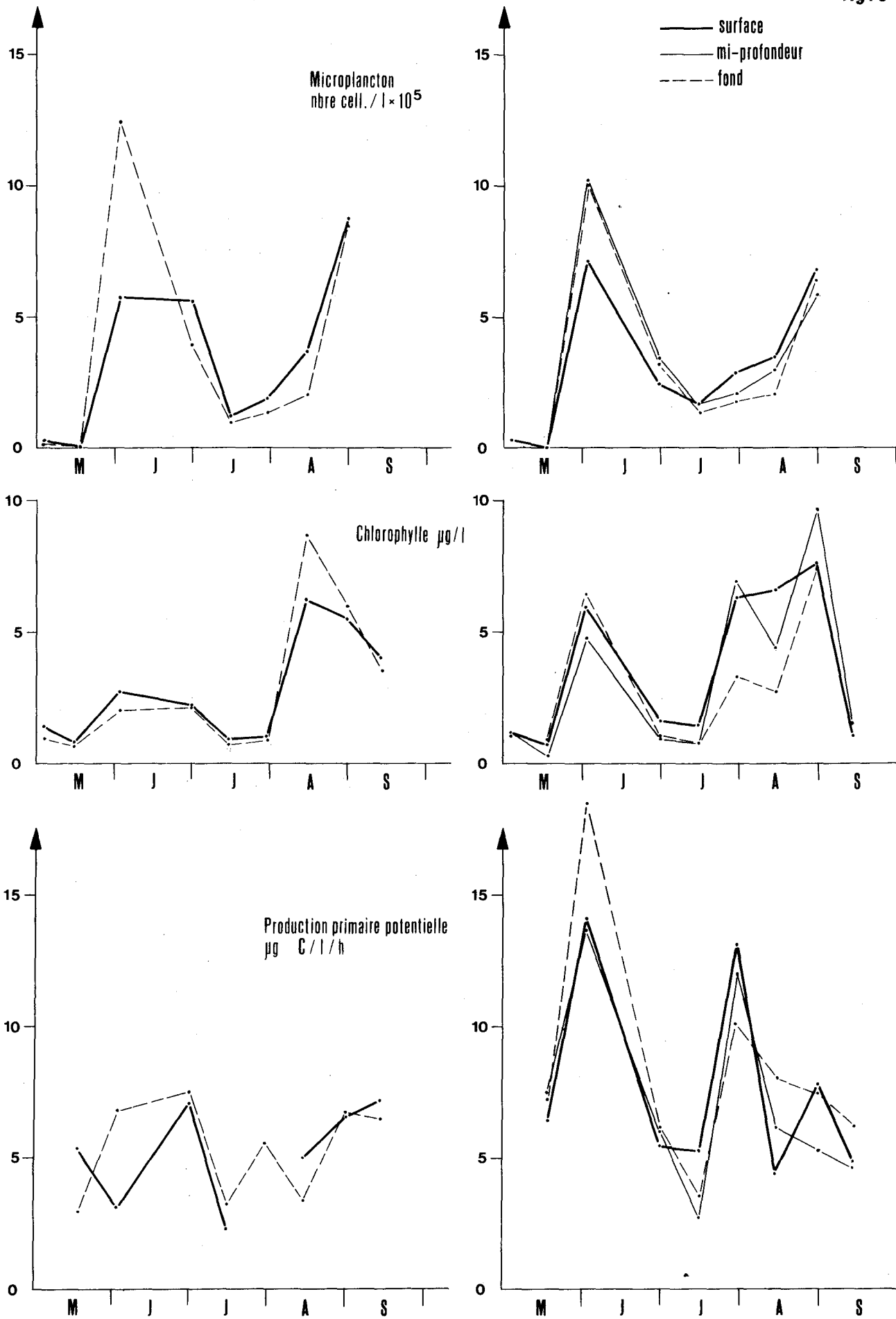
- . 2 juin : 7 à  $13 \cdot 10^5$  cellules/litre avec la diatomée *Nitzschia delicatissima* (40 à 75 %), de 2 à 6 mg/m<sup>3</sup> de chlorophylle et une production potentielle de 5 à 15 mgC/m<sup>3</sup>/h.
- . mi-août : 5 à  $10 \cdot 10^5$  cellules/litre, avec un léger développement de *Gyrodinium aureolum*, autour de 7 mg/m<sup>3</sup> de chlorophylle et de 7 mgC/m<sup>3</sup>/h.



# PLOUMOGUER 1978

Variations saisonnières de quelques paramètres biologiques

fig:3



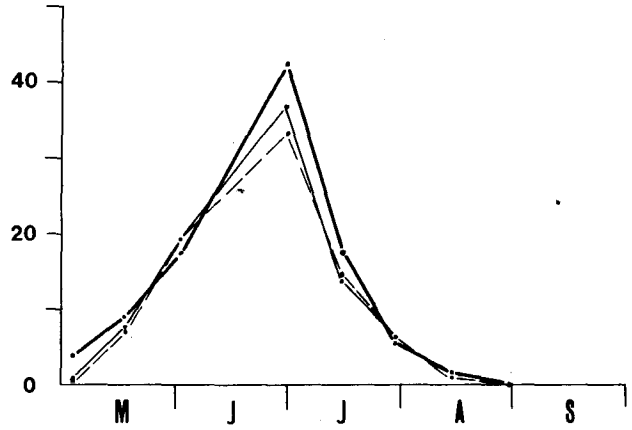
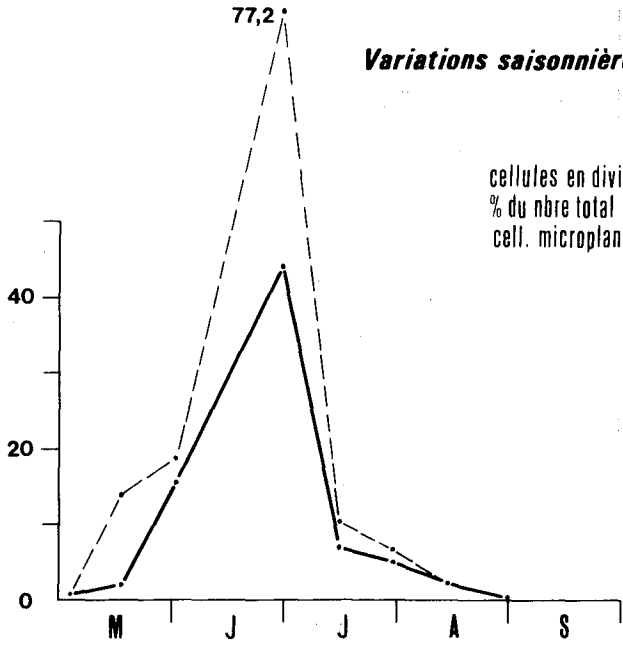
# PLOUMOGUER 1978

## Variations saisonnières de quelques paramètres biologiques

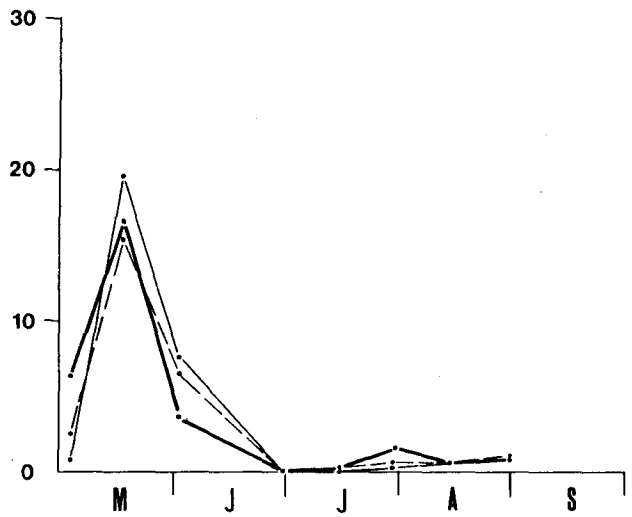
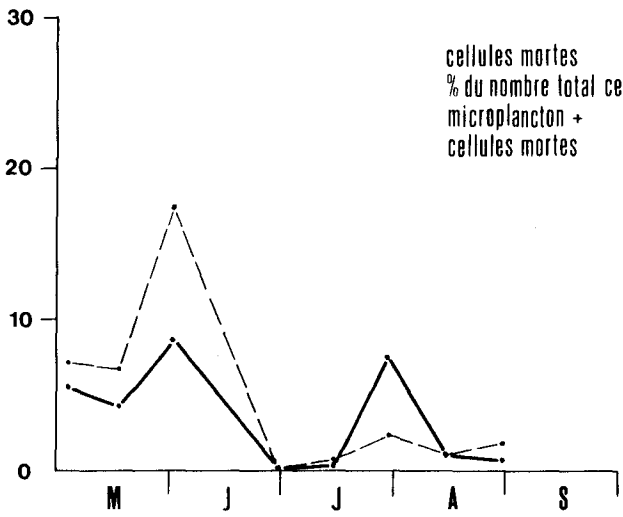
fig: 4

— surface  
 — mi-profondeur  
 - - - fond

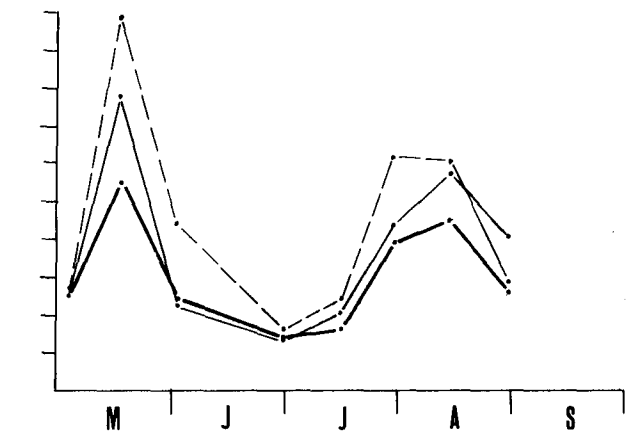
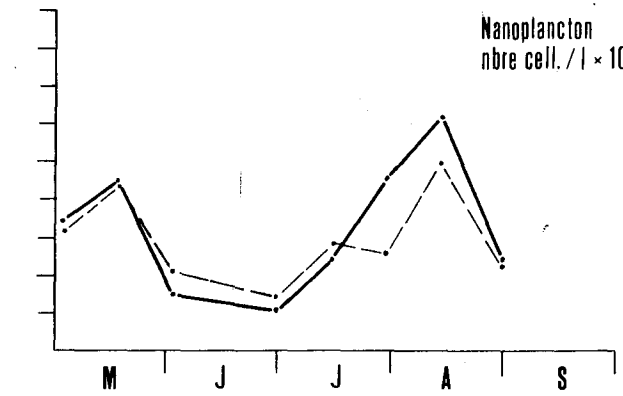
cellules en division  
 % du nbre total  
 cell. microplancton



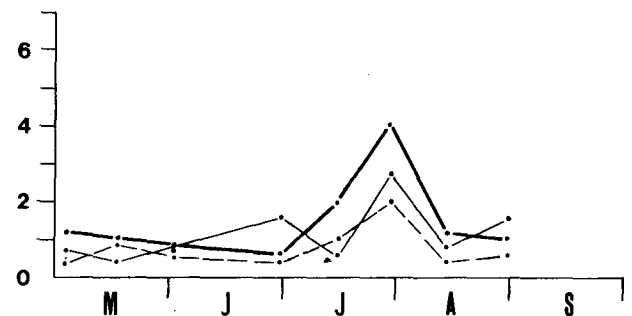
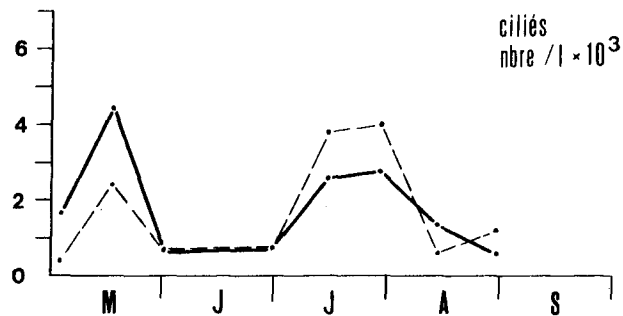
cellules mortes  
 % du nombre total cell.  
 microplancton +  
 cellules mortes



Nanoplancton  
 nbre cell. / l × 10<sup>5</sup>

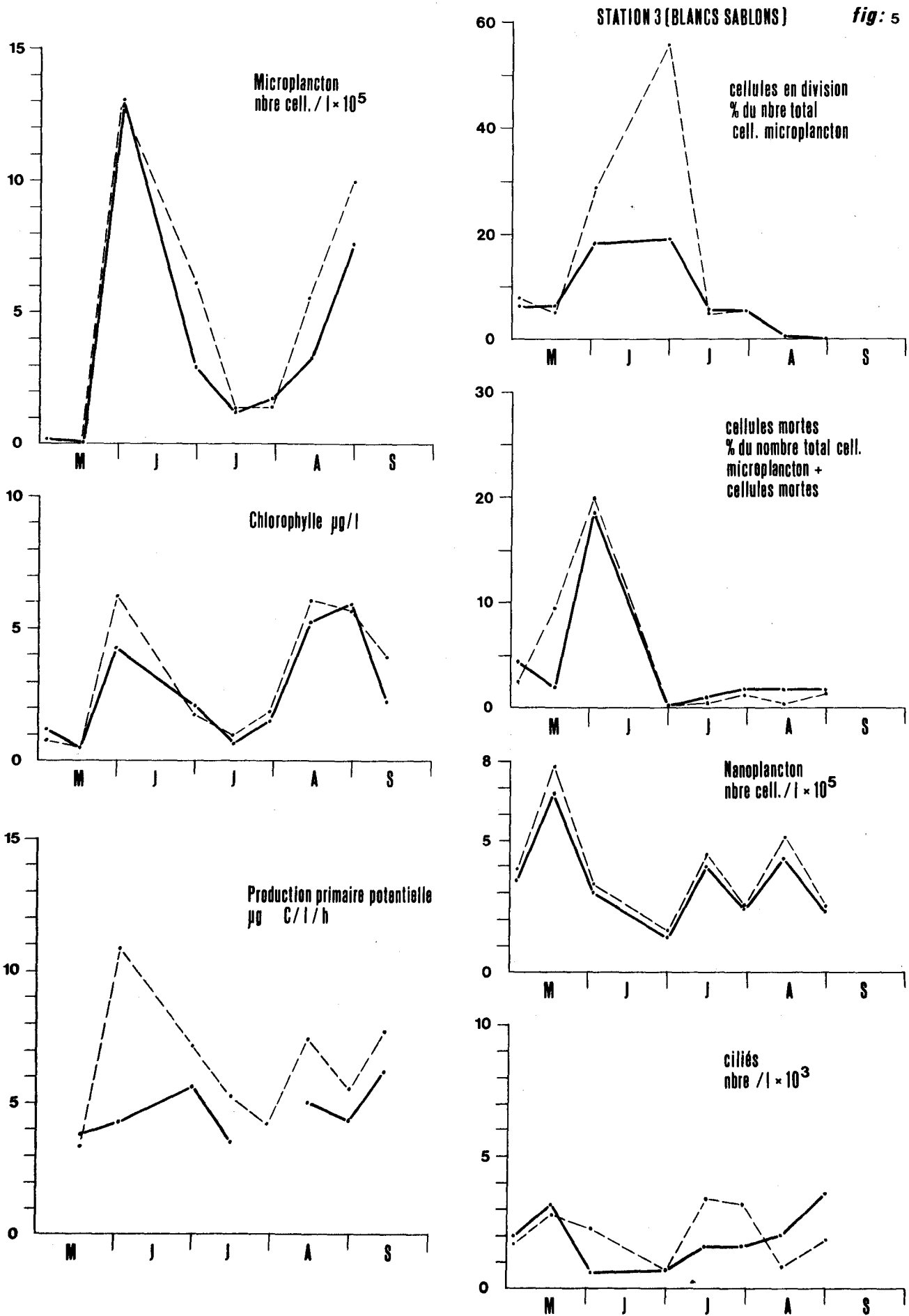


ciliés  
 nbre / l × 10<sup>3</sup>



# PLOUMOGUER 1978

## Variations saisonnières de quelques paramètres biologiques



Entre ces deux poussées importantes, les variations sont assez régulières, et non en dents de scie comme à Plogoff. Au niveau de la variation saisonnière des paramètres quantitatifs, les différences observées entre Plogoff et Ploumoguer ne paraissent pas très significatives, si l'on s'en réfère aux études menées sur d'autres sites (Manche). En effet, les variations saisonnières qui y ont été constatées peuvent fluctuer d'un cycle annuel à l'autre, dans un ordre de grandeur comparable à celui couvrant les différences entre Plogoff et Ploumoguer.

D'autre part, il est difficile de raisonner sur des moyennes par paramètre et par site, car les fluctuations spatiales à l'intérieur d'une même campagne de prélèvements sont parfois telles qu'elles se recoupent d'un site à l'autre.

b) Variations spatiales

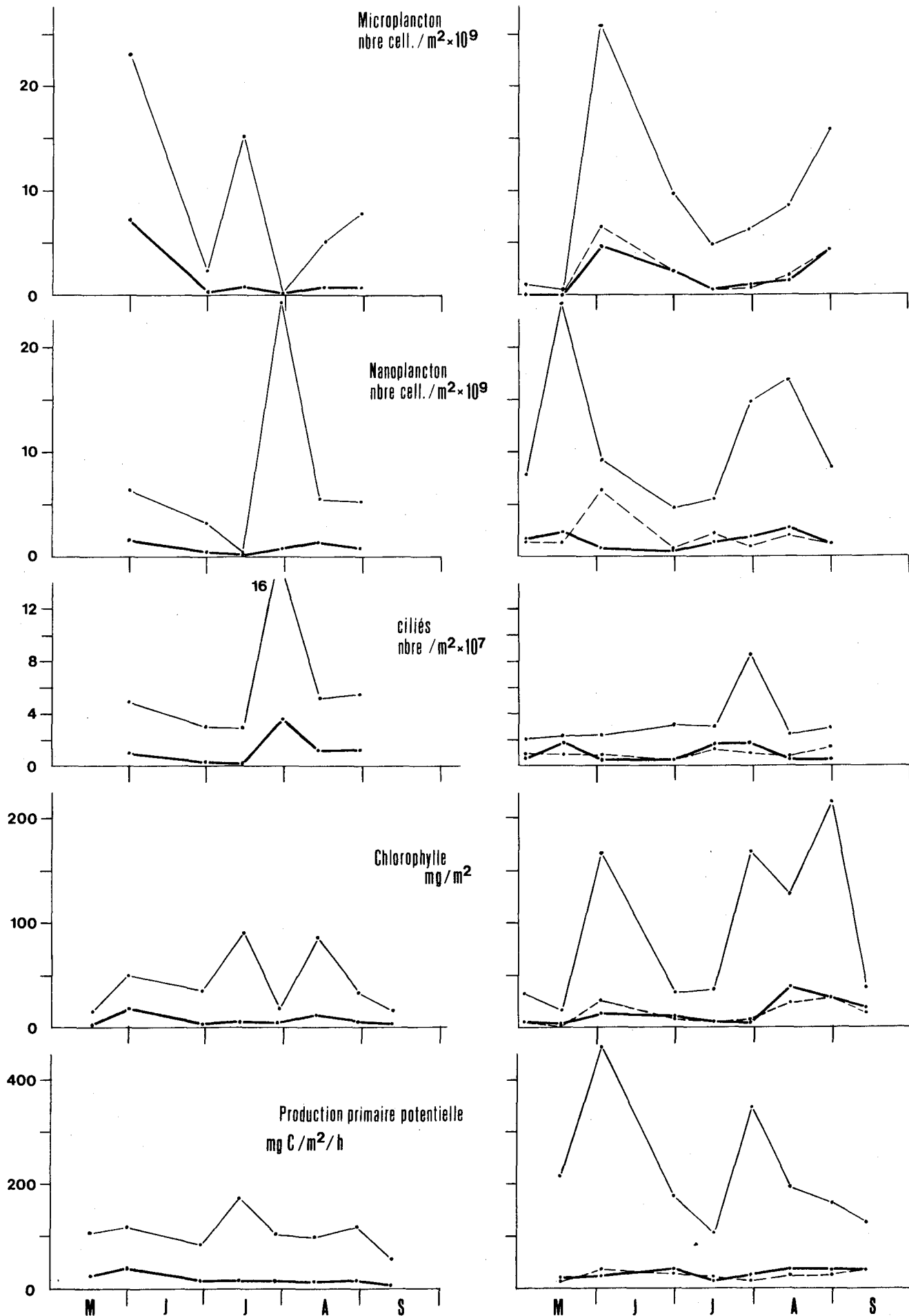
L'examen des courbes des figures 1 à 5 fait ressortir les différences dans les variations aux différentes stations (variations horizontales) et aux différents niveaux de prélèvement (variations verticales). La station du large est plus riche, surtout à Plogoff, par unité de volume et sur les deux sites par unité de surface (après intégration sur la colonne d'eau (figure 6) pour tous les paramètres quantitatifs. La comparaison entre les deux sites au niveau des variations verticales (figures 7 et 8) fait apparaître, d'une part, une plus grande constance horizontale des variations verticales à Plogoff, et, d'autre part, une plus grande amplitude de variations également à Plogoff. Cela correspond à l'hydrologie et aux variations thermiques. C'est en effet aux périodes de plus grande hétérogénéité thermique verticale que se rencontrent les plus fortes hétérogénéités des paramètres biologiques. Par contre, si la température est toujours plus élevée en surface, ce n'est pas toujours le niveau de surface le plus riche (ou le plus pauvre). Cette alternance d'abondance entre surface et fond (comparaison de mi-août et fin août) à Plogoff est difficilement interprétable par l'hydrologie mais peut l'être par l'hydrodynamisme ; au point de vue

