

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

**FACTEURS HYDROCLIMATIQUES  
ET APPARITIONS D'EAUX COLOREES,  
EN BAIE DE VILAINE,  
DURANT L'ANNEE 1985**

**par**

**Pierre MAGGI, Patrick LASSUS, Isabelle TRUQUET,  
Abderrazak MASTOURI**

**IFREMER. DEPARTEMENT MILIEU ET RESSOURCES. NANTES**

**et**

**Louis SOULARD  
CENTRE METEOROLOGIQUE DEPARTEMENTAL  
DE NANTES-CHATEAU BOUGON**

**04 MARS 1987**

**DERO-87.05-MR**

# INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER

IFREMER  
CENTRE DE NANTES  
B. P. n° 1049  
44037 NANTES CEDEX 01  
Tél. 40 74 99 81

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT  
ET DES RECHERCHES OCEANIQUES  
DEPARTEMENT MILIEU ET RESSOURCES - NANTES

<b>AUTEUR (S)</b> : MAGGI Pierre, LASSUS Patrick, TRUQUET Isabelle, MASTOURI Abderrazak et SOULARD Louis.	<b>CODE :</b>  N° <u>DERO-87.05-MR</u>
<b>TITRE</b>  FACTEURS HYDROCLIMATIQUES ET APPARITIONS D'EAUX COLOREES, EN BAIE DE VILAINE, DURANT L'ANNEE 1985.	<b>date</b> : 4 mars 1987  <b>tirage nb</b> : 80  Nb pages : 46 Nb figures : 21 Nb photos :
<b>CONTRAT (intitulé)</b> Participation financière de l'ASSOCIATION HALIEUTIQUE DU MOR-BRAS 15, rue de Kerozen 56019 VANNES	<b>DIFFUSION</b> libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> confidentielle <input type="checkbox"/>

<b>RÉSUMÉ</b> <p>Contrairement à 1983 et 1984, le bloom printanier à diatomées <i>Skeletonema costatum</i> ne s'est pas manifesté en 1985 par une coloration marron des eaux superficielles, certains facteurs ayant été défavorables de la mi-mars à la mi-avril : températures basses, vents modérés et forts abondants, mer agitée à très forte.</p> <p>Le bloom estival à <i>Thalassiosira sp.</i> et <i>Rhizosolenia delicatula</i> apparu courant mai a été favorisé par l'importante pluviosité de la mi-mars à la mi-avril, l'élévation de température de fin mai et début juin, la faible agitation de la mer et la dominance des vents calmes, faibles et modérés en mai et juin, la dessalure des eaux superficielles et leur enrichissement en sels nutritifs. Ce bloom cessera, fin juin, en grande partie sous l'action des vents qui agiteront la mer, cassant ainsi la stratification thermo-haline établie.</p>	
<b>ABSTRACT</b> <p>In 1985 the spring bloom of the diatom <i>Skeletonema costatum</i> did not show a brown discoloration of superficial waters like in 1983 and 1984. Some factors being unfavorable between mid march and mid april : low sea water temperature, high frequency of moderate and strong winds, rough sea.</p> <p>The summer bloom of <i>Thalassiosira sp.</i> and <i>Rhizosolenia delicatula</i> which appears in may has been enhanced : by the strong rainfalls between mid march and mid april, the increase of sea temperature at the end of may and at the beginning of june, the low mixing of sea waters correlated with the predominance of light and moderate winds in may and june, the low salinity and high nutrient load of upper layers. The bloom disappeared at the end of june mainly by the action of the winds wich have stired up the water masses, destroying the thermo-halin stratification.</p>	
<b>mots-clés</b>	: Eaux colorées, facteurs climatiques, baie de Vilaine, sels nutritifs, diatomées
<b>key words</b>	: Bloom, climatic factors, Vilaine bay, nutrients, diatoms

© IFREMER - Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer,



## SOMMAIRE

I - INTRODUCTION	3
II - FACTEURS CLIMATIQUES	5
1 - Précipitations atmosphériques	5
2 - Température de l'air	8
3 - Vents	8
4 - Insolation	14
5 - Etat de la mer du vent	18
6 - Coefficients de marée	22
III - FACTEURS HYDROLOGIQUES	23
1 - Méthodologie	23
a) Campagnes de prélèvements	23
b) Méthodes analytiques	23
2 - Résultats	26
a) Température	26
b) Salinité	26
c) Chlorophylle a, phéopigments et rapport pigmentaire	31
d) Nitrates	35
e) Nitrites	37
f) Phosphates	37
g) Silicates	37
IV - CONCLUSIONS	42

## I - INTRODUCTION

Ce travail fait suite aux études entreprises après les mortalités de poissons de 1982 (MAGGI, 1982) et les troubles diarrhéiques observés, parmi les consommateurs de moules, les années suivantes (ALZIEU et al., 1983 ; LASSUS et al., 1983 ; 1984 ; 1986 ; MAGGI, 1984 ; MAGGI et al., 1984 ; 1985 ; 1986).

Dès la fin 1982, les autorités avaient mis en place une Commission quadripartite, composée de représentants des administrations, des professionnels de la mer, d'élus locaux et de scientifiques, qui avait pour but de définir les axes de recherches permettant de trouver des solutions aux problèmes posés.

Mais auparavant dès janvier 1982, l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes (1) avait entrepris un inventaire phyto-planctonique (ANDRESEN-LEITAO et al., 1983) complété par une étude bactériologique conduite par le Laboratoire de Microbiologie Pharmaceutique de l'Université de Rennes (GRIMANDI et al., 1983). Le but de ces études était de rechercher l'origine des troubles de type gastro-entérite consécutifs à la consommation des moules et tenter de faire la part entre ce qui pouvait être d'origine bactérienne et ce que l'on soupçonnait, alors, dû à une toxine produite par des dinoflagellés. Mais il n'y eut pas d'intoxication en 1982, vraisemblablement parce que le milieu fortement réducteur, résultant des chutes des teneurs en oxygène dissous des eaux de fond, limitait le développement des organismes suspectés.

Ces études ont été suivies, dès 1983, par la mise en place d'un programme qui n'était plus limité aux zones de production mytilicole mais se voyait étendu à l'ensemble de la baie de Vilaine. Ce programme a permis d'expliquer les apparitions "d'eaux brunes" de printemps signalées par les pêcheurs locaux comme étant des tâches d'eau douce issues de la Vilaine, lors de lâchers du barrage d'Arzal. Ainsi la coloration des eaux de la mi-mars 1983 a été attribuée à une efflorescence de la diatomée Skeletonema costatum dont la prolifération a été favorisée par des conditions hydroclimatiques particulières (MAGGI, 1983). Ce programme a également permis de détecter la prolifération de diatomées, des genres Nitzschia et Rhizosolenia, apparue début juin et également favorisée par les conditions hydroclimatiques qui ont régné (ALZIEU et al., 1983 ; MAGGI et al., 1984). Par la suite, le bloom à diatomées a épuisé le stock de sels nutritifs et les populations de diatomées ont régressé à l'avantage des dinoflagellés

---

(1) L'Institut scientifique et technique des Pêches maritimes a été, au 1er janvier 1985, fusionné avec le Centre national pour l'Exploitation des Océans donnant naissance à l'Institut français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer.

dont une espèce Dinophysis cf. acuminata (1) rendait les moules toxiques ; ceci a contraint les autorités préfectorales à suspendre la commercialisation des moules en juillet et août.

La poursuite du programme en 1984 a confirmé la responsabilité de la diatomée Skeletonema costatum dans les apparitions d'eaux brunes du début avril et celle des petites diatomées (Chaetoceros et Rhizosolenia) dans les eaux colorées de courant juin. Comme l'année précédente les conditions hydroclimatiques ont favorisé ces développements. Le bloom estival a également été suivi d'un appauvrissement du stock de sels nutritifs et les populations de diatomées ont régressé à l'avantage des dinoflagellés dont le Dinophysis sacculus qui a contraint à un arrêt de la commercialisation des moules à la mi-juillet.

Le présent travail a été réalisé dans le cadre des programmes 1985 de l'IFREMER visant à mieux connaître l'écologie des dinoflagellés toxiques. A ce titre les quatre campagnes en juin-juillet devaient permettre à la fois de comparer la distribution verticale de Dinophysis pendant son maximum saisonnier avec celle des autres dinoflagellés présents et de rechercher le rôle des facteurs physiques dans les variations quantitatives de cette espèce ; ces résultats sont commentés dans un autre rapport (LASSUS et al., 1986).

Par ailleurs, cette étude a bénéficié d'une participation financière de l'Association Halieutique du Mor-Bras et des analyses de sels nutritifs ont pu être réalisées afin de suivre parallèlement les relations entre production primaire et nutriments dans une zone considérée par certains comme eutrophe. C'est ce dernier point qui est commenté dans ce rapport.

-----  
(1) Dinophysis cf. acuminata serait vraisemblablement Dinophysis sacculus (BALECH, 1986. Communication personnelle).

## II - FACTEURS CLIMATIQUES

L'analyse des facteurs climatiques a été effectuée à partir des données du Centre météorologique départemental de Nantes-Chateau Bougon et du sémaphore de l'île d'Yeu.

### 1 - Précipitations atmosphériques (tabl. 1, fig. 1 et 2)

Globalement la pluviosité 1985 a été déficitaire de 23 % par rapport à la normale. D'une façon générale il n'y a pas eu de périodes très fortement excédentaires en précipitations comme les années antérieures.

La pluviosité totale de janvier, février et mars présente un déficit de 24 % par rapport à la normale du trimestre tandis que celle d'avril est excédentaire de 64 %. Les précipitations sont sensiblement voisines des normales entre mai et août avec cependant un léger excédent en juin. Enfin septembre (79 %), octobre (71 %) et décembre (50 %) sont fortement déficitaires.

Il faut noter une période particulièrement pluvieuse du 13 mars au 14 avril puisqu'il est tombé 118 mm d'eau soit le double de la normale.

Mois	1ère décade	2ème décade	3ème décade	Total	Normale
Janvier	1,9	11,1	36,2	49,2	84
Février	17,8	33,8	4,1	55,7	69
Mars	12,3	10,5	36,8	59,6	65
Avril	51,8	19,0	4,6	75,4	46
Mai	14,5	30,2	11,6	56,3	56
Juin	33,7	0,5	20,7	54,9	46
Juillet	2,7	21,5	22,2	46,4	48
Août	15,8	13,8	25,2	54,8	57
Septembre	5,5	8,9	0,1	14,5	70
Octobre	17,1	0	3,5	20,6	72
Novembre	57,1	1,0	18,8	76,9	89
Décembre	15,4	1,1	27,5	44,0	88
TOTAL	-	-	-	608,3	790

Tabl. 1.- Précipitations mensuelles pour 1985 et normales mensuelles calculées sur la période 1951-1980 (exprimées en mm).

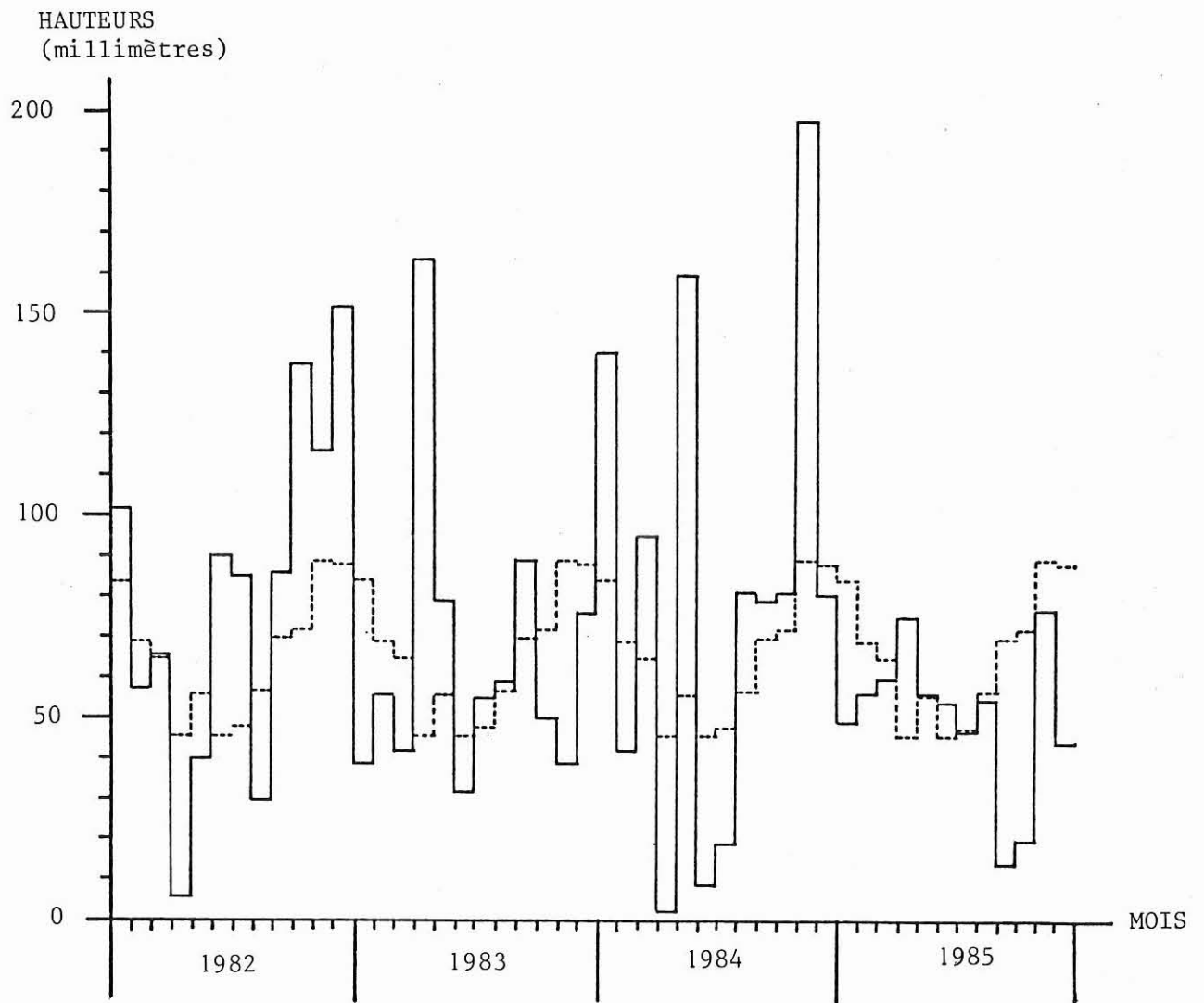


Fig. 1 - Précipitations mensuelles de 1982 à 1985 (—) et normales correspondantes calculées pour la période 1951-1980 (---).

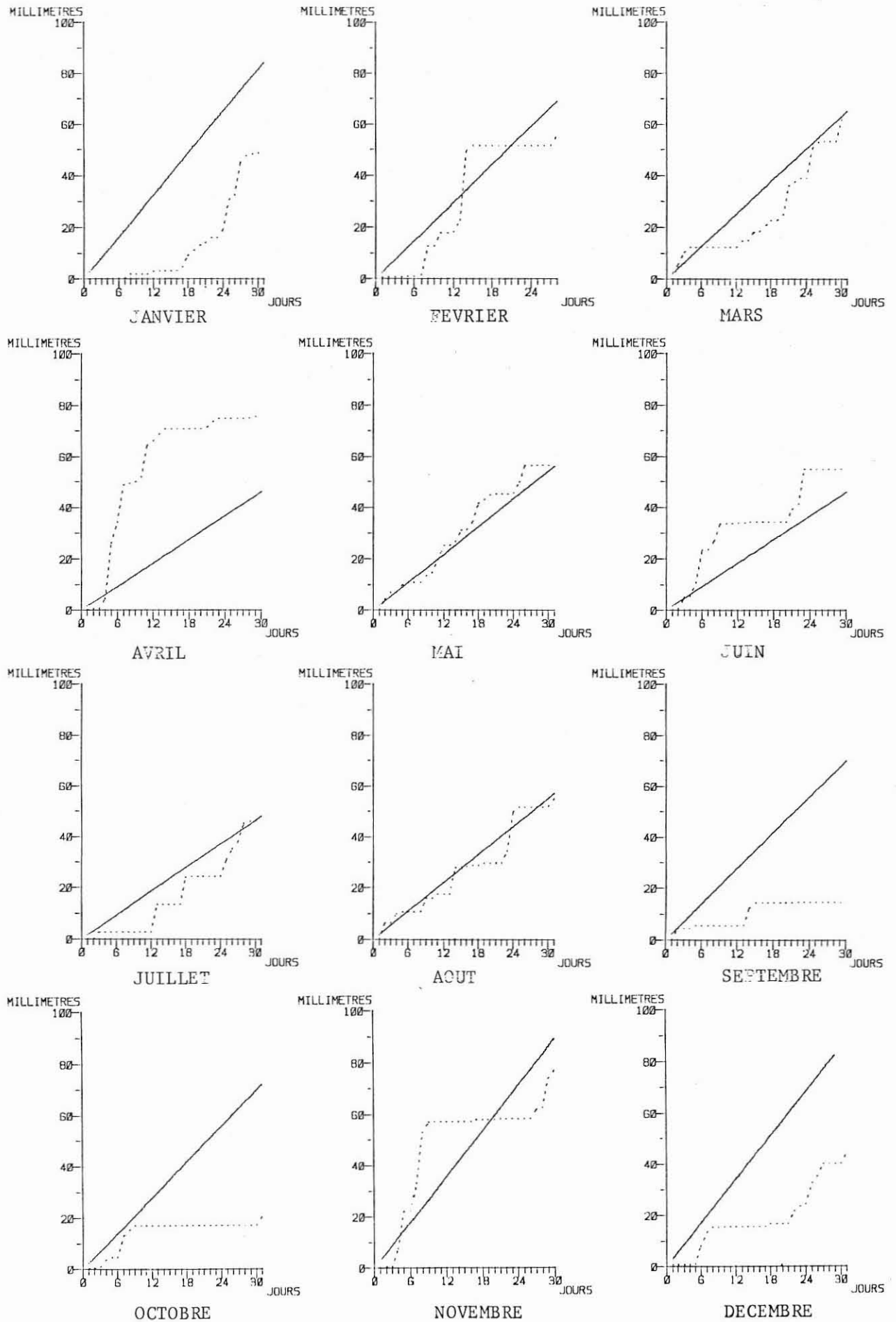


Fig. 2 - Hauteurs journalières cumulées des précipitations atmosphériques mensuelles pour 1985 (---) et normales théoriques correspondantes calculées sur la période 1951-1980 (—).



