

Centre de Nantes
BP 1049
44037 NANTES CEDEX 01

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DES RECHERCHES
OCEANOGRAPHIQUES.
DEPARTEMENT "MILIEU ET RESSOURCES"

AUTEUR (S) : MER (G.)		CODE : N° <u>DERO-86.08-MR</u>
TITRE SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES SUR LES FACTEURS POUVANT INFLUENCER LE DÉVELOPPEMENT DES BLOOMS DE DINOFLAGELLES TOXIQUES. TRAITEMENT MATHÉMATIQUE DES DONNÉES HYDROLOGIQUES ACQUISES EN BAIE DE VILAINE EN 1984 et 1985.		date : 19.09.86 tirage nb : Nb pages : 72 Nb figures : 22 Nb photos : /
CONTRAT (intitulé) N° _____		DIFFUSION libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> confidentielle <input type="checkbox"/>

RÉSUMÉ

Dans cette étude, nous avons effectué, d'une part une synthèse des connaissances sur les facteurs pouvant contribuer aux blooms de Dinoflagellés, toxiques ou non, et, d'autre part une analyse des données hydrologiques de la baie de Vilaine, acquises en 1984 et 1985, au moyen de deux outils mathématiques :

- 1 - La régression linéaire multiple.
- 2 - La méthode de groupement par classification hiérarchique.

La première construit une équation qui vise à décrire un phénomène biologique tel qu'une prolifération d'organismes phytoplanctoniques. La seconde établit le degré de ressemblance entre les relevés et doit aboutir à la caractérisation de groupes de stations affines dans la baie de Vilaine. Parmi les partitions de mêmes stations le plus souvent retrouvées, celles du proche estuaire externe correspondent aux densités maximums de Dinophysis, pour la période mai-juillet.

ABSTRACT

In this study, on one side, we have made a synthesis of the knowledge about the factors which could contribute to toxic or not dinoflagellates blooms. On the other side, we have analysed hydrological data obtained from Vilaine bay in 1984 and 1985, by mean of two mathematical tools :

- 1 - The multiple linear regression.
- 2 - The clustering method by hierarchic classification.

The first one uses an equation which aims to describe a biological phenomenon like phytoplankton blooms. The second one establishes the similarity degree between the plottings and must come to the characterization of groups of affinity stations in Vilaine bay. Among the partitions of some stations the more often found, these ones from the close external estuary correspond to the maximum densities in Dinophysis, during the period from may to july.

mots-clés : blooms, dinoflagellés toxiques, paramètres hydrologiques, analyse de régression multiple, analyse de groupement, densité de Dinophysis.

key words : blooms, toxic dinoflagellates, hydrological parameters, multiple regression analysis, clustering analysis, Dinophysis density.

© IFREMER - Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer, 1986.



IFREMER
1, Rue J.-Vilar - 34200 SÈTE
Laboratoire C. S. R. U.
05 67 74 26 67

Je tiens à exprimer mes plus sincères remerciements à :

M. ALZIEU, pour m'avoir accueilli dans son département : "Milieu et Ressources" et avoir mis à ma disposition les moyens nécessaires à la réalisation de cette étude.

M. LASSUS, Chef du Laboratoire qui m'a aidé, conseillé et soutenu pour mener à bien ce travail.

M. MAGGI, sans qui ce stage n'aurait pu se faire à l'IFREMER.

MM. CHEVALIER et LAUREC, qui ont éclairé mes difficultés de leurs précieux conseils.

Aux techniciens des laboratoires qui de près ou de loin, n'ont apporté leur aide.

Enfin, tout particulièrement aux secrétaires du département pour leur disponibilité à terminer ce travail.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

I - METHODOLOGIE

- 1 - SITUATION GEOGRAPHIQUE
- 2 - CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA ZONE D'ETUDE
- 3 - LOCALISATION DES STATIONS
- 4 - FREQUENCE DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENT
- 5 - STRATEGIES DE PRELEVEMENTS
- 6 - METHODES ANALYTIQUES
- 7 - SAISIE DES DONNEES. LES PARAMETRES PHYSICOCHEMISTIQUES RETENUS
 - a. Les logiciels utilisés pour la gestion et le traitement des données hydrologiques
 - b. Liste des fichiers de données

II - LES EFFLORESCENCES PHYTOPLANCTONNIQUES/LES BLOOMS DE DINOFLAGELLES

A - GENERALITES : LES DINOFLAGELLES DANS LE MILIEU MARIN

- 1 - POSITION SYSTEMATIQUE
- 2 - PLACE DANS LE RESEAU TROPHIQUE
- 3 - RELEVES DES EAUX COLOREES A DINOFLAGELLES SUR LE LITTORAL FRANCAIS
- 4 - LES CAUSES DES PHENOMENES D'EAUX COLOREES
- 5 - LES CONSEQUENCES POSSIBLES
 - a. Les effets des blooms de Dinoflagellés
 - b. Les mesures : Prévention et lutte contre les eaux rouges

B - ECOLOGIE PHYSIOLOGIQUE DES DINOFLAGELLES D'EAUX COLOREES

- 1 - GENERALITES SUR LEUR COMPORTEMENT RELATIF AUX FACTEURS PHYSIQUES
 - 1.1 - La température
 - 1.2 - La salinité
 - 1.3 - La lumière
- 2 - GENERALITES SUR LES SUBSTANCES POUVANT INFLUENCER LE DEVELOPPEMENT DES BLOOMS DE DINOFLAGELLES
 - 2.1 - Exigences nutritionnelles des Dinoflagellés
 - 2.1.1. Les besoins en azote
 - 2.1.2. Les sources de carbone
 - 2.1.3. Les besoins en phosphore
 - 2.2 - Les facteurs de croissance
 - 2.2.1. Les oligoéléments
 - 2.2.2. Les composés organiques aminés et leurs propriétés chélatrices

- 2.2.3. Les besoins en vitamines
- 2.2.4. Les substances biologiquement actives
- 2.2.5. Les substances inhibitrices ou activatrices
- 2.2.6. L'acide glycolique
- 2.2.7. Les hormones naturelles
- 2.2.8. Les agents de dispersion

3 - SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTS FACTEURS MIS EN CAUSE

III - ANALYSE DES DONNÉES HYDROLOGIQUES DE LA BAIE DE VILAINE,
ACQUISES EN 1984 et 1985

A - UNE ÉQUATION DE RÉGRESSION MULTIPLE POUR DÉCRIRE L'ABONDANCE DES EAUX EN PHYTOPLANCTON

1 - RAPPELS STATISTIQUES

- 1.1 - La régression linéaire multiple
- 1.2 - La régression multiple progressive ou pas à pas
- 1.3 - Le carré moyen des écarts résiduels et l'utilisation du test F

2 - ANALYSE DE RÉGRESSION MULTIPLE SUR LES DONNÉES HYDROLOGIQUES DE LA BAIE DE VILAINE

- 2.1 - Les propriétés du logiciel
- 2.2 - Les résultats de l'analyse de régression linéaire multiple
 - 2.2.1. Equations de régression multiple sur les données de toute la colonne d'eau
 - 2.2.2. Equations de régression multiple sur les données de surface
 - 2.2.2.1 - Caractéristiques des équations de régression retenues
 - 2.2.2.2 - Discussion
 - a. Prévision sur un mois
 - b. Prévision d'une année à l'autre

B - ÉTUDE DES SIMILITUDES ENTRE LES STATIONS DE LA BAIE DE VILAINE PAR UNE MÉTHODE DE CLASSIFICATION

1 - GÉNÉRALITÉS SUR LES MÉTHODES DE GROUPEMENT

- 1.1 - Objectif de l'analyse
- 1.2 - Le coefficient de distance
- 1.3 - Le groupement des objets sans espace de référence
- 1.4 - Le dendrogramme

2 - CLASSIFICATION HIÉRARCHIQUE SUR LES STATIONS DE LA BAIE DE VILAINE EN 1984 et 1985

- 2.1 - Les données de surface
- 2.2 - L'analyse portée sur le dendrogramme

3 - RÉSULTATS DE L'ANALYSE

- 3.1 - Les facteurs prépondérants dans le regroupement des stations
- 3.2 - Le "découpage" de la baie le plus souvent retrouvé en 1984

- 3.3 - Le "découpage" de la baie le plus souvent retrouvé en 1985
- 3.4 - Un recouplement entre les deux années et un modèle type de "découpage"

- 4 - L'HYDROLOGIE POUR EXPLIQUER CE "DECOUPAGE" DE LA BAIE
 - 4.1 - L'effet température
 - 4.2 - L'effet salinité
 - 4.3 - L'effet sels nutritifs

- 5 - La distribution de Dinophysis dans le système Loire-Vilaine

CONCLUSION

INTRODUCTION

Les eaux colorées à Dinoflagellés toxiques en milieu marin apparaissent le plus souvent comme des perturbations des écosystèmes néritiques.

STEIDINGER (1975) considère ces "blooms" phytoplanctoniques comme des phénomènes naturels : "Un aspect de l'écosystème qui ne doit pas être autrement compris que comme un déséquilibre dans la nature". Les causes de ces efflorescences exceptionnelles sont normales. Ce sont plutôt leurs conséquences qui sont inhabituelles (TETT, 1984). En effet, les masses d'eaux affectées par la présence considérable de ces organismes phytoplanctoniques présentent des propriétés toxiques pour la faune marine, pélagique ou benthique.

En baie de Vilaine (Bretagne sud), il a été possible d'associer étroitement, soit des eaux colorées estivales, soit des "blooms" de Dinoflagellés aux nombreux cas d'intoxication alimentaire survenus parmi les consommateurs de moules, que ce soit en 1978 ou en 1980, 1983 et 1984. Il en a été de même pour les mortalités massives d'animaux marins en 1982.

Lors des perturbations les plus importantes, les symptômes consistaient en des troubles diarrhéiques chez les personnes ayant consommé des coquillages, tandis que des cas d'anoxie entraînant l'asphyxie des poissons et invertébrés démersaux ont été observés en 1982. De telles situations sont dramatiques pour la pêche locale, mais surtout paralysent le commerce des coquillages dans une zone économiquement importante pour la production mytilicole (PIERRE, 1984).

Le programme de surveillance de la baie de Vilaine, lancé en 1982 par l'IFREMER, s'inscrit dans ce cadre et repose sur un suivi rigoureux de la qualité des eaux dans ce secteur. Des analyses quantitatives et qualitatives du phytoplancton sont menées de front avec l'étude des paramètres physico-chimiques. L'élaboration d'un système de contrôle de la salubrité des coquillages (moules et huîtres) est désormais standardisé par le biais des tests toxicologiques (YASUMOTO, 1978), tandis qu'une contamination éventuelle par des espèces de Dinoflagellés toxiques peut être dépistée par l'étude parallèle des contenus stomacaux de moules et des échantillons d'eau.

Cependant, les eaux colorées constituent un pôle d'intérêt croissant appelant à un élargissement des connaissances en planctologie et à une familiarisation de leurs effets économiques et sociaux (IWASAKI, 1979). Si une approche générale basée sur l'étude hydrologique et sur les principes écophysologiques des algues n'aboutit pas, il est nécessaire, pour élucider les mécanismes impliqués dans le développement des blooms de Dinoflagellés, d'affiner l'analyse et d'explorer d'éventuelles synergies.