**VARIATIONS VERTICALES SAISONNIERES DE QUELQUES  
PARAMETRES BIOLOGIQUES**

fig: 6

— S'1 côte  
— S'2 large

— S'2 côte  
— S'1 large  
- - - S'3 Bl.Stablons

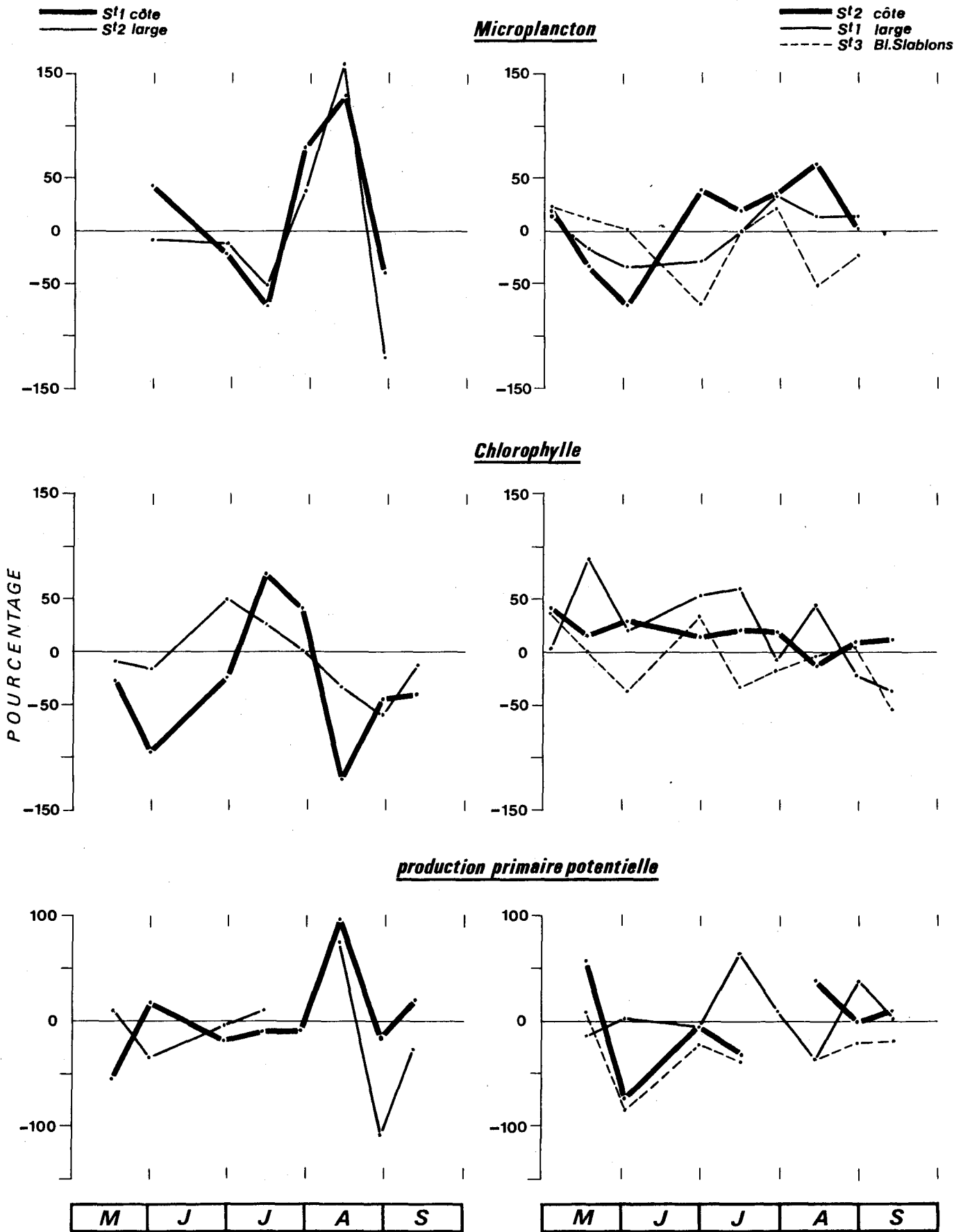


**PLOGOFF**

**PLOUMOGUER**

**VARIATIONS VERTICALES SAISONNIERES DE QUELQUES PARAMETRES BIOLOGIQUES**

fig: 7



Les valeurs représentées en ordonnées proviennent des tableaux Va et Vb et sont calculées comme suit :

$$\frac{\Delta n}{\bar{n}} \times 100$$

$$\Delta n = n_1 - n_2$$

$$\bar{n} = \frac{n_1 + n_2}{2}$$

$n_1$  = valeur de surface

$n_2$  = valeur à 5 ou 20m

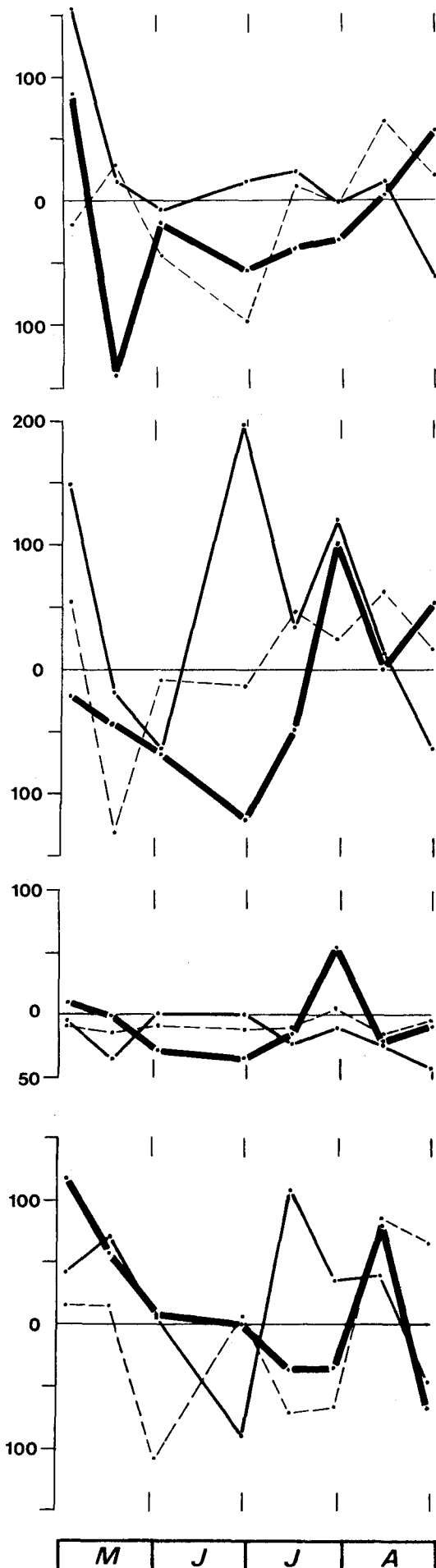
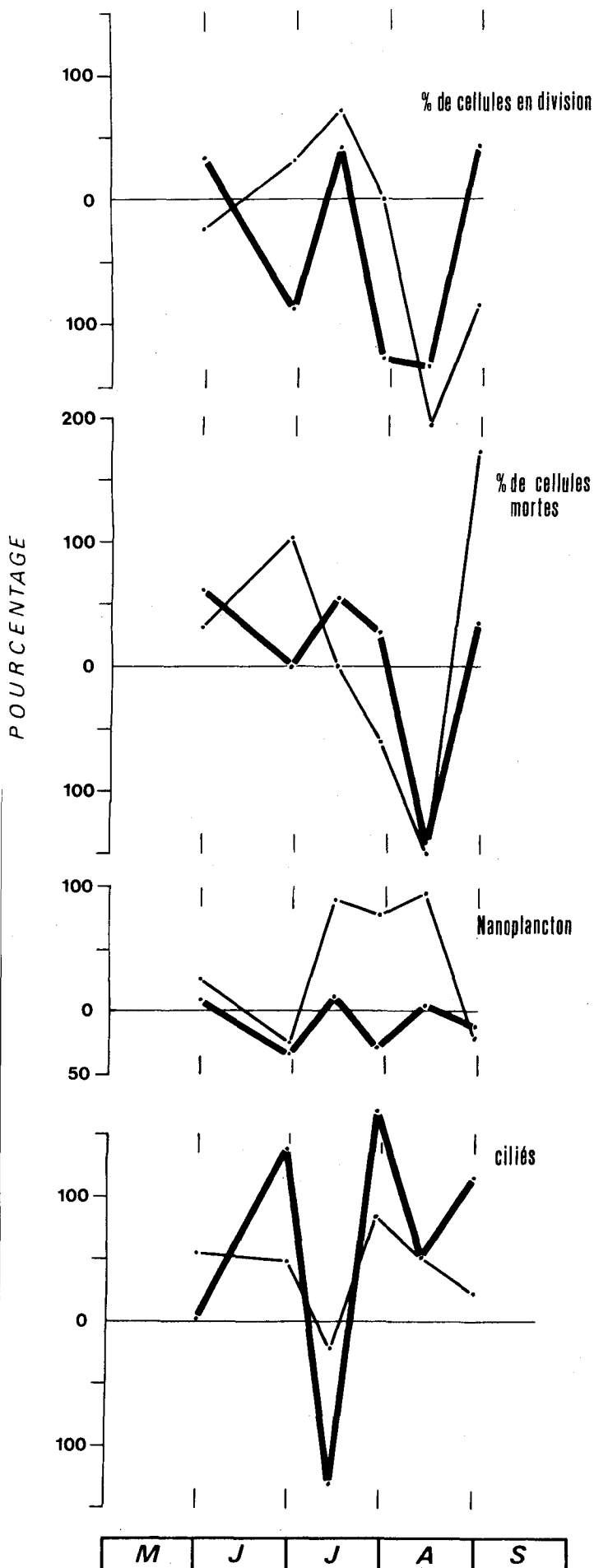
+ ↑ + riche en surface  
 0- ↓ + riche au fond

VARIATIONS VERTICALES SAISONNIERES DE QUELQUES PARAMETRES BIOLOGIQUES

fig: 8

— S'1 côte  
— S'2 large

— S'2 côte  
— S'1 large  
- - - S'3 Bl. Stablons



spécifique, une seule espèce est responsable de cette abondance, soit de surface (13 août), soit de fond (29 août) : *Gyrodinium aureolum*. Plogoff apparaît également homogène horizontalement dans ses variations verticales, c'est-à-dire que les variations verticales vont dans le même sens aux deux stations, contrairement à Ploumoguier, ce qui correspond encore aux variations thermiques (voir partie Hydrologie - température).

## 2) Paramètres qualitatifs

Ceux-ci correspondent aux taxons déterminés et dénombrés. Sont également exposées dans ce paragraphe les variations du rapport Production/Biomasse.

La liste floristique des taxons dénombrés sur les deux sites figure en annexe. Sur les trois (Plogoff) ou quatre (Ploumoguier) mois d'étude, 62 taxons de diatomées ont été dénombrés, dont 45 communs aux deux sites. En ce qui concerne les dinoflagellés, 42 taxons sont reconnus, dont 27 communs aux deux sites. Aux espèces particulières à l'un ou l'autre des deux sites il faut inclure les différences dues au fait que Ploumoguier comprend deux campagnes de plus, au mois de mai. D'autre part, les taxons en particulier ne font pas partie des espèces dominantes et représentatives de la biomasse.

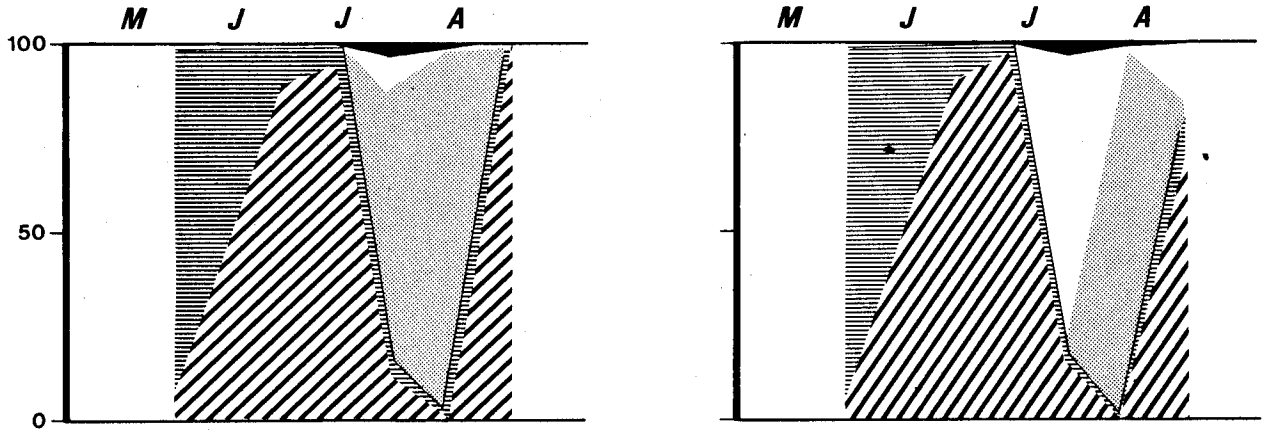
Les variations saisonnières de la composition spécifique des populations apparaissent dans les tableaux VIa1 à VIb8. . Les tableaux sont synthétisés par les figures 9 à 11 qui regroupent les taxons par affinité spécifique, pour illustrer les variations saisonnières.

En première approximation, les deux sites présentent de grandes similitudes dans les variations spécifiques : dominance de diatomées pennées (*Nitzschia delicatissima*) puis centriques (*Chaetoceros curvisetum*, *Rhizosolenia delicatissima*, *Leptocylindrus danicum* et *Leptocylindrus minimum*) et fin juillet apparition de dinoflagellés, en particulier *Gyrodinium aureolum*. Son apparition en "eau rouge" a été observée dès le 28 juillet au large d'Ouessant. Son développement paraît avoir été simultanément aux différents points de la côte Ouest du Finistère.

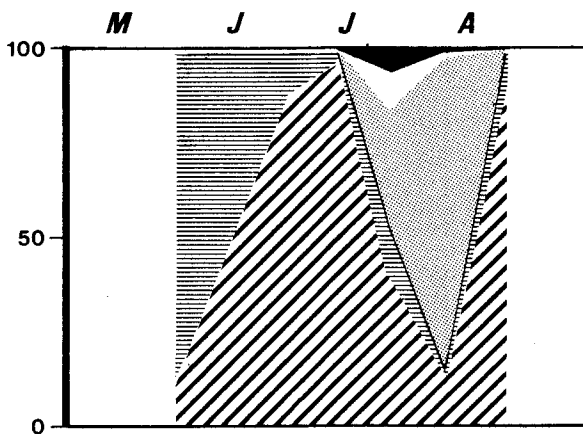


**PLOGOFF 1978**

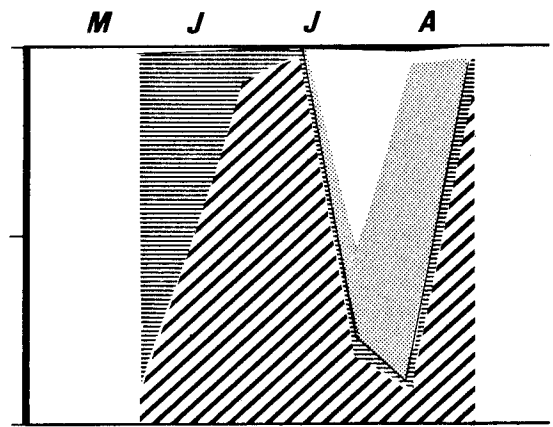
*Variations saisonnières de la composition du microplancton  
(% de dominance des différents groupes taxonomiques)*



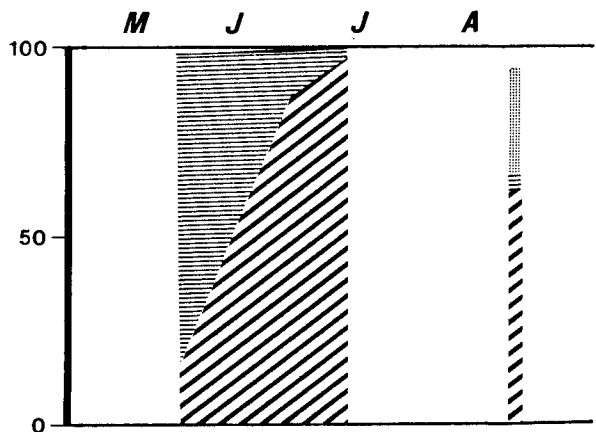
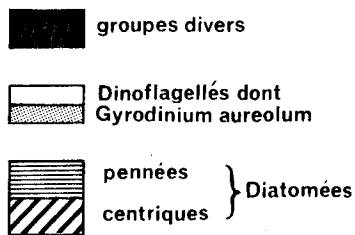
**SURFACE**



**FOND**



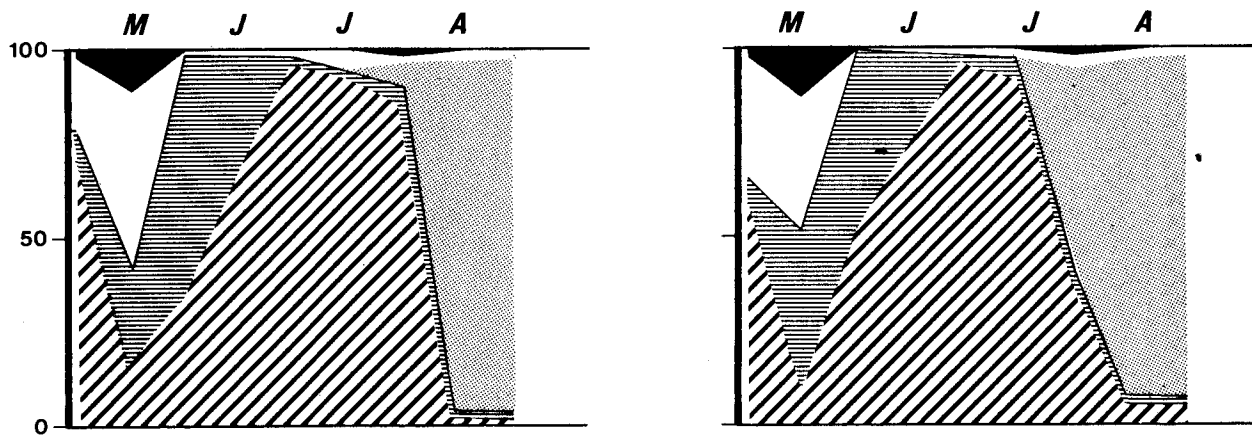
**MI-PROFONDEUR**



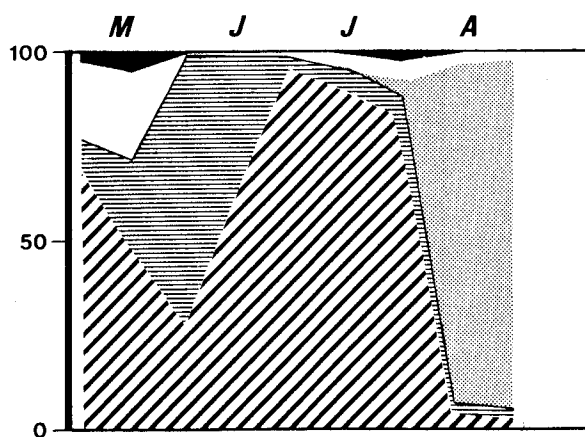
**FOND**

**PLOUMOGUER 1978**

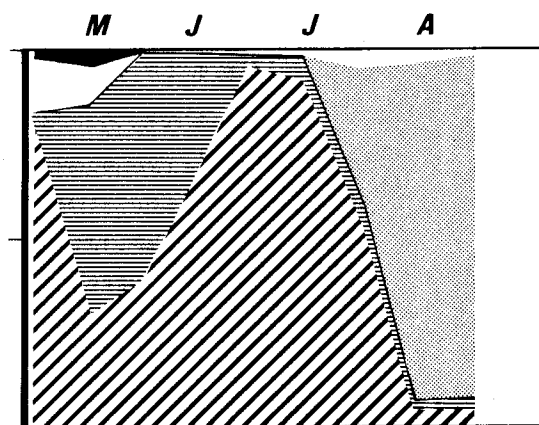
*Variations saisonnières de la composition du microplancton  
(% de dominance des différents groupes taxonomiques)*



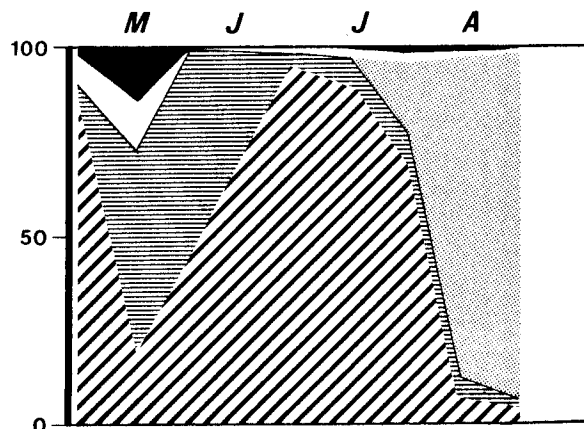
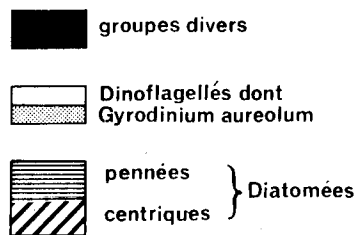
**SURFACE**



**FOND**



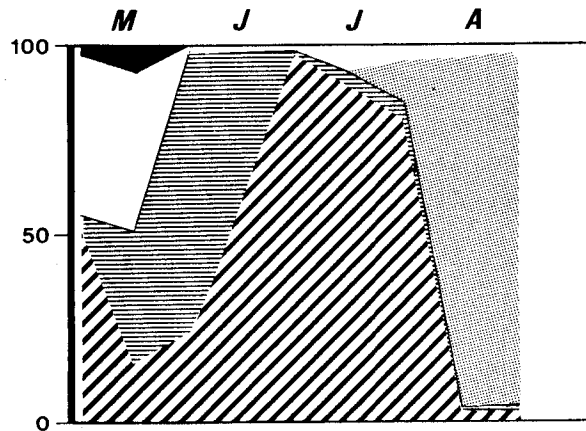
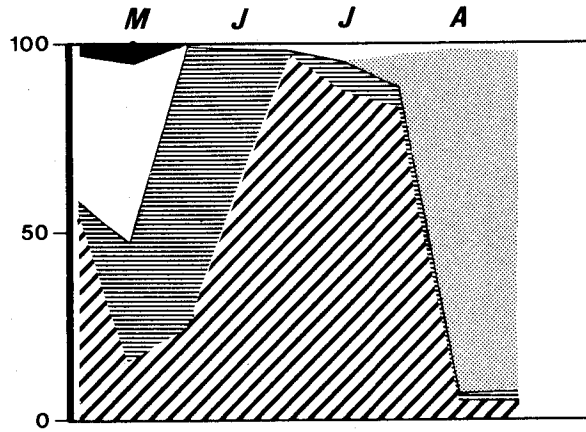
**MI-PROFONDEUR**



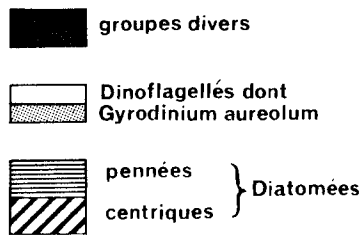
**FOND**

**PLOUMOGUER 1978**

**Variations saisonnières de la composition du microplancton  
(% de dominance des différents groupes taxonomiques)**



**FOND**



Sa répartition en tache peut expliquer les différences observées entre les stations des deux sites et entre les niveaux de prélèvement. Elle est en général plus abondante en surface. Le phénomène d'"eau rouge" sera traité plus longuement dans la discussion finale. A la fin du mois d'août les diatomées dominant de nouveau à Plogoff avec *Leptocylindrus danicum* alors que *Gyrodinium aureolum* est toujours dominant à plus de 90 % à Ploumoguier.

Le rapport Production/Biomasse, dont les valeurs figurent dans les tableaux ci-dessous, montrent une chute au moment de l'apparition de *Gyrodinium aureolum*. Chlorophyllien, cet organisme a un taux de multiplication lent et, par conséquent, une production plus faible que celle des diatomées à concentration égale de chlorophylle.