## 2 - Température de l'air (fig. 3 et 4)

L'évolution de la température de l'air a une répercussion sur la valeur des températures du milieu aquatique et, par là, sur la croissance et la multiplication du phytoplancton.

Globalement on peut noter que durant le premier semestre 1985, les températures extrêmes ont été inférieures aux normales, exception faite pour deux périodes : du 19 janvier au 8 février et du 24 mai au 6 juin.

Ensuite juillet, septembre et octobre ont été plutôt plus chauds que la normale cependant qu'août a été sensiblement plus froid.

Enfin novembre et décembre constituent une succession de phases alternativement plus chaudes et plus froides que la normale.

Ainsi, en ce qui concerne le paramètre température en tant que facteur favorisant le développement du phytoplancton, il faut retenir que les températures printanières n'ont pas été favorables tandis que celles de la période du 24 mai au 6 juin l'ont été.

## 3 - Vents

Rappelons que, d'après leur vitesse, on distingue les vents :

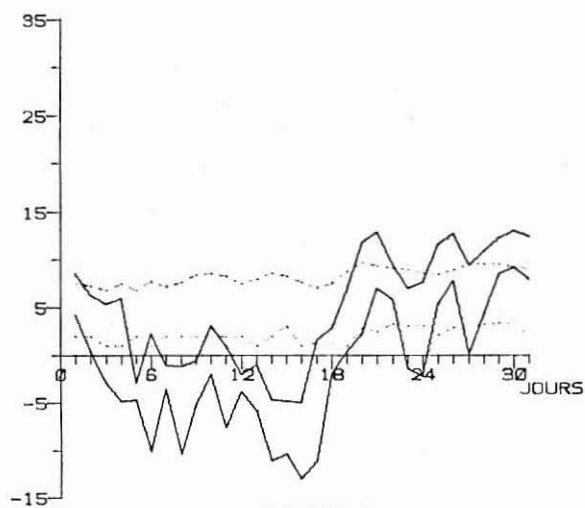
- calmes : inférieurs à 2 m/s
- faibles : 2 à 4 m/s
- modérés : 5 à 9 m/s
- forts : 10 m/s et plus.

En baie de Vilaine, la configuration et l'orientation des rivages modifient le rôle des vents sur la physico-chimie du milieu marin :

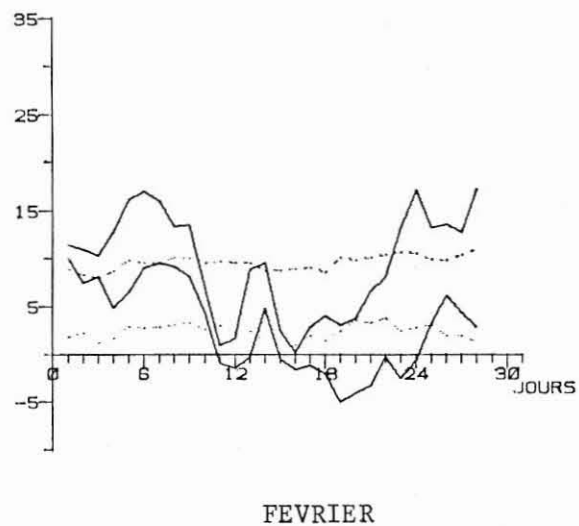
- les vents de terre, soufflant des secteurs 360° et 80° avec une certaine force, favorisent le mélange des eaux continentales aux eaux océaniques ; cependant, du fait de la configuration de rivages, les vents faibles ont peu d'influence sur une grande partie de la baie, à moins qu'ils ne soufflent durant une longue période
- les vents de mer, issus des secteurs 180° et 280°, au contraire retardent ce mélange des eaux et peuvent maintenir dans la frange littorale, les eaux dessalées et enrichies favorables au développement du phytoplancton lorsque les autres facteurs du milieu sont optimaux.

Dans certaines conditions, les vents de mer peuvent favoriser la concentration d'organismes phytoplanctoniques en poussant, vers le rivage, des eaux superficielles fortement colonisées ; les vents de terre peuvent avoir des effets contraires.

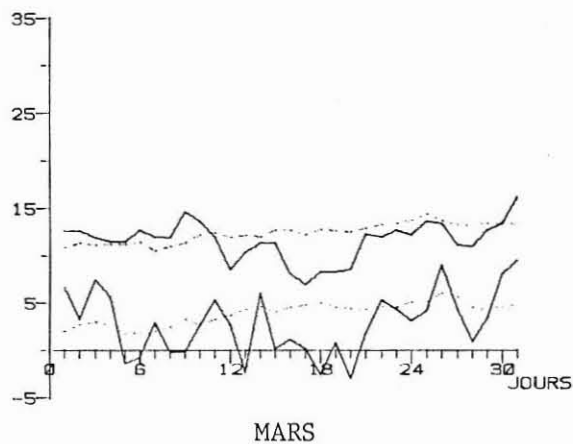
TEMPERATURES  
Degres Celsius



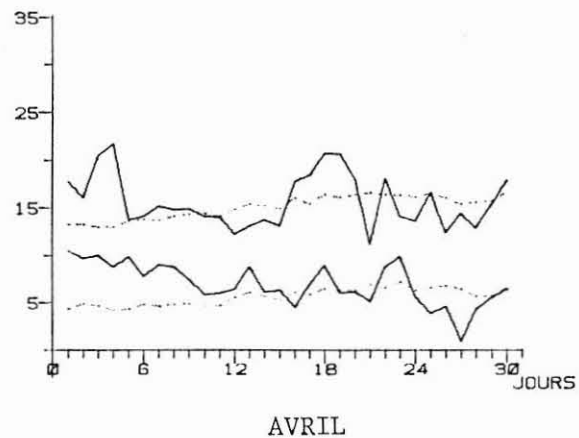
TEMPERATURES  
Degres Celsius



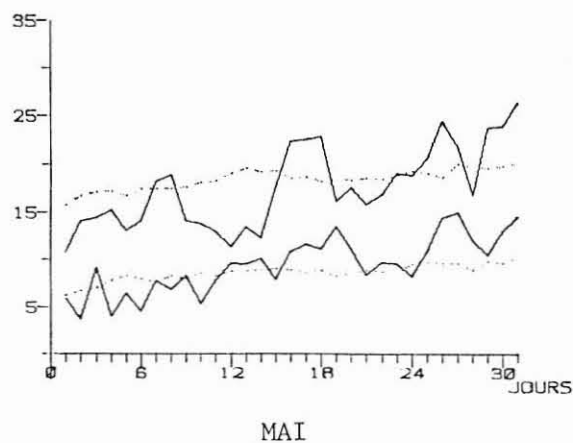
TEMPERATURES  
Degres Celsius



TEMPERATURES  
Degres Celsius



TEMPERATURES  
Degres Celsius



TEMPERATURES  
Degres Celsius

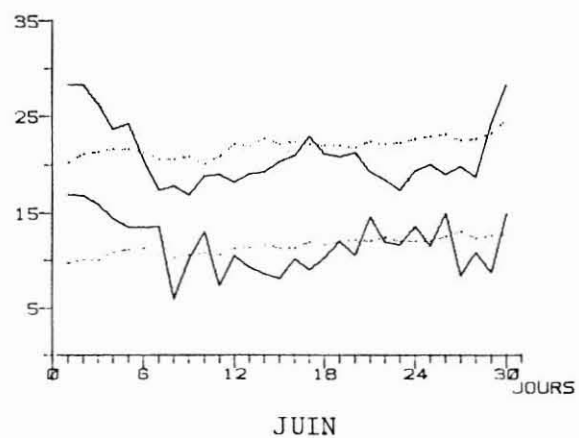
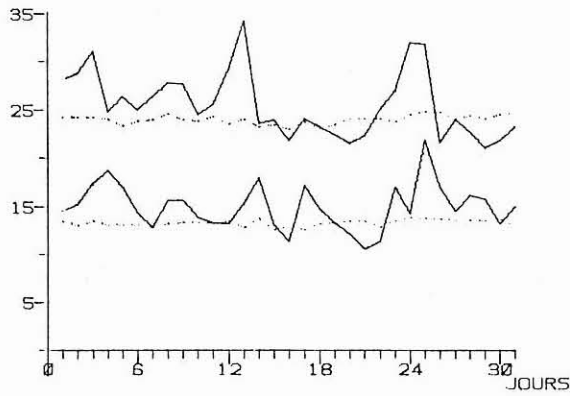


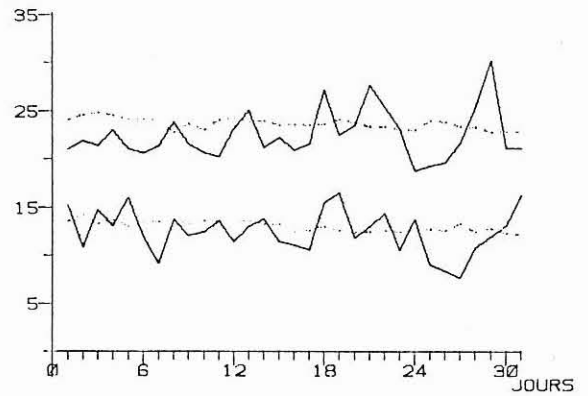
Fig. 3 - Températures journalières minimales (— bas) et maximales (— haut) de l'air, pour le premier semestre de 1985, et normales correspondantes (---) calculées sur la période 1951-1980.

TEMPERATURES  
Degres Celsius



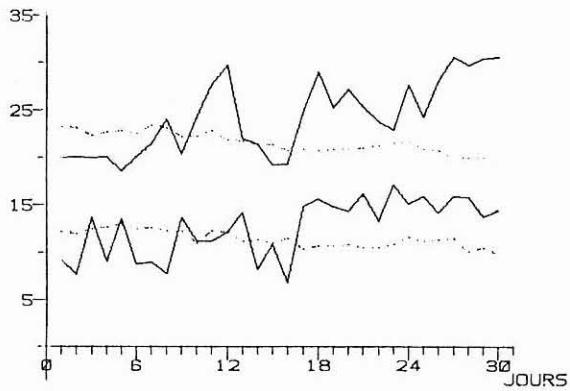
JUILLET

TEMPERATURES  
Degres Celsius



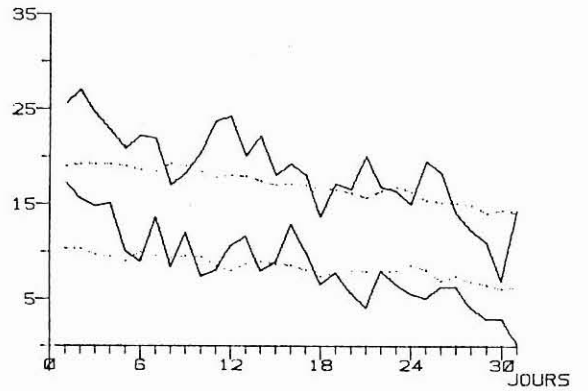
AOUT

TEMPERATURES  
Degres Celsius



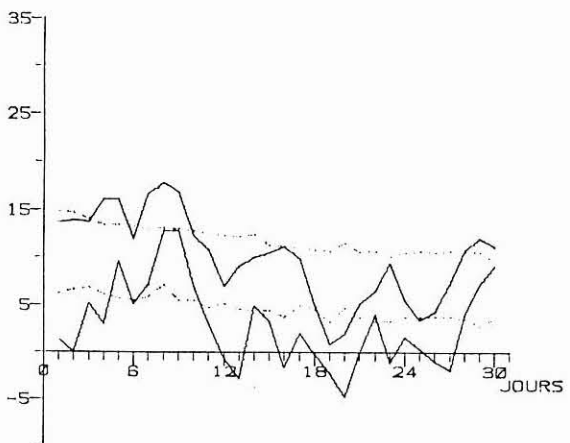
SEPTEMBRE

TEMPERATURES  
Degres Celsius



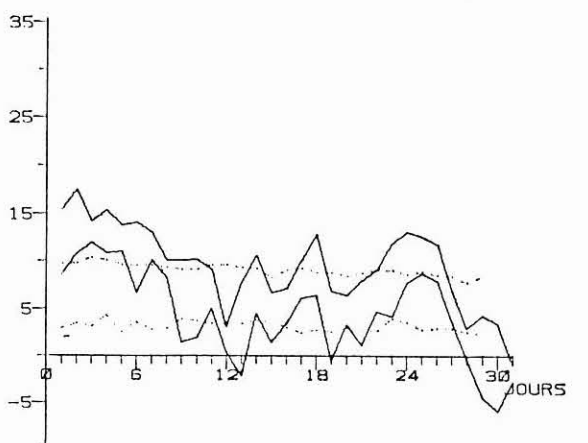
OCTOBRE

TEMPERATURES  
Degres Celsius



NOVEMBRE

TEMPERATURES  
Degres Celsius



DECEMBRE

Fig. 4 - Températures journalières minimales (— bas) et maximales (— haut) de l'air, pour le second semestre de 1985, et normales correspondantes (---) calculées sur la période 1951-1980.

D'une manière générale l'absence de vent et les eaux calmes qui en résultent sont des facteurs favorables à la multiplication des organismes dans un volume limité d'eau. A l'opposé, des vents d'une certaine force, en agitant la mer, favorisent la disparition de la coloration donnée à la mer lors d'une efflorescence phytoplanctonique.

L'analyse mensuelle des vents, durant l'année 1985 a été effectuée en fonction de leur direction et de leur vitesse (fig. 5).

Globalement, en janvier, les vents calmes, faibles et modérés sont abondants sans toutefois qu'il y ait dominance nette d'un secteur particulier.

En février, les vents faibles et modérés de terre dominant nettement tandis qu'en mars ce sont les vents de mer modérés et forts qui sont les plus abondants.

En avril, on note la dominance de vents de SW à NW modérés et forts.

En mai, les vents calmes, faibles et modérés abondent sans dominance particulière.

En juin, les vents calmes ainsi que les vents faibles et modérés de SW à NW sont abondants.

En juillet, les vents faibles dominant ainsi que les vents modérés de SW et NW.

En août, les vents faibles et modérés de SW et NW dominant nettement avec des vents calmes importants.

En septembre, les vents sont quasiment calmes ou modérés.

En octobre, les vents faibles sont très importants ; on note une prédominance de ces vents mais aussi des vents modérés issus des secteurs 60 à 80°.

En novembre, les vents calmes sont très abondants ainsi que les vents faibles.

Enfin en décembre, les vents faibles et modérés des secteurs 160 à 240° dominant nettement.

L'analyse plus fine des vents d'avril (mois pluvieux) montre une dominance des vents de S à NW faibles, modérés et forts durant la première quinzaine et des vents de terre faibles et modérés pendant la seconde (fig. 6) ; ainsi après avoir été favorables à un mauvais mélange des eaux côtières, dessalées et enrichies, avec les eaux plus océaniques au cours de la première moitié du mois, les vents favorisent ce mélange durant la seconde.