Dans cette étude, nous nous sommes attachés à effectuer une synthèse des connaissances sur les facteurs pouvant contribuer aux blooms de Dinoflagellés, toxiques ou non. A cette recherche essentiellement bibliographique, nous apporterons un aperçu des possibilités de l'outil informatique à l'analyse des données hydrologiques de la baie de Vilaine acquises en 1984 et 1985. Les paramètres physico-chimiques analysés sur cinq niveaux et plus seront intégrés sur des critères statistiques et non pas d'une manière arbitraire, dans la construction d'une équation. Elle vise à décrire un phénomène biologique comme une prolifération d'organismes phytoplanctoniques.

TETT (1984), souligne la légitimité de l'utilisation de la concentration en chlorophylle a, comme une mesure de l'intensité d'un bloom. La teneur des eaux en pigments chlorophylliens sera ainsi la variable retenue pour décrire l'abondance des eaux en phytoplancton. Les propriétés de la régression linéaire multiple progressive sont mises à profit pour mettre en évidence la liaison d'une variable - la teneur en chlorophylle a - avec un ensemble de variables explicatives : les paramètres physico-chimiques mesurés en baie de Vilaine.

A l'issue de ce travail, nous avons recherché des similitudes entre les stations de prélèvements, afin d'établir le degré d'affinité entre les relevés, c'est-à-dire de mesurer la ressemblance entre les objets de l'étude (stations) par rapport aux variables qu'ils contiennent (descripteurs). Cette analyse de type Q, représentée graphiquement par un dendrogramme, un outil désormais classique en méthode de classification hiérarchique, devait aboutir à la caractérisation de groupes de stations affines dans la baie de Vilaine.

I - METHODOLOGIE

1 - SITUATION GEOGRAPHIQUE

La baie de Vilaine (figure n° 1) est située sur la côte sud de la Bretagne entre le golfe du Morbihan et l'estuaire de la Loire. Les données hydrologiques ont été obtenues à partir de prélèvements effectués en 20 stations réparties dans la baie.

2 - CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA ZONE D'ETUDE

C'est un écosystème néritique implanté en zone estuarienne et directement soumis aux influences océaniques. La bathymétrie assez peu prononcée, est marquée par des hauts fonds disposés suivant un axe : presqu'île de Quiberon, pointe du Croisic et passant par les îles de Houat-Hoëdic et le plateau du Four. La sédimentologie de la baie indique un gradient granulométrique sable/vase, depuis l'embouchure de la Vilaine jusque vers le large. Il a la particularité de témoigner d'une évolution au cours du temps sous l'influence des apports alluvionnaires du fleuve (figure n° 3). Adossée à un bassin versant d'une superficie notable (10 800 km²), cette dépression marginale sud armoricaine reçoit des apports en eau douce non négligeables, alimentés par un réseau hydrographique qui draine les nitrates d'origine agricole, les phosphates rejetés surtout par les agglomérations et toutes les substances telluriques contenues dans les eaux de ruissellement.

3 - LOCALISATION DES STATIONS (figure 2)

De part leur distribution géographique certaines stations sont directement sous l'influence des apports de la Vilaine tandis que d'autres sont affectées par ceux de la Loire (MASTOURI, 1986).

4 - FREQUENCE DES CAMPAGNES DE PRELEVEMENTS

Du point de vue périodicité temporelle, les sorties en mer pour le prélèvement des échantillons, se sont réalisées en période de mortes eaux et 2 heures de part et d'autre de la basse mer. La fréquence des campagnes de prélèvement est de une à deux fois par mois au printemps, de deux à trois fois par mois en été et ramenée à une seule sortie pour la période hivernale (tableau n°1, annexe 1). Comme tout plan d'échantillonnage pensé comme une question posé au milieu (FRONTIER, 1983), celui du programme de surveillance de la baie de Vilaine s'est dressé en fonction d'un certain type de préoccupations, auxquelles l'IFREMER souhaiterait apporter une réponse. L'élaboration de campagnes de prélèvement répond aux nécessités d'un suivi des conditions hydrologiques et de l'évolution des populations phytoplanctoniques, particulièrement des Dinoflagellés et plus précisément du genre Dinophysis.

5 - STRATEGIES DE PRELEVEMENTS

Pour chacune des stations échantillonnées, la profondeur maximale est enregistrée et les prélèvements d'eau effectués en surface, à - 1 m, - 3 m, - 5 m et tous les 10 mètres pour les plus profondes ainsi qu'au voisinage du

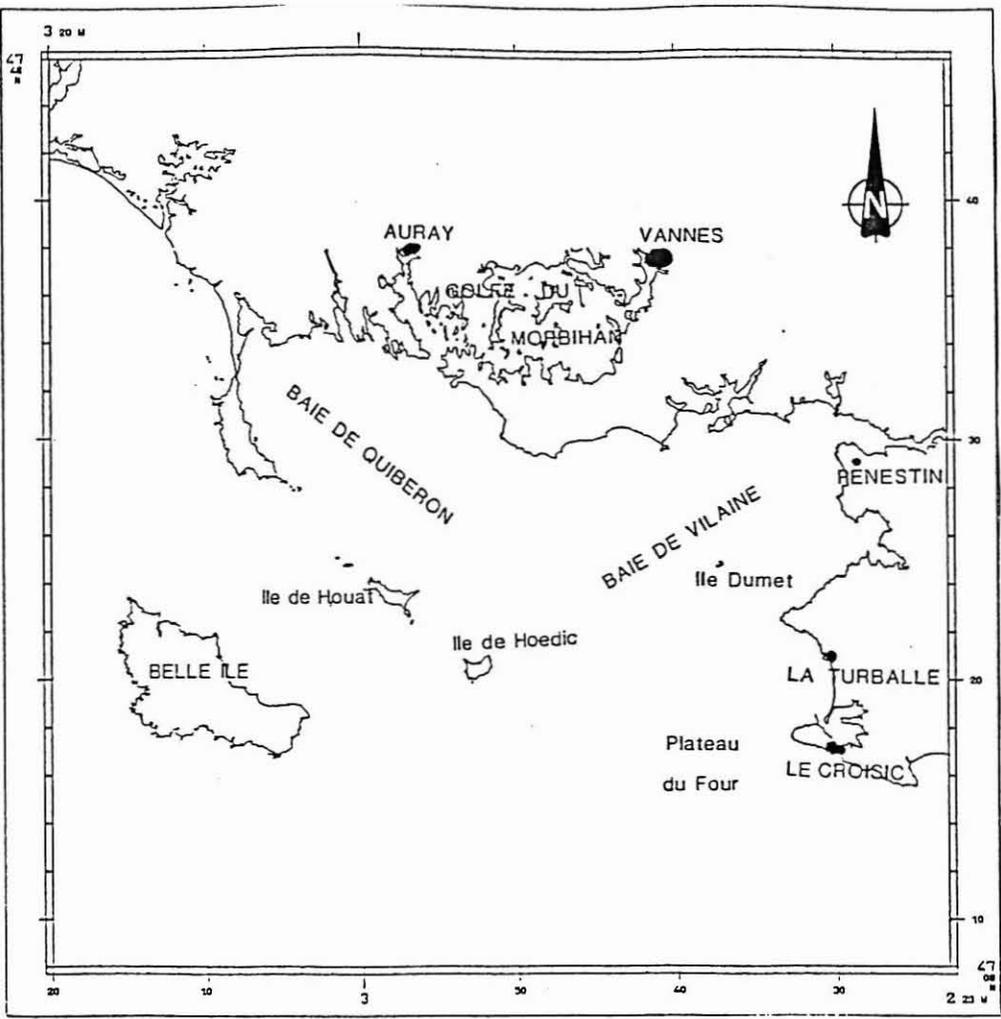


Figure n° 1 : Situation géographique de la baie de Vilaine.

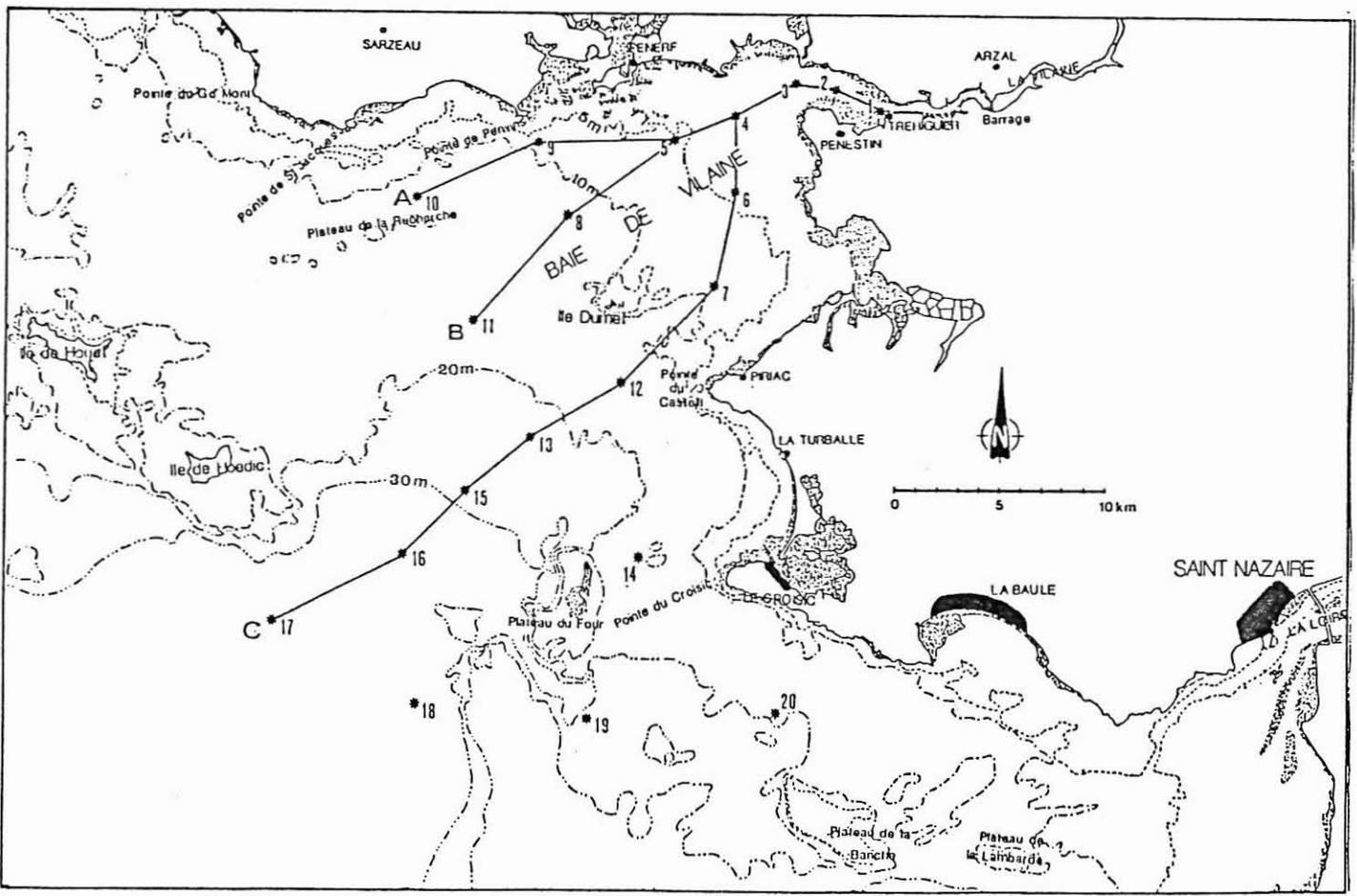


Figure n° 2 : Localisation des stations de Prélèvements et des radiales d'études, en 1984 et 1985.