PLOGOFF

Stations \ Dates		Dates							
		16/05	1/06	29/06	14/07	28/07	13/08	29/08	12/09
St.1	S	7.47	4.11	4.22	1.75	2.04	3.63	4.07	4.23
	F	10.10	1.23	3.96	4.17	3.39	0.31	2.98	2.34
St.2	S	7.77	2.35	1.70	2.13	5.09	/	2.25	3.25
	M	6.51	2.85	3.01	2.47	/	1.06	4.16	3.65
	F	7.22	1.61	1.96	/	/	0.54	3.92	4.12

PLOUMOGUER

Stations \ Dates		Dates							
		17/05	2/06	30/06	15/07	29/07	14/08	30/08	13/09
St.1	S	6.58	1.13	3.22	2.71	/	0.80	1.21	1.81
	F	4.26	3.35	3.47	4.63	5.78	0.39	1.13	1.85
St.2	S	8.61	2.37	3.41	3.65	2.09	0.66	1.03	4.47
	M	(25.83)	2.85	6.27	3.47	1.73	1.39	0.55	2.93
St.3	F	8.22	2.88	5.65	4.58	3.09	2.92	1.02	3.95
	S	7.35	1.01	2.82	5.46	/	0.97	0.73	2.83
	F	6.74	1.72	4.10	5.72	2.19	1.23	0.97	1.97

La remontée fin août à Plogoff correspond à la nouvelle dominance des diatomées. La valeur du rapport P/B indique vraisemblablement la présence de diatomées en septembre, sur les deux sites (principalement au large, à Ploumoguier).

#### IV) DISCUSSION - CONCLUSION

Les principaux points ressortant de la comparaison entre les deux sites au niveau du phytoplancton et de la production primaire sont les suivants :

- biomasse sensiblement équivalente sur les deux sites avec plus grande richesse de la station du large,
- production primaire potentielle légèrement plus élevée à Ploumoguier à la station du large,
- variations saisonnières des paramètres biologiques globalement comparables avec un pic d'abondance début juin (diatomée *Nitzschia delicatissima*) et une poussée de *Gyrodinium aureolum* en août (eau rouge sur les côtes du Finistère fin juillet-début août 1978, paraît toxique).  
Cependant, un développement notable de *Chaetoceros curvisetum* et *Thalassiosira gravida* (diatomées) a lieu le 14 juillet à Plogoff sans équivalence à Ploumoguier (bien que ces deux espèces y soient bien représentées),
- variations spatiales (horizontales et verticales) plus marquées à Plogoff, suivant en cela les variations thermiques correspondantes. Malgré cela, il ne semble pas pouvoir être possible de mettre en relation directe température et richesse spatiale : les eaux sont toujours plus chaudes en surface à Plogoff, mais pas obligatoirement plus riches que celles du fond.

Un point est à noter au niveau des variations de la concentration de cellules mortes. Celles-ci concernent essentiellement les diatomées et sont représentées par des frustules vides. L'accumulation de ces frustules vides (ou à cytoplasme réduit) en surface, fin août à Plogoff, est actuellement peu aisément interprétable. En effet, elles devraient sédimenter plus vite du fait de l'abondance du corps cellulaire pour maintenir par échange la flottabilité et la stabilité des eaux, devrait favoriser la décantation. Cette observation n'est pas isolée puisqu'elle se répète à Plogoff en 1979 lors des campagnes de juillet, époque de haute stratification thermique à l'Est du site.

De plus, on considère habituellement que la cause principale de mortalité des diatomées provient de la prédation qui entraîne la destruction totale des individus (y compris les frustules). Il faudrait donc pouvoir déterminer le facteur de mortalité de ces cellules. La répartition des sels nutritifs (également concentrés sur la colonne d'eau) ne peut l'expliquer. Les espèces principalement atteintes par cette mortalité sont les espèces dominantes.

Pour les études de projet, la station côtière, en face du site, est située entre les stations 1 et 2. A la lumière des résultats de la première année de projet (1979), il apparaît que cette station côtière se situe dans la zone homogène de la structure hydrologique pour la plupart des campagnes. Elle est peu stratifiée en comparaison d'une station située au large d'Audierne.

La stratification observée à la station 2 en 1978 est cependant plus faible que celle observée à la station du large d'Audierne en 1979.

## ZOOPLANCTON

Le zooplancton, ou plancton animal est constitué en majeure partie d'organismes dont les dimensions sont de l'ordre du millimètre, plus rarement du centimètre. Il comprend deux grandes catégories d'animaux. Le méroplancton, ou plancton temporaire, est constitué par l'ensemble des oeufs et larves d'animaux (Mollusques, Vers, Crustacés, Poissons, etc..) qui, à l'état adulte n'appartiennent pas au plancton, soit qu'ils vivent sur le fond (animaux benthiques), soit qu'ils nagent activement et présentent des déplacements géographiques ne dépendant pas étroitement de ceux des masses d'eau (p. ex. Poissons pélagiques, Sardines, Maquereaux, Thons, faisant partie du necton). On classe également dans le méroplancton des organismes adultes qui présentent, au cours de leur cycle vital, une phase non reproductrice vivant sur le fond (cas de la plupart des Méduses et de certains Vers). L'holoplancton, par contre, est constitué par l'ensemble des animaux qui appartiennent au plancton tout au long de leur cycle vital. Il est assez diversifié, mais cependant nettement dominé par les Crustacés, parmi lesquels un groupe particulier, celui des Copépodes, constitue le plus souvent la majorité des individus présents (70 à 90 % du zooplancton total).

Pour la présente étude, le zooplancton a été échantillonné au moyen de traits verticaux de filet WP2 (200  $\mu$  de vide de maille), qui est le filet standard international pour les études générales de zooplancton (UNESCO, 1968). Ces traits verticaux intègrent toute la colonne d'eau : ils permettent une estimation globale d'abondance en un point, mais pas d'étudier le détail de la répartition des différents organismes en fonction de la profondeur. Ce choix résulte de la faible durée impartie pour l'étude, qui imposait de limiter le nombre des échantillons, dont l'analyse demande un temps considérable.

Deux points de vue ont été considérés. L'un est l'abondance du zooplancton total, exprimée en poids (ou biomasse). Les mesures ont porté sur les poids secs, après élimination de l'eau tissulaire, plus représentatifs de la richesse du plancton que les poids frais, en raison de la teneur très variable en eau des différentes catégories d'organismes planctoniques. Les résultats sont exprimés par unité de volume ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) et par unité de surface ( $\text{mg}/\text{m}^2$ ) pour l'ensemble de la colonne d'eau. La seconde manière d'aborder l'abondance du plancton a consisté à compter les effectifs présents pour les différentes catégories d'organismes. L'effort a porté plus particulièrement sur l'holoplancton, plus représen-

tatif de l'évolution propre du milieu, et notamment sur les Copépodes, comptés pour la plupart au niveau des espèces. Le méroplancton n'a cependant pas été négligé, et l'on a réalisé des comptages par grandes catégories d'organismes (larves de Crevettes, larves de Crabes, larves de Poissons, etc...). Au stade actuel de l'avancement des travaux, toutes les données de biomasse sont disponibles. Les comptages sont en cours d'achèvement pour PLOUMOGUER. Pour PLOGOFF, ils sont terminés, mais les données sont en cours d'exploitation. Seule une interprétation partielle est donc dès maintenant possible pour le zooplancton.

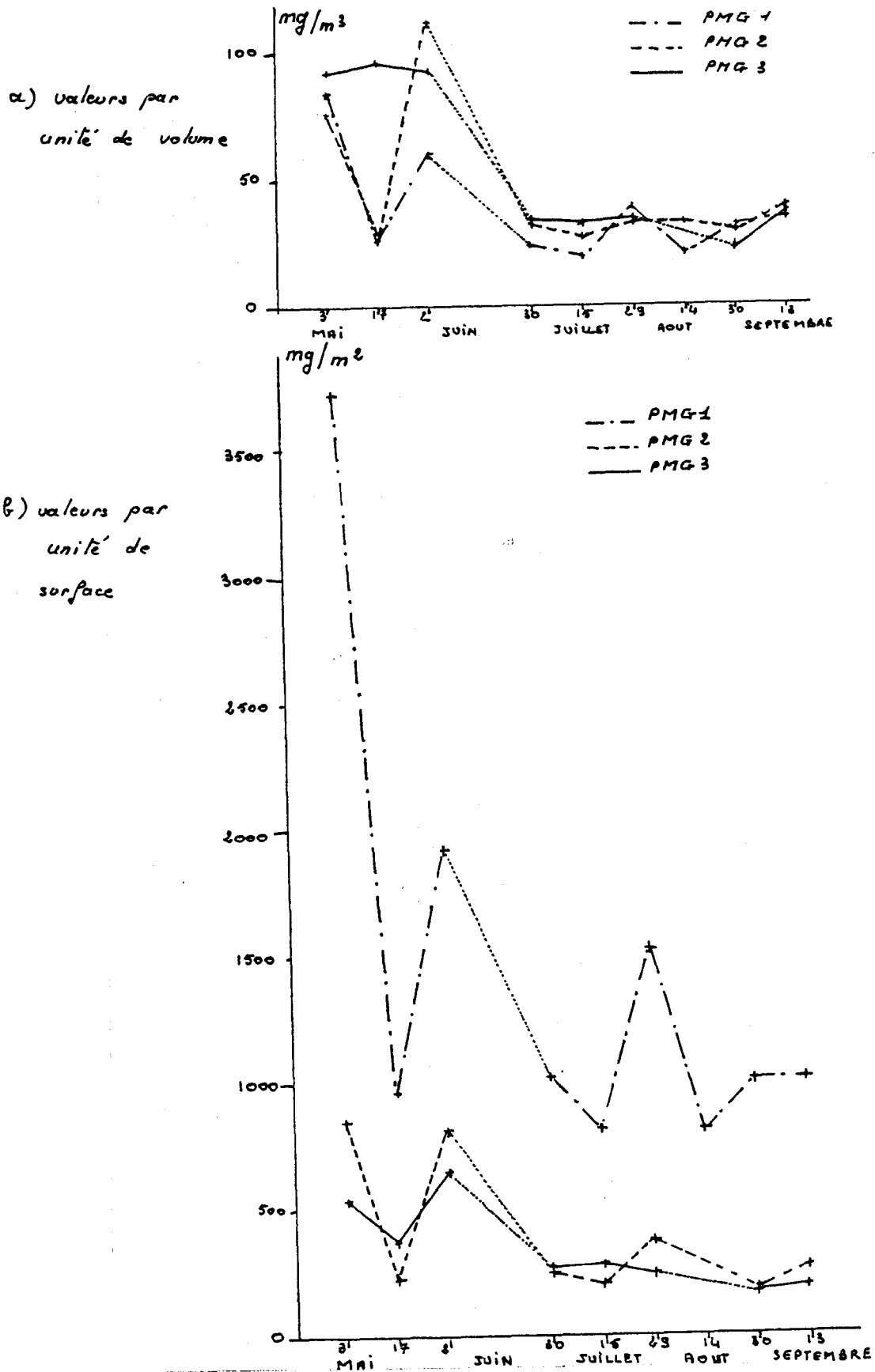
- *Biomasse* :

Les résultats pour PLOUMOGUER sont présentés figure 6. On voit que, par unité de volume, les trois stations présentent des richesses planctoniques assez semblables. Par unité de surface, par contre (abondance totale), la station du large se distingue immédiatement comme plus riche, ce qui tient à sa plus grande profondeur : la colonne d'eau est plus haute, et à teneur égale par unité de volume, la quantité totale de plancton présente est plus grande. L'évolution au cours du temps présente quelques irrégularités : une chute (essentiellement aux stations PMG1 et PMG2) le 17 Mai et une augmentation (surtout au large) le 28 Juillet. Dans l'ensemble, cependant, le cycle est assez simple : la richesse planctonique est élevée au printemps, ce qui est probablement une conséquence de la poussée du phytoplancton, et faible en été. On n'observe pas de remontée automnale de l'abondance comme à ERDEVEN (LE FEVRE et al., 1977), ce qui semblerait indiquer qu'il n'y a pas non plus de seconde poussée phytoplanctonique automnale. Dans ce cas, le cycle planctonique du site de PLOUMOGUER s'apparenterait plutôt à celui des côtes de la Manche (GRALL, 1972) qu'à celui généralement décrit pour les eaux tempérées. Deux considérations interdisent cependant d'être affirmatif sur ce point. La première est qu'il manque encore la confirmation ou l'infir- mation par les résultats relatifs du phytoplancton et la seconde que les prélève- ments, arrêtés à la mi-Septembre en raison des trop brefs délais impartis, ne permettent pas l'observation d'une éventuelle poussée tardive.

Pour PLOGOFF, les résultats sont présentés de façon identique figure 7. L'échantillon récolté le 2 Mai, à une station intermédiaire entre les deux stations normales, n'a pas été retenu, les conditions à la mer ne permettant pas un prélèvement quantitatif valable (l'examen qualitatif des organismes présents à cette date ayant cependant été entrepris par ailleurs).



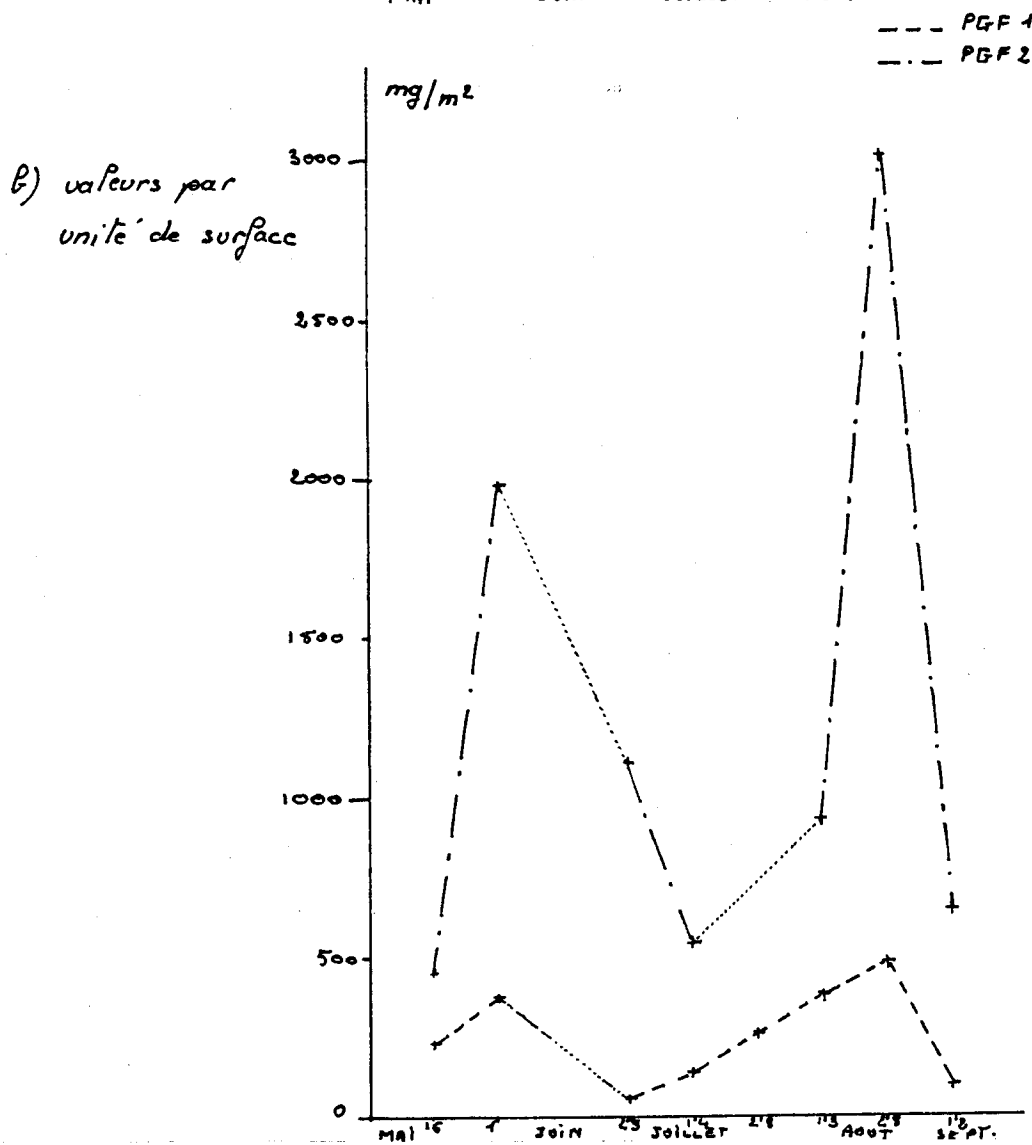
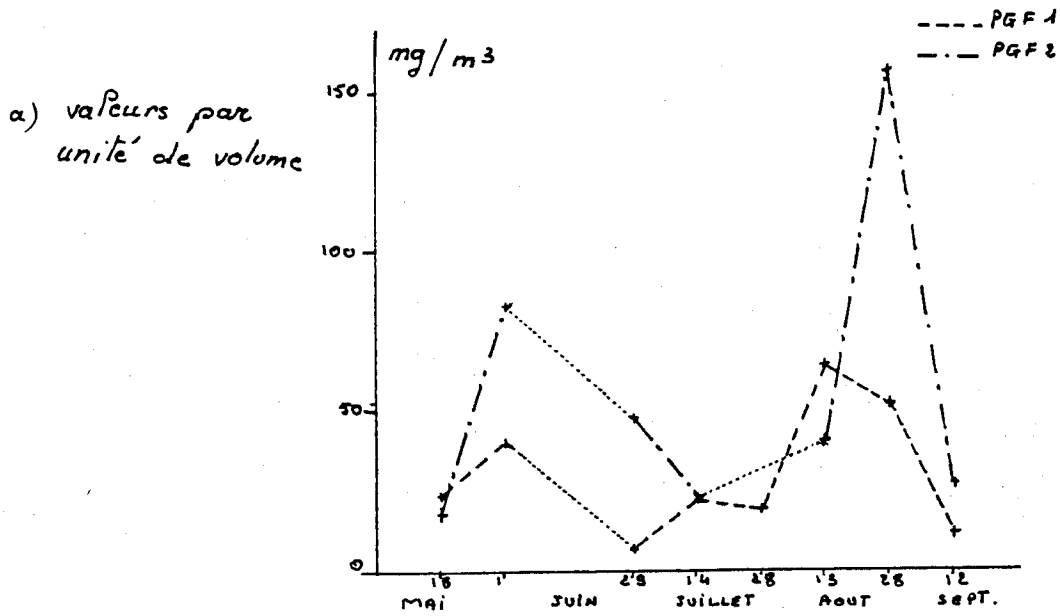
Figure.6 - Biomasse (poids sec) du zooplancton  
évolution à PLOUMOGUER



Sur la durée d'étude ainsi réduite, on observe des caractéristiques très différentes de celles de PLOUMOGUER. La différenciation entre station est marquée, celle du large étant plus riche que celle de la côte, même en abondance par unité de volume. En abondance par unité de surface, l'écart est évidemment plus accentué, en raison de la différence de profondeur. On remarque également que le cycle présente deux maxima bien marqués, l'un en début d'étude, l'autre à la fin, avec un pic le 28 Août. Un tel cycle fait supposer l'existence, pour le phytoplancton également, de deux poussées, l'une au printemps, l'autre à la fin de l'été. Dans ce cas, le cycle planctonique de PLOGOFF serait celui habituellement décrit pour les eaux tempérées ce qui implique un brassage estival nul ou faible avec développement d'une stratification de la colonne d'eau et une période de dominance des Dinoflagellés. Celle-ci est attestée par les résultats relatifs à *Gyrodinium aureolum* le 13 Août. Les résultats hydrologiques confirment par ailleurs cette interprétation : les sous saturations en oxygène dissous ne peuvent se maintenir qu'en l'absence de brassage ; quant à la stratification, elle apparaît le plus souvent ébauchée comme nous l'avons vu et la prise en considération de données concernant une zone plus large est nécessaire à une interprétation définitive. Nous verrons ce point lors de la discussion.

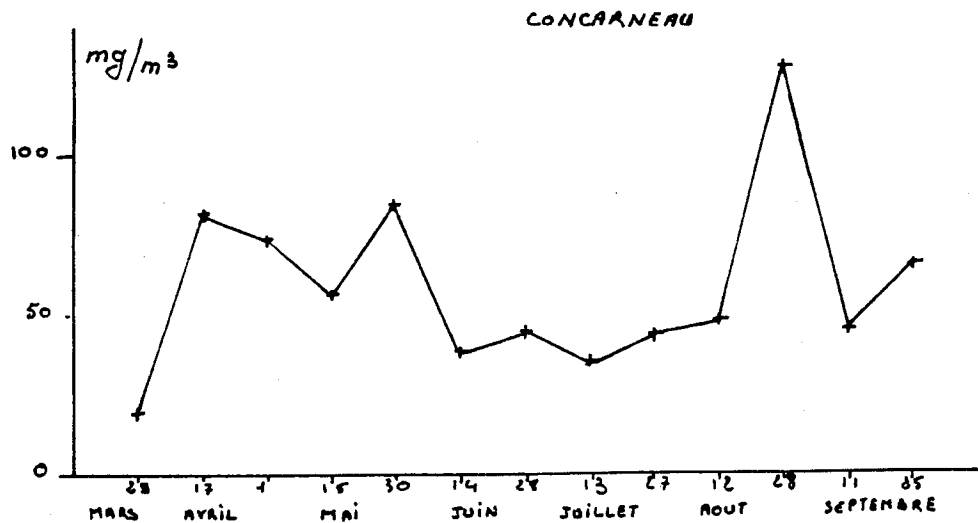
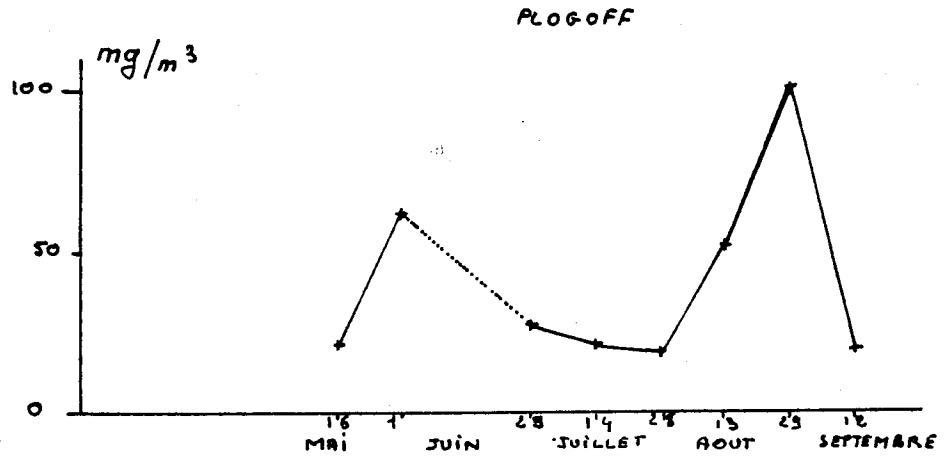
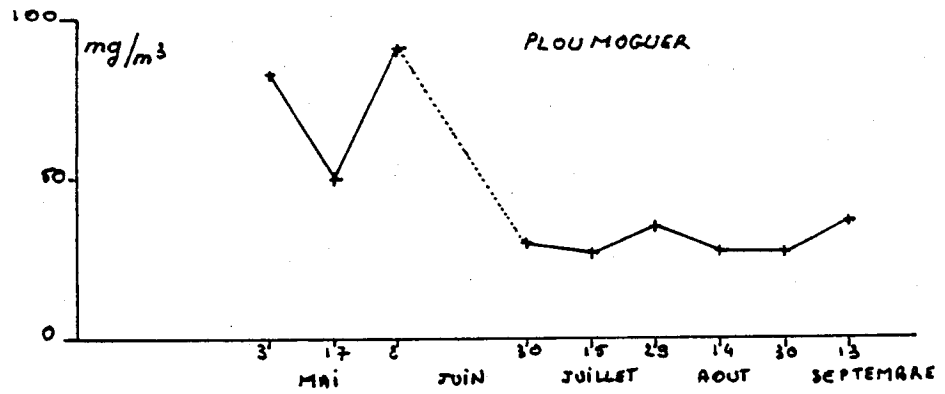
Pour placer dans une perspective géographique plus large les cycles d'abondance globale du zooplancton à PLOUMOGUER et PLOGOFF, il nous a paru utile de les comparer avec des données semblables recueillies en baie de Concarneau au cours d'une autre étude. Les mesures de biomasse planctonique ont été effectuées à CONCARNEAU à deux stations côtières, selon des méthodes identiques à celles employées à PLOUMOGUER et PLOGOFF, mais à basse mer de morte eau. Elles couvrent une période plus longue, de Mars à fin Septembre 1978, de sorte que le risque est réduit de ne pas observer une phase importante du cycle. On a porté, figure 8, les moyennes obtenues, toutes stations confondues, aux trois localisations étudiées. Les résultats sont donnés par unité de volume ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), de manière à éliminer l'effet des variations de profondeur. On constate, à l'examen de la figure, que le cycle de PLOGOFF est beaucoup plus proche de celui de CONCARNEAU (milieu calme, abrité, sans brassage notable) que de celui de PLOUMOGUER. On note également que l'ordre