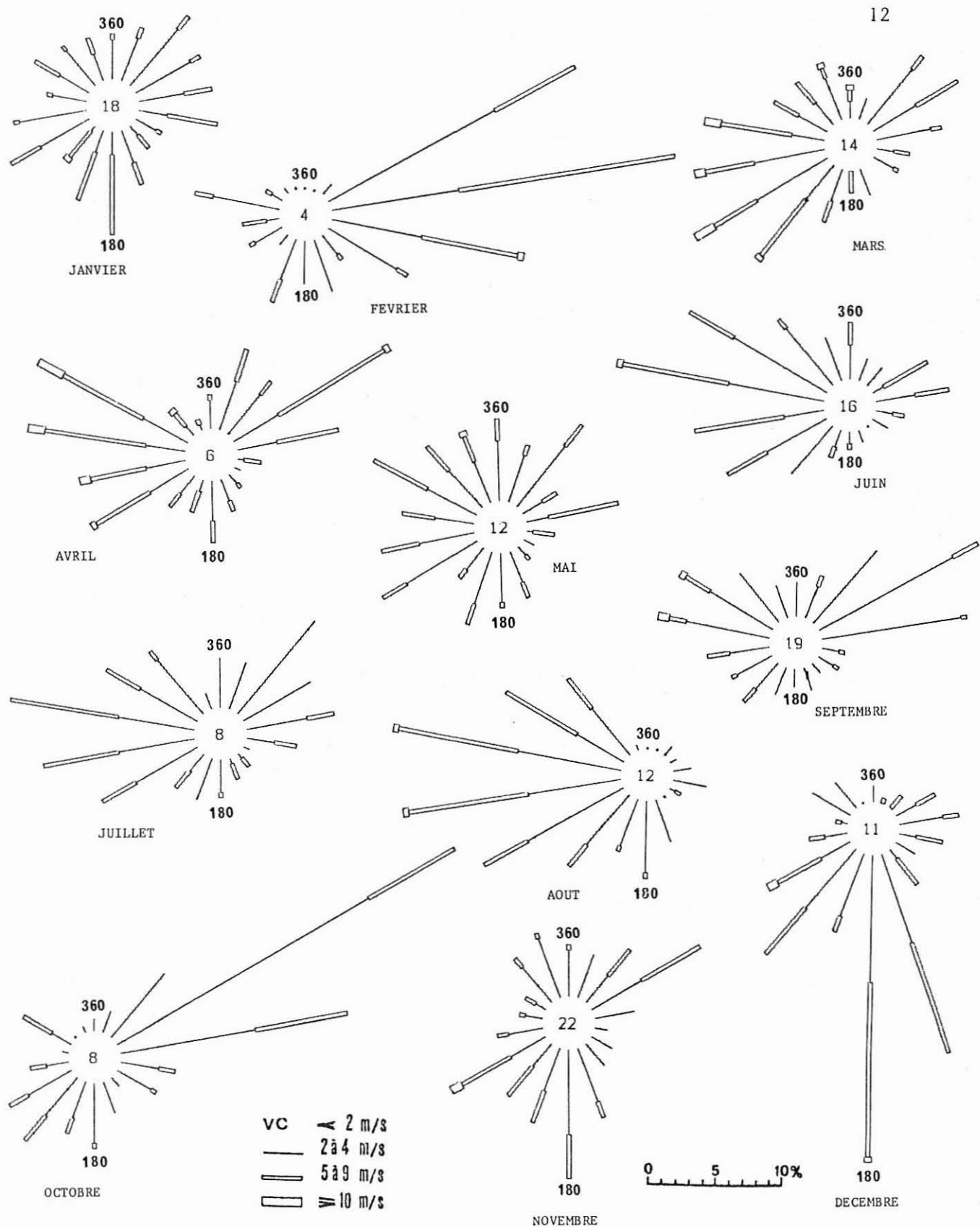
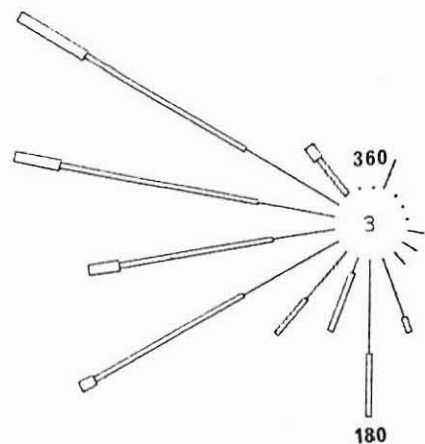


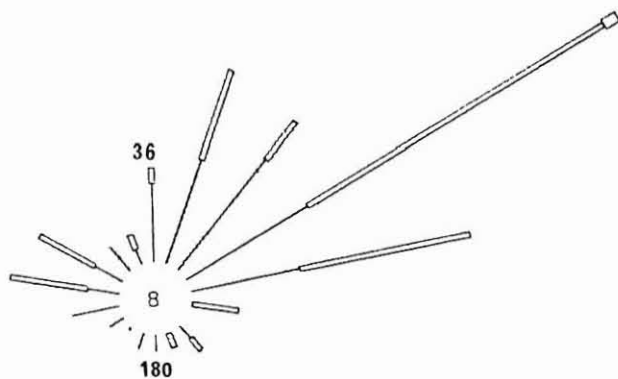
Fig. 5 - Pourcentages relatifs des intensités de vents, en fonction des directions, pour les mois de 1985. Les chiffres au centre des roses indiquent les pourcentages de vents calmes (VC).



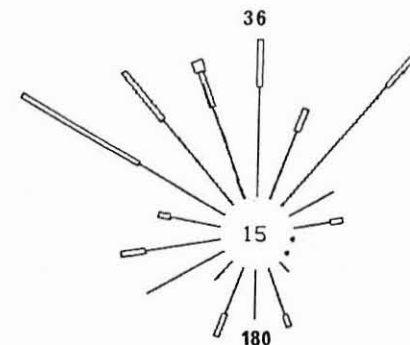
1er AU 15 AVRIL

VC < 2 m/s  
 — 2 à 4 m/s  
 — 5 à 9 m/s  
 ▭ ≥ 10 m/s

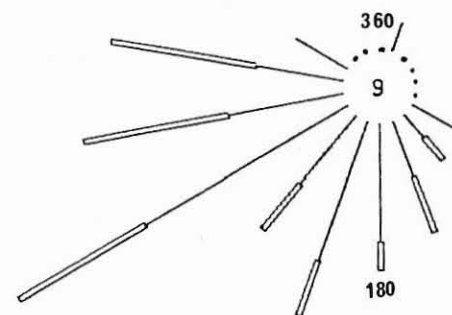
0 5 10%



16 AU 30 AVRIL



1er AU 19 MAI



20 AU 27 MAI

Fig. 6.- Pourcentages relatifs des intensités de vents, en fonction des directions, pour les deux quinzaines d'avril 1985. Les chiffres au centre des roses indiquent les pourcentages de vents calmes (VC).

Fig. 7.- Pourcentages relatifs des intensités de vents, en fonction des directions, pour deux périodes de mai 1985. Les chiffres au centre des roses indiquent les pourcentages de vents calmes (VC).

Les vents de mai ont pu avoir une influence sur le bloom à diatomées qui a eu son ampleur maximale du 21 au 29 mai. Ainsi, du 1er au 19, les vents calmes sont abondants ainsi que les vents faibles et modérés issus des secteurs 300° à 360° et 40° (fig. 7) ; ces vents de terre, du fait de la configuration des côtes de la baie de Vilaine, sont sans grand effet sur l'agitation de la mer. Ensuite du 20 au 27 mai les vents faibles et modérés ont soufflé presque uniquement des secteurs 140° à 180° et 280°, contribuant à maintenir, dans la frange littorale, les eaux côtières au sein desquelles se développait le bloom à diatomées.

Le régime des vents peut également expliquer l'installation puis la disparition d'une stratification des eaux ; ainsi, la stratification thermique observée, dans la baie lors de la campagne de prélèvement du 18 juin, avait disparu lors des sorties des 25 juin et 2 juillet pour être rétablie le 9 juillet. Du 5 juin au 19 juin (fig. 8) les vents calmes et faibles ont été très abondants, favorisant ainsi une certaine stabilité de la masse d'eau ; les vents modérés ont été peu importants et ont quasiment soufflé des secteurs 240 à 300° ce qui, du fait de leur faible durée, a pu favoriser le maintien des eaux côtières dans le fond de la baie. Il en est résulté un gradient halin estuaire-large des eaux superficielles ; de plus cette relative stabilité des masses d'eau a favorisé l'établissement d'une stratification thermique dans toute la baie (cf. les facteurs hydrologiques).

Puis du 20 au 26 juin, les vents calmes ont été quasiment inexistantes et les vents faibles et modérés ont été très abondants et constants des secteurs 200 à 280°. Ces vents ont poussé vers le fond de la baie les eaux superficielles ; du fait de l'existence d'un régime stratifié des eaux, il en est résulté le départ des eaux de la baie, vers le large, et leur remplacement, à partir de la surface, par des eaux à caractéristiques plus océaniques (DE NADAILLAC et BRETON, 1986). Le régime stratifié des eaux a alors disparu et il s'en est suivi une relative homogénéisation thermique et haline des eaux de la baie.

Enfin du 27 juin au 11 juillet, les vents calmes ont été abondants ainsi que les vents faibles de terre ; les vents modérés ont été faibles. Ces vents ont été favorables à une faible agitation des masses d'eau et une nouvelle stratification thermique et haline a pu s'établir.

#### 4 - Insolation (tabl. 2, fig. 9)

L'insolation a été :

- excédentaire en janvier (41 %), février (33 %) et mars (19 %) ;
- voisine des normales en avril, mai et juin ;
- excédentaire en juillet (21 %), août (11 %), septembre (40 %), et octobre (51 %) ;
- normale en novembre ;
- et légèrement inférieure à la normale en décembre.

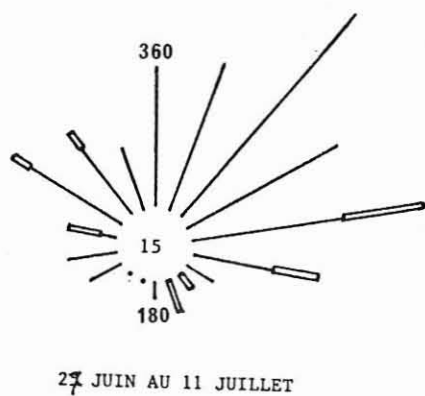
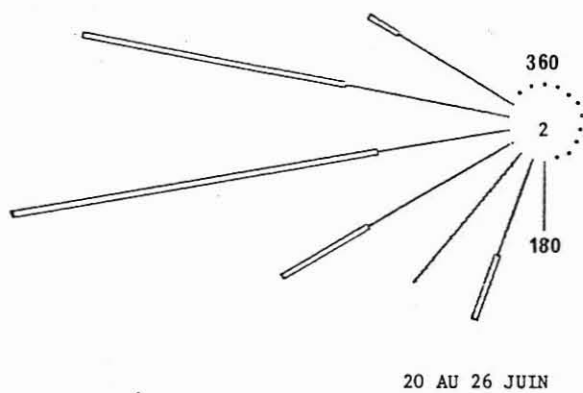
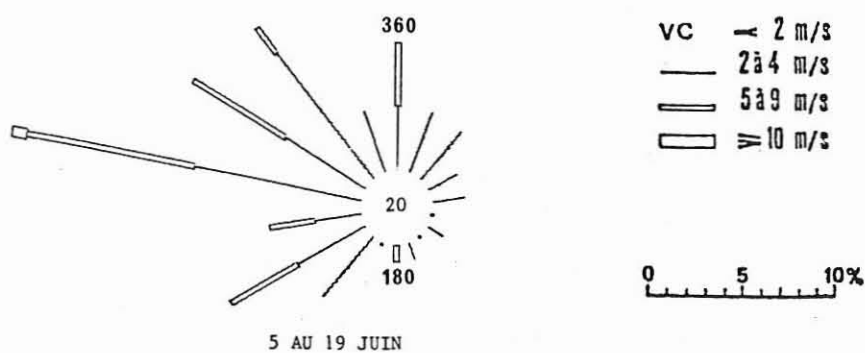


Fig. 8.- Pourcentages relatifs des intensités de vents, en fonction des directions, pour différentes périodes de juin et juillet 1985. Les chiffres au centre des roses indiquent les pourcentages de vents calmes (VC).



Mois	1ère décade	2ème décade	3ème décade	Total	Normale
Janvier	53,6	31,4	16,7	101,7	72
Février	31,6	36,6	62,6	130,8	98
Mars	61,0	66,9	50,4	178,3	149
Avril	47,9	78,7	73,9	200,5	190
Mai	65,9	37,2	89,3	192,4	219
Juin	79,5	85,7	62,5	227,7	234
Juillet	116,8	92,0	95,1	303,9	250
Août	72,7	83,7	98,6	255,0	229
Septembre	85,5	92,3	77,3	255,1	182
Octobre	56,1	88,5	66,0	210,6	139
Novembre	30,2	41,0	13,4	84,6	85
Décembre	19,8	8,3	29,3	57,4	64
TOTAL	-	-	-	2 198	1 911

Tabl. 2.- Insolations mensuelles pour 1985 et normales mensuelles calculées sur la période 1951-1980 (exprimées en heures).

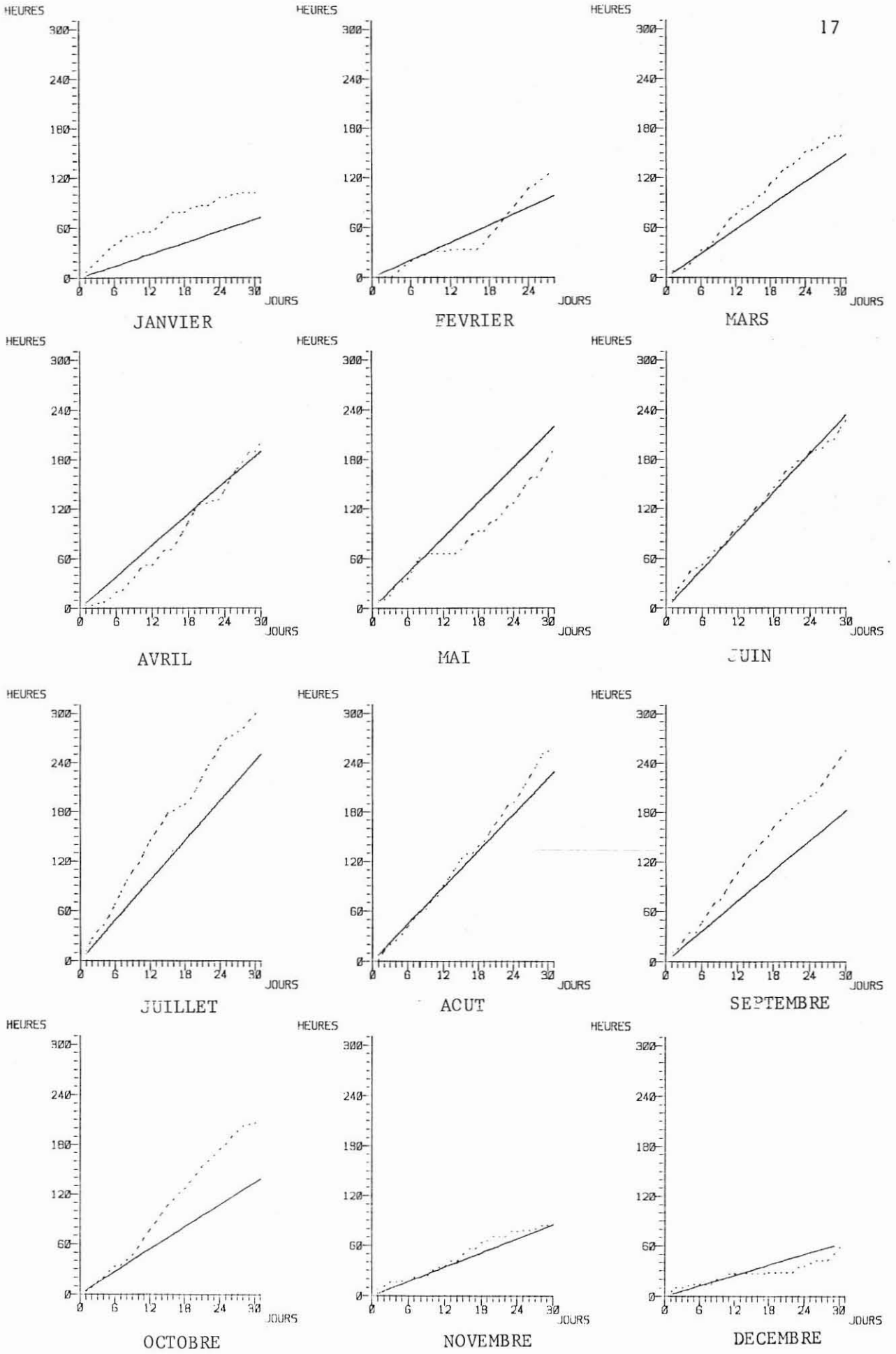


Fig. 9 - Durées journalières cumulées de l'insolation mensuelle pour 1985 (---) et normales théoriques correspondantes calculées sur la période 1951-1980 (—).

L'insolation est un facteur essentiel au développement des végétaux mais, dès mars-avril, la durée d'insolation atteinte suffit au démarrage de la végétation et tout excédent semble alors sans effet apparent. L'excédent important d'ensoleillement observé durant les quatre premiers mois de l'année a sûrement favorisé le développement printanier du phytoplancton ; toutefois certaines conditions hydroclimatiques n'ont pas permis la manifestation en mer du bloom à diatomée Skeletonema costatum sous la forme de taches superficielles d'eau colorée en marron comme ce fut le cas à la mi-mars 1983 (MAGGI et al., 1984) et début avril 1984 (MAGGI et al., 1986). Par contre, ce bloom à S. costatum a bien été observé, le 22 mars 1985, dans les bassins portuaires de Saint-Nazaire qui constituent un milieu particulièrement abrité (1).

### 5 - Etat de la mer du vent

Nous avons analysé les données recueillies par le sémaphore de l'île d'Yeu ; l'état de la mer du vent est décrit en fonction de la hauteur moyenne des vagues (tableau 3).

ETAT DE LA MER	HAUTEURS MOYENNES DES VAGUES (m)
Calme	0
Ridée	0 à 0,1
Belle	0,1 à 0,5
Peu agitée	0,5 à 1,25
Agitée	1,25 à 2,5
Forte	2,5 à 4
Très forte	4 à 6
Grosse	6 à 9
Très grosse	9 à 14
Enorme	14 et plus

Tabl. 3 - Différents états de la mer du vent.

Les tableaux 4 et 5 et la figure 10 regroupent les pourcentages relatifs des différents états de la mer, calculés par décades et par mois, pour toute l'année 1985.

Il ressort de l'analyse de ces tableaux que la mer n'a pas été le siège d'une importante agitation en janvier et février. Par contre, entre le 10 mars et le 20 avril, la mer a été fréquemment agitée, forte et même très forte.

(1) La même observation sera faite en 1986 : pas de bloom en mer mais eau marron à Skeletonema costatum et Thalassiosira sp. observée début avril dans les bassins portuaires de Saint-Nazaire.