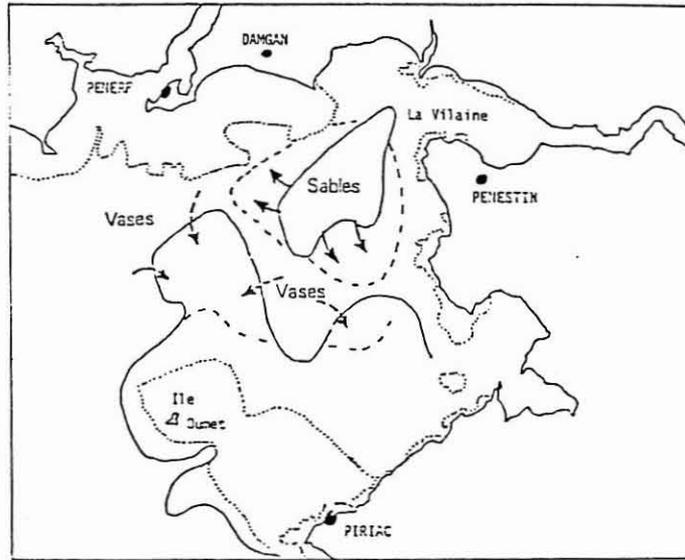


Figure n°3 : Evolution des fonds meubles de la baie de Vilaine entre 1962 et 1985. (LE BRIS, 1985.)

Limites des vases et des sables en 1962	———
en 1985	-----
Limites des zones rocheuses
Envasement	----->
En sablement	———>

fond. La bathymétrie maximum enregistrée au large, avoisine les 45 mètres. Pour la technique d'échantillonnage, des bouteilles à renversement de type Tsurumi d'une capacité de 1,3 l, ont été utilisées pour prélever l'eau.

6 - METHODES ANALYTIQUES

La totalité des analyses à réaliser se fait au laboratoire et permet de connaître la salinité, les concentrations en sels nutritifs, les teneurs en matières en suspension et les quantités de chlorophylle. L'enregistrement de la température est immédiat. Les méthodes adoptées pour chacune de ces analyses sont récapitulées dans le tableau 2 (annexe 1).

7 - SAISIE DES DONNEES. LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES RETENUS

Destinées aux traitements mathématiques et aux rapidités de manipulation par l'outil informatique, les données hydrologiques ont été saisies par des logiciels de gestion des informations et stockées dans un fichier global appelé LOIREVIL. En parallèle les données météorologiques fournies par le Centre Départemental de Nantes-Château Bougon et le sémaphore de l'île d'Yeu étaient groupées dans deux fichiers METVENT et METPLUIE.

Cependant en cours de traitements, l'inadéquation de certains logiciels et leur substitution par des programmes statistiques mieux élaborés auront nécessité la resaisie totale de l'ensemble des données hydrologiques et la constitution de nouveaux fichiers.

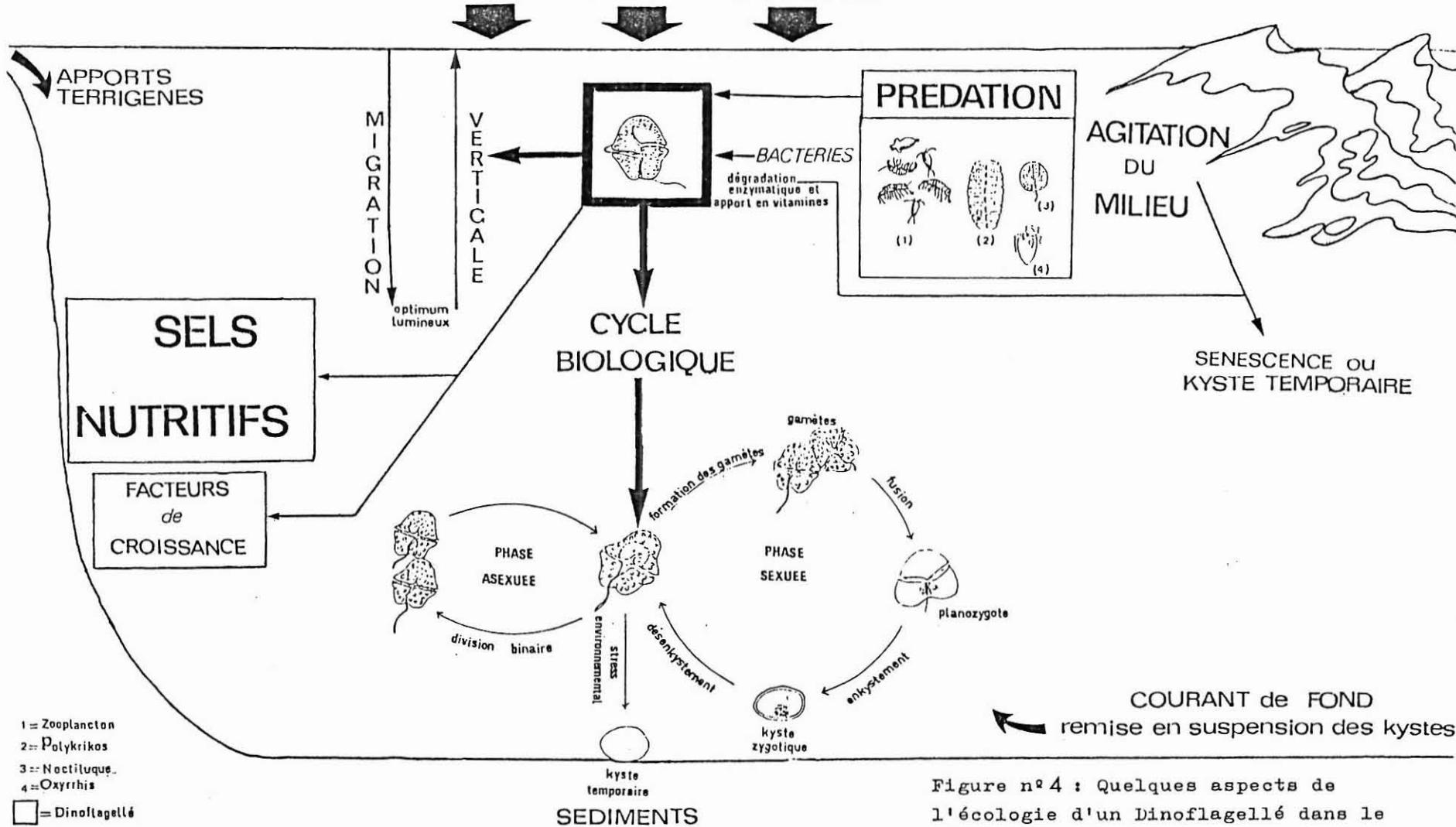
a. Les logiciels utilisés pour la gestion et le traitement des données hydrologiques

L'informatique est une discipline où la technique évolue très vite et investit de nouveaux domaines (BEUCHER - LE MAGUERESSE, 1986). Pour traiter des calculs et des formulations mathématiques complexes, les programmes se veulent de plus en plus performants afin de satisfaire les demandes exigeantes. Les nôtres allaient dans le sens où il s'avérait indispensable de disposer d'un programme de régression linéaire multiple progressive - méthode ascendante ou descendante -. Les traitements en analyse statistique multidimensionnelle du logiciel PROF utilisé à ce jour se révélaient frustrantes par une lacune de ce type, alors qu'un autre logiciel STAT I.T.C.F répondait à nos sollicitations. Toutefois il aura été nécessaire de se munir d'un logiciel complémentaire pour aboutir à la réalisation d'une classification hiérarchique et à la construction des dendrogrammes. Le logiciel L.E.A.S nous a fourni ces résultats graphiques.

b. Liste des fichiers des données

Les données hydrologiques de 84 et de 85 ont été retenues pour les traitements et stockées dans les fichiers mensuels, bimensuels ou trimensuels selon la fréquence des campagnes de prélèvements, calquée sur l'époque de l'année. Pour chacun de ces lots de données, le nombre d'observations et de paramètres mesurés, varie. Chacun des 17 fichiers originaux a pour titre : "VILMOIS N", N allant généralement de 1 à 6 et les mois de mai à octobre pour 1984 et de mai à juillet pour 1985. Le tableau n°3 (annexe 1) indique précisément le contenu des fichiers, le nombre d'observations et les variables retenues.

ECLAIREMENT SOLAIRE



- 1 = Zooplancton
- 2 = Polykrikos
- 3 = Nectiluque
- 4 = Oxyrrhis
- = Dinoflagellé

Figure n° 4 : Quelques aspects de l'écologie d'un Dinoflagellé dans le milieu : Relations trophiques et effets de certains facteurs physiques.

Enfin, pour réaliser le groupement des stations affines de la baie de Vilaine, la sélection des données hydrologiques de surface a nécessité l'établissement de fichiers supplémentaires appelés "SURMOIS N". Ils ont été essentiellement traités par le programme d'analyse statistique multidimensionnelle de L.E.A.S.

II - LES EFFLORESCENCES PHYTOPLANCTONIQUES/LES BLOOMS DE DINOFLAGELLES

A - GENERALITES : LES DINOFLAGELLES DANS LE MILIEU MARIN

1 - POSITION SYSTEMATIQUE

Les Dinoflagellés sont des organismes végétaux microscopiques eucaryotes, généralement unicellulaires et appartenant au groupe des pyrophytophytes (GAYRAL, 1975). Ils dérivent d'un groupe fossile avec une espèce remontant au Silurien supérieure (WALKER L.M. ; dans STEIDINGER et WALKER, 1983). Actuellement ce groupe est diversifié et environ 1 000 à 1 500 espèces y ont été répertoriées.

2 - PLACE DANS LE RESEAU TROPHIQUE

Les Dinoflagellés occupent avec les Diatomées le premier maillon du réseau trophique. Une suffisance en éléments nutritifs leur permettra d'atteindre une densité d'organismes élevée. Le plus souvent, c'est au cours de l'été que les concentrations cellulaires maximums sont enregistrées, période où paradoxalement, les sels minéraux sont à leur niveau le plus bas. Une croissance maintenue dans de telles conditions nutritionnelles justifie un métabolisme plus lent des Dinoflagellés et confirme le principe de leurs plus faibles exigences en éléments nutritifs (GRAN, 1926-1927 ; dans RYTHER, 1955). Ils peuvent être directement soumis à l'intervention de prédateurs tels que d'autres Dinoflagellés comme Noctiluca, Oxyrrhis et Polykrikos (MARGALEF, 1956 ; BALECH et FERNANDO, 1964) ou bien des ciliés appartenant au groupe des tintinnidés, par exemple, le genre Favella (NEEDLER, 1949 ; dans LASSUS et al., 1980). Ils sont également la proie du zooplancton (figure n°4). Par sénescence, les cellules perdent leur mobilité et sédimentent sur le fond. Par brassage intense des eaux, par élévation ou abaissement soudain de la température, lumière ou salinité, elles rencontrent des conditions environnementales défavorables aux formes "mobiles", et une forme de résistance appelée "kyste temporaire" constitue alors une phase intermédiaire qui permettra la survie (WALKER L.M. dans STEIDINGER et WALKER, 1983). Cependant pour un nombre d'espèces de plus en plus grand, un kyste de longue durée : kyste hivernal a été mis en évidence, supposant un cycle biologique encore plus complexe.