Figure.7 - Biomasse (poids sec) du zooplancton  
évolution à PLOGOFF



Biomasses (poids sec) du zooplancton  
Evolution des teneurs moyennes (sur deux ou trois stations) dans trois  
secteurs des côtes de Bretagne en 1978

Figure 8 -



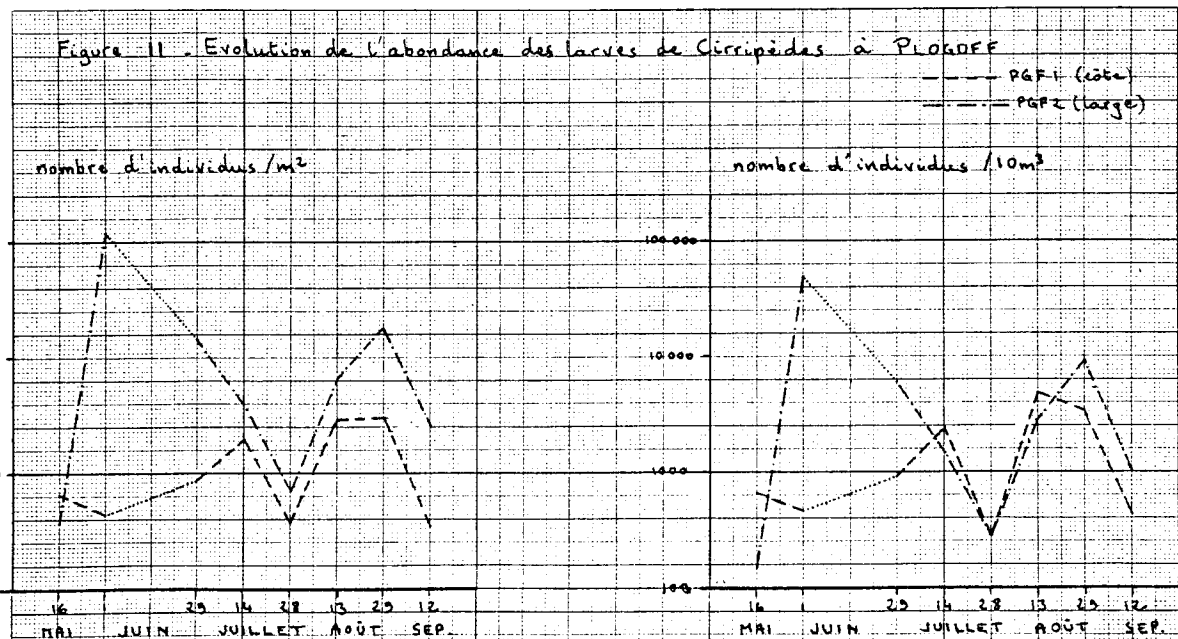
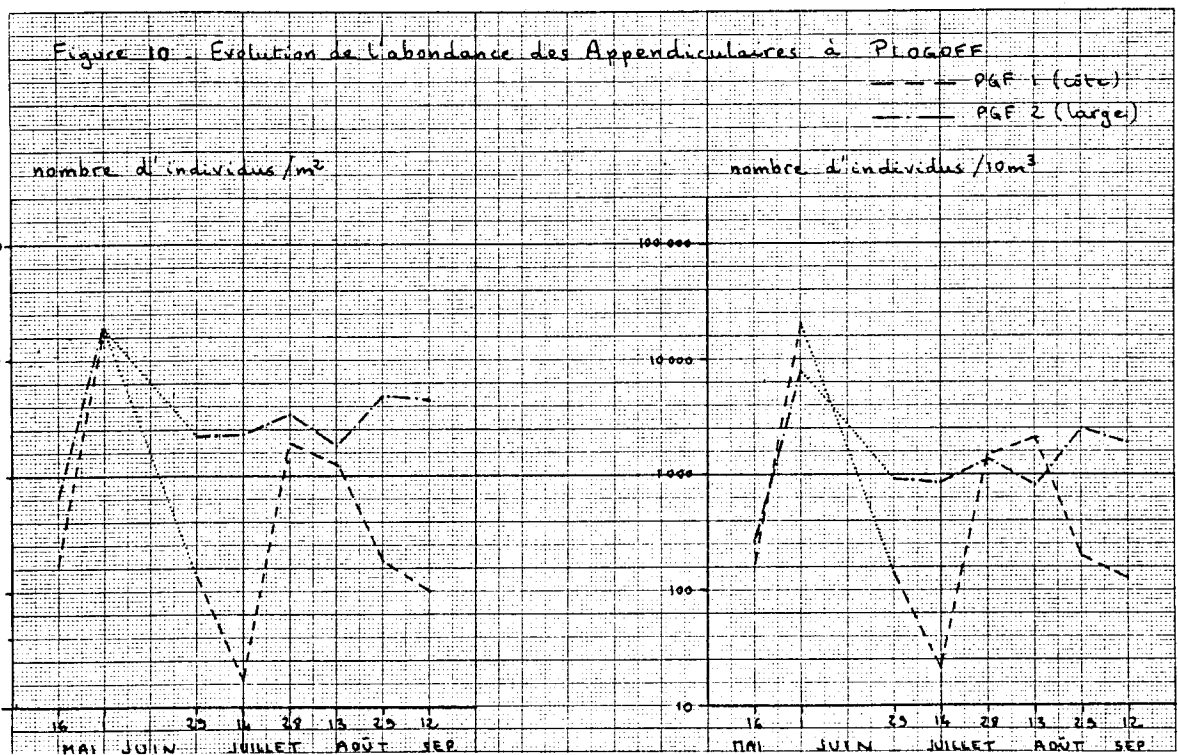
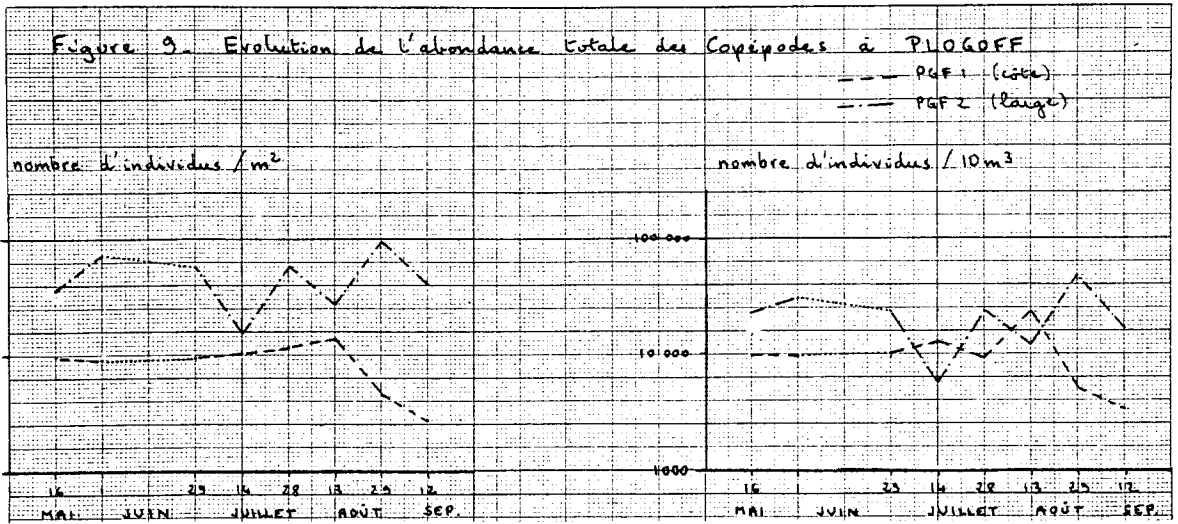
de grandeur des valeurs mesurées et la gamme des variations sont très semblables aux trois endroits. Cette dernière remarque s'appliquerait également à des données recueillies en 1978 en Rade de Brest et qu'il n'a pas encore été possible d'exploiter.

- Comptages numériques et Analyse qualitative :

Comme nous l'avons déjà dit, les données de PLOUMOGUER ne sont pas encore disponibles. Pour PLOGOFF, l'exploitation est en cours et seuls des exemples peuvent être donnés.

La première remarque à formuler est la présence, à PLOGOFF, de certains organismes indiquant une nette influence océanique. Tel est le cas, parmi les Copépodes, de *Calanoides carinatus*, *Eucalanus crassus*, *Calocalanus* sp., *Ischnocalanus tenuis*, et, dans une moindre mesure *Metridia lucens*. Parmi les autres organismes, les Acanthaires sont également océaniques. A PLOUMOGUER, selon les résultats partiels disponibles, ces formes sont beaucoup plus rares, sauf *Metridia lucens*, et limitées à la station du large. *Calocalanus* et *Ischnocalanus* ainsi que les Acanthaires, font même, pour autant que le dépouillement partiel permette d'en juger, totalement défaut à PLOUMOGUER. Ces formes sont précisément celles qui traduisent le mieux une influence océanique vraie, les autres espèces citées étant capables de pénétrer plus ou moins occasionnellement en Manche (RAZOULS, 1963 ; LE FEVRE, 1971), voire en zone très littorale comme l'estuaire de la Rivière de Morlaix (LE FEVRE-LEHOËRFF, 1972). A PLOUMOGUER, en revanche, ont été d'ores et déjà recensées des espèces typiquement côtières (*Isias clavipes*, *Parapontella brevicornis*) qui n'ont pas été rencontrées à PLOGOFF.

Les Figures 9 à 15 présentent l'évolution de l'abondance de quelques organismes à PLOGOFF, en nombre d'individus par unité de surface ( $m^2$ ) et par unité de volume. Cette dernière, comme il est d'usage pour ce type de résultats numériques, a été choisie égale à  $10 m^3$ . Les Copépodes (Fig. 9) sont les Crustacés qui dominent habituellement le plancton. L'ordre de grandeur des effectifs dénombrés est normal pour la région et pour la saison.



Les points à noter sont : la très faible amplitude des variations à la station côtière, sauf en fin d'étude où une très nette diminution se produit ; la plus grande abondance à la station du large, plus nette en abondance par unité de surface, mais cependant visible aussi, en moyenne, en valeurs par unité de volume. A la station du large, on note également des variations relativement importantes (près de 1 à 10) qui présentent un caractère irrégulier. Une interprétation plus fine nécessiterait la prise en compte du détail des variations des espèces, ce qui ne sera possible que pour le rapport final.

Les Appendiculaires (Fig. 10) appartiennent au groupe zoologique des Prochordés, que des considérations d'embryologie, d'anatomie comparée et d'évolution font ranger au voisinage des Vertébrés, bien que leur aspect extérieur soit très différent. Les Appendiculaires ont superficiellement l'apparence de minuscules têtards. Ils vivent dans des logettes qu'ils secrètent et qui sont des appareils de filtration complexes. Ce sont des mangeurs de très fines particules, et principalement de phytoplancton. Ils constituent une part importante de la nourriture de certains jeunes Poissons plats (entre autres). Les traits dominants à retenir de la figure sont : une évolution identique à la côte et au large aux deux premières sorties, très différente ensuite ; une plus grande abondance en moyenne au large ; une chute d'abondance très importante à la côte le 29 Juin et surtout le 14 Juillet, qui n'est pas observée au large. En fin de saison, une seconde diminution est observée à la côte, tandis que la tendance au large est plutôt à l'augmentation.

Les Cirripèdes sont des Crustacés fixés à l'état adulte sur un support qui est le rocher pour la plupart des espèces. Les plus communs sont les Balanes, petits animaux coniques, blancs, à parois calcaires dures communs sur tous nos rochers, et dont l'allure est bien loin d'évoquer leur appartenance aux Crustacés. L'abondance de leurs larves est représentée Figure 11. On voit qu'elles représentent une part relativement importante du plancton par moments, avec une valeur proche de 50.000 individus/10 m<sup>3</sup>,

Figure 12 Evolution de l'abondance de *Muggiara atlantica* à PLOGOFF

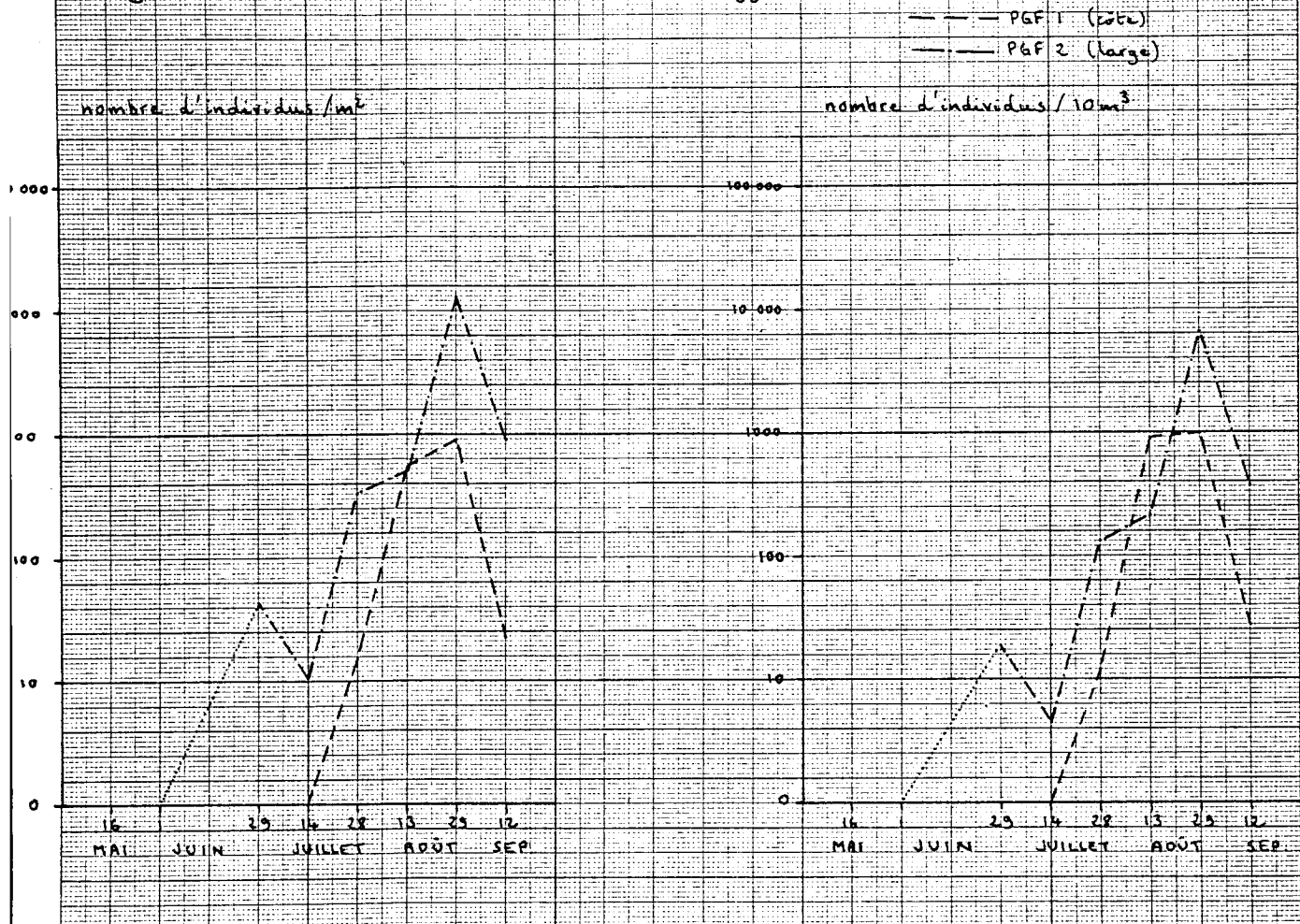
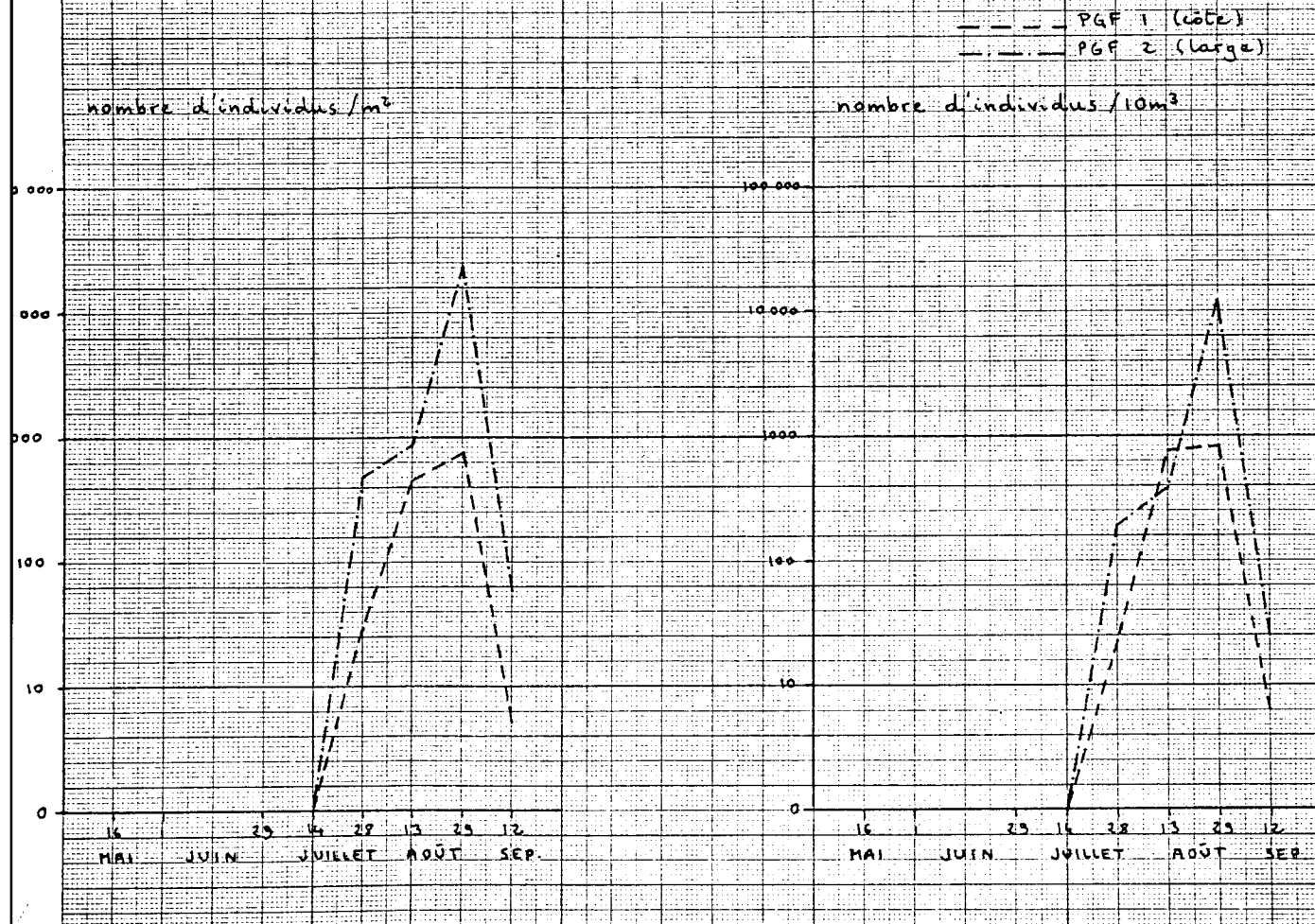


Figure 13 Evolution de l'abondance des Dolibles à PLOGOFF





(soit cinq par litre d'eau de mer). En dehors de cette remarque d'ordre quantitatif général, le point le plus notable est l'irrégularité des variations observées. Tout au plus peut-on déceler à la station côtière une tendance à un maximum estival (courbe en cloche), perturbée cependant par une brutale chute des effectifs le 28 Juillet, qui se manifeste aussi au large.

*Muggiaea atlantica* (Fig. 12) est un Siphonophore, groupe d'organismes planctoniques carnivores zoologiquement voisin des Méduses. On a précisément choisi de présenter ses variations d'abondance en raison de son régime alimentaire : l'on doit s'attendre à voir se développer les organismes carnivores en fin de cycle, quand les organismes herbivores ont eu le temps de se développer après la poussée printanière du phytoplancton, et que les populations planctoniques se diversifient peu à peu, par l'apparition de relations alimentaires de plus en plus complexes. On observe bien, en effet, une augmentation plus ou moins continue au cours du temps. Cependant une chute est constatée le 12 Septembre, qui paraît un peu précoce pour être le signe du retour à la situation de pauvreté hivernale. De plus, l'augmentation n'est pas régulière, mais interrompue par une chute le 14 Juillet, visible au large seulement, puisque *Muggiaea atlantica* n'apparaît à la côte qu'après cette date.

Les Doliolles (Fig. 13) appartiennent, comme les Appendiculaires au groupe des Prochordés ; elles sont également des filtreurs de particules fines, mais leur aspect (celui d'un minuscule tonnelet) et leur écologie sont très différents de ceux des Appendiculaires. En Atlantique, elles passent pour traduire une influence océanique, au contraire de ce qu'on observe en Méditerranée où elles ont une distribution plus côtière. A PLOGOFF, leur abondance présente dans ses variations des analogies certaines avec le cas de *Muggiaea atlantica*. Elles traduiraient donc plutôt la maturation et la diversification du milieu qu'une réelle influence océanique, laquelle se manifeste en réalité dès le début de l'étude par la présence de certaines espèces de Copépodes.