Mois	Mer	1ère décade	2ème décade	3ème décade	Mois entier
JANVIER	1 - Ridée	2,9	0	0	0,9
	2 - Belle	44,3	37,1	17,1	32,4
	3 - Peu agitée	35,7	34,3	38,2	36,1
	4 - Agitée	17,1	28,6	38,2	28,2
	5 - Forte	0	0	6,6	2,3
	6 - Très forte	0	0	0	0
	7 - Grosse	0	0	0	0
FEVRIER	1 - Ridée	4,4	0	1,9	2,1
	2 - Belle	30,9	14,5	64,8	34,6
	3 - Peu agitée	52,9	46,4	29,6	44,0
	4 - Agitée	11,7	39,1	3,7	19,4
	5 - Forte	0	0	0	0
	6 - Très forte	0	0	0	0
	7 - Grosse	0	0	0	0
MARS	1 - Ridée	0	0	0	0
	2 - Belle	57,1	21,4	1,3	25,8
	3 - Peu agitée	14,3	35,7	24,7	24,9
	4 - Agitée	20,0	41,4	53,3	38,7
	5 - Forte	8,6	1,4	11,7	7,4
	6 - Très forte	0	0	9,1	3,2
	7 - Grosse	0	0	0	0
AVRIL	1 - Ridée	0	0	1,4	0,5
	2 - Belle	11,4	40,0	27,1	26,2
	3 - Peu agitée	48,6	20,0	64,3	44,3
	4 - Agitée	30,0	31,4	7,1	22,9
	5 - Forte	8,6	8,6	0	5,7
	6 - Très forte	1,4	0	0	0,5
	7 - Grosse	0	0	0	0
MAI	1 - Ridée	0	0	0	0
	2 - Belle	35,7	85,7	59,7	60,4
	3 - Peu agitée	34,3	14,3	40,3	30,0
	4 - Agitée	27,1	0	0	8,8
	5 - Forte	2,9	0	0	0,9
	6 - Très forte	0	0	0	0
	7 - Grosse	0	0	0	0
JUIN	1 - Ridée	2,9	1,4	21,4	8,6
	2 - Belle	40,0	68,6	42,9	50,5
	3 - Peu agitée	38,6	27,1	35,7	33,8
	4 - Agitée	18,6	2,9	0	7,1
	5 - Forte	0	0	0	0
	6 - Très forte	0	0	0	0
	7 - Grosse	0	0	0	0

Tableau 4 : Pourcentages relatifs, décadaires et mensuels, de l'état de la mer du vent pour le premier semestre 1985.

Mois	Mer	1ère décade	2ème décade	3ème décade	Mois entier
JUILLET	1 - Ridée	4,3	4,3	1,3	3,2
	2 - Belle	78,6	62,9	53,3	64,5
	3 - Peu agitée	17,1	28,6	18,2	21,2
	4 - Agitée	0	4,3	24,7	10,1
	5 - Forte	0	0	2,6	0,9
	6 - Très forte	0	0	0	0
	7 - Grosse	0	0	0	0
AOUT	1 - Ridée	0	0	0	0
	2 - Belle	35,7	65,7	61,0	54,4
	3 - Peu agitée	32,9	25,7	31,2	30,0
	4 - Agitée	25,7	8,6	5,2	12,9
	5 - Forte	5,7	0	2,6	2,8
	6 - Très forte	0	0	0	0
	7 - Grosse	0	0	0	0
SEPTEMBRE	1 - Ridée	0	15,7	7,1	7,6
	2 - Belle	57,1	70,0	92,9	73,3
	3 - Peu agitée	22,9	14,3	0	12,4
	4 - Agitée	14,3	0	0	4,8
	5 - Forte	5,7	0	0	1,9
	6 - Très forte	0	0	0	0
	7 - Grosse	0	0	0	0
OCTOBRE	1 - Ridée	0	1,4	2,6	1,4
	2 - Belle	21,4	42,9	61,0	42,4
	3 - Peu agitée	52,9	52,9	36,4	47,0
	4 - Agitée	25,7	2,9	0	9,2
	5 - Forte	0	0	0	0
	6 - Très forte	0	0	0	0
	7 - Grosse	0	0	0	0
NOVEMBRE	1 - Ridée	1,4	0	0	0,5
	2 - Belle	35,7	70,0	55,7	53,8
	3 - Peu agitée	18,6	27,1	41,4	29,1
	4 - Agitée	20,0	2,9	2,9	8,6
	5 - Forte	24,3	0	0	8,1
	6 - Très forte	0	0	0	0
	7 - Grosse	0	0	0	0
DECEMBRE	1 - Ridée	0	5,1	0	1,5
	2 - Belle	17,1	71,2	15,8	32,2
	3 - Peu agitée	50,0	22,0	19,7	30,7
	4 - Agitée	31,4	1,7	36,8	24,9
	5 - Forte	1,4	0	19,7	7,8
	6 - Très forte	0	0	7,9	2,9
	7 - Grosse	0	0	0	0

Tableau 5 : Pourcentages relatifs, décadaires et mensuels, de l'état de la mer du vent pour le second semestre 1985.

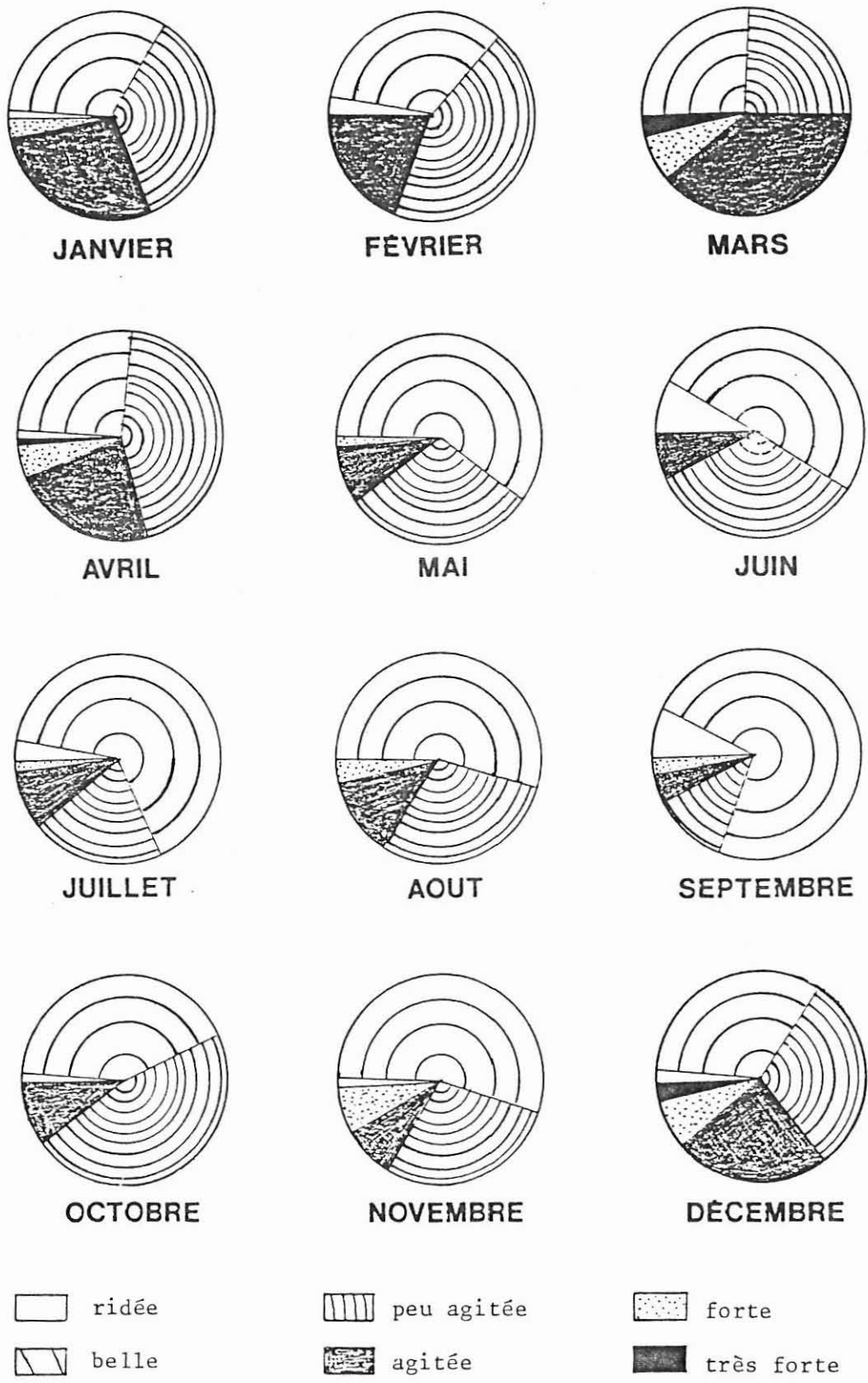


Figure 10 - Pourcentages relatifs des différents états de la mer pour les mois de 1985.

C'est en partie cette agitation des eaux qui a empêché la matérialisation de la multiplication phytoplanctonique de printemps sous la forme de lentilles superficielles d'eau marron. Cette multiplication a tout de même eu lieu, mais au sein d'une plus importante couche d'eau, c'est à dire sans coloration intense. Par contre, comme nous l'avons signalé précédemment (cf. Insolation) un bloom à Skeletonema costatum a été observé, dans le milieu des bassins de Saint-Nazaire, le 22 mars.

Puis, durant la dernière décade d'avril et jusqu'à la fin de l'été, l'agitation de la mer sera faible avec une période encore plus propice à la stabilité des eaux au cours des deux dernières décades de mai. Ceci favorisera l'apparition du bloom à petites diatomées (Thalassiosira sp. et Rhizosolenia delicatula) de la fin mai.

#### 6 - Coefficients de marées (fig. 11)

Les coefficients de marées de vives-eaux ont été faibles en juin (97 et 75), juillet (86 et 84) et début août (86) alors que ceux de mortes-eaux étaient élevés (44 et 60 en juin, 42 et 56 en juillet) ce qui a limité le déplacement des masses d'eaux et favorisé la multiplication du phytoplancton.

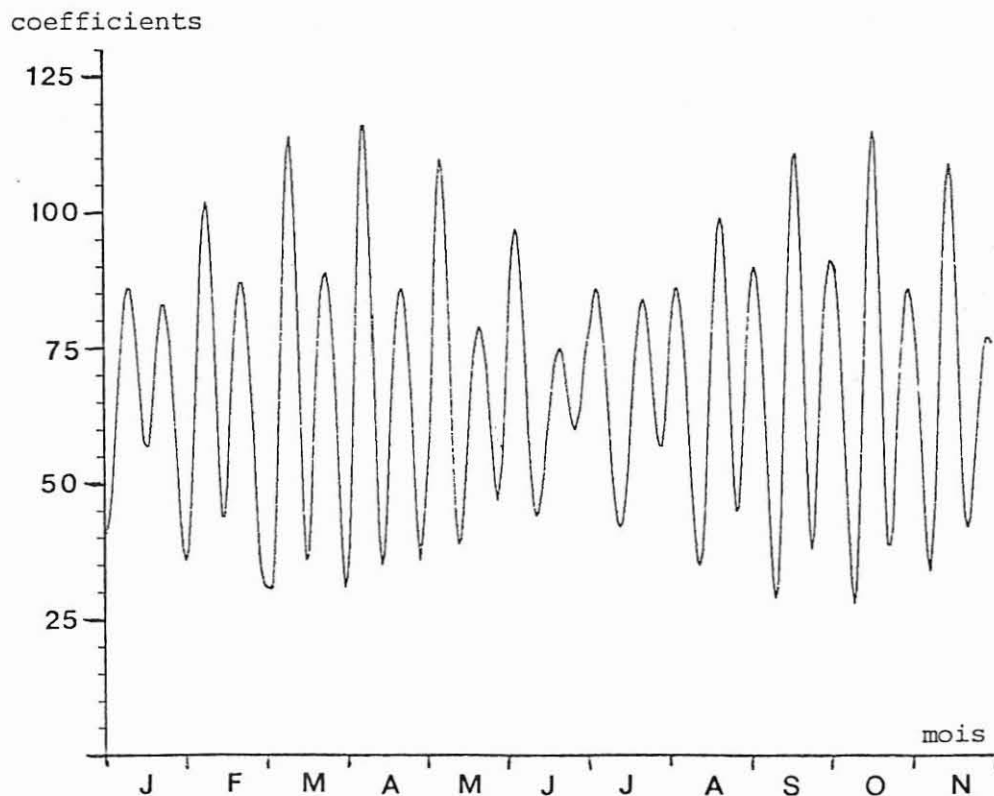


Fig. 11 - Variation des coefficients de marées au cours de 1985.

### III - FACTEURS HYDROLOGIQUES

#### 1 - Méthodologie

##### a) Campagnes de prélèvements

Les prélèvements ont été effectués avec le concours des vedettes des Douanes, Affaires Maritimes et Centre Régional Opérationnel de Surveillance et Sécurité de l'Atlantique (C.R.O.S.S.A.) qui ont gracieusement été mises à notre disposition (1).

L'objectif du programme était la surveillance du milieu au moment du développement maximum présumé du dinoflagellé Dinophysis sacculus, c'est à dire entre la mi-juin et la mi-juillet. Dans ce but 4 campagnes de prélèvements ont été programmées durant cette période, avec la participation de 4 embarcations opérant simultanément.

Cependant 4 campagnes supplémentaires ont pu être réalisées, mais avec un seul navire et un échantillonnage plus restreint de la zone.

Les prélèvements d'eau ont ainsi été effectués à 20 stations réparties en baie de Vilaine (fig. 12) et à différentes profondeurs : surface, 1 m, 3 m, 5 m et toutes les dizaines de mètres ainsi qu'au voisinage du fond.

Dans la mesure du possible les prélèvements ont été réalisés sur une période de 4 heures autour de la basse mer (tabl. 6).

##### b) Méthodes analytiques

Les salinités ont été déterminées au salinomètre à électrode type GUILDINE AUTOSAL modèle 8400.

Pour les sels nutritifs, les échantillons aussitôt filtrés, sur microfibrilles de verre WHATMANN GF/C de 0,45 µm de porosité et 25 mm de diamètre, ont été conservés en flacons polyéthylènes dans la carboglace, puis au congélateur à - 30°C jusqu'à l'analyse. Les teneurs ont été déterminées par dosage colorimétrique en analyse automatique (TREGUER et LE CORRE, 1975) sur AUTO-ANALYSER TECHNICON suivant les méthodes de :

- BENSCHNEIDER et ROBINSON (1952) pour les nitrites,
- WOOD et al. (1967) pour les nitrates,

---

(1) Nous adressons nos remerciements à ces différents services ainsi qu'aux équipages des vedettes Pen Bock, PM 56 COURLIS, DF 16 MERVENT et DF 39 AQUILON.



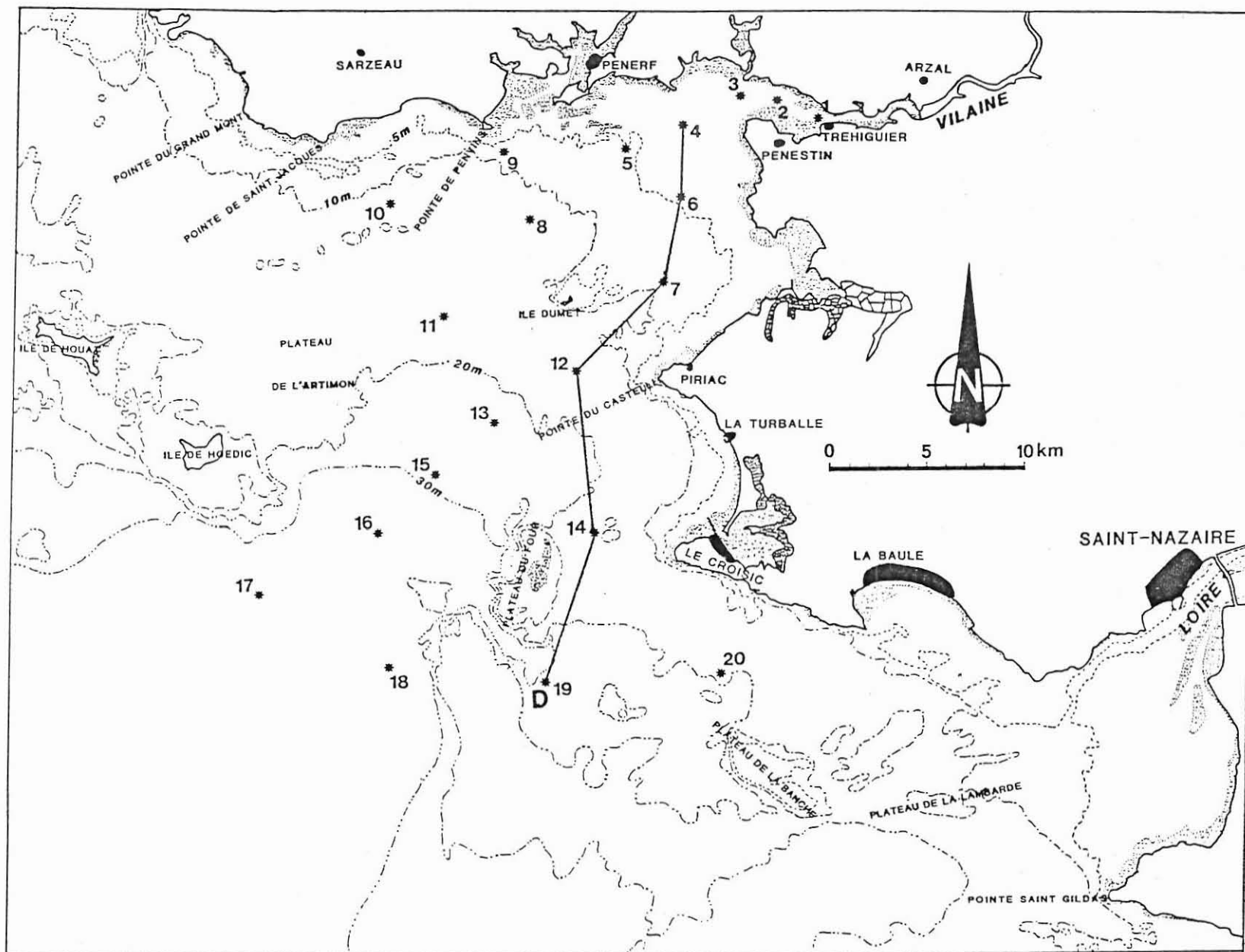


Fig. 12 - Localisation des stations de prélèvements et de la radiale étudiée.