3 - RELEVES DES EAUX COLOREES A DINOFLAGELLES SUR LE LITTORAL FRANCAIS

LASSUS et al. (1980) ont analysé les apparitions d'eaux colorées à Dinoflagellés répertoriées sur le littoral Manche-Atlantique français de 1975 à 1978 (figure n° 1 et tableau n°1, annexe 2). Puis une représentation synoptique des secteurs les plus touchés sur les côtes françaises, depuis 1975 à 1984, a été effectuée (BERTHOME et al. 1986) mais incluant également

les blooms de diatomées. L'année 1978 a été spectaculaire par l'ampleur de ces phénomènes ; des eaux rouges se manifestaient sur environ 70 km en face des côtes normandes. L'effet sensibilisant de ce bloom exceptionnel sur les observateurs potentiels a contribué à accentuer notablement la prise en considération de tels phénomènes biologiques jusqu'alors localisés, quand ils ne restaient pas inaperçus.

Pour les années 1983-1984 et 1985, les eaux colorées en baie de Vilaine ont été essentiellement provoquées par des diatomées. Les proliférations de Dinoflagellés et essentiellement de Dinophysis sont restées modestes (rarement plus de 10^4 cellules/litre - LASSUS et al. 1985-1986) et n'ont jamais décolorées les eaux.

4 - LES CAUSES DES PHENOMENES D'EAUX COLOREES

A l'échelle mondiale de nombreux travaux de suivi ont été menés sur les zones marines à haute fréquence d'apparition d'eaux colorées à Dinoflagellés. Ces études ont abouti à la caractérisation des facteurs discriminants dans les mécanismes de déclenchement des blooms (tableau n°1). Mais pour éviter l'amalgame eau colorée/Dinoflagellé/toxicité, il serait peut être bon d'essayer de résumer en un tableau quelques enchaînements simples de situation et leurs conséquences (tableau 2).

Initialement les démarches analytiques consistaient en une surveillance des paramètres hydrologiques. Puis les connaissances biologiques, écologiques et physiologiques des organismes responsables ont apporté une richesse considérable d'informations. Progressivement elles ont été intégrées dans les éléments prépondérants aux déclenchements des proliférations phytoplanctoniques. PINGREE et al. (1975) souligne l'intérêt de combiner les disciplines physiques et biologiques pour permettre une meilleure compréhension du développement des blooms en milieu marin. Alors que K. STEIDINGER (1975) résume d'un point de vue écologique, les trois aspects communs à l'apparition d'eaux colorées toxiques :

- une phase d'initiation des populations.
- une période de soutien par des conditions hydrologiques convenables.
- une maintenance et un transport de blooms par les forces hydrologiques et météorologiques.

Ainsi à l'évidence, une complexe conjugaison de facteurs hétérogènes mais qui interagissent entre eux et imposent d'aborder l'étude des phénomènes d'eaux colorées d'un point de vue interdisciplinaire. TETT en 1984, précise que face à l'échec possible d'une simple approche analytique, il apparaît nécessaire de considérer les interactions spéciales parmi les facteurs multiples.

5 - LES CONSEQUENCES POSSIBLES

a. Les effets des blooms de Dinoflagellés

Certaines eaux rouges à Dinoflagellés causent des maladies résultant de la consommation de coquillages ou de poissons marins contaminés (IWASAKI,

ORGANISMES RESPONSABLES	ANNEES publi/phéno	AUTEURS	FACTEURS PREPONDERANTS DANS LE DECLENCHEMENT DU BLOOM	LOCALISATION GEOGRAPHIQUE
Prorocentrum micans	79 / ..	MAHONEY et McLAUGHLIN	GRADIENT de SALINITE	BAIE de NEW-YORK.
Gyrodinium aureolum	75 / 75	PINGREE et al.	PROPRIETES des ZONES FRONTALES	ENTREE de la MANCHE ISLES BRITANNIQUES.
Gyrodinium aureolum	79 / 75, 76 78	HOLLIGAN	PROPRIETES des ZONES FRONTALES	ENTREE de la MANCHE FRONT d'OUESSANT.
Gymnodinium breve	79 / 77	HADDAD et al.	INTRUSION d'EAU PROFONDE EN ZONE COTIERE SOUS L'EFFET d'UN COURANT OCEANIQUE.	GOLFE de MEXIQUE.
Gymnodinium nagasakiense	80 / 80, 81	IIZUKA	FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX avec action sur la croissance et accent sur : les métaux lourds chélatés. substances organiques, vitamines	BAIE d'OMURA (JAPON).
Protogonyaulax tamarensis	82 / 79, 81, 82	OGATA	AFFINITE pour les BASSES TP* et la MI-PROFONDEUR.	BAIE d'OFUNATO.
Protogonyaulax catenella	82 / 82	OGATA	AFFINITE pour TP* plus élevées et niveau surface.	BAIE d'OFUNATO.
Gyrodinium aureolum	83 / 82	LINDAHL	DIMINUTION de la PRESSION de BROUORAGE. / INFLUENCE d'un COURANT OCEANIQUE	COTE OUEST de la SUEDE.
Dinophysis fortii	84 / 84	IGARASHI	MARGE ETROITE du COUPLE TEMPERATURE / SALINITE	MER du JAPON.
Dinophysis acuminata	85 / 83	LASSUS et al.	STRATIFICATION des EAUX	BAIE de VILAINE.
Gyrodinium aureolum	85 / 80	HOLLIGAN	STRATEGIES de CROISSANCE qui permettent une EXPLOITATION des RESSOURCES du MILIEU.	ZONES FRONTALES à l'entrée de la MANCHE. ISLES BRITANNIQUES.
Prorocentrum minimum	85 / 80	SILVA	CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES	LAGUNE d'OBIDOS. PORTUGAL.
Gonyaulax excavata	85 / 80	CARRETO et al.	PROPRIETES d'un SYSTEME FRONTAL	MER d'ARGENTINE.
organismes genre Gonyaulax	85 / 80	DAVISON et al.	COURANTOLOGIE et PROPRIETES des FRONTS	COTES URUGUAYENNES.

Tableau n° 1 : "Blooms de DINOFLAGELLES et FACTEURS PREPONDERANTS.
(Tableau non exhaustif.)

	NOTION PLUTOT QUANTITATIVE	NOTION PLUTOT QUALITATIVE
TYPE DE PHENOMENE	EAU COLOREE	BLOOM OU CONCENTRATION PAR DES PROCESSUS PHYSIQUES.
CARACTERISTIQUES	Millions de cellules par litre chlorophylle a supérieure à 20 mg/m ³ et pouvant atteindre plusieurs centaines de mg/m ³	Généralement espèces à taux de division lent présentant une concentration maximum de 10 ⁴ cellules, le plus souvent de 10 ³ .
ESPECES RESPONSABLES	DIATOMEES DINOFLAGELLES AUTRES FLAGELLES	DINOFLAGELLES parfois photosynthétiques (Gonyaulax) ou de type hétérotrophe plus ou plus ou moins confirmé (Dinophysis, Ceratium, Protogonyaulax, Noctiluca)
STRATEGIES de DEVELOPPEMENT	Stratégie r	Stratégie k
INFLUENCE des SELS NUTRITIIFS	Effet positif	Pas d'effet ou très peu.
CONSEQUENCES pour le MILIEU . (Eventuelle selon les espèces)	Essentiellement anoxie des masses d'eau, appauvrissement du milieu et parfois, effets toxiques sur la faune marine (Gyrodinium et Gymnodinium)	Intoxication du consommateur par concentration <u>obligatoire</u> par les coquillages, vecteur de la contamination.

Tableau n° 2: Enchaînements simples de situations et de leurs conséquences permettant la distinction eaux colorées / blooms.

1979). Ces produits sont rendus toxiques pour les consommateurs, par les quantités de Dinoflagellés qu'ils ont absorbés, alors que le poison synthétisé par les algues s'accumule dans les tissus du filtreur. Les différentes toxines varient avec les espèces (tableau 2, annexe 2) et la symptomatologie des intoxications humaines diffèrent avec ces poisons. Les produits les plus dangereux sont dits paralytiques et se révèlent fatals (CARRETO et al., 1985).

Les effets délétères des blooms de Dinoflagellés font aussi des ravages dans les exploitations aquacoles. Ainsi en 1983 et 1984, des eaux colorées à Gymnodinium nagasakiense ont occasionné de sérieux dommages sur le stock de poissons.

b. Les mesures : Prévention et lutte contre les eaux rouges

Parmi les mesures à prendre contre les eaux rouges, "on distingue des dispositions préventives, prises dans le but d'empêcher l'apparition même du phénomène et les dispositions d'ordre curatif, qui cherchent à réduire autant que possible les dommages quand le phénomène se trouve déjà présent" (MURAKAMI, dans KHALANSKI, 1983). Parallèlement à ces moyens de lutte mis en oeuvre (tableau n°2, annexe 2) des modèles prédictifs ont été développés en les orientant vers des modèles écologiques lourds, généralement à très grand nombre de paramètres (OUCHI; 1982 - OUCHI et al., 1983, 1984). Toutefois pour certains auteurs, les écosystèmes sont trop complexes pour qu'il soit possible de construire des modèles prédictifs performants. D'autres stipulent que les plus simples questions peuvent être solutionnées en utilisant des modèles élémentaires avec peu de variables (WYATT, 1985).

B - ECOLOGIE PHYSIOLOGIQUE DES DINOFLAGELLES D'EAUX COLOREES

1 - GENERALITES SUR LEUR COMPORTEMENT RELATIF AUX FACTEURS PHYSIQUES

1.1 - La température

Les Dinoflagellés apparaissent dans la nature à un très large éventail de températures. Pour les espèces marines, la température assurant la prolifération optimale se situe en général vers la limite supérieure de température supportée (IWASAKI, 1979). Une expérience comparative sur la multiplication de dinoflagellés dans des conditions de température variées a été menée par BRAARUD en 1961. Elle rend compte d'un effet multiplicatif sur la concentration cellulaire, par une élévation thermique. Elle démontre également que pour une même espèce, la température optimale peut être différente selon les conditions d'environnement.

Par ailleurs, la notion d'affinité pour une gamme de température est confirmée par les travaux de LASSUS (1985) qui rendent compte d'un taux de division plus élevé chez Dinophysis, à basse température. De la même manière, au Japon, l'abondance de D. fortii est fortement corrélée avec une marge étroite de température. Cette idée de préférendum thermique est retrouvée chez OGATA et FUKUYO (1982, dans LASSUS, 1984), à travers les distributions verticales de deux espèces de Protogonyaulax, différentes selon la température (tableau n°1).

Quant à l'importance de la migration verticale, HOLLIGAN (1985) rapporte qu'elle sera considérablement amoindrie chez Gyrodinium aureolum, sous l'effet des basses températures qui induisent une faible vitesse de nage.

En outre le développement de certains flagellés est très corrélé à l'augmentation thermique (FUKASE, 1980, 1981; dans LASSUS, 1984) : c'est le cas de Chattonella marina : seuil fixé à 20°C. De même, une élévation de température influence positivement le taux de croissance de Prorocentrum minimum var. mariae-lebouriae (TYLER et SELIGER, 1981). Ainsi très souvent, on pourra constater une corrélation très nette entre l'apparition des eaux rouges et la température. Ce paramètre physique est souvent conjugué à la salinité pour traduire le degré de stabilité des eaux qui maintient un régime de lumière favorable et empêche la dispersion du phytoplancton (HOLLIGAN, 1979). Au niveau des zones frontales, généralement caractérisées par des gradients aigus de température de surface, la croissance du phytoplancton est particulièrement active. Suffisamment d'ailleurs pour provoquer des blooms, comme ceux de Gyrodinium aureolum associés au front thermique entre Ouessant et les îles britanniques (HOLLIGAN, 1985) (tableau 1). Au large des côtes de l'Uruguay, les conditions convenables de croissance et d'accumulation des Dinoflagellés du genre Gonyaulax sont fournies par les propriétés d'un système frontal suspecté dans cette zone (DAVISON et al., 1985). Enfin la physiologie de certains organismes peut être influencée par les températures estivales élevées, modifications qui se répercutent par une augmentation de leur tolérance aux basses salinités (TYLER et SELIGER, 1981).