Figure 14 - Evolution de l'abondance de *Noctiluca scintillans* à Plogoff

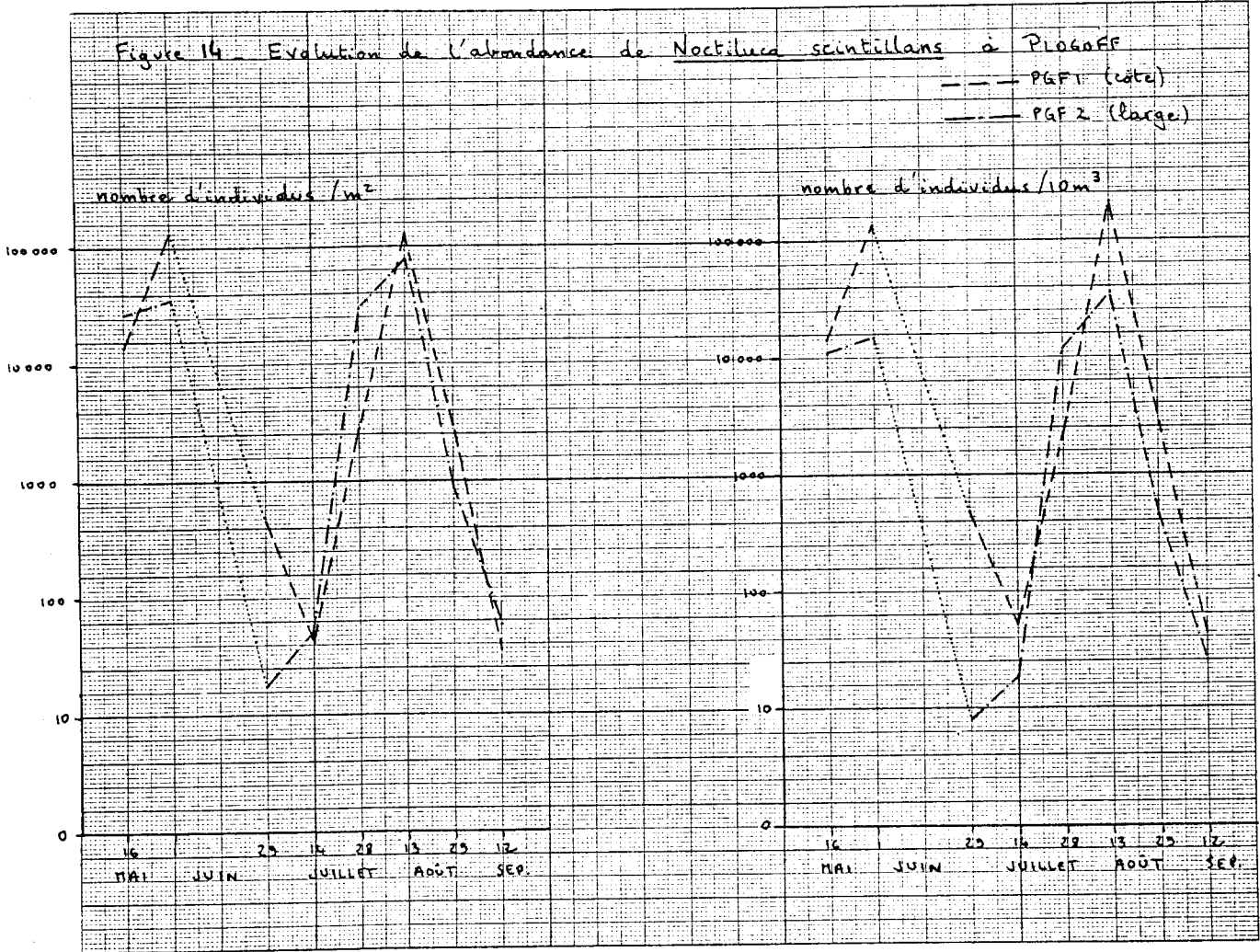
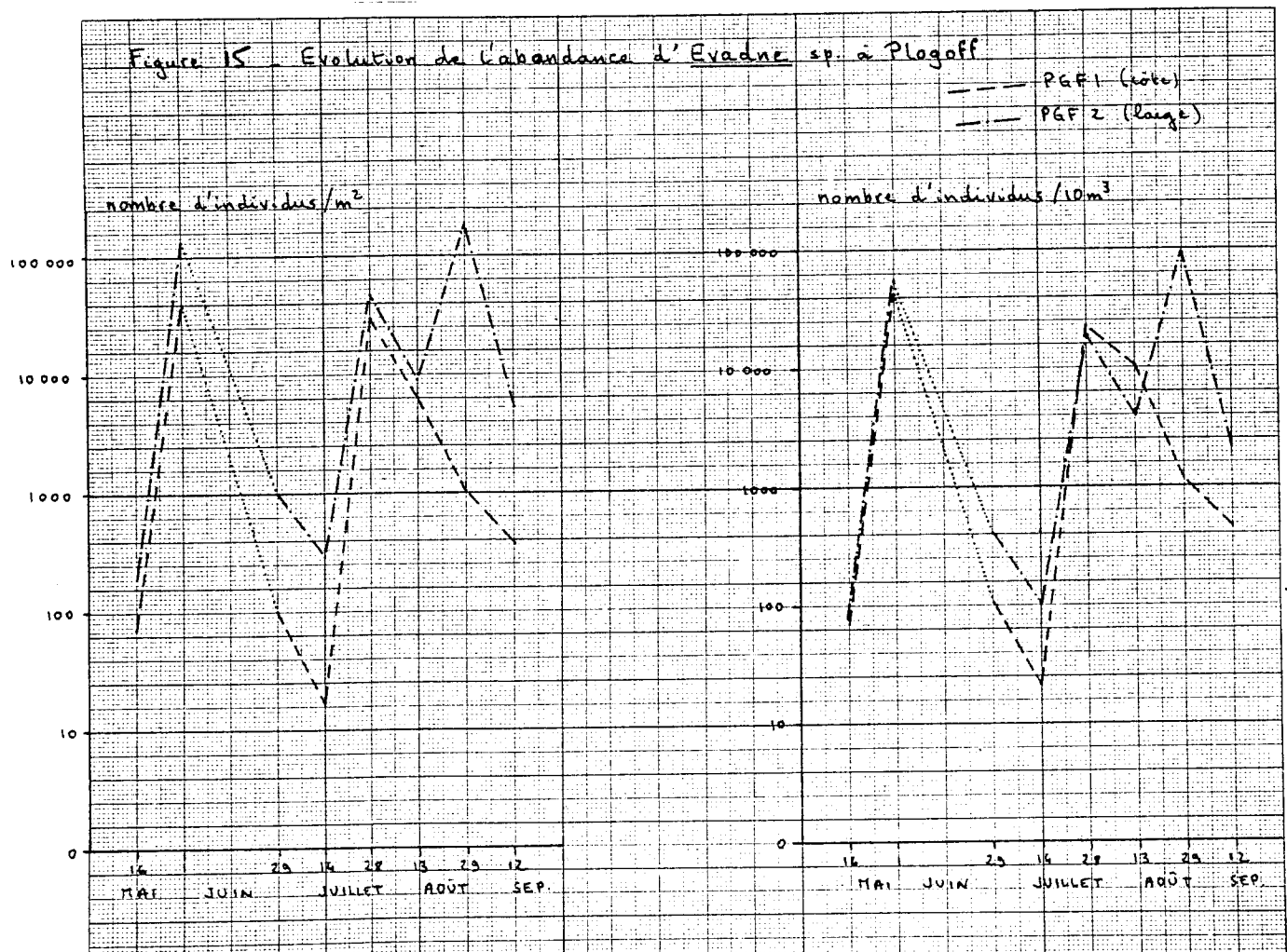


Figure 15 - Evolution de l'abondance d'*Evadne* sp. à Plogoff



Les organismes dont l'abondance est représentée Figures 14 et 15 méritent une mention particulière. *Noctiluca scintillans* est un Dinoflagellé qui a perdu toute pigmentation et toute capacité de photosynthèse, et qui se nourrit en capturant des proies. Sa taille, voisine du millimètre, et ses caractéristiques de distribution dans le milieu, expliquent que cette espèce soit mieux représentée dans les échantillons de zooplancton que dans ceux de phytoplancton (au moins si l'on considère les types de prélèvements réalisés pour la présente étude). *Noctiluca scintillans* est plus légère que l'eau et se rencontre donc essentiellement au voisinage immédiat de la surface ; c'est cette espèce qui est le plus souvent responsable de la luminescence des vagues déferlantes et du sillage des bateaux qu'on observe parfois la nuit. Les *Evadne* (deux espèces ont été trouvées à PLOGOFF, une très forte majorité d'*Evadne nordmanni* et quelques rares spécimens d'*Evadne spinifera*) sont des Cladocères, groupe de Crustacés primitifs dont la plupart des espèces vivent en eau douce ou saumâtre, et qui comprend notamment les Daphnies utilisées comme nourriture pour les Poissons d'aquarium. Les *Evadne* sont également limités au voisinage immédiat de la surface. Comme les Noctiluques, ils tendront donc à être rassemblés, en quantités parfois considérables, à tout endroit où se produit une plongée des eaux de surface, que ces organismes ne suivent pas dans leur mouvement de descente. De telles plongées d'eau de surface (ou convergences) se produisent notamment en zone côtière, à la limite d'une zone stratifiée et d'une eau homogène, là où l'expansion horizontale de l'eau superficielle de la zone stratifiée est contrariée par le brassage vertical. De telles limites hydrologiques, qui sont de véritables frontières, abruptes, sont appelées des fronts. On les trouve fréquemment au débouché des estuaires, où la formation d'une couche d'eau superficielle plus légère résulte à la fois de l'apport d'eau douce et, en été, d'une différence de température, l'eau provenant des terres étant plus chaude que celle de la mer. Écarts de salinité et écarts de température ont alors des effets cumulatifs sur les écarts de densité et l'on parle dans ce cas de *front thermo-halin*. On peut aussi trouver des fronts à la limite d'une zone brassée par les courants de marée et d'une

zone plus calme où le réchauffement estival isole en surface une couche plus légère. L'effet de la température est alors seul en cause, et l'on parle de *front thermique*. Les très fortes abondances de Noctiluques sont bien connues pour marquer la localisation de fronts (cf. LE FEVRE & GRALL, 1970 et revue bibliographique incluse). Le fait est sans doute moins connu, mais tout aussi réel pour *Evadne*. La coïncidence des maxima de cet organisme avec des fronts de convergence est notée par MARGALEF (1963) et LE FEVRE & GRALL (1970), notamment. Elle a été retrouvée de manière particulièrement frappante au printemps 1978 au débouché de la Rivière de Lannion, où le front de salinité était particulièrement net (SAMAIN et al., 1978). La signification écologique particulière des maxima de *Noctiluca scintillans* et d'*Evadne* étant ainsi rappelés, on peut remarquer qu'à PLOGOFF, à l'exception du 29 Juin, du 14 Juillet et du 12 Septembre, au moins l'un des deux organismes est présent à des taux dépassant 10.000 individus/m<sup>2</sup>. A trois occasions, le 1er Juin, le 13 Août et le 29 Août, l'un des organismes, sinon les deux, dépasse 100.000 individus/m<sup>2</sup> (les abondances par unité de surface étant plus significatives que par unité de volume pour des organismes qui n'occupent pas toute la colonne d'eau). Les autres particularités notables sont : la similitude générale de l'évolution des deux organismes, mais avec des différences sensibles de détail ; la chute importante du 29 Juin et surtout du 14 Août, déjà constatée pour d'autres éléments du plancton ; la différence parfois notée entre la côte et le large pour *Evadne*, avec un écart de plus de 1 à 100 le 29 Août, et enfin la diminution des effectifs en fin de saison.

Une interprétation fine des caractéristiques du zooplancton de PLOGOFF nécessiterait la prise en considération d'un plus grand nombre de catégories d'organismes et des traitements statistiques rigoureux, ce qui ne pourra être entrepris que pour le rapport final. Certaines particularités très significatives sont cependant dès maintenant évidentes.

- Le caractère irrégulier des variations de plusieurs types d'organismes (Copépodes au large, Appendiculaires ; larves de Cirripèdes, Noctiluques, *Evadne*). Même dans le cas de variations à tendance nette et facilement interprétable, on constate des irrégularités d'aspect accidentel (*Muggiaea atlantica*).

- L'abondance considérable de formes caractéristiques du voisinage immédiat des fronts de convergence (Noctiluques, *Evadne*). Parmi les Crustacés, *Evadne* domine même à plusieurs reprises largement les Copépodes, ce qui est une situation tout à fait inhabituelle.

- Des chutes très importantes le 29 Juin, et surtout le 14 Juillet, pour plusieurs des organismes pour lesquels les résultats viennent d'être présentés, mais aussi pour un certain nombre d'autres, pour lesquels les données sont en cours d'exploitation. Rappelons que ces deux dates sont également caractérisées par une chute de température, par une sous-saturation en oxygène dissous, et par une remontée transitoire des sels nutritifs. Le 14 Juillet, de nombreux cadavres et débris d'organismes étaient présents à la côte, et dans une moindre mesure au large. Parmi les hypothèses à envisager, on doit prendre en considération l'éventualité que, pour une cause indéterminée, une mortalité de plancton se soit produite fin Juin début Juillet. La diminution des teneurs en oxygène, comme la régénération des sels nutritifs s'expliqueraient alors par la décomposition des cadavres.

## DISCUSSION & INTERPRETATION

Pour être valablement interprétées, les données obtenues aussi bien sur le site de PLOUMOGUER que sur celui de PLOGOFF doivent être replacées dans le cadre général des grands traits océanographiques du secteur ouest-Bretagne. Comme le notait COOPER (1967) pour la zone voisine de la Mer Celtique, celui-ci est caractérisé par l'opposition de deux régimes hydrologiques bien tranchés. En hiver, du fait des tempêtes et des coups de vent, du fait aussi du refroidissement qui atteint les eaux de surface, les masses d'eau sont très homogènes et il n'est pas possible de distinguer

des structures nettes. A la belle saison, par contre, qui peut s'étendre de ce point de vue d'Avril à Octobre, on observe régulièrement un fort contraste entre des zones totalement homogènes en température et salinité (donc en densité) sur la verticale, et des zones à forte stratification, où l'on trouve en général deux couches d'eau de caractéristiques physiques très différentes, l'une au fond, l'autre en surface, séparées par une mince couche de transition, appelée thermocline. Ce terme fait plus précisément allusion au changement de température lorsque l'on passe d'une couche à l'autre, qui est en général la différence la plus immédiatement perceptible. Les deux types de zones sont séparées par des discontinuités le plus souvent abruptes que l'on nomme des *fronts*. Le front le mieux connu dans la zone géographique qui nous intéresse a été pour la première fois mis en évidence par DIETRICH (1950), qui l'explique par la répartition géographique de l'intensité des courants de marée. Au large, le réchauffement estival, par rayonnement solaire, atteint la mer par la surface. Les vents tendent à homogénéiser la colonne d'eau à partir de la surface sur une certaine profondeur, répartissant ainsi la chaleur reçue dans une couche d'eau superficielle, homogène et chaude. Les courants, essentiellement les courants de marée pour la zone qui nous intéresse, tendent à homogénéiser la colonne d'eau, essentiellement à partir du fond, par frottement sur celui-ci (SIMPSON & HUNTER, 1974 ; FEARNHEAD, 1975). De ce mélange résulte la formation, au fond, d'une couche d'eau froide, qui a acquis ses caractéristiques physiques pendant l'hiver. Tant que la hauteur de la couche de mélange dû au vent à partir de la surface d'une part, et de la couche de mélange dû au courant à partir du fond d'autre part, sont telles qu'il n'y a pas de recoupement, on obtient une structure stratifiée. Tel est le cas en été, où les vents sont en général faibles, et au large, où les courants sont peu importants et la profondeur totale grande. A la côte par contre, où la profondeur totale diminue et où l'intensité des courants augmente, les deux couches de mélange se confondent et l'on trouve une complète homogénéité sur la colonne d'eau. L'ensemble se traduit en coupe par une structure comme celle schématisée figure 16, d'après RAILLARD (1976), qui pourrait représenter une coupe typique Nord-Ouest-Sud-Ouest atteignant la côte aux environs de PORTSAL

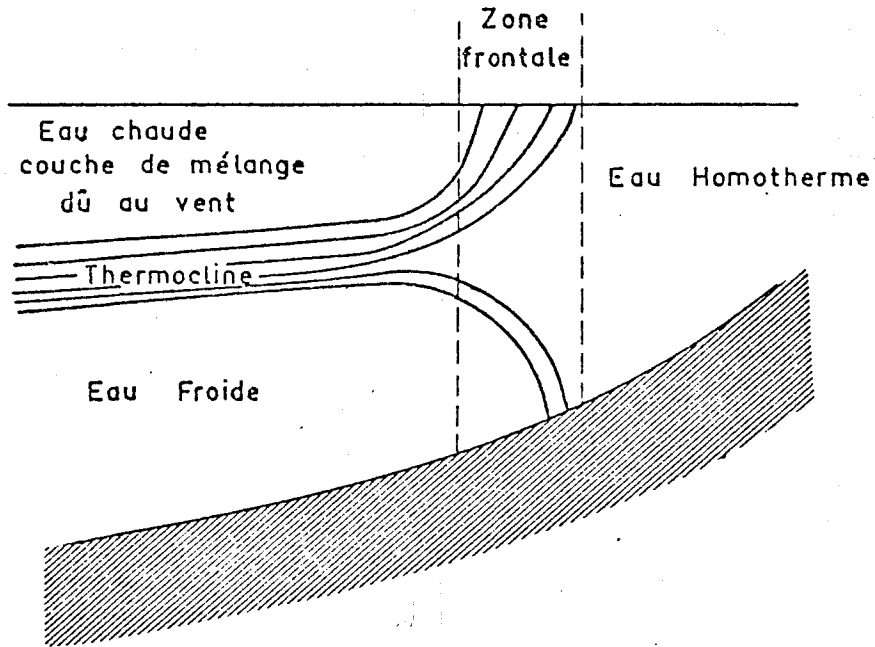


FIGURE 16 - Aspect schématique d'une zone frontale (d'après RAILLARD, 1976).

Cette coupe théorique est très proche d'une coupe réelle qui serait orientée NW-SE et atteindrait la côte aux environs de PORTSALL. En juillet, on aurait alors les températures caractéristiques suivantes :

- eau homotherme : environ 13°C ;
- eau chaude superficielle du large : environ 16°C ;
- eau froide du fond au large (bourrelet froid) : environ 11°C.

Entre la zone homogène et la zone stratifiée se trouve le front d'Ouessant, mis en évidence par DIETRICH (1950).

Entre la zone homotherme (c'est-à-dire de même température sur toute la colonne d'eau) et la zone stratifiée du large, se situe le front d'Ouessant qui correspond à l'arrivée en surface de la thermocline, et se traduit par un brusque changement de la température de surface sur une courte distance. Le front d'Ouessant est un trait majeur de l'océanographie régionale, et s'étend vers le nord ou le nord-est sur toute l'entrée de la Manche pour rejoindre les côtes anglaises. Depuis sa mise en évidence par DIETRICH (1950), qui le fait coïncider à peu près avec la ligne d'égale vitesse de 2 noeuds des courants de marée, il a été étudié par de nombreux auteurs, parmi lesquels on peut citer, LE MAGUERESSE (1974), PINGREE et al., (1974), PINGREE (1975), RAILLARD (1976), GARZOLI (1977) pour les propriétés physiques du front, ainsi que SOUTHWARD (1962), GRALL & LE FEVRE (1967), LE FEVRE & GRALL (1970), GRALL & al., (1971) et PINGREE et al., (1975) pour ses propriétés biologiques. Les données acquises par ces divers auteurs permettent d'affirmer que le front d'Ouessant est une caractéristique estivale permanente dans la région et de préciser les températures des masses d'eau apparaissant sur la figure 16 : à la côte l'eau homogène est, à proximité d'Ouessant, à une température comprise entre 13 et 14°C ; l'eau superficielle du large à 16-17°C et l'eau profonde du large à 10-12°C (valeurs typiques de juillet). Cette dernière masse d'eau constitue le bourrelet froid, mis en évidence par VINCENT & KURC (1969) et dont l'évolution au cours de l'année a été étudiée en détail par HENAFF (1973). Ce bourrelet s'étend parallèlement à la côte sur toute la longueur du plateau continental. Plus au large, au niveau du talus continental apparaît une nouvelle zone non stratifiée, en raison de la remontée d'eau profonde (LE CORRE & TREGUER, 1976 ; PINGREE, 1978). Plus au large encore, la zone océanique est à nouveau stratifiée, de manière complexe.

Dans le secteur côtier, compris entre les environs de la Pointe St Mathieu et la Pointe du Raz se trouve une nouvelle zone stratifiée, mise pour la première fois en évidence par les mesures de température d'HINSCHBERGER (1962), décrite par GRALL & LE FEVRE (1967), LE FEVRE &



GRALL (1970) et soupçonnée par RAILLARD (1975) sur des bases théoriques. Dans cette zone, la stratification résulte de l'effet cumulé sur la densité des écarts de température et de salinité. L'eau de surface est chaude et relativement dessalée, en raison de l'influence des apports de la Rade de Brest et dans une beaucoup plus faible mesure, de la Baie de Douarnenez, les deux baies constituant cependant un seul ensemble. Cette zone stratifiée est limitée à l'ouest par un second front, qui le sépare d'une zone homogène en continuité avec celle d'Ouessant. D'est en ouest, à la hauteur de la presqu'île de Crozon, on rencontre donc une zone à stratification thermo-haline (température + salinité), une zone homogène brossée par les courants de marée, le front d'Ouessant qui présente alors une direction générale moyenne nord-sud, et enfin la zone à stratification purement thermique (température) qui occupe la majeure partie du plateau continental. Au niveau des deux fronts, les eaux plus légères de surface ont tendance à s'écouler en direction de la zone homogène, mais sans pouvoir dépasser la zone frontale, où se produit une plongée d'une eau résultant du mélange entre l'eau homogène et l'eau de surface de la zone stratifiée. Cette eau a une densité intermédiaire et vient occuper le niveau de la thermocline. C'est ce phénomène qu'on désigne sous le nom de convergence. Il est général au point que le terme de convergence est pratiquement synonyme, en océanographie physique, d'un changement brusque et localisé de la température des eaux de surface.

Plus au sud, les connaissances disponibles étaient, jusqu'à une date très récente, à peu près absentes pour la saison estivale, de sorte que la figure 17, extraite de la publication de LE FEVRE & GRALL (1970) résumait l'essentiel de ce que l'on savait de la structure hydrologique à l'ouest de la Bretagne. En Baie d'Audierne, cependant, une campagne du "PLUTEUS II" (Station Biologique de Roscoff) a été réalisée en juin 1974 par J.R. GRALL, G. LE FEVRE-LEHOERFF, P. LE CORRE & P. TREGUER. Les résultats de cette campagne, qui portait sur l'hydrologie, le phytoplancton et le zooplancton, ne sont connus que pour ce qui est des données physico-chimiques (LE CORRE & TREGUER, 1976).