DATES	28 FEVRIER	2 MAI	21 MAI	4 JUNIN	18 JUNIN	25 JUNIN	2 JUILLET	9 JUILLET
Heures de basse mermer	16 h 33	9 h 55	12 h 55	12 h 42	11 h 57	17 h 19	11 h 40	17 h 08
Coefficients Stations	34	86	78	93	73	60	85	50
1	*	+1 h 35	+1 h 35	-1 h 30	+1 h 55	+1 h 05	+0 h 50	-2 h 10
2	*	+1 h 20	+1 h 15	-1 h 10	+1 h 45	+0 h 50	+0 h 35	-1 h 40
3	+0 h 55	+1 h 05	+0 h 30	-0 h 40	+1 h 30	+0 h 25	+0 h 15	-1 h 30
4	+0 h 35	+0 h 55	+0 h 15	-0 h 05	+1 h 05	0 h 00	-0 h 15	-1 h 55
5	+0 h 15	+0 h 35	-0 h 10	+0 h 55	+0 h 25	+0 h 20	-0 h 45	0 h 00
6	+1 h 05	+5 h 30	-1 h 20	+1 h 40	-0 h 05	+1 h 10	+1 h 35	-0 h 40
7	+1 h 25	+6 h 35	-1 h 40	+2 h 50	-0 h 50	+2 h 10	+0 h 40	-0 h 50
8	*	+0 h 15	-0 h 25	*	+1 h 00	-1 h 00	-0 h 40	-2 h 10
9	-0 h 15	*	+0 h 45	*	+1 h 40	-1 h 10	-1 h 25	+0 h 30
10	-0 h 35	*	+1 h 20	*	+2 h 20	-1 h 50	-2 h 20	+1 h 00
11	-0 h 55	-0 h 05	-0 h 50	*	+0 h 05	-1 h 35	-0 h 05	+0 h 20
12	+1 h 40	*	-2 h 10	*	-0 h 25	-1 h 00	-0 h 45	-0 h 10
13	*	-0 h 30	*	*	0 h 00	-0 h 25	-1 h 40	-0 h 40
14	+2 h 10	-0 h 55	*	*	-0 h 50	+0 h 10	-2 h 10	-1 h 10
15	*	*	*	*	+0 h 30	+0 h 40	-1 h 40	-1 h 40
16	*	*	*	*	+1 h 00	+1 h 20	-1 h 25	-2 h 10
17	-3 h 50	*	*	*	+1 h 25	+1 h 20	-0 h 35	-2 h 20
18	-4 h 10	*	*	*	+2 h 20	+0 h 20	+0 h 20	-0 h 55
19	-4 h 40	*	*	*	+3 h 05	-0 h 35	+1 h 05	+0 h 25
20	-5 h 50	-1 h 15	*	*	+3 h 45	-1 h 40	*	+1 h 25

Tableau 6. - Moments de prélèvements, par rapport à la basse mer, aux différentes stations échantillonnées durant l'année 1985.

\* station non échantillonnée.

- MURPHY et RILEY (1962) pour les phosphates,
- GRASSHOF (1969) pour les silicates.

Les concentrations en chlorophylle a et phéopigments ont été déterminées, sur les filtres employés pour les sels nutritifs, selon la méthode de YENTSCH et MENZEL (1963) et calculées d'après les équations de LORENZEN (1966).

## 2 - Résultats

Nous avons représenté les valeurs obtenues pour les différents paramètres étudiés, au niveau de 6 stations sur un profil bathymétrique correspondant à la radiale D (cf. fig. 12).

### a) Température (fig. 13)

Le 28 février, le mauvais temps nous a contraint à limiter l'échantillonnage aux 10 mètres superficiels ; la température de cette couche d'eau était comprise entre 7°3 et 7°6 ce qui correspond à des valeurs plus faibles de 1 à 2° par rapport à la situation de 1984.

Lors de la sortie du 2 mai des incidents ont limité les mesures de températures aux stations 4, 6 et 7 ; les valeurs trouvées étaient comprises entre 11°6 et 12°5 ce qui représente des valeurs comparables à celles de 1984.

En mai-juin le réchauffement des eaux superficielles se poursuit et une stratification thermique se met en place plus lentement que l'année précédente. Ceci est à rapprocher du fait que, dans l'ensemble, pendant le premier semestre 1985, les eaux sont restées froides avec des périodes particulièrement marquées en janvier et février.

Ensuite, début juillet, la stratification thermique se stabilise.

D'une manière générale il faut noter que les températures de surface n'ont guère excédé 17° durant l'été, ce qui est inférieur aux 20 et même 22° observés, durant les mêmes périodes de 1983 et 1984.

### b) Salinité (fig. 14)

Seule la campagne de février montre une importante dessalure des eaux de la baie de Vilaine imputable aux apports de la Loire et de la Vilaine (fig. 15 et 16). En effet, la Loire a été en crue du 27 janvier au 3 février avec un débit moyen journalier de 2 288 m<sup>3</sup>/s et du 16 au 25 février (2 810 m<sup>3</sup>/s) ; la Vilaine, quant à elle, a été en crue du 21 janvier au 6 février (252 m<sup>3</sup>/s) et du 13 au 20 février (166 m<sup>3</sup>/s).

Par la suite nos mesures fragmentaires permettent de soupçonner une dessalure des eaux de la baie le 21 mai (cf. fig. 14) qui ne peut être reliée aux seuls apports de la Vilaine mais semble résulter de l'importante crue de la Loire (3 215 m<sup>3</sup>/s) observée entre le 13 et le 24 mai (cf.

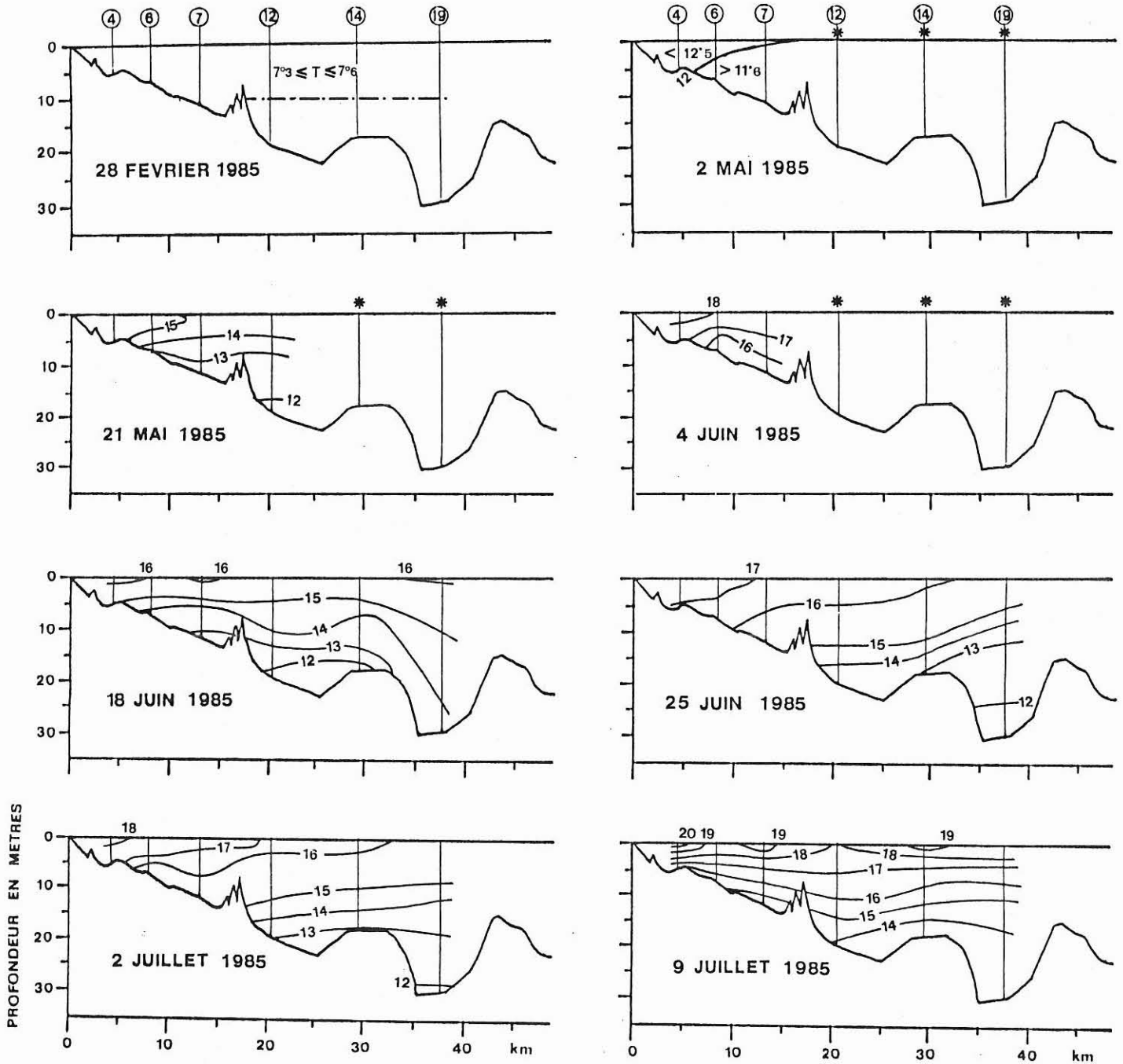
RADIALE **D** : TEMPERATURE

Fig. 13 - Températures, en degrés Celsius, le long de la radiale D (cf. fig. 12), lors des différentes campagnes de 1985.

\* station non échantillonnée.

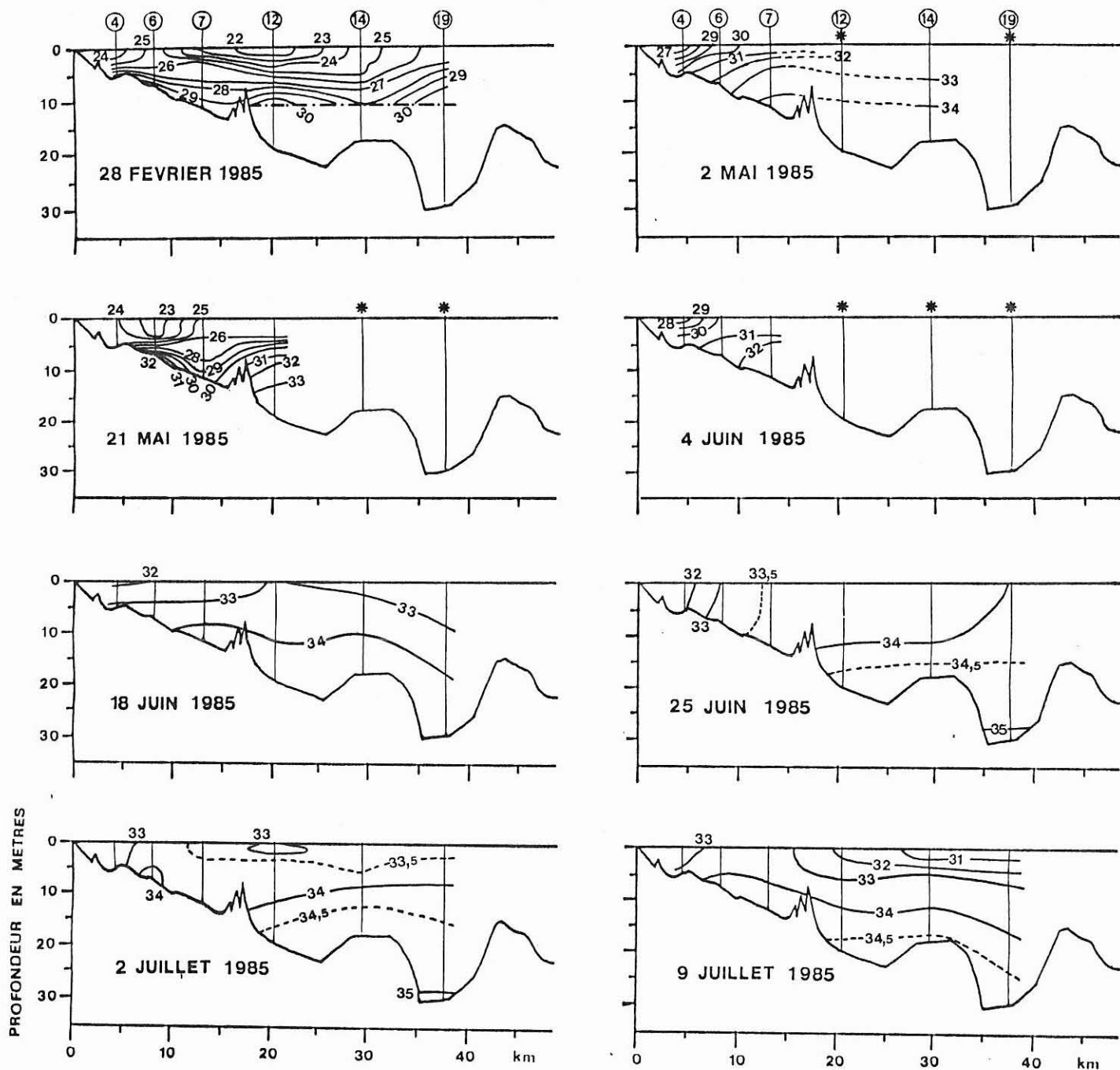
RADIALE **D** : SALINITE

Fig. 14 - Salinités, en g par kg, le long de la radiale D (cf. fig. 12), lors des différentes campagnes de 1985.  
\* station non échantillonnée.

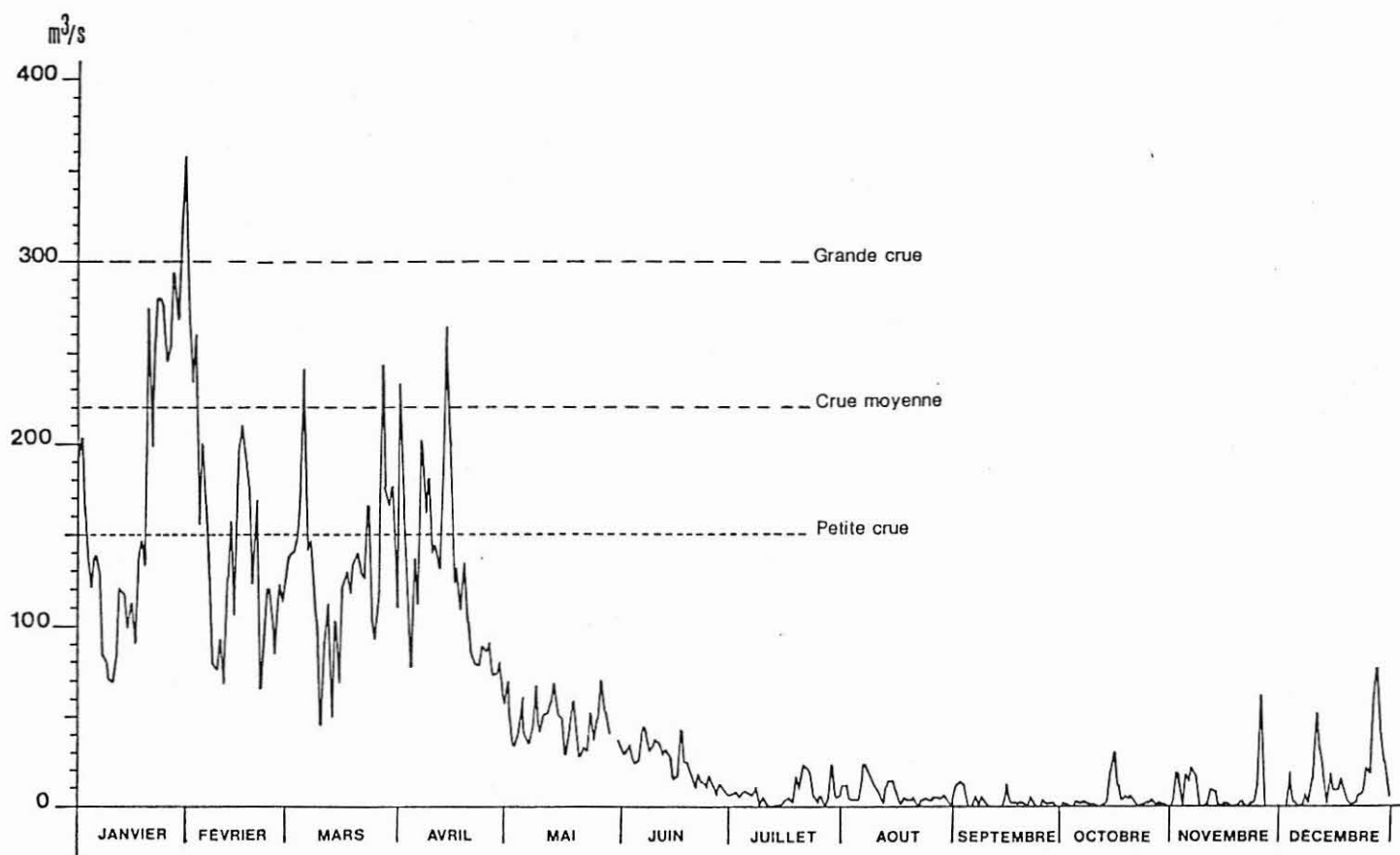


Fig. 15. - Débits moyens journaliers des lâchers d'eau du barrage d'Arzal durant l'année 1985. (Données du Service Régional de l'Aménagement des Eaux de Bretagne. Rennes).