1.2 - La salinité

Les Dinoflagellés sont répandus aussi bien dans les eaux douces que dans les eaux de mer. La majeure partie des flagellés d'eaux rouges sont euryhalins à l'exception des espèces des zones subtropicales et des variétés de haute mer (IWASAKI, 1979). Cela confirme les propos de RYTHER (1955 ; dans PIERRE, 1984), qui soulignent une plus grande abondance des Dinoflagellés nus dans les océans ouverts, par rapport aux organismes cuirassés, vraisemblablement moins sensibles aux variations de salinité ; ces groupes seraient donc mieux représentés dans les régions côtières et estuariennes.

Par ailleurs, d'après la constatation que les eaux rouges se manifestent fréquemment après les fortes pluies, SLOBODKIN (1953 ; dans IWASAKI, 1979) a conclu que les microorganismes des eaux colorées avaient une prédilection pour les eaux de faibles salinités et devaient avoir besoin de substances nutritives d'origine terrigène et drainées par les pluies.

MAHONEY et Mc LAUGHLIN (1979) allouent au facteur salinité, un rôle écologique majeure, gouvernant à la fois distribution et croissance d'un phytoplancton (Prorocentrum micans) dans les eaux côtières et estuariennes de la baie inférieure de New-York.

Quant à la stratification haline, son influence est prépondérante pour l'accumulation en subsurface dans la baie de Chesapeake, des inoculum de Prorocentrum mariae Lebouriae qui sont ensuite transportés jusque dans des zones où des conditions environnementales convenables leurs permettront de proliférer.

Enfin il a été mentionné que la salinité pouvait avoir une grande importance sur la production de toxines chez les chrysomonadines et précisément sur Prymnesium parvum (SCHILO et ROSENBERGER, 1960 ; dans IWASAKI, 1979).

1.3 - La lumière

Les espèces planctoniques engendrant les eaux rouges sont pour la plupart des microorganismes végétaux photosynthétiques. La lumière représente

donc leur source d'énergie ; c'est le facteur essentiel pour les organismes autotrophes. Leur physiologie et leur comportement sont influencés par l'intensité, la nature, la périodicité des cycles clarté/obscurité (IWASAKI, 1979).

Ainsi les Dinoflagellés ont des préférences lumineuses, recherchent un optimum et évitent les intensités excessives, inhibitrices de la croissance chez Prorocentrum micans, une intensité lumineuse croissante provoque une augmentation de la phase de latence, précèdent la phase exponentielle (KAIN et FOGG, 1960 dans IWASAKI, 1979). Tandis que Prorocentrum minimum var. mariae Lebouriae s'adapte et survit aux faibles intensités lumineuses (TYLER et SELIGER, 1981) beaucoup de Dinoflagellés possèdent un phototactisme positif. Toutefois pour Gyrodinium aureolum, la preuve de la migration verticale n'est pas certaine (HOLLIGAN, 1979). Ce même auteur évoque en 1985, les bénéfices énergétiques que peuvent apporter de tels déplacements et précise que ces mouvements verticaux vers les niveaux superficiels conduisent vraisemblablement à des taux de croissance élevés.

La lumière agit donc sur la division des cellules ; elle est entamée à certains moments du jour et varie avec l'espèce (WALKER, 1983 dans STEIDINGER et WALKER, 1983). Les Dinoflagellés photosynthétiques marins se divisent généralement en fin de journée ou tôt le matin (WEILER et EPPLEY, 1979 ; dans STEIDINGER et WALKER, 1983). Toutefois le genre Ceratium ne se divise que pendant la nuit (IWASAKI, 1979). En outre le facteur lumière détient un rôle dans la synchronisation de la division binaire : les cellules qui sont physiologiquement capable de se diviser, le font durant cette période du jour, celles qui ne le sont pas attendent le cycle suivant (HASTING et SWEENEY, 1964 ; dans STEIDINGER et WALKER, 1983).

Autre aspect des migrations phototactiques : elles contribuent également aux mécanismes de concentration des organismes. Ils sont basés sur un déplacement vertical de rythme circadien, couplé avec des cellules de Langmuir faiblement organisées, ou lié à l'interaction entre les mouvements du phytoplancton et les vagues internes (PINGREE, 1975). Dans certains cas, les phénomènes de montée et de descente ne correspondent pas tout à fait à la photopériode, mais ont été corrélés avec une périodicité endogène (YAMOSHI et ABE, 1984). Enfin il a été possible d'établir une relation entre les mouvements verticaux et la nécessité de l'exploitation des ressources en réponses aux besoins nutritionnels des organismes phytoplanctoniques d'eaux rouges.

2 - GENERALITES SUR LES SUBSTANCES POUVANT INFLUENCER LE DEVELOPPEMENT DES BLOOMS DE DINOFLAGELLES

2.1 - Exigences nutritionnelles des Dinoflagellés

2.1.1. Les besoins en azote

Les Dinoflagellés autotrophes peuvent satisfaire leurs besoins en nutriments à partir des formes disponibles de l'azote minéral : NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- . Aux faibles intensités lumineuses, la synthèse cellulaire est plus rapide avec les sels d'ammoniaque qu'avec les nitrates (BONGERS, 1956 dans IWASAKI, 1979). Toutefois, YAMOSHI et ABE (1984) montrent que Gonyaulax polyedra est capable d'absorber des nitrates dans un environnement sombre. Par ailleurs, cette forme représente la meilleure source d'azote pour le développement des dinoflagellés dans un phénomène d'eaux colorées.

SUBSTANCES	MODE D'ACTION.	DINOFLAGELLES EXPERIMENTES
<u>COMPOSES AZOTES</u>		
NITRATE de SODIUM et UREE.	Forte augmentation de croissance sauf pour une concentration en urée > 0.4 mg/l.	Massartia rotundata Prorocentrum micans
ACIDES AMINES Glycine, Thréonine, Xanthine, Ornithine, Glutamine et Asparagine.	Bonne augmentation de croissance.	Massartia rotundata Prorocentrum micans
Sérine, Ornithine, Acide urique et Méthionine.	Bonne augmentation de croissance.	Prorocentrum micans
<u>COMPOSES PHOSPHORES</u>		
KH PO et acides nucléiques : acides 3' cytidilique, adénylique, uridylique. Glucose 6' phosphate, Fructose 1',6' diphosphate.	Très bonne augmentation de croissance.	Massartia rotundata et Prorocentrum micans
Riboflavine 5' phosphate.	Pas d'action sur la croissance.	Prorocentrum micans
<u>COMPOSES CARBONES</u>		
Laminarine	Inhibition	Massartia rotundata
Tréhalose	Augmentation de croissance.	Massartia rotundata et Prorocentrum micans
Mannose	Augmentation de croissance.	Massartia rotundata et Prorocentrum micans
Cellibiose	Inhibition.	Massartia rotundata et Prorocentrum micans
Glycérine et Aaylopectine	Augmentation de croissance pour des concentrations < 5mg/l et inhibition pour des teneurs > 50 mg/l.	Prorocentrum micans
NaH CO ₃	Très favorable à la croissance.	Prorocentrum micans

Tableau n° 3: Quelques effets des composés azotés, phosphorés, et carbonés sur la croissance de deux Dinoflagellés marins : Massartia rotundata et Prorocentrum micans.
D'après MAHONEY et McLAUGHLIN, 1977.

Les organismes migrent dans la couche d'eau pour rechercher les sels nutritifs. En cas d'épuisement, il y a inhibition de la migration. Or ces déplacements verticaux permettraient de pallier à toute limitation de la disponibilité en nutriments, accentuée par une diffusion à travers la surface cellulaire (HOLLIGAN, 1985). Des conditions d'abondance provoquent une sélection parmi les organismes (CARRETO, 1985).

Les Dinoflagellés hétérotrophes utilisent des acides aminés, l'acide urique, l'urée et le nitrate de sodium (tableau n° 3).

2.1.2. Les sources de carbone

Le CO₂ est la source de carbone essentielle chez les Dinoflagellés autotrophes. En concentration élevée, il peut avoir un effet inhibiteur (FOGG, 1975). Les hydrates de carbone constituent une source complémentaire, tandis que les acides organiques permettent de maintenir une croissance à l'obscurité totale (FOGG, 1975). TYLER et SELIGER (1981), précisent que P. minimum var. mariae Lebouriae est capable d'absorber du carbone dans de faibles conditions d'éclairement.

Le relargage d'oligo et de polysaccharides après un bloom de Phaeocystis pouchetti (Haptophycée) augmente la teneur du carbone dans les eaux. Il s'agit d'un mécanisme d'excrétion du carbone photoassimilé sous les effets de certaines intensités lumineuses. Parmi les sucres et dérivés excrétés, il y a principalement du glucose, du mannose et du rhamnose (GUILLARD et HELLEBUST, 1971).

Enfin MAHONEY et Mc LAUGHLIN (1977), indiquent pour deux espèces de Dinoflagellés, les composés carbonés qui stimulent ou inhibent la croissance. On remarquera que le bicarbonate représente également une source essentielle de carbone pour Prorocentrum micans (tableau n° 3).

2.1.3. Les besoins en phosphore

Le phosphore est présent à faible concentration dans le milieu. Il apparaît comme un facteur limitant au développement des Dinoflagellés. Les organismes autotrophes l'absorbent sous la forme d'orthophosphate, mais l'absorption du phosphore à l'état organique est également possible. Ce phosphate organique provient de l'excrétion, de la décomposition des organismes marins morts ; il comprend les phospholipides et phosphoprotéines mais aussi des acides nucléiques. Nous reparlerons de ces substances dans les composés biologiquement actifs.

2.2 - Les facteurs de croissance

2.2.1. Les oligoéléments

Le fer et la manganèse sont les deux métaux principalement reconnus pour induire des blooms de certaines espèces comme Hormelia sp. en fait partie (IWASAKI, 1979). Pour Amphidinium carterae, il a été établi que la concentration optimale en fer est de 65 µg/l. Mais la croissance des organismes phytoplanctoniques dépend aussi de la nature moléculaire de certains éléments. Ainsi le développement d'Heterosigma sp. est stimulé par les micronutriments (TAKAHASHI et FUKASAWA, 1982).

L'assimilation des oligoéléments indispensables est accrue par la présence de composés organiques aminés. Ces substances augmentent la solubilité des métaux par formation de complexes ; l'agent métallique est dit

chélaté et son introduction dans le milieu peut prolonger, voire réhausser la croissance exponentielle de certains Dinoflagellés comme Gymnodinium breve (IWASAKI, 1979).

2.2.2. Les composés organiques aminés et leurs propriétés chélatrices

Ce sont surtout les substances humiques, contenues dans les eaux de ruissellement. Elles sont classées suivant des critères de solubilité et de configurations moléculaires. Il y a les acides humiques, fulviques et hymatoméloniques (KONOVA, 1966 ; dans PRAKASH et RASHID, 1968). Mais aussi les acides hydroxamiques et lignosulfoniques (CORBETT, 1979) (tableau n° 1, annexe 3).