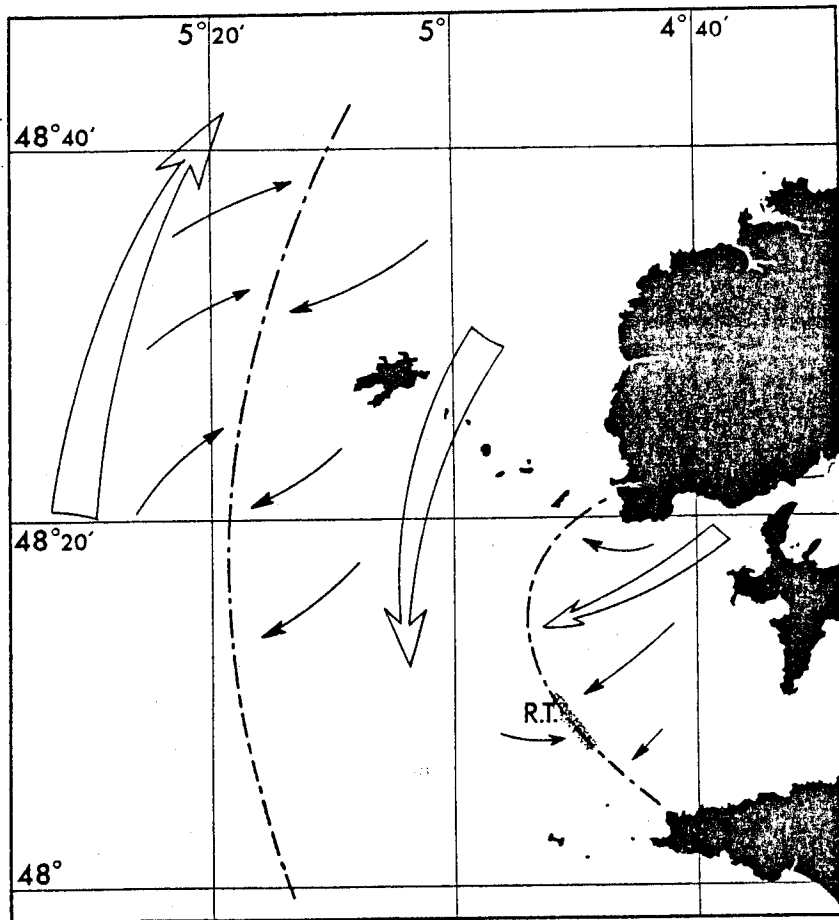


FIGURE 17 - Zonation hydrologique à l'ouest de la Bretagne (d'après LE FEVRE & GRALL, 1970).

Cette carte représente la situation typique en juillet. On trouve, d'est en ouest :

- une zone à stratification thermo-haline (ensemble Rade de Brest-Baie de Douarnenez) ;
- un front thermo-halin (front interne de l'Iroise), représenté en trait mixte ;
- une zone homogène sur la verticale ;
- un front thermique (front d'Ouessant) ;
- une zone à stratification thermique au large.

Les flèches indiquent les courants généraux probables "RT" (Red Tide) figure la localisation d'un phénomène d'eau rouge à Noctiluques observé le 20/7/67 sur le front interne d'Iroise.

La figure 18 reproduit des coupes de températures extraites du travail qui vient d'être cité, ainsi qu'une carte de localisation des stations correspondantes. On voit (Fig. 18b) qu'une forte stratification affecte l'ensemble des stations 1 à 8 (Baie d'Audierne), tandis que sur l'autre coupe (Fig. 18c), seules sont stratifiées les stations du large, la masse d'eau étant au contraire homogène au voisinage du Raz de Sein. Entre zone homogène et zone stratifiée, un front passe entre les stations 11 et 12 d'une part, entre les stations 9 à 11 et l'ensemble des stations 1 à 8 d'autre part. Son tracé est donc approximativement celui qu'on a fait figurer sur la carte (Fig. 18a).

Le lien entre ces données de la baie d'Audierne et la situation bien connue à l'ouest et au nord-ouest de la Bretagne n'a pu être établi que très récemment, par l'utilisation d'images obtenues par le satellite météorologique américain NOAA 5. Ce satellite mesure le rayonnement infra-rouge émis ou réfléchi par la surface de la planète, dans une bande de longueur d'onde dite infra-rouge thermique, où l'intensité de ce rayonnement dépend de la température. En raison des caractéristiques, variables, de la transmission atmosphérique, ces mesures de rayonnement ne peuvent pas être traduites en valeurs absolues de température. Les différences sont cependant bien détectées, avec une précision de l'ordre du demi-degré. Par un traitement approprié des données à l'ordinateur, on peut visualiser une gamme de variation correspondant aux phénomènes à étudier. Dans le cas présent, il s'agira, bien entendu, de la gamme à l'intérieur de laquelle s'inscrivent les variations de la température de la mer. Compte tenu de ce qui a été dit plus haut, les zones brassées se traduiront sur les images par des surfaces froides, et les zones stratifiées par des surfaces chaudes, les fronts correspondant à de brusques changements de température. Cependant, les données des images satellites correspondent à des variations de température affectant une pellicule superficielle extrêmement mince, et l'on aurait pu craindre que ces images traduisent mal la structure affectant l'ensemble de la masse d'eau. Cette crainte s'est révélée vaine : les images de la région

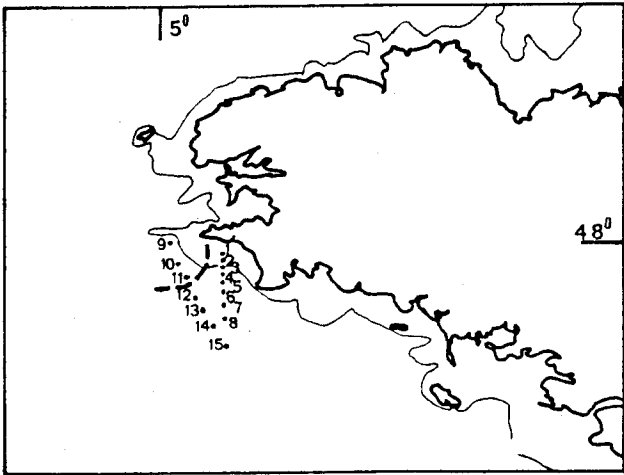
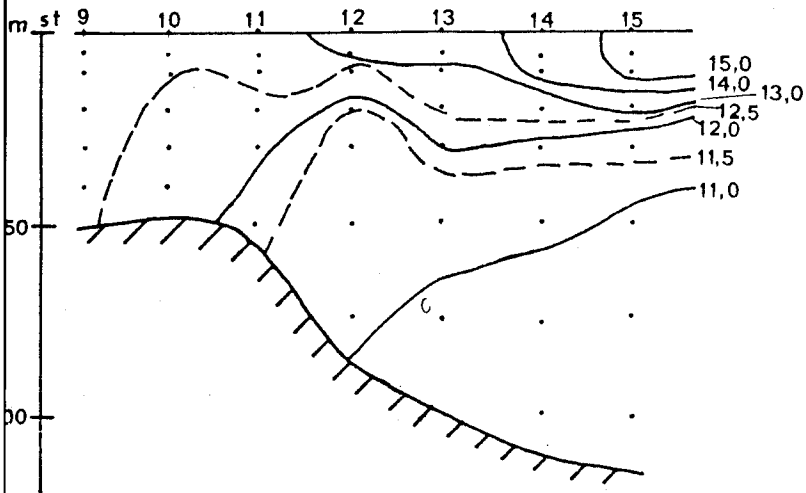
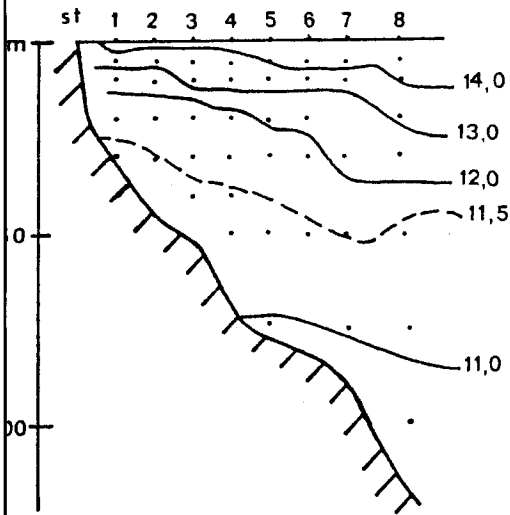


FIGURE 18 - Situation thermique en Baie d'Audierne en juin 1974 (d'après LE CORRE & TREGUER, 1976)

- a) - Carte de localisation de la zone étudiée et des deux coupes réalisées.
- b) - Coupe de température sur la série des stations 1 à 8.
- c) - Coupe de température sur la série des stations 9 à 15.



La comparaison des deux coupes permet de déduire l'existence d'un front thermique, selon le tracé approximatif indiqué en a) (trait discontinu).

d'Ouessant traduisent parfaitement les écarts de température mesurés en surface (c'est-à-dire à la profondeur d'immersion d'un thermomètre, qui est de 20 à 50 cm) par les divers auteurs cités plus haut ayant travaillé sur le front. De même, la zone stratifiée côtière au débouché de la Rade de Brest et de la Baie de Douarnenez, se retrouve clairement sur les images satellites. Il y a même plus : PINGREE & GRIFFITHS (1978) ont établi une comparaison systématique entre les données des images satellites et celles obtenues aux mêmes dates lors d'une croisière du navire océanographique "SARSIA" (Laboratoire de Plymouth, Marine Biological Association of the United Kingdom). Le résultat est une parfaite concordance. Les images satellites présentent cependant l'inconvénient de ne pouvoir être exploitées qu'en l'absence de nuages.

Nous disposons, pour 1977, d'une série d'images communiquées à L. QUINIOU (Laboratoire de Biologie Animale, UBO) par le Centre de Télédétection et d'Analyse des Milieux Naturels de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines), et pour 1978 d'images fournies par le Centre de Météorologie Spatiale de Lannion et concernant les dates proches de celles de nos sorties. Une étude analogue a, par ailleurs et indépendamment été entreprise en Grande Bretagne portant en partie sur les mêmes zones, et des résultats directement utilisables ont été publiés par PINGREE (1978), à partir d'images satellites concernant 1976. Les données satellites sur lesquels on peut s'appuyer couvrent donc la saison estivale de trois années consécutives, dont celle où nous avons réalisé nos mesures de terrain.

Pour des raisons techniques, il n'est pas possible de reproduire ici ces images, dont les plus importantes figureront dans le rapport final. Retenons cependant que l'ensemble de ces données confirme entièrement la description qui a été faite plus haut de l'Océanographie Physique du secteur ouest-Bretagne. Elles font apparaître le plus souvent une stratification en Baie d'Audierne, limitée vers l'ouest par un front qui vient s'enraciner à la côte au voisinage immédiat du site de Plogoff,

et qui n'est autre que l'extrémité du front d'Ouessant. La figure 19 représente schématiquement la situation moyenne telle qu'elle peut être déduite de l'ensemble des observations. Des variations peuvent évidemment se manifester. Le front qui va de la Pointe St Mathieu à la Pointe du Raz subit des modifications de position et d'intensité. Il est le plus souvent très abrupt dans sa partie sud, mais son point d'origine peut se rapprocher du fond de la Baie de Douarnenez (4/7/77 ; 10/8/77 ; 16/7/78 ; 14/8/78). Au nord, il peut être également très abrupt (26/6/77 ; 8/7/77 ; 14/9/77 ; 16/7/78), ou au contraire être relativement effacé et remplacé par un gradient de température plus progressif (4/7/77 ; 10/8/77). Très généralement, les eaux chaudes de surface s'écoulant de la Rade de Brest tendent à se diriger vers la droite une fois passée la Pointe St Mathieu, et il arrive que le front vienne s'enraciner à la côte au voisinage immédiat du site de Ploumoguier (8/7/77 ; 16/7/78 ; 14/8/78).

La branche de Plogoff du front d'Ouessant correspond pratiquement toujours à un changement très brutal de température, le plus souvent voisin de 2°C. La Baie d'Audierne apparaît généralement comme occupée par de l'eau de surface à forte température, et donc bien stratifiée avec un dessin général du front qui est celui de la figure 18. On trouve même à certaines occasions, des lentilles d'eau surchauffée, de 0,5 à 1°C par rapport aux zones stratifiées les plus voisines. Ces lentilles sont soit plaquées à la côte le long de la partie orientale de la baie (3/7/77), soit également plaquées à la côte, mais aux abords immédiats du site EDF, immédiatement à l'est du front (4/7/77 ; 10/8/77), soit encore isolées au milieu de la baie, comme c'est le cas d'une deuxième lentille, à peu près circulaire, observée le 10/8/77 et dont la forme et la position suggèrent qu'un tourbillon tournant en sens inverse des aiguilles d'une montre occupe l'ensemble de la baie d'Audierne. Le front connaît cependant des oscillations de position assez marquées, comme le montre la figure 20, qui reproduit des résultats de PINGREE (1978), relatifs à l'été 1976, d'après des images du même satellite NOAA 5.

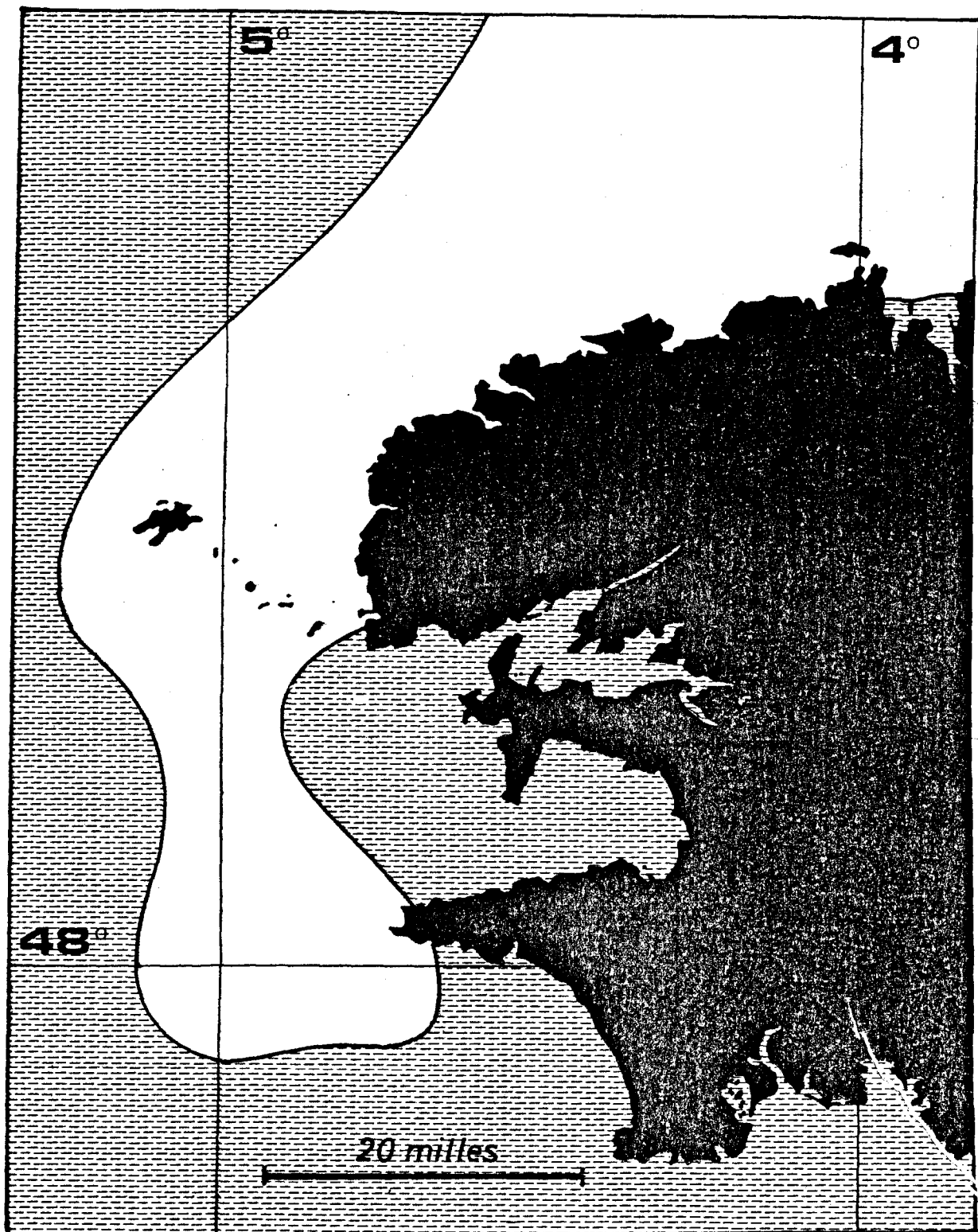


Fig. 19.

Structure hydrologique estivale moyenne à l'ouest de la Bretagne (schéma) :

- Tireté : zones stratifiées (au moins deux couches de densité différente séparées par des interfaces)
- Blanc : zone homogène sur la verticale (maximum des courants de marée)
- Traits continus : fronts thermiques ou thermo-halins.

(Pour les sources, voir texte).

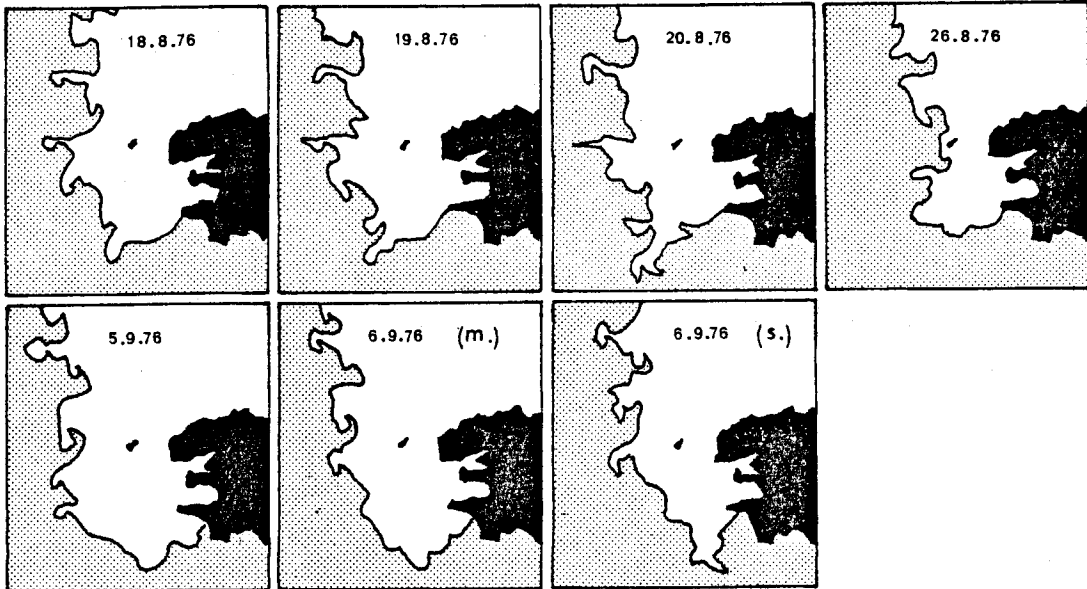


FIGURE 20 - Variations de position du front d'Ouessant pendant l'été 1976 (d'après PINGREE, 1978).

En grisé, zone stratifiée du large (la zone stratifiée de l'ensemble Rade de Brest-Baie de Douarnenez n'est pas représentée).

On remarque les nombreux méandres et tourbillons du front, dont les six dessins à gauche montrent l'évolution à court terme (18-20 août et 5-6 septembre). Le fait de pouvoir suivre ainsi l'évolution de ces détails sur 48 H montre le caractère permanent de la structure générale.

On note également que l'extrémité du front vient s'enraciner à la côte en Baie d'Audierne, où sa position oscille de part et d'autre du site EDF.

m : matin , s : soir



Ce sont de telles oscillations de position du front, sous l'effet des conditions météorologiques et de la marée, qui peuvent expliquer les irrégularités des mesures de température à Plogoff, constatées aussi bien dans la présente étude (Fig. 2), que dans les campagnes EDF (ALLEN, 1978b).

L'étude plus précise des relations entre données satellite montrant la localisation des fronts et les heures et coefficients de marée sera entreprise pour le rapport final. D'autres données permettent cependant d'affirmer que si ces structures montrent des variations, parfois importantes, dans le détail, leur existence n'en est pas moins permanente. PINGREE & GRIFFITHS (1978), ont en effet établi, en partie d'après les résultats des travaux de SIMPSON & HUNTER (1974) un modèle mathématique pour la prévision de la localisation des fronts dans l'ensemble des mers du nord-ouest européen. Ce modèle repose sur la comparaison de la production d'énergie potentielle nécessaire au maintien de la stratification (apport de chaleur au niveau de la couche superficielle ayant pour résultat de diminuer la densité de celle-ci) et de la dissipation d'énergie par les courants de marée. Un modèle de courants est donc une composante nécessaire de ce travail : celui utilisé par les auteurs repose sur une grille d'environ 13 000 points couvrant l'ensemble de la zone considérée. En résolvant les différentes équations du modèle, les auteurs définissent un paramètre de stratification :

$$S = \log_{10} [h/C_d(|u|^3)]$$

- où  $h$  est la hauteur moyenne de la colonne d'eau, en cm ;
- $C_d$  le coefficient de frottement sur le fond ( $\approx 0,0025$ ) ;
- $u$  l'amplitude du courant de marée. (cm/s).