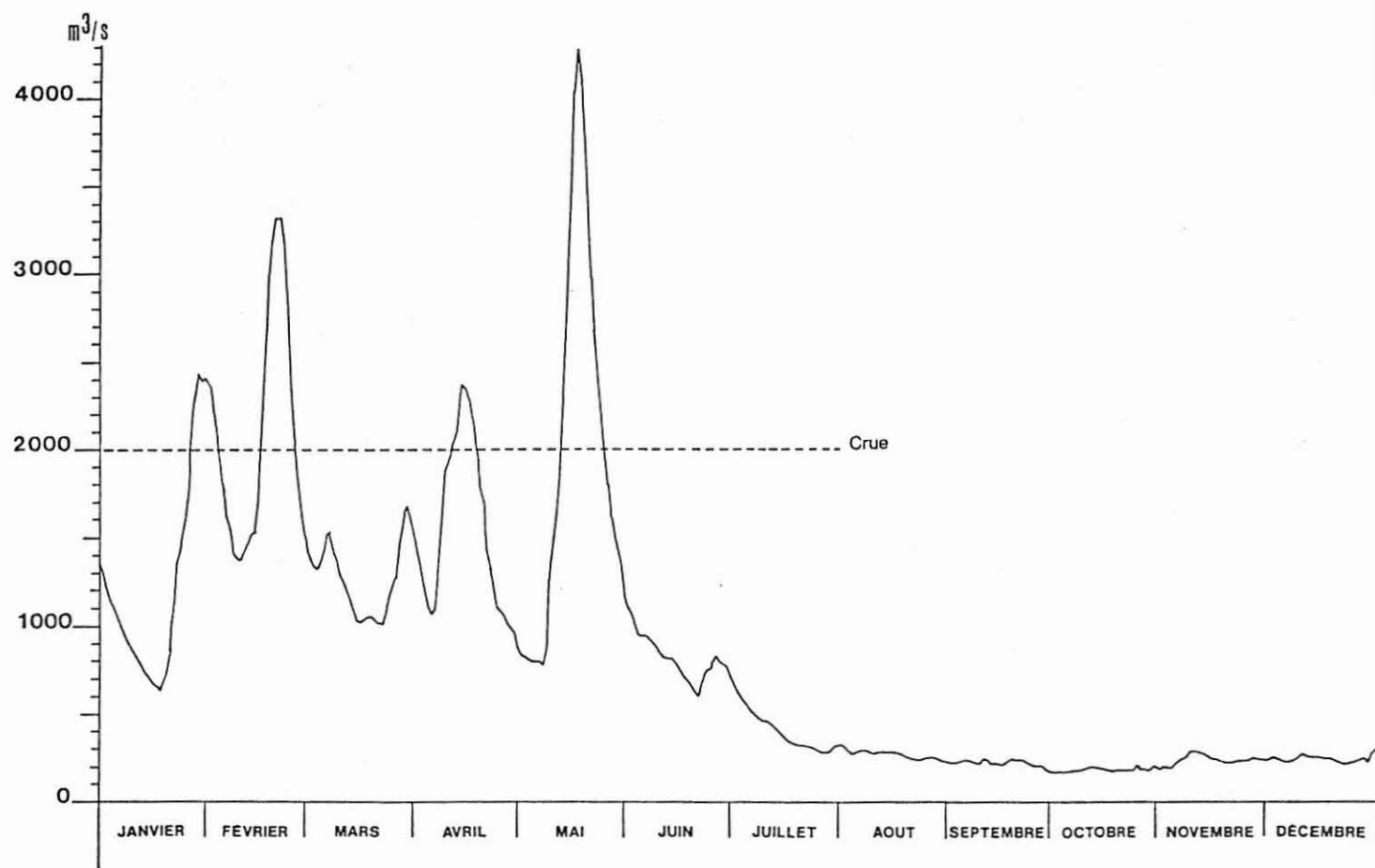


Fig. 16. - Débits moyens journaliers de la Loire durant l'année 1985.  
(Données du Service Hydrologique centralisateur de Limoges).

fig. 16). Cette dessalure superficielle a d'ailleurs favorisé un développement des diatomées qui ont fortement coloré en brun les eaux de surface comme ce fut le cas les trois années précédentes.

Par la suite, durant juin et juillet, des masses d'eaux plus océaniques, plus salées et plus homogènes, occuperont la quasi totalité de la baie de Vilaine. Les conditions climatiques, nous l'avons vu, ont joué un rôle dans la destruction de la stratification, surtout thermique, des eaux contribuant ainsi à la régression du bloom phytoplanctonique vers la fin juin.

c) Chlorophylle a, phéopigments et rapport pigmentaire  
(fig. 17 à 19)

L'analyse des concentrations en chlorophylle a (fig. 17), en prenant les valeurs supérieures à  $10 \text{ mg/m}^3$ , ce qui correspond, en baie de Vilaine, à des eaux fortement colonisées par les diatomées, montre un début de bloom détectable dès le 2 mai dans le fond de la baie ; ce bloom va atteindre son maximum le 21 mai puis régresser le 4 juin pour atteindre à nouveau des valeurs élevées le 18 juin. Par la suite, les teneurs en chlorophylle chuteront régulièrement jusqu'à des valeurs faibles.

Les teneurs en phéopigments (fig. 18) sont élevées en mai avec un maximum lors de la campagne du 21.

Ensuite les valeurs restent élevées jusqu'au 18 juin puis décroissent régulièrement pour atteindre des valeurs faibles le 9 juillet.

Ainsi, durant toute la période à forte multiplication phytoplanctonique, les teneurs en phéopigments ont été élevées ; afin de savoir si ces blooms représentent des populations actives ou sénescentes nous avons étudié l'évolution du pourcentage de chlorophylle a active (fig. 19) qui est égal au rapport des concentrations :

$$\frac{\text{chlorophylle a}}{\text{chlorophylle a + phéopigments}} \times 100$$

Ce pourcentage est donc l'expression de la chlorophylle a fonctionnelle par rapport à l'ensemble des pigments du groupe de la chlorophylle a (PLANTE-CUNY, 1978).

Lorsque ce rapport tend vers 100, la chlorophylle a est dominante et les populations phytoplanctoniques sont en période d'activité maximale. Lorsqu'il tend vers 0, les populations phytoplanctoniques sont en phase de sénescence car ce sont alors les produits de dégradation de la chlorophylle a qui dominent.

Parmi les deux périodes à forte production chlorophyllienne (21 mai et 18 juin) c'est la dernière qui montre une activité élevée des populations phytoplanctoniques dans la baie de Vilaine (fig. 19).



## RADIALE D : CHLOROPHYLLE

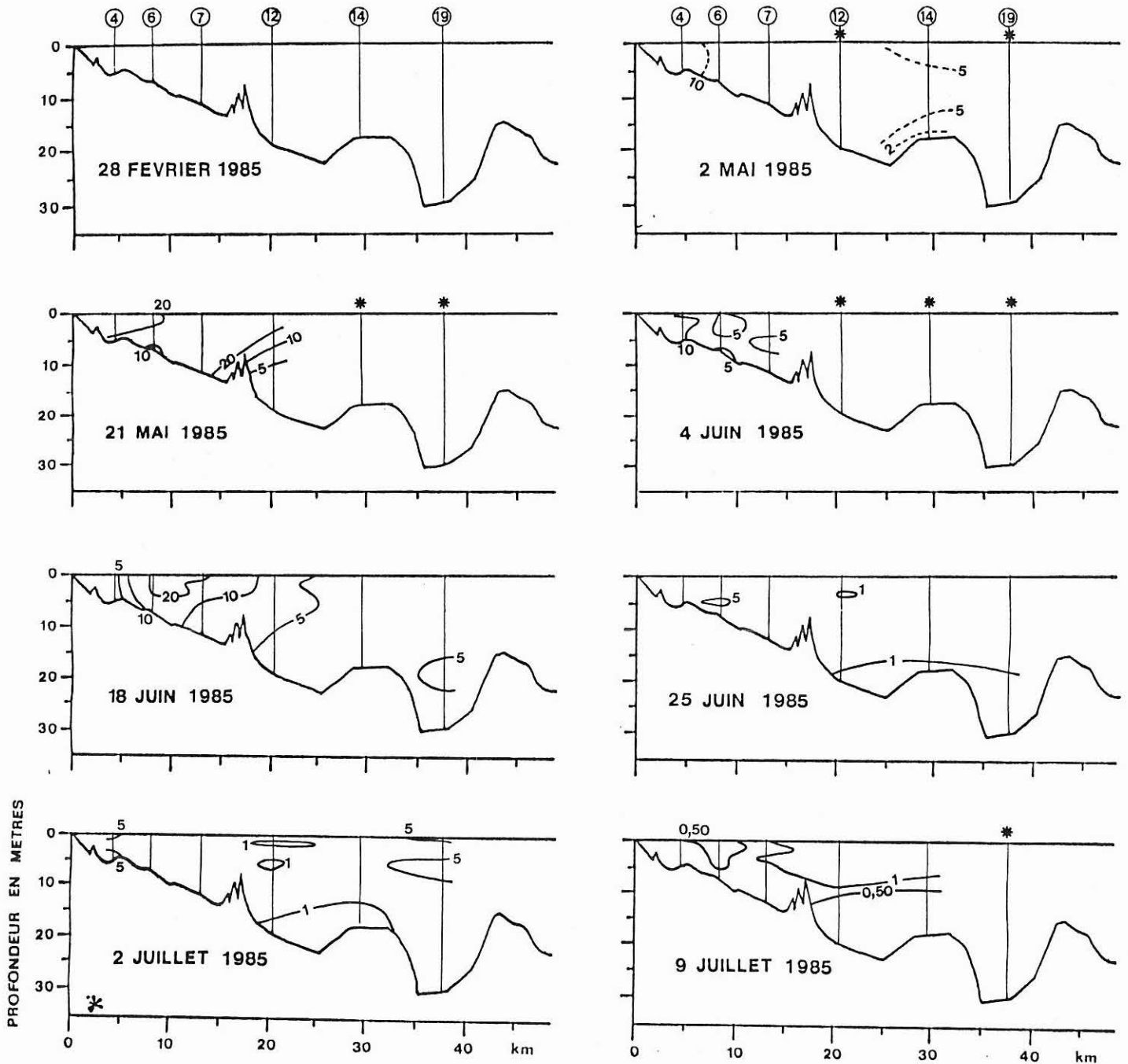


Fig. 17 - Teneurs en chlorophylle a, exprimées en mg/m<sup>3</sup>, le long de la radiale D (cf. fig. 12), lors des différentes campagnes de 1985.  
\* station non échantillonnée.

## RADIALE D : PHEOPIGMENTS

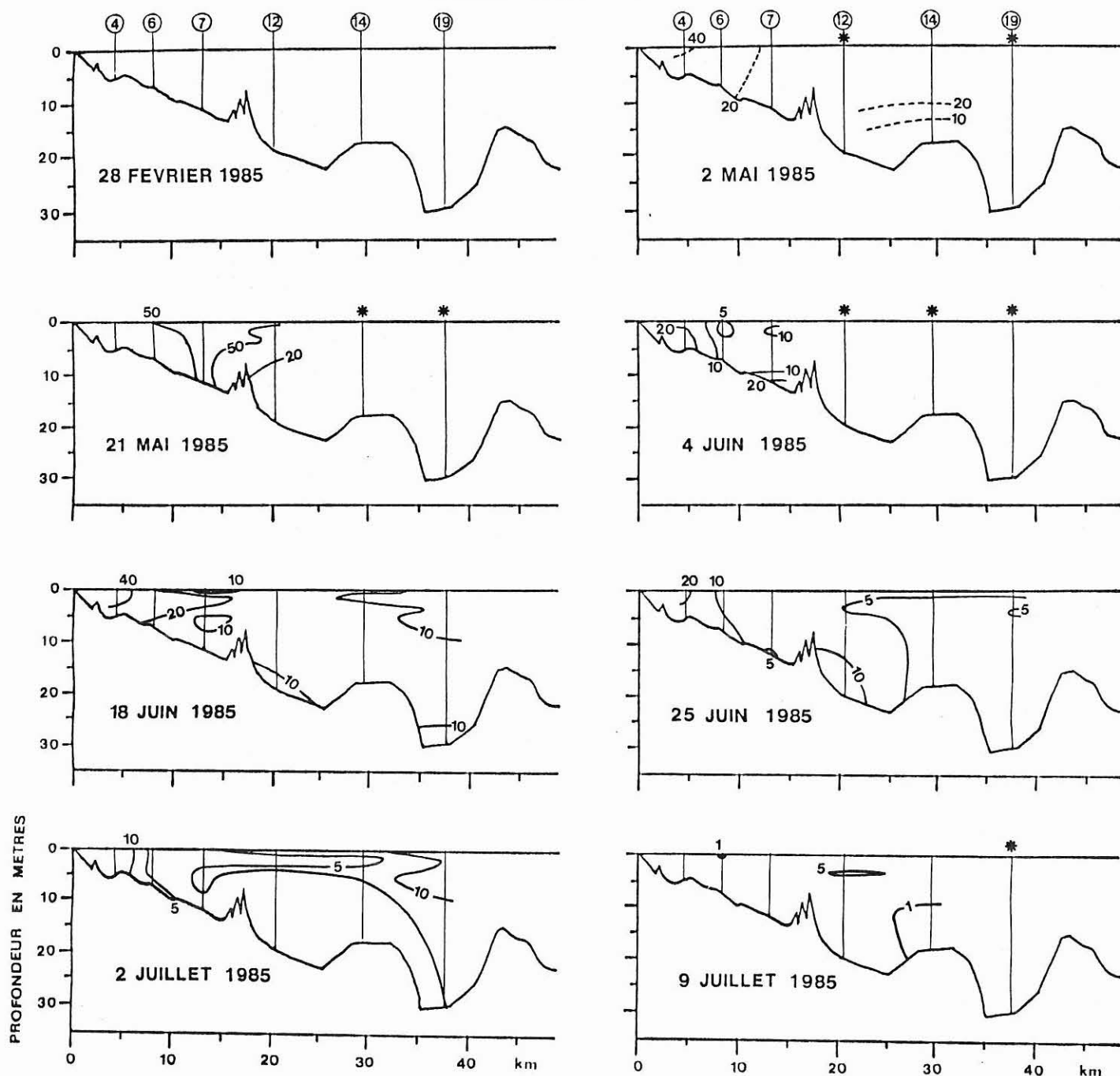


Fig. 18 - Teneurs en phéopigments, exprimées en  $\text{mg}/\text{m}^3$ , le long de la radiale D (cf. fig. 12), lors des différentes campagnes de 1985.  
\* station non échantillonnée.

RADIALE D : % CHLOROPHYLLE ACTIVE

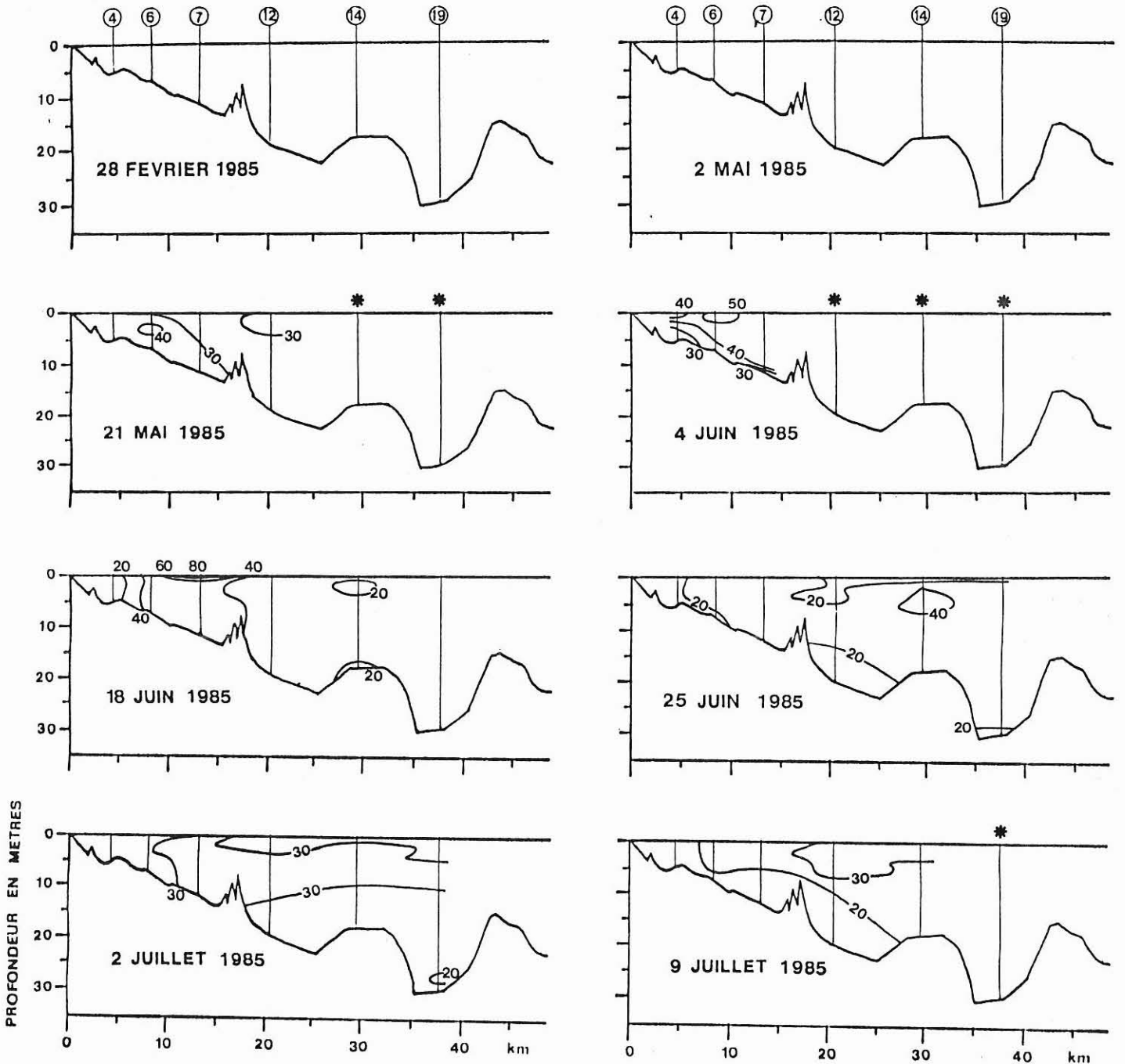


Fig. 19 - Pourcentages de chlorophylle active, le long de la radiale D (cf. fig.12), lors des différentes campagnes de 1985.  
 \* station non échantillonnée.