L'effet positif de ces substances sur la croissance de Gonyaulax tamarensis et de Prorocentrum minimum est indépendant de la concentration en nutriments. En outre, il ne peut être attribué entièrement au processus de chélation (PRAKASH et RASHID, 1968 - GRANALI et al., 1985), mais impliquerait également une stimulation du métabolisme cellulaire algal ; les mécanismes en question seraient :

- une action comme agents sensibilisants qui augmentent la perméabilité membranaire des cellules et l'absorption des nutriments et ions métalliques nécessaires. Ainsi la proroctrine est le sidérophore chez Prorocentrum minimum (TRICK et al., 1983)
- une action comme catalyseurs respiratoires, qui permet une absorption plus intense de l'oxygène par le tissu végétal (PRAKASH et RASHID, 1968 - BIBER et MAGAZINER, 1951 - KRISTENA, 1953 - SMIDOVA, 1960).

Des substances analogues produites par les algues brunes benthiques augmentent la croissance de Prorocentrum micans, de Scripsiella faroense et d'Amphidinium carterae. La diminution ou la suppression de la phase de latence tend à prouver là aussi, une modification du métabolisme (VIDEAU, 1983 - KALLE, 1966, SKOPINTSEV, 1959 ; dans PRAKASH et RASHID, 1968).

Les chélateurs de synthèse existent : ce sont l'EDTA, le NTA, la glycyglycine (tableau n° 1, annexe 3) ; leur utilisation en cultures améliore de façon satisfaisante la croissance de quelques Dinoflagellés. Selon certains auteurs (KAIN et FOGG, 1960 ; dans IWASAKI, 1979 - LEWIN, 1966 ; dans LASSUS, 1986 - LEWIN et al., 1971), les chélateurs pourraient détoxifier l'eau en liant certains ions métalliques inhibiteurs, notamment le cuivre, les rendant alors indisponibles (COLLIER, 1958 ; dans PIERRE, 1984 - CORBETT et al., 1979). C'est le cas des sulfures qui facilitent le développement de Gymnodinium nagasakiense (IIZUKA, 1972 ; dans IWASAKI, 1979).

2.2.3. Les besoins en vitamines

Les besoins en vitamines des Dinoflagellés responsables des eaux colorées sont limités à 3 sortes de substances : la B₁₂, la thiamine et la biotine (tableau n° 2, annexe 3). Ces vitamines sont assimilées, soit seules, soit en combinaison (IWASAKI, 1979). Mais les cellules contrôlent la quantité de vitamines utilisables par la sécrétion d'un composé fixateur (DROOP, 1968 ; dans MARTIN et VACELET, 1975).

Les principales sources de vitamines sont les bactéries terrigènes ou marines (IMAI, 1984 ; dans LASSUS, 1984). Quant au phytoplancton, producteur de ses propres vitamines ; le phénomène n'est pas exclu. Enfin il existe dans la nature des analogues à ces substances qui pourraient jouer un rôle équivalent dans l'induction des eaux colorées.

2.2.4. Les substances biologiquement actives

La multiplication des Dinoflagellés est favorisée d'une manière notable par des substances biologiquement actives ; ce sont les acides nucléiques, les bases puriques et pyrimidiques (tableau n° 2, annexe 3). Des travaux au Japon, indiquent une distribution préférentielle de ces composés dans le matériel en suspension. Ce paramètre jouerait un rôle important dans le déterminisme des eaux colorées.

MAHONEY et Mc LAUGHLIN (1977) montrèrent également la très bonne augmentation de la croissance de Massartia rotundata et de Prorocentrum micans à l'apport en cultures de composés phosphorés énergétiques comme les acides 3' cytidilique, adénylique et uridylique (tableau n° 3).

2.2.5. Les substances inhibitrices ou activatrices

Les effets inhibiteurs ou facilitants des métabolites extracellulaires phytoplanctoniques influencent les relations inter espèces et contrôlent les interactions phytoplanctontes/autres organismes. A la base de cette "théorie des télémediateurs chimiques", l'excrétion d'un facteur organique par Prorocentrum micans et qui bloque la biosynthèse de substances antibiotiques produite par la diatomée Asterionella japonica (AUBERT et al., 1970, 1971, 1972 - UCHIDA, 1977, dans IWASAKI, 1979) : ce qui peut jouer un rôle important en faveur du bloom du Dinoflagellé. De même Olithodiscus luteus (xanthophycée), domine la croissance de Skeletonema costatum en produisant de grandes quantités d'un produit chimique allélopatric (de nature tannoïde) qui inhibe la diatomée (PRATT, 1966 ; dans IWASAKI, 1979).

Cependant des substances émises par Skeletonema costatum favorisent la croissance de Prorocentrum minimum (IWASAKI, 1979) alors que les produits de décomposition de Nitzshia stimulent le développement du genre Gonyaulax (PRAKASH, non publié).

Par ailleurs, les toxines de Dinoflagellés peuvent elle-même, inhiber ou améliorer la croissance d'autres espèces phytoplanctoniques (RICE, 1954).

Les interactions entre algues et bactéries sont renforcées par le concept de phycosphère (HAGSTROM et al., 1979 ; dans TRICK et al., 1984). Ainsi pour réduire l'activité dégradatrice de la population bactérienne associée, Prorocentrum minimum produit un métabolite antibiotique du groupe des norcaroténoïdes : la β dicétone (TRICK et al., 1984). A ce type d'influence par exudats végétaux, s'ajoutent les interactions (phyto/bactéries) par inhibiteurs non spécifiques comme le tannins et les acides organiques. On trouve également des agents antibiotiques, comme l'acide acrylique, la goniidine et les attractants bactériens. Par ailleurs, certains auteurs émettent l'hypothèse d'une relation à bénéfice mutuel, entre les bactéries produisant des vitamines et le phytoplancton, fournisseur de matières organiques. Une poussée de Dinoflagellés est donc un phénomène qui s'accélère par le jeu des relations réciproques entre ces deux organismes, il est soumis à des régulations (MARTIN et VACELET, 1975).

De plus, les bactéries sulforéductrices auraient un rôle de préconditionnement des eaux en y ajoutant des sels nutritifs et en y enlevant des substances nuisibles (STEIDINGER et INGLE, 1972 ; dans TRICK et al. 1984). D'autres voisines des algues bleues, comme Gomphosphaeria aponina,

libèrent un facteur cytolitique, l'apnonine, qui lyse les cellules de Gymnodinium breve (MARTIN et MARTIN, 1976, ENG-WILMOT et al., 1979) (tableau n° 3, annexe 3).

2.2.6. L'acide glycolique

Pour certains auteurs, les algues susceptibles d'être affectées par l'acide glycolique sont également celles qui l'excrètent. Cependant HELLEBUST (1965) précise qu'aucune absorption significative d'acide glycolique n'a été démontrée pour Skeletonema costatum, alors que ce composé représente environ 50 % de son carbone organique total excrété. Le précurseur de l'acide glycolique serait l'accepteur du CO₂ dans la photosynthèse : le ribulose diphosphate (TOLBERT, 1958 ; dans HELLEBUST, 1975). Mais un état d'équilibre entre le milieu externe et interne serait nécessaire avant que la photosynthèse ne puisse commencer (FOGG, 1975).

2.2.7. Les hormones naturelles

Les auxines, les kinétines et les gibbérellines sont des hormones végétales qui stimulent la croissance de plusieurs espèces de Dinoflagellé (tableau n° 2, annexe 3). Selon POOLE (1979), la présence de telles substances hormonales assurerait le mécanisme de contrôle le plus subtil, dans la succession naturelle des organismes. A l'image de l'acide gibbérellique (DOIG et MARTIN, 1974), ces facteurs réduisent significativement le temps nécessaire pour atteindre le maximum de la population cellulaire.

2.2.8. Les agents de dispersion

Le mécanismes de dispersion incluent les vents, les marées, les courants, les fronts de densité et les up-wellings, la dispersion anthropomorphique s'effectue par transport dans les ballasts, dans l'eau des cales, sur la coques des bateaux mais aussi par les produits de la mer transplantés. Cette dispersion peut concerner n'importe quelle étape du cycle biologique, mobile ou de résistance. Elle dépend des facteurs physiques mais surtout d'une combinaison des mécanismes physiques et biologiques (WALKER, 1983 ; dans STEIDINGER et WALKER, 1983).

3 - SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTS FACTEURS MIS EN CAUSE

Quels facteurs conduisent à des accumulations en tâches d'organismes d'eaux rouges ? Le problème pourrait être expliqué en partie par les exigences physiologiques propres à chaque espèce. Cependant certaines questions demeurent : Est-ce une sélection de l'organisme responsable par :

- l'excrétion d'inhibiteur ou de composés améliorant la croissance ?
- l'exclusion compétitive ?
- l'absence de prédateurs/le broutage sélectif ?

Il apparaît nécessaire de compléter les données existantes par d'avantage d'informations sur les cycles biologiques des organismes en question. Connaître le rôle des kystes et des formes de résistance sur l'endémisme et le mode d'initiation des blooms. Clarifier les mécanismes de conditionnement et identifier les substances du déclenchement de la croissance (IWASAKI, 1979).

III - ANALYSE DES DONNEES HYDROLOGIQUES
 DE LA BAIE DE VILAINE ACQUISES
 EN 1984 ET 1985

 A - UNE EQUATION DE REGRESSION MULTIPLE POUR DECRIRE L'ABONDANCE DES EAUX EN PHYTOPLANCTON.

1 - RAPPELS STATISTIQUES

 1.1. La régression linéaire multiple

Grâce à la régression linéaire multiple, deux variables x ou plus peuvent être utilisées pour apporter une information supplémentaire sur y . Parmi les principales utilisations de la régression multiple, on peut citer :

- 1 - Etablir une équation en X_1, X_2, \dots, X_n , qui donne la meilleure estimation de y .
- 2 - Lorsqu'il y a plusieurs variables x , trouver le sous-ensemble des x qui donne la meilleure équation linéaire qui décrit y . Ces variables retenues seront rangées dans l'ordre de leur importance.

Ces deux aspects devaient satisfaire pleinement à nos objectifs. Par ailleurs, c'est avec beaucoup de prudence que nous avons exploité les potentialités de prévision qui sont également attribuées aux équations de régression linéaire multiple.

La régression multiple est un sujet complexe. Les calculs deviennent longs lorsqu'il y a de nombreuses variables x . Les programmes classiques des ordinateurs sont maintenant facilement disponibles et ils apportent la plus grande aide.

Avant de présenter notre analyse, nous rappellerons brièvement les propriétés de la régression multiple progressive : méthode qui assure la sélection des variables explicatives qui seraient liées à y .

 1.2. La régression multiple progressive ou pas à pas

Cet outil permet de sélectionner des variables explicatives. On l'utilise lorsqu'on a établi une régression dans le but d'analyser une liaison, et que l'on pense que plusieurs variables x , peuvent ne contribuer que peu ou pas du tout à la précision de la liaison. Le problème revient donc à décider combien de variables retenir et lesquelles.

L'approche la plus minutieuse consiste à calculer la régression de y pour chaque sous-ensemble de k variables, c'est-à-dire pour chaque variable, puis pour chaque paire de variables, puis pour chaque triplet, etc.... Le sous-groupe ayant le plus petit carré moyen résiduel s^2 peut être choisi. Mais le nombre de régressions à calculer est de $2^k - 1$, cette méthode est presque impossible si k est grand.

L'intérêt de la régression multiple progressive - méthode ascendante - est que l'on part avec les régressions de y en x_1, \dots, x_k prises une à une. La variable qui donne la plus grande réduction de la somme des carrés des écarts de y est conservée. Appelons la X_1 . Puis on calcule la régression à 2 variables dont X_1 . La variable qui donne la plus grande

réduction additionnelle de la somme des carrés, après ajustement de x_1 , est conservée. Appellons-la X_2 . On calcule ensuite toutes les régressions à 3 variables qui comprennent X_1 et X_2 et on conserve la variable qui donne la plus grande réduction additionnelle. On procède ainsi jusqu'à ce que cette contribution additionnelle soit trop petite pour satisfaire à une règle d'inclusion. On construit ainsi progressivement l'équation de régression.