$S$  est calculé par le modèle en chaque point. A une valeur de  $S$  inférieure à 1 correspondent des zones toujours brassées ; à une valeur de  $S$  supérieure à 2 des zones toujours stratifiées, tandis qu'entre ces deux valeurs, on trouve des zones de transition où apparaissent les fronts thermiques (l'effet de la salinité n'étant pas pris en compte dans le modèle). La valeur  $S = 1,5$  est considérée comme correspondant

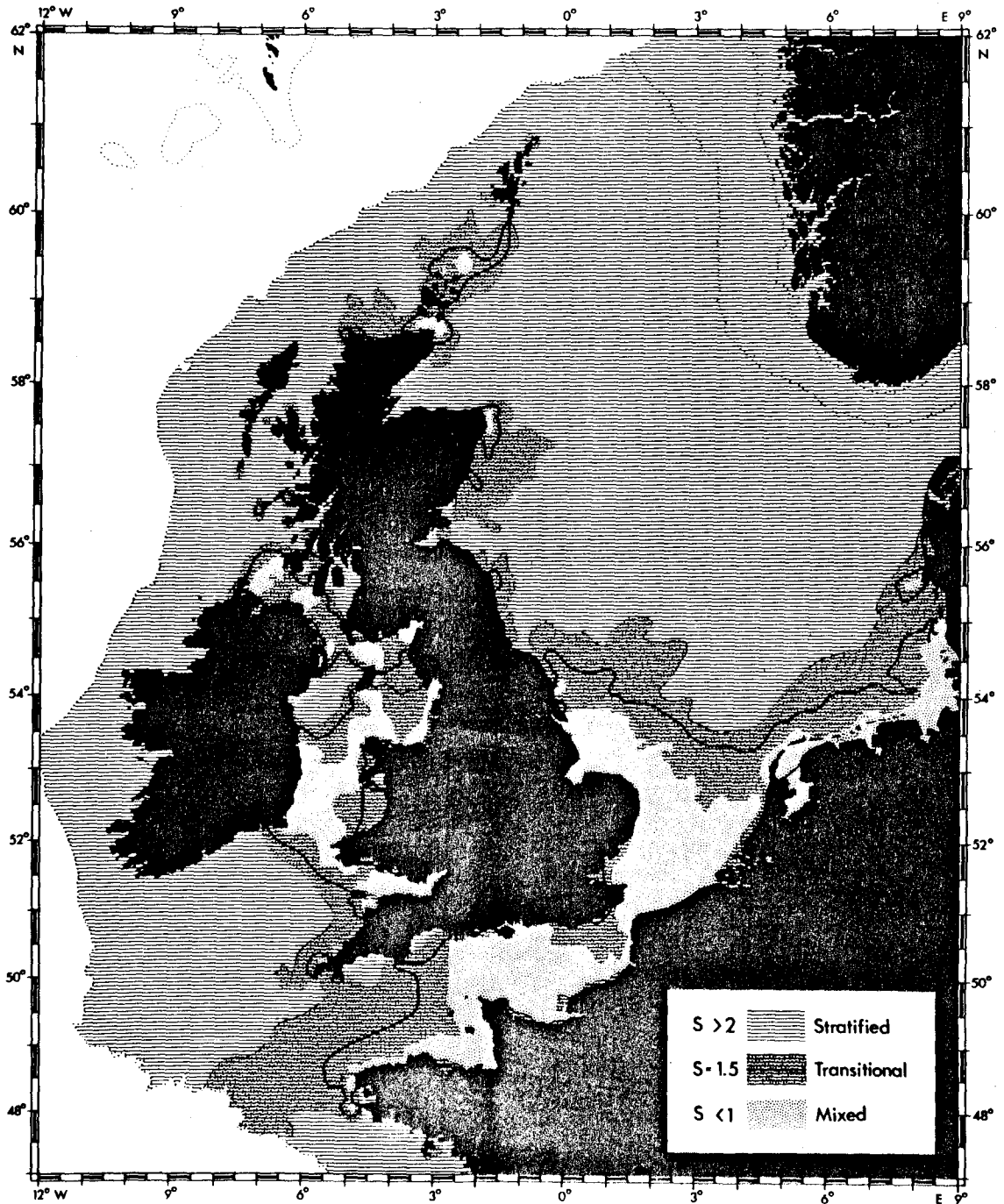


Fig. 6. Predicted positions of frontal boundaries from the numerical model,  $S = 1.5$  (heavy line). Hatching represents stratified conditions during the summer months ( $S > 2$ ), and regions that are well mixed throughout the year are indicated by stippling ( $S < 1$ ). All these frontal regions can be identified in the satellite images (Figure 2) and hydrographic studies (Figure 5) and represent important physical, biological, and chemical boundaries.

FIGURE 21 - Position des fronts prédits par un modèle mathématique, d'après PINGREE & GRIFFITHS (1978).

Les fronts sont figurés par le trait plein. La légende des auteurs est conservée ci-dessus. Les numéros de figure qui y sont indiqués se rapportent évidemment au travail original.

à la position la plus probable du front. La figure 21 reproduite d'après les auteurs, présente le résultat final. On voit que les deux fronts, celui d'Ouessant qui se termine à Plogoff, et celui qui limite l'ensemble Rade de Brest-Baie de Douarnenez, y apparaissent dans la position que les données de terrain et les images satellite nous ont fait connaître. Les autres fronts prévus par le modèle se trouvent selon les auteurs à des positions qui coïncident également avec les observations satellite et les données de terrain là où celles-ci sont disponibles.

La situation hydrologique qui vient d'être décrite à d'importantes implications concernant les sites EDF. Sur le plan biologique, les fronts de convergence représentent le type de structure le plus souvent impliqué dans l'apparition des phénomènes d'eau rouge (cf. ci-dessus pp.24-26). La causalité de ceux-ci a longtemps été mal comprise, et des malentendus durables se sont installés dans l'esprit de nombreux biologistes. L'origine peut en être fixée à une publication de BRONGERSMA-SANDERS (1948), qui ne comportait pas en elle-même, d'erreurs particulières. L'auteur constatait la similitude d'aspect que présentaient d'une part les amoncellements de cadavres de poissons à la suite de mortalités massives dues à des eaux rouges et d'autre part certains schistes bitumeux soupçonnés d'être des roches mères du pétrole. Elle notait également que ces amoncellements de cadavres prenaient une ampleur particulièrement importante dans les zones (Sud de l'Afrique, côtes du Pérou) où se produisent des phénomènes dits d'upwelling, terme qui désigne une remontée, dans des conditions, de vent notamment, bien particulières, d'eaux profondes, riches en sels nutritifs, qui fertilisent ainsi la couche superficielle où la lumière permet au phytoplancton de se développer. Ces zones d'upwelling sont, en conséquence, d'une très haute productivité biologique, ce qui explique l'ampleur exceptionnelle des mortalités qui s'y produisent en cas d'eau rouge toxique. De cette coïncidence l'auteur concluait que les schistes bitumeux pouvaient être indicateurs de zones d'upwelling fossiles. Elle n'établissait pour autant aucun lien de cause à effet entre le phénomène d'upwelling lui-même et les eaux

rouges, et remarquait au contraire que celles-ci se produisent toujours après cessation de l'upwelling. Ces conclusions étaient incorrectement interprétées par FAGE (1951) qui, dans un court article, dont le but était explicitement de résumer le travail de Mme BRONGERSMA-SANDERS, indiquait comme cause directe des eaux rouges l'enrichissement en sels nutritifs apporté par les eaux d'upwelling, et qui seraient donc préférentiellement utilisés par les Dinoflagellés, ce qui ne correspond pas du tout à la réalité, ces organismes étant, au contraire, en pareil cas, supplantés par les Diatomées, qui ne produisent jamais d'eaux rouges. L'autorité de FAGE, qui était à l'époque un des grands noms de l'océanographie française, était cependant telle que son interprétation s'est rapidement répandue, au point qu'on a vu des auteurs ayant observé des eaux rouges, comme SEGUIN (1966), les expliquer par l'effet direct d'un upwelling, alors même que l'examen détaillé de leurs propres données suggère qu'il n'en est rien. PERES & DEVEZE (1963) ont achevé de vulgariser l'interprétation de FAGE en lui consacrant une place importante dans leur ouvrage, bien que ces auteurs présentent aussi les autres théories connues à l'époque. D'autres auteurs avaient cependant remarqué, depuis maintenant longtemps, la coïncidence entre les eaux rouges et les fronts de convergence, qui correspondent à une plongée d'eau et donc à une situation exactement inverse d'un upwelling. Parmi eux, on peut citer SLOBODKIN (1953), RYTHER (1955), et ceux passés en revue dans l'excellent travail bibliographique de ROUNSEFELL & NELSON (1966) qui porte plus particulièrement sur les eaux rouges fréquentes en Floride. Dès les années 1950-1960, le rôle des fronts dans la génèse des eaux rouges pouvait être tenu pour établi, même si les interprétations divergeaient. Pour SLOBODKIN (1953), par exemple, devaient régner au niveau des fronts des conditions tout à fait particulières expliquant la prolifération des Dinoflagellés, tandis que pour d'autres auteurs, comme CHEW (1955), la concentration mécanique du matériel de surface (qui inclut les Dinoflagellés) à l'endroit où se produisent des plongées d'eau pouvait suffire à expliquer les abondances observées (plusieurs millions

par litre). L'existence de cette concentration mécanique est maintenant bien établie. Elle ne concerne pas que les Dinoflagellés, mais aussi tout organisme propre au voisinage immédiat de la surface, tels que les oeufs de Poissons (LE FEVRE & GRALL, 1970 ; GRALL & al., 1971) ou les *Evadne* (cf. ci-dessus pp. 39-40). Ce mécanisme ne suffit cependant pas à expliquer les eaux rouges, et il faut faire intervenir la croissance naturelle des populations de Dinoflagellés, pour laquelle les conditions favorables sont encore assez mal connues, en dehors de la nécessité d'une stratification des eaux (ICES, 1976). Certains, parmi les auteurs actuels les plus engagés dans ce type de recherches, pensent que la dynamique de l'évolution des fronts joue un rôle direct dans la prolifération des Dinoflagellés et la genèse des eaux rouges (PINGREE & al., 1975 ; PINGREE, 1978). Quoiqu'il en soit, le fait que les fronts soient impliqués dans l'apparition des eaux rouges est maintenant bien établi, même si de nombreux biologistes n'ayant pas étudié directement le phénomène sont toujours influencés par l'interprétation de FAGE, qui s'est encore déformée au point que les eaux rouges sont parfois perçues comme un cas particulier des phénomènes d'eutrophisation, déséquilibre provoqué dans le milieu par un apport de sels nutritifs dépassant ses capacités normales d'absorption, et qui est souvent lié à des cas de pollution. Les spécialistes des eaux rouges réfutent fermement cette interprétation, au moins en ce qui concerne les eaux rouges typiques à Dinoflagellés (ICES, 1976), même si elle peut intervenir dans le cas d'autres organismes (proliférations bactériennes observées par DEVEZE & FAUVEL, 1966, par exemple, où l'échauffement des eaux est également en cause).

Ces rappels étant formulés, le cas particulier des sites EDF peut maintenant être examiné. A Plogoff, les caractéristiques du site posent de nombreux problèmes. La présence pendant tout l'été d'un front thermique représente un risque permanent d'eau rouge, tandis que la stratification en Baie d'Audierne est un élément favorable à la multiplication

des Dinoflagellés. Ces caractéristiques sont bien illustrées par les résultats de la présente étude : le cycle planctonique implique un maximum estival de Dinoflagellés ; ceux-ci peuvent atteindre des abondances analogues à celles typiques des eaux rouges (cas de *Gyrodinium aureolum*, espèce susceptible d'être nocive, le 13 août) ; d'autres résultats planctoniques témoignent également du caractère de zone frontale des abords immédiats du site (Noctiluques, *Evadne*), tandis que les données physiques (valeurs de stabilité verticale, irrégularités et oscillations de température) renforcent encore ces interprétations.

On peut également remarquer que le site de Plogoff présente, du point de vue écologique, une grande fragilité, comme en témoigne le phénomène intervenu les 29 juin et 14 juillet 1978, qui se traduit par une chute d'abondance de nombreux organismes planctoniques, avec présence de cadavres, au moins dans certains échantillons. A ces dates, rappelons-le, on observe aussi une diminution importante des teneurs en oxygène dissous. Il est difficile, pour le moment, de savoir si cette chute des teneurs en oxygène est la cause ou la conséquence des mortalités de plancton qui semblent s'être produites. L'une des hypothèses envisageables est que cette mortalité soit intervenue en premier lieu, pour une cause inconnue (eau rouge non détectée?), et que la chute d'oxygène et la remontée des sels nutritifs proviennent alors de la décomposition des cadavres. Dans ce cas, les basses températures enregistrées au voisinage du site signifieraient que le front se situe plus à l'est (mais on le trouve à l'ouest du site dès le 16 juillet comme le montre l'image satellite pour cette date). Cependant cette dernière conclusion signifierait qu'on se trouve dans la zone brassée, ce qui est peu compatible avec les importantes sous-saturations en oxygène, à moins de supposer une mortalité très importante. La seconde hypothèse serait celle d'une remontée à la côte du bourrelet froid, où l'on trouve en effet des teneurs en oxygène analogues à celles observées (GRALL et al., 1971). Rien ne permet cependant de trancher entre les deux hypothèses. L'ensemble des constatations qui viennent d'être faites rendent caduques certaines des conclusions de la synthèse des avant-projets des sites bretons (ALLEN et al., 1978), où le site de Plogoff était

notamment présenté comme probablement peu sensible au risque d'eau rouge. Il était cependant précisé dans le document cité en référence que des études de terrain étaient nécessaires pour confirmation. Celles-ci apportent au contraire un démenti formel. Certaines des informations relatives à ce problème sont antérieures à la publication du document cité en référence, et l'on pourrait s'étonner que celui-ci n'en tienne pas compte. Il faut cependant remarquer que les réunions de travail ayant abouti à ce document se sont tenues au début de 1977. Seul à cette date était en principe disponible le travail de LE CORRE & TREGUER (1976). Ce document est cependant une thèse, qui porte obligatoirement la date de soutenance (décembre 1976). L'édition définitive n'a, en réalité, été disponible qu'un peu plus tard, et tous les autres documents essentiels concernant le sud de la pointe du Raz n'ont été publiés ou obtenus qu'en 1978.

Du point de vue physique, les conséquences de la situation observée à Plogoff sont également importantes. Le front thermique, qui se situe tantôt à l'est, tantôt à l'ouest du site est une barrière physique difficilement franchissable pour les eaux de surface. Dans le cas, par exemple, où le front se situe à l'ouest du site, les eaux chaudes de rejet de la centrale ne pourraient s'écouler qu'en surface. La Baie d'Audierne étant, dans les conditions naturelles, stratifiée, il est en effet impensable qu'un apport supplémentaire de chaleur en un point de la côte ne se traduise pas par un renforcement de cette stratification (même si la forte intensité du rejet se traduit par un mélange local). Le courant portant pendant la majeure partie du temps vers l'ouest, comme l'ont établi les mesures E.D.F. (ALLEN, 1978b), on aboutirait ainsi au niveau du site à une accumulation d'eau chaude à la côte, bloquée par le front thermique et incapable de le franchir vers l'ouest. C'est une situation de ce genre que montrent déjà, dans les conditions naturelles, certaines images satellite (4/7/77 ; 10/8/77). Un apport supplémentaire d'eau chaude ne pourrait que renforcer ce type de circulation. La stratification observée en Baie d'Audierne a également une autre conséquence importante : une telle structure

est précisément celle considérée par le Laboratoire National d'Hydraulique (E.D.F.) comme invalidant son modèle de dispersion de la chaleur (annexe LNH/EDF, in ALLEN et al., 1978). Le devenir des effluents ne peut en effet, en zone stratifiée, être prédit que par un modèle à deux couches (et non par un modèle reposant, comme celui d'E.D.F., sur l'hypothèse de l'homogénéité des températures sur la verticale). De plus, si les phénomènes affectant la couche du fond peuvent être prévus en faisant intervenir uniquement le courant, comme le fait le modèle E.D.F., il en va tout autrement pour la couche de surface lorsque celle-ci est individualisée. Pour cette couche de surface, il faut en effet faire intervenir les effets du vent, qui, dans certaines conditions tendra à plaquer les eaux chaudes de surface le long de la côte orientale de la Baie d'Audierne. Ce phénomène, lui aussi, s'observe déjà dans les conditions naturelles sur certaines images satellite. Par ailleurs, d'autres parmi ces images suggèrent qu'un tourbillon, de sens inverse de celui des aiguilles d'une montre, occupe l'ensemble de la Baie d'Audierne. Les mesures E.D.F. vont aussi dans ce sens, qui montrent une prédominance du courant portant ouest près du site (ALLEN, 1978b), et donc très vraisemblablement de même sens tout au long de la côte en arc de cercle de la Baie d'Audierne, ainsi qu'une prédominance du transport vers le sud aux abords du Raz de Sein (calculs de poursuite de flotteurs, in ALLEN, 1978b), le tout constituant donc une boucle. Un tel tourbillon constituerait un mécanisme supplémentaire d'accumulation de l'eau chaude. Ces diverses considérations suggèrent un risque de recirculation des eaux chaudes vers la prise de refroidissement, dont le type de données présentées ici ne permet pas d'évaluer l'importance. Il est également difficile de prévoir ce qui se passerait dans le cas où le front serait situé à l'est du site. L'effluent serait alors déversé en zone homogène, mais avec des caractéristiques physiques sans doute encore proches de celles permettant l'apparition de la stratification. On peut imaginer que l'apport d'eau chaude rétablirait celle-ci, et repousserait donc en permanence le front à l'ouest du site. On peut aussi imaginer, au voisinage du rejet, la



formation d'une zone stratifiée particulière, limitée par son propre front. Il s'agit cependant de suppositions, et des études appropriées d'océanographie physique sont absolument nécessaires avant qu'on puisse se prononcer sur ces points.

A Ploumoguer, les choses sont moins nettes. Le site est proche de l'extrémité nord du front interne de l'Iroise, qui est, lui, thermohalin et correspond à la limite d'influence des eaux chaudes et dessalées en provenance de l'ensemble Rade de Brest - Baie de Douarnenez. C'est sans doute cette influence qui explique la dessalure persistante, même en été, des stations côtières de Ploumoguer par rapport à celle du large. Dans cette zone, les courants sont cependant violents en certains endroits situés entre Ploumoguer et la point St Mathieu, ce qui explique sans doute que le front fasse, à certains moments, place à un gradient diffus, et qu'à Ploumoguer les écarts de température dans le plan horizontal prennent souvent le pas sur les écarts verticaux. Au lieu de fronts obliques représentant l'affleurement en surface d'une thermocline bien marquée, on aurait dans ce cas des fronts verticaux, véritables murs entre deux masses d'eau de caractéristiques différentes, comme le suggère d'ailleurs E.D.F. (annexe LNH/EDF, in ALLEN et al., 1978). Cependant, des stratifications apparaissent à certains moments à Ploumoguer aux stations côtières, du fait des écarts de salinité, même en l'absence de différence importante de température. De plus, une forte stratification thermique est parfois possible, comme celle mentionnée par E.D.F. le 18 août 1977 (ALLEN, 1978a). Vertical ou oblique, d'ailleurs, un front thermique reste un obstacle à l'écoulement du rejet, et le problème posé par le tourbillon de l'Anse des Blancs Sablons reste entier. En tout état de cause, l'état de dépouillement, moins avancé que pour Plogoff, ne permet pas encore des conclusions bien établies. Les données planctoniques permettront entre autres une meilleure interprétation.

## CONCLUSION

Les deux sites pris ici en considération se signalent par des différences profondes par rapport à ceux précédemment étudiés sur les côtes de la Manche. Ces différences portent à la fois sur le régime hydrologique, et, par voie de conséquence, sur les successions des populations, tant phytoplanctoniques que zooplanctoniques au cours du cycle annuel. Du point de vue hydrologique, la différence essentielle porte sur l'établissement, à la belle saison, d'une structure tridimensionnelle des masses d'eau, caractérisée par l'opposition, au voisinage du site, des secteurs brassés, homogènes sur la verticale (Raz de Sein pour Plogoff, station du large le plus souvent pour Ploumoguier), et de secteurs où s'observe une stratification faisant intervenir deux couches d'eau de densité différente (ou au moins un gradient de densité surface/fond). Cette stratification est purement thermique à Plogoff, tandis qu'un certain degré de dessalure y contribue à Ploumoguier.

Du point de vue biologique, au cycle annuel des côtes de la Manche, caractérisé, en ce qui concerne le phytoplancton, par une dominance très prononcée des Diatomées, s'oppose le cycle observé à Ploumoguier et Plogoff, caractérisé par la présence de deux poussées, printanière et automnale, de Diatomées, encadrant une poussée estivale de Dinoflagellés. Ce dernier groupe domine essentiellement au moment où l'hétérogénéité spatiale des masses d'eau, tant sur la verticale qu'entre les stations, est la plus marquée. Au sein des Dinoflagellés, l'espèce dominante au maximum de leur développement est *Gyrodinium aureolum*, susceptible de provoquer des phénomènes d'eau rouge entraînant des mortalités massives de divers organismes marins. Le fait a d'ailleurs été observé en 1978 en différents points des côtes de France et d'Angleterre.

En ce qui concerne le zooplancton, certaines caractéristiques générales sont communes aux deux sites. Il s'agit pour l'essentiel du développement dans le temps, ou de la succession, d'espèces traduisant une évolution climatique générale (diminution à mesure qu'avance la belle saison des effectifs d'espèces boréales telles que *Centropages hamatus*) ou la maturation progressive de l'écosystème (augmentation en fin de période d'étude des effectifs de carnivores

tels que *Muggiaea atlantica*). Des différences importantes se manifestent cependant entre les deux sites. Certaines sont assez banales et peuvent être intuitivement reliées à la simple géographie. Ainsi en est-il de la présence notable à Ploumoguer, aux deux stations les plus côtières, d'espèces strictement littorales peu ou pas représentées à Plogoff (*Isias clavipes*, *Parapontella brevicornis*). Ainsi en est-il également de la meilleure représentation, en revanche, à Plogoff, d'espèces traduisant une certaine influence des eaux du large. Ce fait concerne des formes typiques du plateau continental (*Euchaeta hebes*, *Candacia armata*) plutôt que des espèces franchement océaniques. Ces dernières (*Calanoides carinatus*, *Ischnocalanus tenuis*), sont, au contraire, présentes à l'occasion, en petit nombre, aussi bien à Plogoff qu'à Ploumoguer, mais, en ce qui concerne ce dernier site, seulement à la station du large. D'autres différences entre les deux sites ne peuvent être interprétées qu'en examinant de manière plus approfondie les caractéristiques propres à chacun d'entre eux.

Plogoff occupe, dans l'océanographie régionale des côtes Ouest-européennes, une position particulièrement originale. C'est le point de raccordement à la côte d'un front thermique de grande extension, qui s'étend en été au large de toute la mer d'Iroise et au travers de toute l'entrée de la Manche, son autre extrémité se raccordant aux côtes d'Angleterre. C'est là l'un des traits majeurs de l'océanographie physique de ces régions. Il doit son existence à un très fort contraste spatial dans l'intensité des courants de marée, opposant d'une part des zones violemment brassées, où les eaux sont homogènes toute l'année sur la verticale, en Manche et sur une grande partie de l'Iroise, d'Ouessant au Raz de Sein, et d'autre part des zones à mélange vertical limité, où se développe, par réchauffement superficiel, une stratification thermique estivale, au large et sur les côtes Sud de la Bretagne, à partir de la baie d'Audierne. Les environs immédiats du front, marqués par une très forte discontinuité thermique en surface, correspondent à une zone de convergence des eaux superficielles, ce qui se traduit par un lent mouvement de plongée de celles-ci, affectant principalement celles provenant de la zone stratifiée. Mécaniquement, le front, qui est ainsi un obstacle au libre écoulement des eaux les plus légères, constitue le lieu d'accumulation d'un certain nombre d'organismes planctoniques capables de se maintenir aux environs immédiats de la surface, tels que les Dinoflagellés, ou, pour le zooplancton, les Cladocères du genre *Evadne*. La localisation du front au voisinage immédiat du

site de Plogoff explique que ce dernier organisme domine à lui seul très largement l'ensemble du zooplancton, dépassant dans certains cas de plus d'un ordre de grandeur le total des Copépodes, normalement dominants, ce qui est une situation tout à fait exceptionnelle. Le même mécanisme explique aussi les très fortes abondances constatées à certains moments pour le Dinoflagellé *Noctiluca scintillans*, qui, en dépit de son appartenance taxonomique, se rattache plutôt, du point de vue écologique, au zooplancton. Le même mécanisme explique sans doute, enfin, pour une bonne part les effectifs élevés atteints à certains moments par *Gyrodinium aureolum*.

Le front n'est cependant pas situé en permanence au voisinage immédiat du site de Plogoff. En fonction de facteurs encore mal élucidés, mais qui tiennent vraisemblablement à la marée et très certainement aux conditions météorologiques, sa position exacte présente des variations notables. Du fait de ces oscillations de position, le milieu naturel, au voisinage immédiat du site, est soumis à des variations irrégulières et de grande amplitude de ses caractéristiques, tant physiques (notamment en ce qui concerne la température) que biologiques. Cette interprétation est largement confirmée par le fait qu'en ce qui concerne les organismes planctoniques, les plus grandes amplitudes sont observées précisément pour les organismes les plus concernés par la dynamique frontale, ceux qui se maintiennent au voisinage immédiat de la surface (quatre ordres de grandeur pour *Noctiluca scintillans* et *Evadne* contre un, environ, pour le total des Copépodes).