Il semble néanmoins que, malgré les valeurs très élevées de chlorophylle du 21 mai, le maximum du bloom à diatomées soit antérieur à cette date ; en effet, les valeurs élevées de phéopigments et faibles de chlorophylle active permettent de situer ce maximum entre le 2 et le 21 mai, vraisemblablement peu avant le 21.

En ce qui concerne le second bloom, il n'est pas décelable le 4 juin et doit atteindre son maximum vers la mi-juin pour régresser ensuite puisque, dès le 25 juin, la chlorophylle fonctionnelle atteint des taux relativement faibles.

#### d) Nitrates (fig. 20)

Les nitrates représentent la forme la plus stable et la plus abondante de l'azote minéral ; c'est un élément très important pour la croissance des organismes phytoplanctoniques.

Les nitrates sont très abondants, surtout dans les eaux superficielles, de l'automne jusqu'au début de l'été avec des valeurs souvent supérieures à  $10 \text{ umol.l}^{-1}$  et pouvant dépasser  $200 \text{ umol.l}^{-1}$  en zone estuarienne après des périodes à fortes pluviosités ; le lessivage des sols agricoles doit, en grande partie, être responsable de cet important enrichissement.

Les résultats de la campagne du 28 février indiquent des valeurs élevées en nitrates dans toute la couche d'eau échantillonnée avec toutefois les valeurs les plus fortes au niveau de la station 19 qui est sous l'influence des apports de la Loire.

Début mai les teneurs sont plus faibles vraisemblablement par suite de la dilution des eaux de la baie par des eaux plus océaniques pauvres en sels nutritifs ; toutefois un appauvrissement consécutif à la multiplication phytoplanctonique printanière est également à prendre en compte.

Les valeurs plus élevées, observées le 21 mai en période de bloom phytoplanctonique, sont davantage à relier à la crue de la Loire (cf. fig. 16) qu'aux petits débits de la Vilaine durant le mois de mai (cf. fig. 15).

Le 18 juin nous constatons que le bloom a consommé une grande partie des nitrates, surtout dans les eaux superficielles où se situe le maximum du bloom phytoplanctonique.

Le 25 juin nous observons une remontée des teneurs en nitrates très faible dans la baie mais plus marquée dans la zone estuarienne. Cette variation de faible amplitude pourrait en partie s'expliquer par un début de reminéralisation de la matière organique déposée dans le fond de la baie après les blooms phytoplanctoniques.

Puis, en juillet, la régression des teneurs en nitrates est concomitante à celle des concentrations en chlorophylle.

## RADIALE D : NITRATES

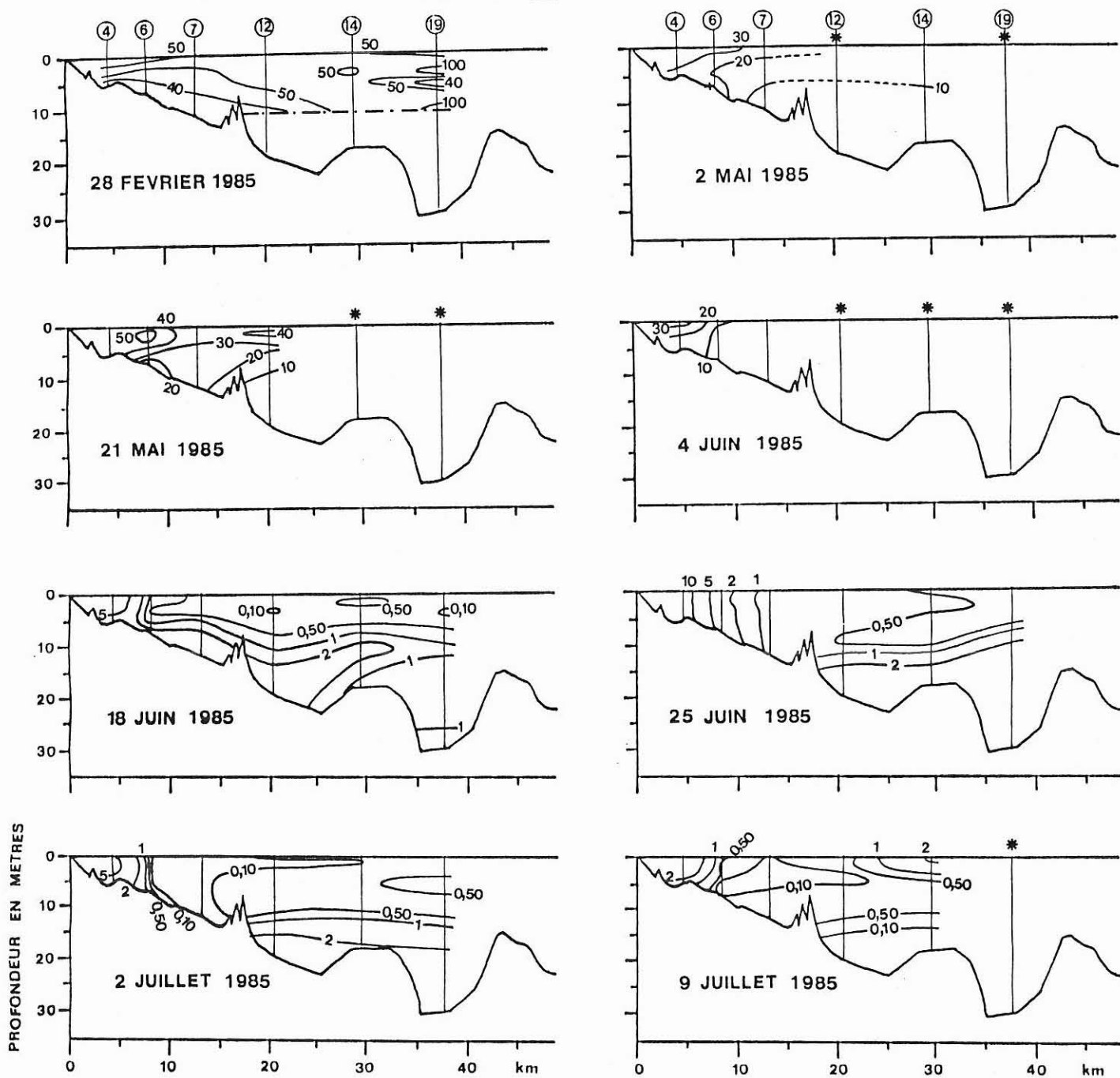


Fig. 20 - Teneurs en nitrates, exprimées en  $\mu\text{mol.l}^{-1}$ , le long de la radiale D (cf. fig.12), lors des différentes campagnes de 1985.

\* station non échantillonnée.

## e) Nitrites (fig. 21)

Au sein du cycle de l'azote, les nitrites tiennent une place particulière : ils représentent les formes intermédiaires de l'oxydation de l'azote organique en nitrates.

Les nitrites sont habituellement présents dans l'eau de mer à de faibles concentrations : moins de  $1 \mu\text{mol.l}^{-1}$ .

Le 28 février, les teneurs les plus élevées sont trouvées à l'embouchure de la Vilaine ; dans le reste de la baie les concentrations sont sensiblement voisines de  $0,50 \mu\text{mol.l}^{-1}$ .

Début mai, on observe une légère chute des teneurs en nitrites probablement par suite d'une dilution des eaux de la baie par des eaux plus océaniques pauvres.

Le 21 mai, au moment du bloom à diatomées, les concentrations en nitrites ont augmenté vraisemblablement à la suite d'un enrichissement de la baie par la crue de la Loire (cf. fig. 16).

Par la suite les teneurs vont chuter lentement, probablement du fait de l'accélération des mécanismes d'oxydation des nitrites en nitrates avec l'augmentation de la température de l'eau de mer.

## f) Phosphates (fig.22)

Les orthophosphates représentent la forme minérale majoritaire du phosphore dissous dans l'eau de mer.

Le 28 février les teneurs en phosphates, des eaux superficielles de la baie qui ont été échantillonnées, sont voisines de  $1 \mu\text{mol.l}^{-1}$  ce qui est proche des valeurs trouvées en mer.

Les teneurs chutent début mai vraisemblablement pour les mêmes raisons que la chute des teneurs en nitrates (dilution des eaux de la baie et consommation par la pousse phytoplanctonique printanière).

Puis fin mai les teneurs augmentent probablement du fait des enrichissements de la baie par les eaux de la Loire en crue. Par la suite, la consommation du phytoplancton n'est plus compensée par des apports telluriques et les teneurs en phosphates chutent régulièrement pour atteindre, le 9 juillet, des valeurs très basses.

## g) Silicates (fig. 23)

La silice dissoute est un élément nutritif important pour le phytoplancton puisqu'elle entre dans la composition des frustules des diatomées pour plus de 60 % de leur fraction minérale (PARSONS et al., 1961).

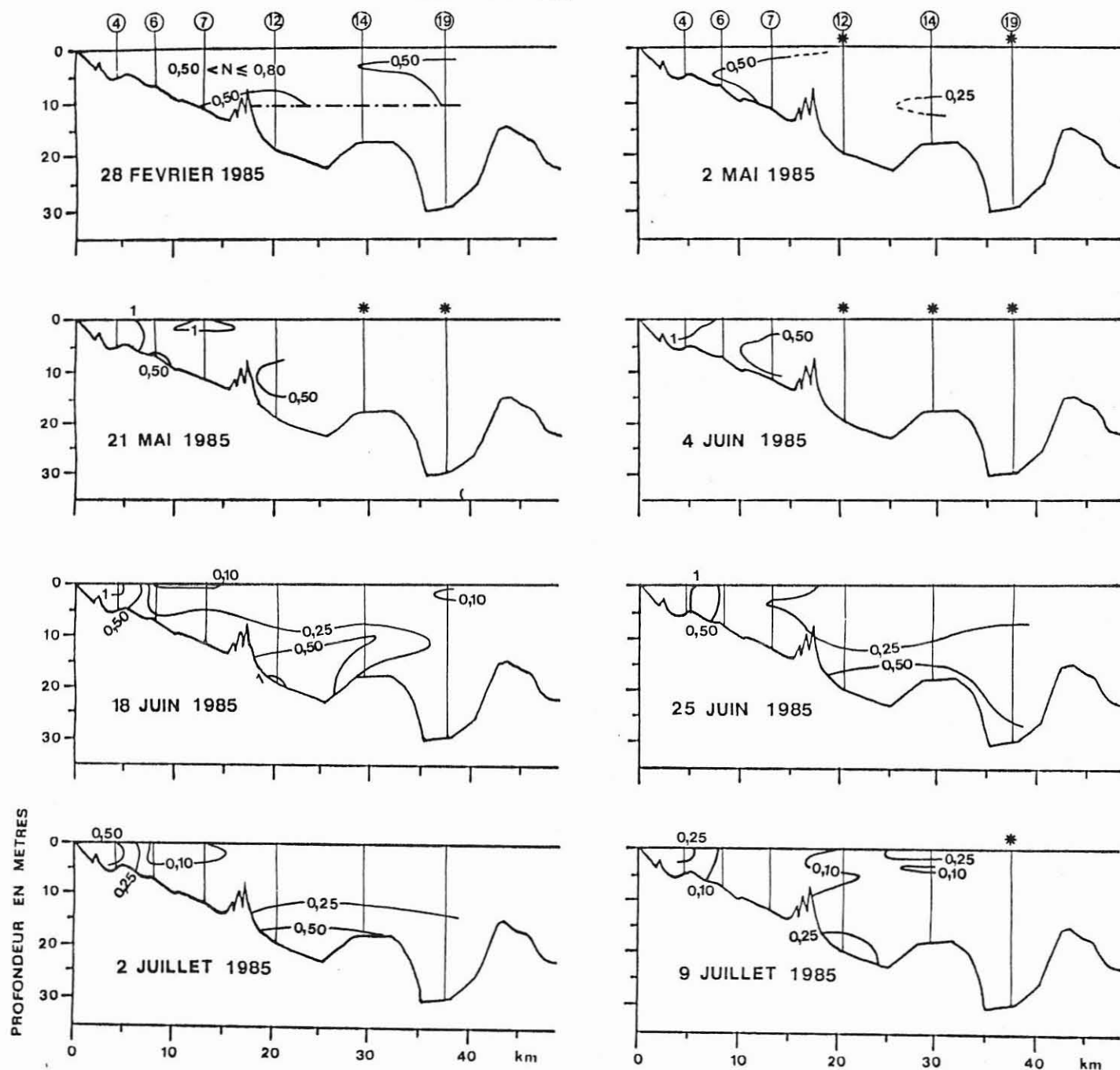
RADIALE  $\square$  D : NITRITES

Fig. 21 - Teneurs en nitrites, exprimées en  $\mu\text{mol.l}^{-1}$ , le long de la radiale D (cf. fig. 12), lors des différentes campagnes de 1985.  
\* station non échantillonnée.

## RADIALE D : PHOSPHATES

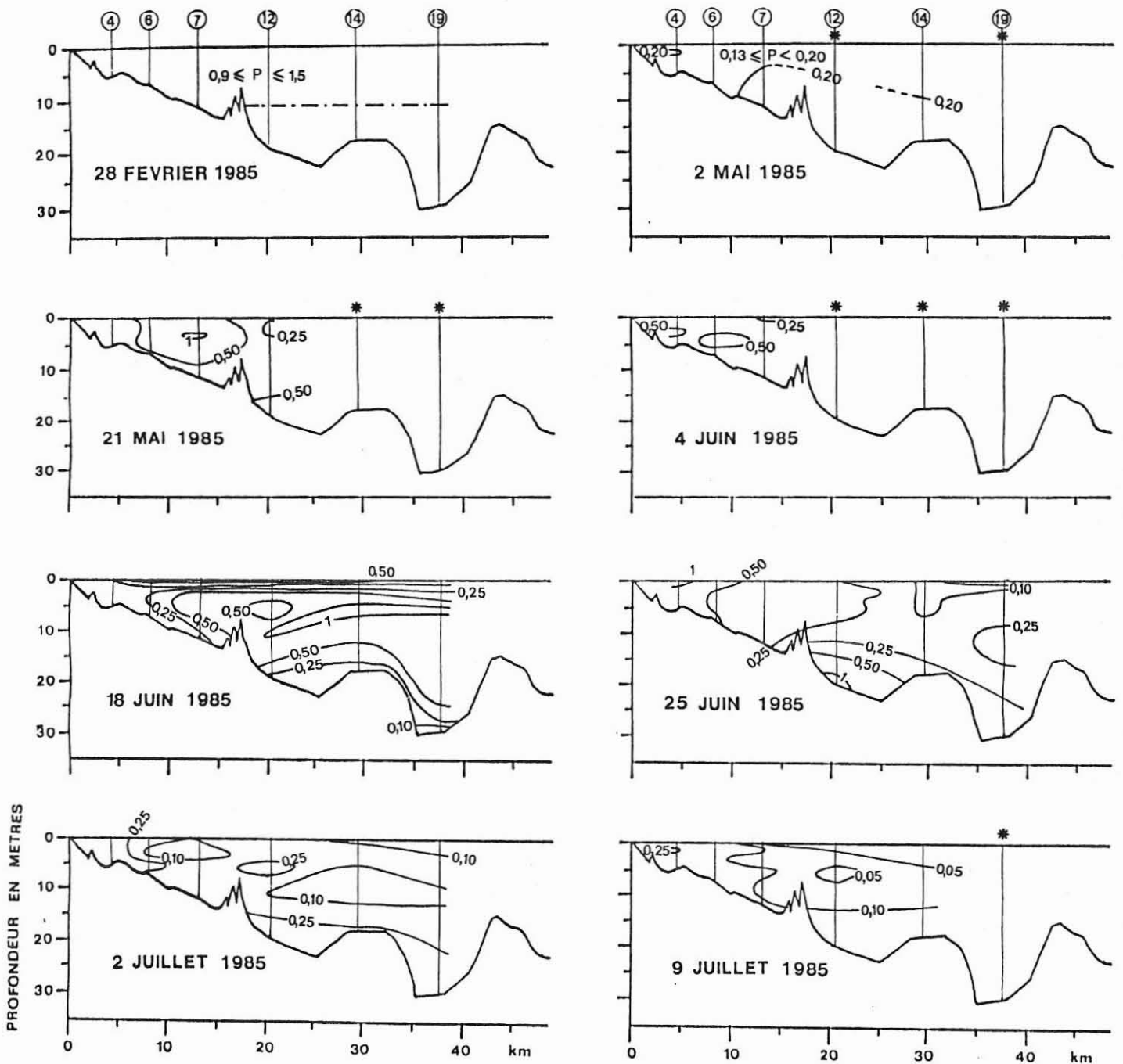


Fig. 22 - Teneurs en phosphates, exprimées en  $\mu\text{mol.l}^{-1}$ , le long de la radiale D (cf. fig. 12), lors des différentes campagnes de 1985.