Elle est de la forme : $Y = a + b_1 \cdot x_1 + \dots + b_i \cdot x_i + \dots$
 $b_n \cdot x_n$
 - a est un terme constant,
 - b_i sont des coefficients de régression partiels de x_i en y.

Ces valeurs sont celles qui minimisent l'expression $\sum (y - \hat{y})^2$, somme des carrés des n écarts entre les valeurs observées x et celles ajustées. Elle est appelée somme des carrés des écarts résiduels.

1.3. Le carré moyen des écarts résiduels et l'utilisation du test F

Dans le modèle de la régression multiple, les écarts de y par rapport à l'hyper plan de régression, ont pour moyenne 0 et pour variance σ^2 . Une estimation sans biais de σ^2 est $s^2 = \sum (y - \hat{y})^2 / n - k$; n est l'effectif de l'échantillon et k le nombre de paramètres qui ont été estimés en ajustant la régression.

La somme des carrés des écarts résiduels permet de calculer un carré moyen : le carré moyen résiduel. L'écart type correspondant, nous donne alors une mesure de la précision avec laquelle la régression s'ajuste aux données. Par ailleurs, en calculant le rapport du carré moyen des écarts dus à la régression aux carrés moyens des écarts totaux, on obtient une estimation de la fraction de la variance de y attribuable à la régression multiple. Si cette fraction est inférieure à 1/2, cela veut dire que la plus grande partie de la variation de y est due à des variables qui ne sont pas dans la régression.

Enfin, comme on est pas certain que toutes les variables y soient liées à y, on peut faire un test F de l'hypothèse nulle $b_1 = \dots = b_i \dots = b_k = 0$. Le test est fait à partir de l'analyse de la variance, qui complète l'analyse de régression multiple. F est le rapport du carré moyen des écarts dus à la régression, au carré moyen des écarts résiduels. Cette valeur calculée est comparée à celle obtenue en entrant dans une table (SNEDECOR et COCHRAN, 1956).

2 - ANALYSE DE REGRESSION MULTIPLE SUR LES DONNEES HYDROLOGIQUES DE LA BAIE DE VILAINE

2.1. Les propriétés du logiciel

La concentration en chlorophylle a est choisie pour décrire l'abondance des eaux en phytoplancton. Mais quelles sont les variables explicatives (x_i), les plus importantes dans la détermination du $y = \text{Chl a}$? Les coefficients de régression partiels ou les valeurs du F de sortie (voir annexe) sont utilisés comme une mesure de cette importance comparés pas à pas, les variables sont donc rentrées dans l'équation en fonction de la valeur de ces coefficients. Pour minimiser le biais entre le modèle réel, c'est-à-dire le mécanisme naturel qui reste inconnu, on doit proposer le maximum de variables destinées à la construction du modèle théorique.

Au fur et à mesure que le programme retient les paramètres physico-chimiques dans l'équation, il reprend le système établi et recalcule la part de régression de chacune des variables. En effet, à chaque étape initiale, les variables sont introduites sur les valeurs d'un coefficient de corrélation. En reconsidérant la contribution de chacune de ces variables au modèle, le test de significativité est alors basé sur la valeur de chaque coefficient de régression partiel. Pour être conservé, chaque coefficient doit satisfaire à une règle d'inclusion, au-delà de laquelle il y a élimination. Toute variable éliminée est abandonnée dans un pool de paramètres non rentrés.

2.2. Les résultats de l'analyse de régression linéaire multiple

2.2.1. Equations de régression multiple sur les données de toute la colonne d'eau

Pour les deux années d'étude, seules deux équations de régression présentent un coefficient de corrélation multiple (R^2) supérieur à 70 %. Ainsi pour les campagnes du 19 juillet 1984 et 9 juillet 1985 (respectivement fichier : VILJUL2 et VILJUL4) 84 % et 70 % de la variation des teneurs de l'eau en chlorophylle a sont expliqués par les régressions multiples (tableau n° 4). Parmi les autres équations 0, quatre ont un R^2 compris entre 50 et 70 %. Elles correspondent également au mois de juin et juillet. C'est donc sur la période estivale qu'il est possible d'obtenir des équations qui traduisent le plus fidèlement la liaison de la chlorophylle à un certain nombre de variables. Ces variables retenues dans la régression du 19 juillet 1984 (VILJUL2) sont les nitrites, la densité, la turbidité, l'urée et les ammoniacales (cf tableau n° 4). La comparaison des coefficients de corrélation partiels indique une importance relative deux fois plus élevée pour la turbidité. La densité et les nitrites, d'une influence moindre, semblent toutefois plus liés à la chlorophylle que l'urée et les ammoniacales. A l'issue de la régression (voir ensemble des calculs, annexe 4 et tableau n° 5), l'écart type résiduel est de 7,93. Cette valeur est la plus importante parmi toutes celles relevées. Elle donne une mesure de la précision avec laquelle la régression s'ajuste aux données.

En parallèle, l'analyse des profils verticaux de la chlorophylle a, salinité, température et des nitrites (turbidité non faite) indique des gradients importants pour chacun de ces paramètres. D'allure voisine, les variations thermiques, halines et des nitrites sont toutes marquées dans le même secteur intérieur de la baie de Vilaine, entre les stations 3 et 4 sur les radiales A et B, stations 3 et 6 sur la C (figure n° 5). Dans la partie extérieure de la zone d'étude, la superposition de ces distributions est nettement atténuée.

La liaison mathématique entre la chlorophylle, la densité (couple température/salinité) et les nitrites est en partie corroborée, par la similarité des profils verticaux de ces paramètres dans la zone proche estuaire de la baie.

Pour la campagne du 9 juillet 1985, une fraction de 70 % de la variance des teneurs de chlorophylle a est attribuable à la régression sur la température, la salinité, les nitrates, les nitrites et les silicates (cf tableau n° 5). La liaison majeure se fait avec la salinité. Ce paramètre a deux fois et demi plus d'importance que les nitrates. Par rapport à la température,

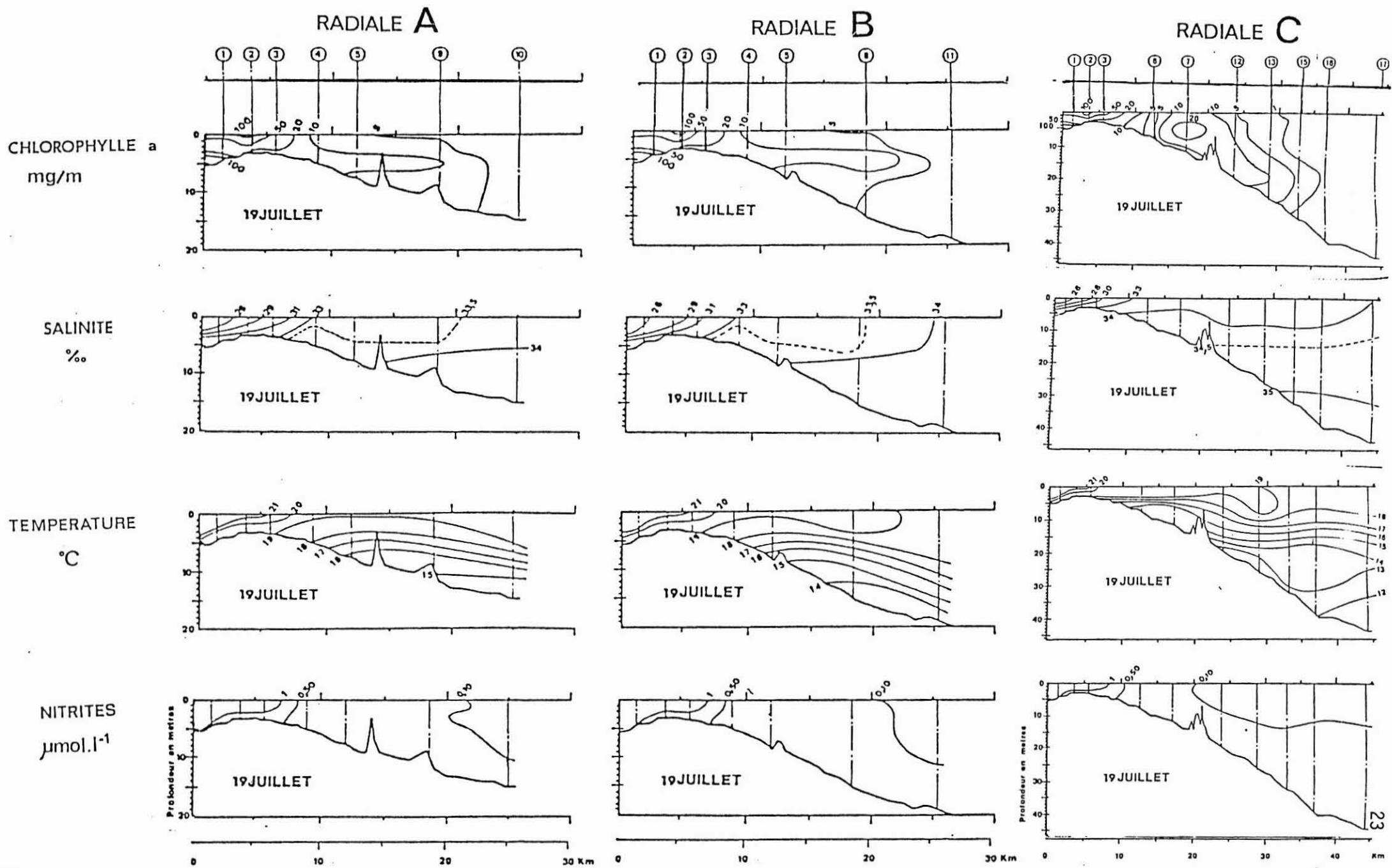
CAMPAGNES	EQUATIONS de REGRESSION	R ² * 100
19 JUILLET 1984 (VILJUL 2)	CHLa = 88.05 + 6.07 TURB. - 3.65 DENS. + 13.68 NO ₂ ⁻ - 1.18 UREE + 3.07 NH ₄ ⁺	84 %
9 JUILLET 1985 (VILJUL 4)	CHLa = 18.48 + 0.52 SAL. - 0.20 NO ₃ ⁻ + 0.05 SIOH ₄ + 1.02 NO ₂ ⁻ - 0.03 TEMP.	70 %

Tableau n°4: EQUATIONS de REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE OBTENUES sur les DONNEES HYDROLOGIQUES de TOUTE la COLONNE d'EAU en 1984 et 1985.
(R² = Coefficient de Détermination .)