Le site de Plogoff apparaît également caractérisé par une certaine fragilité écologique. Des sous-saturations importantes en oxygène dissous peuvent s'y observer, ce fait, à lui seul, suffisant à infirmer, au moins pour certaines périodes, la vision souvent admise du site, selon laquelle règnerait en permanence un intense brassage des eaux, rapidement renouvelées. Des sous-saturations en oxygène dissous ne peuvent en effet s'établir que dans les conditions exactement inverses. On observe également à Plogoff des mortalités anormales, aussi bien de phytoplancton que de zooplancton, avec prolifération de ces détritivores que sont les ciliés. Il n'y a cependant pas une coïncidence rigoureuse des différentes anomalies quant à leur date, ce qui indique vraisemblablement que l'on a affaire soit à différents accidents successifs, soit à des phénomènes complexes se développant sur une certaine durée.

L'absence de certains paramètres cruciaux à certaines dates en interdit toutefois une analyse approfondie. Du fait, enfin, de l'existence, au moins à certaines périodes, d'un front bien marqué, susceptible de fonctionner comme un mécanisme d'accumulation, et de la dominance, au sein des Dinoflagellés, de l'espèce nocive *Gyrodinium aureolum*, le site de Plogoff apparaît comme une localisation possible pour des phénomènes d'eau rouge susceptibles d'entraîner des inconvénients plus ou moins graves pour le milieu vivant marin et les activités économiques qui lui sont liées.

Du point de vue de l'éventuelle implantation de la centrale nucléaire projetée, les particularités du site de Plogoff qui viennent d'être résumées ont d'importantes conséquences. Sur le plan physique, les conditions observées s'accordent très mal avec les hypothèses sur lesquelles repose le modèle de dispersion thermique élaboré par le Laboratoire National d'Hydraulique. Ce modèle est en effet largement dépendant de la condition selon laquelle la température est à tout instant à peu près homogène sur la verticale. Cette approximation simplificatrice est évidemment justifiée dans les cas où une telle homogénéité est effectivement vérifiée dans la nature. Elle l'est nettement moins dans le cas d'un gradient vertical uniforme, et devient tout-à-fait inadéquate lorsqu'il existe deux couches distinctes, séparées par une thermocline. Cette dernière situation se rencontre, au moins à certains moments, au voisinage immédiat du site de Plogoff. Un rejet thermique aussi important que celui qui est envisagé ne pourrait, en raison de l'apport considérable d'eau de faible densité qu'il représenterait, qu'augmenter la fréquence de telles conditions dans des proportions que les modèles numériques existants ne permettent en aucune manière de prévoir. Vis à vis des conditions naturelles existant sur le site, et *a fortiori* vis à vis des modifications susceptibles d'être apportées par un fort débit d'eau de faible densité, ces modèles présentent, entre autres, deux graves insuffisances. Ils ne tiennent pas compte de l'obstacle à l'écoulement des eaux de surface que constituerait le front, dans les situations où celui-ci serait localisé entre le site de la centrale et le Raz de Sein, lieu de dispersion supposé de l'effluent. Ils ne tiennent pas non plus compte de l'influence du vent sur le mouvement de ces mêmes eaux de surface, qui devient capitale dans le cas d'un système à deux couches, entraînant, dans certaines conditions météorologiques, qui restent à préciser par des études plus fines, des risques évidents de recirculation de l'effluent vers la prise.

Plus généralement, l'apport d'énergie thermique au milieu marin, qu'il s'agisse de phénomènes naturels (réchauffement estival) ou de rejets artificiels, est redistribué selon trois grands processus, présentant eux-mêmes un certain degré de complexité. Le premier est la dissipation par les courants (de marée), le second est représenté par les échanges océan/atmosphère, et le troisième est le stockage partiel de la chaleur reçue sous forme d'énergie potentielle, par le biais de la création de gradients de densité. Dans le cas du modèle de dispersion thermique actuellement utilisé pour la prévision sur les sites EDF, le premier processus est pris en compte d'une manière très fine. Les échanges océan/atmosphère font au contraire l'objet d'une paramétrisation très grossière, par comparaison, notamment, avec les divers modèles de thermocline qui ont été développés ces dernières années. Il est donc peu surprenant que de larges variations du coefficient unique qui symbolise ces échanges n'aient que peu d'effet sur l'étendue des taches thermiques calculées. Quant au troisième processus, il est purement et simplement ignoré par le modèle. Cette approche est à l'évidence irrecevable dans le cas où les effets du processus négligé sont, avant tout rejet, observables dans la nature en ce qui concerne la redistribution de l'énergie apportée par le réchauffement estival. Ce cas est justement celui des zones où se développent une stratification. Plus précisément, un front thermique marque la limite des secteurs où, toutes choses égales par ailleurs, le premier processus (dispersion par les courants de marée) l'emporte sur le troisième (stockage d'énergie potentielle) ou inversement.

Sur le plan biologique, le site de Plogoff se caractérise, au moins en ce qui concerne le milieu pélagique, par une certaine fragilité écologique, comme cela a été rappelé plus haut. Il est peu vraisemblable que cette situation puisse être améliorée par la perturbation supplémentaire que constituerait le rejet thermique. Au contraire, la mortalité inévitable d'organismes planctoniques au cours de leur transit dans le circuit de refroidissement se traduirait immanquablement par un apport de matière organique morte, qui ne pourrait qu'avoir des conséquences défavorables dans un milieu déjà susceptible d'être affecté par des sous-saturations en oxygène dissous. Le principal problème reste cependant celui de la sensibilité du site au risque de phénomène d'eau rouge. Ce risque ne paraît pas négligeable en conditions naturelles. Il est d'ailleurs

possible, sans qu'on puisse sur ce point acquérir de certitude, que les mortalités de Diatomées et de zooplancton observées sur le site en 1978 soient dues à de fortes concentrations de Dinoflagellés, qui n'auraient cependant pas atteint, au moins aux dates des prélèvements, des densités suffisantes pour provoquer une coloration observable des eaux de surface. L'effluent thermique, par l'apport supplémentaire d'eau de faible densité qu'il constituerait, ne pourrait que renforcer les conditions favorables à la stratification des eaux, donc à la multiplication des Dinoflagellés, ainsi que l'intensité des gradients donnant naissance à la dynamique frontale, donc la probabilité d'une accumulation de ces mêmes Dinoflagellés à des concentrations pouvant déboucher sur une eau rouge. En raison de la dominance au sein des Dinoflagellés, dans les conditions actuelles, de l'espèce nocive *Gyrodinium aureolum*, le risque n'est pas *a priori* à négliger.

En ce qui concerne le site de Ploumoguer, les conclusions à tirer sont moins nettes, mais ceci résulte en partie d'un certain degré d'inadéquation dans l'échelle de l'échantillonnage. La similitude générale des cycles planctoniques propres aux deux sites, avec dominance à certaines périodes des mêmes Dinoflagellés, montrent qu'à Ploumoguer les structures hydrologiques et les conditions de circulation présentent une certaine analogie avec ce que l'on a observé à Plogoff. L'échelle et l'origine en sont toutefois différentes. A Ploumoguer, la stratification, lorsqu'elle existe, est d'origine thermo-haline et non plus seulement thermique comme à Plogoff. L'origine est à en rechercher dans des phénomènes d'échelle beaucoup plus locale, liés aux apports d'eau dessalée (et plus chaude en été que les eaux proprement marines) provenant de l'ensemble rade de Brest - baie de Douarnenez. Autrement dit, si les particularités du site de Plogoff sont liées à la présence du front dit front d'Ouessant ou front de Manche, les particularités similaires observées à Ploumoguer sont liées à la proximité du front interne d'Iroise, plus ou moins assimilable à un front d'estuaire. Entre le site de Ploumoguer et la principale zone affectée par la stratification thermo-haline, se trouvent cependant des passes où de violents courants assurent sans doute un brassage total, notamment entre la pointe St-Mathieu et le Conquet. Dans ces conditions, la structure hydrologique tridimensionnelle qui peut s'établir à Ploumoguer n'est vraisemblablement qu'une

conséquence secondaire de la circulation quasi estuarine de proche Iroise. Elle s'établit sans doute localement, dans les baies avoisinant le site, du fait de l'intrusion, d'une part des eaux chaudes et peu salées provenant de la proche Iroise (et qui ont sur leur trajet subi un certain brassage dans les passes), d'autre part d'eaux plus froides et plus salées en provenance des zones constamment brassées, comme, par exemple, les parages de l'archipel de Molène. Le très fort contraste noté à Ploumoguer, tant en ce qui concerne leurs caractéristiques physiques que biologiques, entre la station du large et les deux stations côtières, vient à l'appui de cette hypothèse. Ces particularités locales expliquent sans doute que les caractéristiques d'un site frontal, qui existent à Ploumoguer comme à Plogoff, y soient dans l'ensemble moins prononcées. Ainsi n'observe-t-on pas, pendant la période d'étude, des sous-saturations en oxygène dissous aussi marquées à Ploumoguer qu'à Plogoff, ni des mortalités anormales de Diatomées et de zooplancton. De même l'amplitude des variations en dents de scie d'organismes propres aux environs immédiats de la surface, comme *Noctiluca scintillans* et *Evadne* est moins grande à Ploumoguer qu'à Plogoff et la différence moins marquée avec les organismes répartis dans la totalité de la colonne d'eau. Ploumoguer présente cependant certaines caractéristiques indubitablement propres à un site confiné, et l'hétérogénéité spatiale y est très forte. La topographie de la côte et des fonds y est complexe, et cette complexité s'étend sur une assez grande étendue au-delà des limites étudiées. Dans ces conditions, le caractère trop restreint et trop ponctuel du réseau de stations permet difficilement d'élaborer une représentation claire du site dans son environnement. L'imagerie satellitaire, si utile pour une telle mise en perspective du site de Plogoff, est d'un secours beaucoup plus limité dans le cas de Ploumoguer, en raison de sa résolution insuffisante. Il n'en reste pas moins qu'à Ploumoguer comme à Plogoff s'observe une structure hydrologique tridimensionnelle peu compatible avec les hypothèses de base du modèle de dispersion thermique EDF, et que le cycle planctonique, notamment en ce qui concerne les successions phytoplanctoniques, présente des analogies certaines avec Plogoff. La dominance, au sein des Dinoflagellés, du même *Gyrodinium aureolum* doit en particulier conduire à ne pas négliger un risque d'eau rouge et son aggravation probable par l'éventuelle implantation projetée.



En conclusion, aucun des deux sites étudiés ne semble *a priori* exempt de risques graves liés à l'implantation d'une centrale nucléaire littorale de forte puissance. Leurs caractéristiques tendent au contraire à faire penser que certains de ces risques y sont nettement plus importants que sur les sites de la Manche. La différence entre les deux sites paraît résulter surtout de l'échelle des phénomènes en cause, régionale à Plogoff, locale à Ploumoguer. Il faut avoir présent à l'esprit que les caractéristiques étudiées dans le présent travail sont propres à la période estivale. En période hivernale, les conditions sont certainement très différentes. Il n'est pas pour autant certain qu'elles soient à tout moment favorables à une bonne dispersion thermique. Des structures tridimensionnelles sont en effet susceptibles d'apparaître sous l'effet de dessalures, maximales à une période pouvant s'étendre de janvier à mars. Les données de la littérature laissent à penser que les dessalures pouvant affecter Ploumoguer proviendraient essentiellement de la rade de Brest, tandis que celles pouvant, au moins certaines années s'observer à Plogoff seraient dues à l'écoulement des eaux de la Loire tout au long des côtes Sud de Bretagne. On retrouverait ainsi la différence d'échelle signalée pour la période estivale. Enfin, l'existence, sur des sites comme Ploumoguer et Plogoff de structures hydrologiques tridimensionnelles correspondant à une circulation complexe, met en évidence le besoin de modèles de dispersion thermique plus performants que ceux existant actuellement, et reposant sur une représentation plus réaliste des conditions naturelles.

REMERCIEMENTS.

Cette étude n'aurait pu être menée à bien sans de nombreux concours qu'il sera approprié de mentionner dans le rapport final. Nous tenons cependant à remercier tout particulièrement, pour leur aide indispensable à la réalisation rapide du présent document Monsieur B. TOURNIER et Mademoiselle M. PHILIPPE (Centre d'Etudes de Météorologie Spatiale, Lannion), qui nous ont communiqué les données les plus récentes du satellite NOAA 5 et aidé à leur interprétation, ainsi que Monsieur R. MAZE (Laboratoire d'Océanographie Physique, U.B.O.), qui a bien voulu contrôler tout ce qui concerne l'Océanographie physique dans le présent document.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- ALLEN, H., 1978a - *Recueil des mesures de houle, courants, température de l'eau effectuées sur le site de Ploumoguer*. E.D.F., Direction des Etudes et Recherches, rapport HE 46/78/01, 20 p., 6 fig., 65 pl.
- ALLEN, H., 1978b - *Recueil des mesures de houle, courants, températures de l'eau effectuées sur le site de Plogoff*. E.D.E., Direction des Etudes et Recherches, rapport HE 46/78/03, 27 p., 10 fig., 152 pl.
- ALLEN, G., BELSHER, T., CHARDY, P., CHASSÉ, C., GLÉMAREC, M., GUILLOU, J., GUILLOU, M., GRALL, J.R., LAUBIER, L., LAUREC, A., LE FÈVRE, J., MONBET, Y., ROMANA, A. & SERET, B., 1978. - Synthèse des études écologiques d'avant-projet des sites bretons de Beg an Fry, Ploumoguer, Plogoff, Saint-Vio et Erdeven. *Publications du CNEXO, série "Rapports scientifiques et techniques"*, n° 38 - 1978, 58 p.
- AMINOT, A. & KEROUEL, R., 1978 - Premiers résultats sur l'hydrologie, l'oxygène dissous et les pigments photosynthétiques en Manche Occidentale après l'échouage de l'Amoco-Cadiz. *Publications du CNEXO, série "Actes de Colloques"*, n°6 - 1978, p.51-68.
- BOALCH, G.T., 1979 - The Dinoflagellate bloom on the coast of Southwest England, August)September 1978. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, sous-presse.
- BRONGERSMA-SANDERS, M., 1948 - The importance of upwelling water to Vertebrate paleontology and oil geology. *Verhandelingen der Koninklijke Nederlandsche Akademie van Wetenschappen, Afd. Natuurkunde (Tweede Sectie)*, vol. 45, n°4, p.1-112.

- CHEW, F., 1955 - On the offshore circulation and a convergence mechanism in the red tide region off the west coast of Florida. *Transactions of the American Geophysical Union*, vol.36, p.963-971.
- COOPER, L.H.N., 1967 - The physical oceanography of the Celtic Sea. *Oceanography and Marine Biology, an Annual Review*, vol.5, p.99-110.
- DEVEZE, L. & FAUVEL, Y., 1966 - Un phénomène bactérien d'eaux rouges dans l'étang d'Ingril (Hérault). *Revue des travaux de l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes*, vol.30, n°4, p.365-374.
- DIETRICH, G., 1950 - Die anomale Jahreschwankung der Wärmeinhalts im Englischen Kanal, ihre Ursachen und Auswirkungen. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift*, vol.3, n°3-4, p.184-201.
- FAGE, L., 1951 - L'eau rouge. *Cahiers océanographiques*, vol.3, n°1, p.7-12.
- FEARNHEAD, P.G., 1975 - On the formation of fronts by tidal mixing around the British Isles. *Deep Sea Research*, vol.22, p.311-321.
- GARZOLI, S., 1977 - *Rapport concernant les premiers résultats théoriques de structure thermique obtenus sur le plateau continental breton*. Laboratoire d'Océanographie Physique, Université de Bretagne Occidentale, 20 p. + annexes.
- GRALL, J.R., 1972 - *Recherches quantitatives sur la production primaire du phytoplancton dans les parages de Roscoff*. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université de Paris VI, 246 p. + annexes.
- GRALL, J.R. & LE FÈVRE, J., 1967 - Une "eau rouge" à Noctiluques au large des côtes de Bretagne. *Penn ar Bed*, vol.6, n°51, p.153-163.

- GRALL, J.R., LE FÉVRE-LEHOËRFF, G. & LE FÉVRE, J., 1971 - Observations sur la distribution du plancton à proximité d'Ouessant en juin 1969 et ses relations avec le milieu physique. *Cahiers océanographiques*, vol.23, n°2, p.145-170.
- HENAFF, G., 1973 - *Contribution à l'étude de l'océanographie physique du secteur Nord-Gascogne*. Thèse de Doctorat de Spécialité, Université de Bretagne Occidentale, 99 p.
- HINSCHBERGER, F., 1962 - Résultats de 14 stations hydrologiques en Iroise et à ses abords. *Comptes-Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, Paris*, vol.225, p.2629-2631.
- ICES, 1976 - *Report of the working group on red tides and eutrophication, Lowestoft, 25-27 May, 1976*. International Council for the Exploration of the Sea (ICES), Copenhagen, 13 p.
- LE CORRE, P. & TREGUER, P., 1976 - *Contribution à l'étude de la matière organique dissoute et des sels nutritifs dans l'eau de mer. Caractéristiques chimiques du Golfe de Gascogne et des upwellings côtiers de l'Afrique du nord-ouest*. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université de Bretagne Occidentale, 490 p.
- LE FÉVRE, J., 1971 - *Evaluation des caractéristiques d'emploi d'un échantillonneur de plancton haute vitesse, suivie d'exemples d'application à l'étude du zooplancton de la pointe de Bretagne*. Thèse de Doctorat de Spécialité, Université de Paris VI, 179 p.
- LE FÉVRE, J., 1979 - On the hypothesis of a relationship between Dinoflagellate blooms and the "Amoco-Cadiz" oil spill. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, sous-presse.

- LE FEVRE, J. & GRALL, J.R., 1970 - On the relationship of *Noctiluca* swarming off the western coast of Brittany with hydrological features and plankton characteristics of the environment. *Journal of experimental Marine Biology and Ecology*, vol.4, p.287-306.
- LE FEVRE, J., COCHARD, J.C. & GRALL, J.R., 1977 - Hydrologie et plancton, in : *Etude écologique d'avant-projet sur le site d'Erdeven (Morbihan)*, rapport préparé pour Electricité de France par le Centre National pour l'Exploitation des Océans et l'Université de Bretagne Occidentale, p.149-323.
- LE FEVRE-LEHOËRFF, G., 1972 - *Populations planctoniques d'un estuaire à marée, la rivière de Morlaix ; leurs relations avec les conditions hydrologiques*. Thèse de Doctorat de Spécialité, Université de Paris VI, 212 p.
- LE MAGUERESSE, A., 1974 - *La structure thermique sur le plateau continental dans le secteur ouest-Bretagne, son évolution annuelle et quelques aspects de sa variabilité dans une zone frontale*. Thèse de Doctorat de Spécialité, Université de Bretagne Occidentale, 138 p.
- MARGALEF, R., 1963 - Algunas regularidades en la distribución a escala pequeña y media de las poblaciones marinas de fitoplancton y en sus características funcionales. *Investigacion Pesquera*, vol.23, p.169-230.
- MANOHA, B., 1977 - *Etude de la capacité de refroidissement offerte par le site de Ploumoguer, avis C. E.D.F.*, Direction des Etudes et Recherches, rapport E 42/77-43, 20p. + annexes (54 pl.).
- PERES, J.M. & DEVEZE, L., 1963 - *Océanographie biologique et biologie marine. Tome second, la vie pélagique*. Presses Universitaires de France, Paris.

- PINGREE, R.D., 1975 - The advance and retreat of the thermocline on the continental shelf. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol.55, p.965-974.
- PINGREE, R.D., 1978 - Cyclonic eddies and cross-frontal mixing. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol.58, p.955-963.
- PINGREE, R.D., FORSTER, G.R. & MORRISON, G.K., 1974 - Turbulent convergent tidal fronts. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol. 54, p.469-479.
- PINGREE, R.D., PUGH, P.R., HOLLIGAN, P.M. & FORSTER, G.R., 1975 - Summer phytoplankton blooms and red tides along tidal fronts in the approaches to the English Channel. *Nature*, vol.258, n°5537, p.672-677.
- PINGREE, R.D. & GRIFFITHS, D.K., 1978 - Tidal fronts on the shelf seas around the British Isles. *Journal of Geophysical Research*, vol.83, n° C 9 , p.4615-4622.
- RAILLARD, J., 1975 - *Les zones frontales dans le nord du Golfe de Gascogne et en Mer Celtique*. Laboratoire d'Océanographie Physique, Université de Bretagne Occidentale, rapport scientifique n°7 (Convention DRME).
- RAILLARD, J., 1976 - *Nouvelles recherches sur quelques aspects de la structure thermique marine sur le plateau continental breton*. Laboratoire d'Océanographie Physique, Université de Bretagne Occidentale, rapport scientifique n°9 (Convention DRME).
- RAZOULS, C., 1963 - *Etude qualitative et quantitative des Copépodes planctonique côtiers de Roscoff*. Thèse de Doctorat de Spécialité, Faculté des Sciences de Paris, 63 p.

- ROUNSEFELL, G.A. & NELSON, W.R., 1966 - Red tide research summarized to 1964. Including an annotated bibliography. *Special Scientific Reports, U.S. Fish and Wildlife Service, Fisheries*, n° 535 , 87 p.
- RYTHER, J.H., 1955 - Ecology of autotrophic marine Dinoflagellates with reference to red water conditions. In : *The luminescence of biological systems*, edited by F.H. JOHNSON, American Association for the Advancement of Science, Washington, p.387-414.
- SAMAIN, J.F., LE FÉVRE, J., MOAL, J., DANIEL, J.Y. & BOUCHER, J., 1978 - Evolution de la biomasse et de la physiologie du zooplancton sur la côte nord de Bretagne en relation avec l'échouage de l'Amoco-Cadiz: résultats préliminaires pour la période du 16 mars au 20 mai 1978. *Publications du CNEXO, série "Actes de Colloques"*, n°6 - 1978, p.193-208.
- SEGUIN, G., 1966 - Contribution à l'étude de la biologie du plancton de surface de la baie de Dakar (Sénégal). Etude quantitative, qualitative et observations écologiques au cours d'un cycle annuel. *Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire*, vol.28, série A, p.1-90.
- SIMPSON, J.H. & HUNTER, J.R., 1974. Fronts in the Irish Sea. *Nature*, vol.250, p.404-406.
- SLOBODKIN, L.B., 1953 - A possible initial condition for red tides on the coast of Florida. *Journal of Marine Research*, vol. 12, p.148-155.
- SOUTHWARD, A.J., 1962 - The distribution of some plankton animals in the English Channel and approaches. II - Surveys with the Gulf III high-speed sampler, 1958-60. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, vol.42, p.275-375.



UNESCO, 1968 - Zooplankton sampling. *UNESCO monographs on oceanographic methodology*, n°2, 174 p.

VINCENT, A. & KURC, G., 1969 - Hydrologie. Variations saisonnières de la structure thermique du Golfe de Gascogne en 1967. *Revue des travaux de l'Institut des Pêches Maritimes*, vol.33, n°1, p.79-96.