\* station non échantillonnée.



RADIALE D : SILICATES

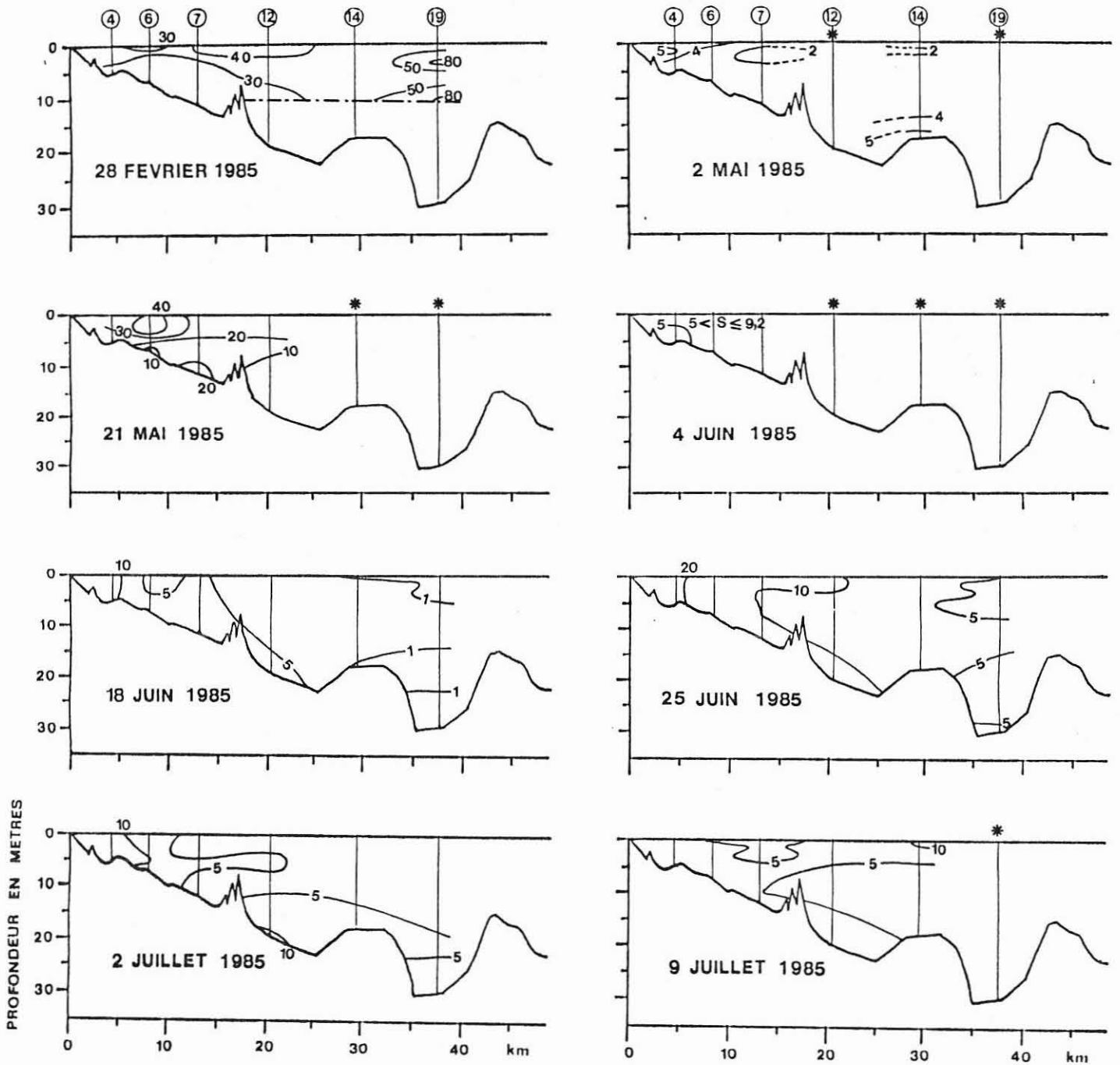


Fig. 23 - Teneurs en silicates, exprimées en  $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ , le long de la radiale D (cf. fig. 12), lors des différentes campagnes de 1985.  
\* station non échantillonnée.

Les eaux océaniques ont des teneurs en silicates basses (moins de  $1 \mu\text{mol.l}^{-1}$ ) tandis que les eaux côtières, enrichies par les apports fluviaux, peuvent avoir des teneurs extrêmement élevées (plus de  $100 \mu\text{mol.l}^{-1}$ ).

Lors de la campagne du 28 février les teneurs en silicates sont très élevées dans toute la baie avec des maximums au niveau de la station 19 qui est sous l'influence de la Loire.

Le 2 mai les teneurs ont chuté notablement ce qui indique que le développement phytoplanctonique printanier s'est bien déroulé même s'il ne s'est pas manifesté par une coloration marron intense des eaux superficielles comme ce fut le cas à la mi-mars 1983 et début avril 1984. Rappelons toutefois que si, du fait de conditions hydroclimatiques particulières, la mer n'a pas été colorée ce ne fut pas le cas des eaux calmes des bassins portuaires de Saint-Nazaire qui le 22 mars étaient fortement colorées en marron par un bloom de la diatomée Skeletonema costatum.

La situation au 21 mai fait apparaître un enrichissement des eaux de la baie vraisemblablement du fait de la crue de la Loire (cf. fig. 16).

Le bloom à diatomées de mai conduit à une chute des teneurs en silicates visible le 4 juin et qui va se poursuivre avec le bloom suivant détecté le 18 juin.

A partir du 25 juin on assiste à une légère remontée des teneurs qui demeurent pratiquement stables lors des deux campagnes de juillet.

La légère remontée des teneurs à la fin juin est difficilement explicable dans la mesure où seuls les nitrates montrent une tendance comparable (cf. fig. 20). L'explication avancée pour les nitrates (début de reminéralisation surtout dans le fond de la baie) peut également être envisagée pour les silicates sans cependant donner entière satisfaction.

#### IV - CONCLUSIONS

En 1985, le développement printanier de la diatomée Skeletonema costatum, processus normal se déroulant chaque année en mars-avril alors que la durée journalière d'éclairement devient importante et que la température de l'eau de mer avoisine 9-10°, ne s'est pas manifesté, en baie de Vilaine, sous la forme d'une intense coloration marron des eaux superficielles. En fait ce développement s'est produit mais sans manifestation apparente en mer car si certains facteurs hydroclimatiques ont été favorables au développement des diatomées, notamment :

- l'élévation des températures extrêmes de l'air fin mars-début avril ;
- l'insolation excédentaire pendant les trois premiers mois de l'année ;
- la faible agitation de la mer durant la dernière décade de février et la première de mars ;
- les faibles coefficients de marées de début, mi et fin mars ainsi que de mi-avril : 31, 36, 31 et 35 ;
- la forte pluviosité de la dernière décade de mars et de la première d'avril ;
- les dessalures des eaux superficielles de la baie consécutives aux crues successives de la Vilaine entre la mi-janvier et la mi-avril
- les concentrations élevées en sels nutritifs des eaux surtout en mars-avril ;

d'autres ont été particulièrement défavorables et parmi eux :

- les températures extrêmement basses de l'air durant les trois premiers mois de l'année ; il en est résulté un déficit de 1 à 2° des températures de l'eau de mer par rapport aux valeurs observées les années précédentes ;
- les vents qui ont été surtout modérés et forts du 11 mars au 15 avril ;
- l'état de la mer qui a été surtout agitée, forte ou très forte du 11 mars au 4 avril.

Il en est résulté que la mer a toujours été agitée soit par le vent, soit par les marées de vives-eaux lorsque les autres facteurs étaient favorables aux proliférations phytoplanctoniques printanières. La

pousse printanière des diatomées s'est tout de même produite mais dans toute la tranche d'eau et sans coloration intense des eaux de surface. Par contre, cette multiplication a été visible dans les bassins portuaires de Saint-Nazaire qui, le 22 mars présentaient une coloration marron provoquée par un bloom de la diatomée Skeletonema costatum ; à la différence de la pleine mer, les bassins portuaires ont constitué un milieu calme sans agitation.

Ainsi, le bloom printanier 1985 ne s'est pas manifesté en mer par l'intense coloration des eaux de surface car les conditions hydroclimatiques n'ont pas été favorables à la stabilité des masses d'eau durant une période suffisamment longue. Les années précédentes, ce bloom s'était produit à la mi-mars 1983 et début avril 1984. Rappelons que ces proliférations ne présentent pas, du fait des températures peu élevées de l'eau et de la fugacité du phénomène, des risques de désoxygénation des eaux de fond comme lors des blooms estivaux.

Par la suite un bloom estival précoce s'est manifesté dès le début mai avec la pullulation de petites diatomées (Thalassiosira sp. et Rhizosolenia delicatula). Ce bloom a atteint son maximum vers la mi-mai, puis a diminué légèrement pour atteindre à nouveau des valeurs élevées vers le 18 juin et enfin a régressé lentement par la suite.

Cette efflorescence à petites diatomées a été favorisée par différents facteurs dont :

- la pluviosité importante entre le 13 mars et le 14 avril (118 mm d'eau) ;
- l'élévation de la température de l'air du 24 mai au 6 juin ;
- la dominance des vents calmes, faibles et modérés en mai et juin ;
- la faible agitation de la mer durant la dernière décade d'avril et jusqu'à la fin de l'été avec une période particulièrement favorable à la stabilité des eaux pendant les 2ème et 3ème décades de mai ;
- la dessalure des eaux superficielles de la baie consécutive aux importants débits de la Vilaine courant avril et à la crue exceptionnelle de la Loire en mai ;
- les concentrations encore élevées en sels nutritifs en mai et début juin.

Ce bloom à diatomées disparaîtra entre le 18 et le 25 juin vraisemblablement du fait de la chute du stock de sels nutritifs du milieu qui a été en partie consommé par le phytoplancton, mais aussi, par suite de la disparition de la stratification thermique des eaux sous l'influence

du vent. En effet, du 5 au 19 juin, l'abondance des vents calmes et faibles a entraîné une certaine stabilité des masses d'eau, permettant ainsi l'installation d'une stratification thermique et favorisant la multiplication du phytoplancton dans la baie.

Puis, du 20 au 26 juin, les vents faibles et modérés, abondants et constants des secteurs 200 à 280°, ont contribué à la disparition du régime stratifié établi ; il en est résulté une homogénéisation des eaux de la baie provoquant une dilution du phytoplancton et des sels nutritifs par des eaux plus océaniques pauvres.

Enfin, du 27 juin au 11 juillet, les vents calmes et les vents faibles de terre ont été abondants, favorisant alors la stabilité des masses d'eau et le rétablissement d'une stratification - surtout thermique et accessoirement haline - des eaux dans la baie. Mais les teneurs extrêmement basses en sels nutritifs n'ont pas permis momentanément le redémarrage d'un bloom phytoplanctonique.

En ce qui concerne l'incidence économique du phénomène Dinophysis on peut dire qu'elle a été nulle en 1985 puisqu'aucun cas d'intoxication par les moules n'a été signalé ; toutefois Dinophysis sacculus a bien été présent dans l'eau à partir du mois d'avril avec trois périodes à plus fortes densités : début mai, mi-juin et mi-juillet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITEES

- ALZIEU (C.), LASSUS (P.), MAGGI (P.), POGGI (R.) et RAVOUX (G.), 1983.- Contamination des coquillages des côtes bretonnes et normandes par une algue unicellulaire toxique (Dinophysis acuminata).- Rapport technique I.S.T.P.M., N° 4, 33 p.
- ANDRESEN LEITAO (M.), LASSUS (P.), MAGGI (P.), LE BAUT (C.), CHAUVIN (J.) et TRUQUET (P.), 1983.- Phytoplancton des zones mytilicoles de la baie de Vilaine et intoxication par les coquillages.- Rev. Trav. Inst. Pêches Marit., 46 (3) 233-262.
- BENDSCHNEIDER (K.) and ROBINSON (R.J.), 1952.- A New spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water.- J. Mar. Res. 11, 87-96.
- DE NADAILLAC (G.) et BRETON (M.), 1986.- Les courants en baie de Vilaine : présentation et interprétation des données.- Rapport IFREMER, DERO-85.08-EL, 73 p.
- GRASSHOF (K.), 1969.- A simultaneous multiple channel system for nutrient analyses in seawater with analog and digital data record. Technicon International congress. June 4-6, Chicago, 133-145.
- GRIMANDI (G.), MAGGI (P.) et CORMIER (M.), 1983.- Phytoplancton des zones mytilicoles de la baie de Vilaine et intoxication par les coquillages : analyses bactériologiques.- Rev. Trav. Inst. Pêches Marit., 46 (3) 263-266.
- LASSUS (P.), MARTIN (A.G.), MAGGI (P.), BERTHOME (J.P.), LANGLADE (A.) et BACHERE (E.), 1983 (1985).- Dinoflagellés toxiques sur les côtes françaises pendant l'été 1983.- Extension du dinoflagellé Dinophysis acuminata en Bretagne sud et conséquences pour les cultures marines.- Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 17 (3 et 4) 122-133.
- LASSUS (P.), MARCAILLOU-LE BAUT (C.) et MAGGI (P.), 1984.- Analyse des conditions ayant provoqué une efflorescence de Dinophysis acuminata en baie de Vilaine (été 1983 - France).- C.I.E.M./C 4, Special meeting.
- LASSUS (P.), MAGGI (P.), TRUQUET (I.), TRUQUET (P.), BARDOUIL (M.) et LARRAZABAL (M.), 1986.- Distribution de Dinophysis cf. acuminata et des espèces associées, en baie de Vilaine, pendant l'été 1985.- Rapport IFREMER, DERO-86.02-MR, 56 p.
- LORENZEN (C.J.), 1966.- A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration.- Deep-Sea Res., 13, 223-227.

- MAGGI (P.), 1982.- Les mortalités massives de poissons en baie de Vilaine (juillet 1982).- Rapport I.S.T.P.M., 16 août 1982, 19p.
- MAGGI (P.), 1983.- Alerte "Eaux brunes des 17 et 18 mars 1983".- Premiers résultats des analyses effectuées.- Rapport à diffusion restreinte n° 1, mars 1983, 13 p.
- MAGGI (P.), 1984.- Conditions hydroclimatiques et apparitions d'eaux colorées en baie de Vilaine, durant l'été 1983.- Bull. Soc. Sc. Nat. Ouest de la France, Nouvelle Série, 6 (1), 43-56.
- MAGGI (P.), SOULARD (L.), TRUQUET (I.), et CHAUVIN (J.), 1984.- Facteurs hydroclimatiques et apparitions d'eaux colorées, en baie de Vilaine, durant l'année 1983.- Rapport technique ISTPM n° 8, 45 p.
- MAGGI (P.), MASTOURI (A.) et SOULARD (L.), 1985.- Analyse des facteurs climatiques susceptibles de jouer un rôle dans les apparitions d'eaux colorées en baie de Vilaine, durant l'année 1982.- Rapport IFREMER DERO-85.01-MR, 28 p.
- MAGGI (P.), MASTOURI (A.), TRUQUET (I.), SOULARD (L.), CADIOU (Y.), LE PAUL (C.) et GIBOIRE (L.), 1986.- Facteurs hydroclimatiques et apparitions d'eaux colorées, en baie de Vilaine, durant l'année 1984.- Rapport IFREMER, DERO-86.06-MR, 65 p.
- MURPHY (J.) and RILEY (J.P.), 1962.- A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters.- Anal. Chim. Acta 27, 31-36.
- PARSONS (T.R.), STEPHENS (K.) and STRICKLAND (J.D.H.), 1961.- On the chemical composition of eleven species of marine phytoplankton.- J. Fish. Res. Bd. Can. 18 (6), 1001-1025.
- PLANTE-CUNY (M.R.), 1978.- Pigments phytosynthétiques et production primaire des fonds meubles néritiques d'une région tropicale (Nosy-Bé, Madagascar).- Travaux et Documents de l'O.R.S.T.O.M., n° 96, p. 96 et 97.
- WOOD (E.D.), ARMSTRONG (F.A.J.) and RICHARDS (F.A.), 1967.- Determination of nitrate in sea water by cadmium copper reduction to nitrite.- J. Mar. Biol. Ass. U.K. 47, 23-31.
- YENTSH (C.S.) et MENZEL (D.W.), 1963.- A method for the determination of phytoplankton chlorophyll.- Deep-Sea Res., 10, 221-231.