CAMPAGNES	VARIABLES	C.R.P.	F calculé (1,110)	significatif à	C.C.P. (Par ordre d'influence)	CONSTANTE	Nombre de données.	F régression (5,110)	Ecart type résiduel.
19 JUILLET 1984 (VILJUL 2)	TURB.	6.07	41.19	**	0.27	88.05	116	111.80 **	7.93
	DENS.	- 3.65	19.59	**	0.15				
	NO ₂ ⁻	13.68	18.63	**	0.14				
	UREE	- 1.18	10.90	**	0.09				
	NH ₄ ⁺	3.07	4.43	*	0.04				
CAMPAGNES	VARIABLES	C.R.P.	F calculé (1,82)	significatif à	C.C.P. (Par ordre d'influence)	CONSTANTE	Nombre de données	F régression (5,82)	Ecart type résiduel
9 JUILLET 1985 (VILJUL 4)	SAL.	- 0.52	163.01	**	0.66	18.48	88	37.87 **	0.34
	NO ₃ ⁻	- 0.20	27.61	**	0.25				
	SIOH ₄	0.05	16.59	**	0.17				
	NO ₂ ⁻	1.02	4.03	*	0.05				
	TEMP.	- 0.03	3.95		0.05				

Tableau n°5: CARACTERISTIQUES STATISTIQUES des EQUATIONS de REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE
RETENUES pour l'ETUDE sur la COLONNE d'EAU.
(C.C.P. = Coefficient de corrélation partiel. C.R.P. = Coefficient de régression partiel.)
(** = significatif à 1% , * = significatif à 5%)

Figure n°5 : Profils verticaux de la chlorophylle, de la salinité, de la température et des nitrites, le long des 3 radiales.
(19 juillet 1984.)



le lien entre la salinité et la chlorophylle est 14 fois plus resserré. Enfin, parmi les 3 sels nutritifs prenant part à la régression, le rôle des nitrates est prépondérant.

La comparaison par niveau, des isoplèthes de la chlorophylle a avec celle de la densité, des nitrates et des silicates, témoignent à nouveau de superpositions relatives (figures n° 6 abc et d). Dans la zone de l'estuaire et du proche estuaire externe, la distribution horizontale de la chlorophylle vérifie en partie celle des 3 paramètres physico-chimiques qui lui sont liés - c'est moins net pour les nitrites - la correspondance semble surtout marquée pour les niveaux 0, -1, -3 et -5 m. Mais la complexité hydrologique des zones sous influence océanique dissipe un possible recouplement fidèle des isophètes sur les plus fortes profondeurs.

Les variations de concentration en chlorophylle a sont reliées à celles de la densité (T_p° /salinité), des nitrates et silicates. L'équation de régression l'indique. La superposition de ces distributions par niveau le confirme.

Mais la notion de liaison entre la variable à expliquer et les variables explicatives n'a pas l'attrait d'une idée de prévision. Tenté par l'ascendant d'un tel outil, nous l'avons utilisé pour estimer des valeurs de chlorophylle sur un mois. Tout enthousiasme pour certains résultats mérite avant tout de la prudence.

2.2.2. Equations de régression multiple sur les données de surface

Selon le modèle appliqué à toute la colonne d'eau, nous avons construit des équations de régression pour les données hydrologiques de surface. Sur l'ensemble des deux années d'étude, certains paramètres physico-chimiques sont plus fréquemment retenus dans les équations (tableau n° 6). Cela souligne leur rôle prépondérant dans la liaison avec la chlorophylle. Plus qu'une coïncidence, cette caractéristique présume à court terme des propriétés relativement conservatives du milieu. L'influence d'un facteur semble marquée sur une certaine période - au maximum, deux semaines .

2.2.2.1. Caractéristiques des équations de régression retenues

Ayant pour objectif une possible prévision des teneurs de chlorophylle a, dans les eaux de surface (figures n° 7 et n° 8), nous utiliserons les équations présentant les coefficients de détermination les plus élevés (supérieurs à 90 %) (tableaux n° 7 et n° 8).

Quatre équations correspondent à cette condition. Mais en définitive, deux seulement sont intéressantes pour l'étude de prévisions. Ce sont celles des campagnes du 5 et 15 juin 1984. Avec la relation du 15 juin nous estimerons les valeurs de chlorophylle sur un mois (période mi juin - mi juillet) ; la turbidité n'ayant pas été mesurée en 1985, nous ne pourrions pas élargir la prévision à cette année. L'équation du 5 juin 1984 le permettra.

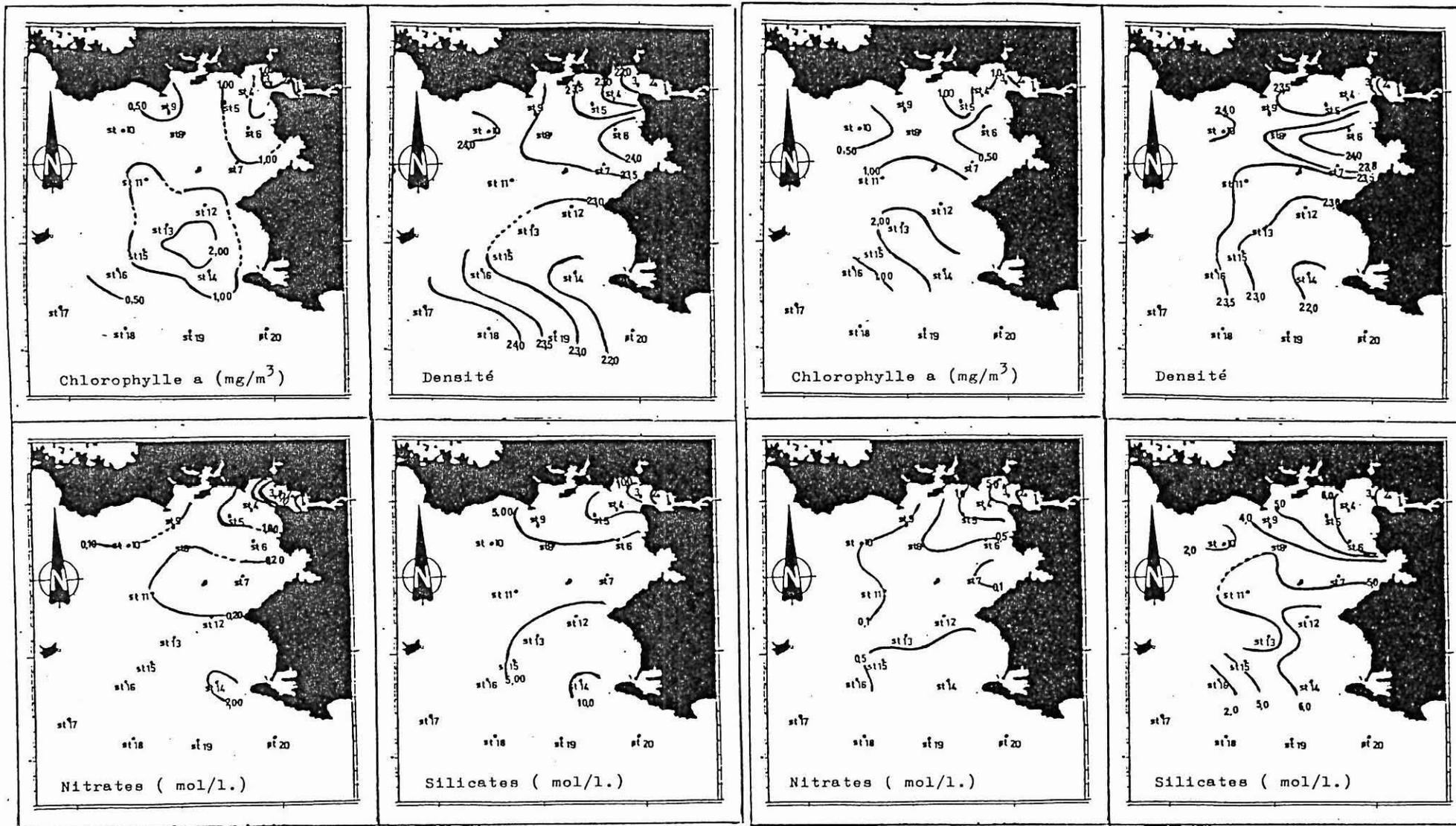


Figure n°6a: Isoplèthes de la chlorophylle a, de la densité, des nitrates, et des silicates pour le niveau surface, en baie de Vilaine le 9 juillet 1985.

Figure n°6b: Isoplèthes de la chlorophylle a, de la densité, des nitrates et des silicates pour le niveau -1m, en baie de Vilaine le 9 juillet 1985.

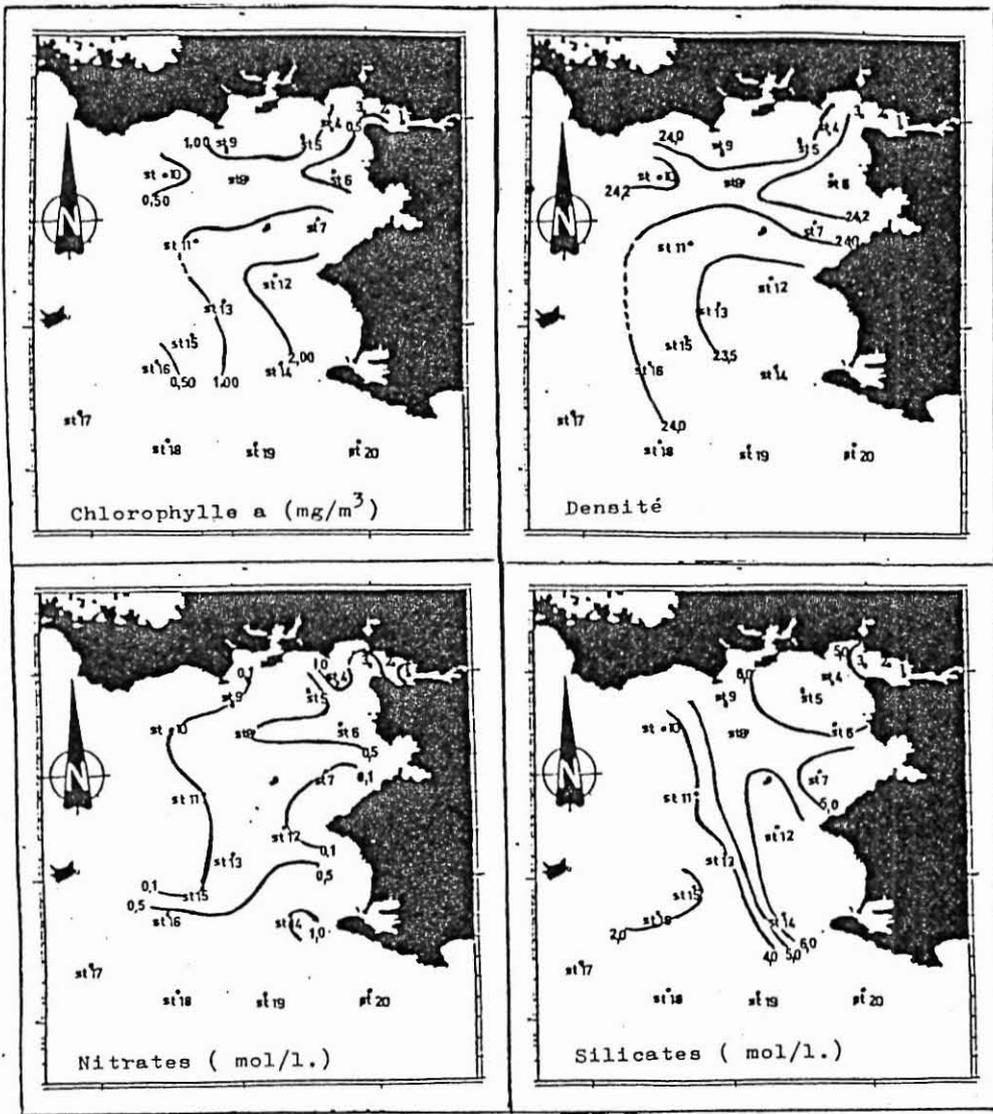


Figure n°6c: Isoplèthes de la chlorophylle a, de la densité, des nitrates, et des silicates pour le niveau -3m en baie de Vilaine, le 9 juillet 1985.

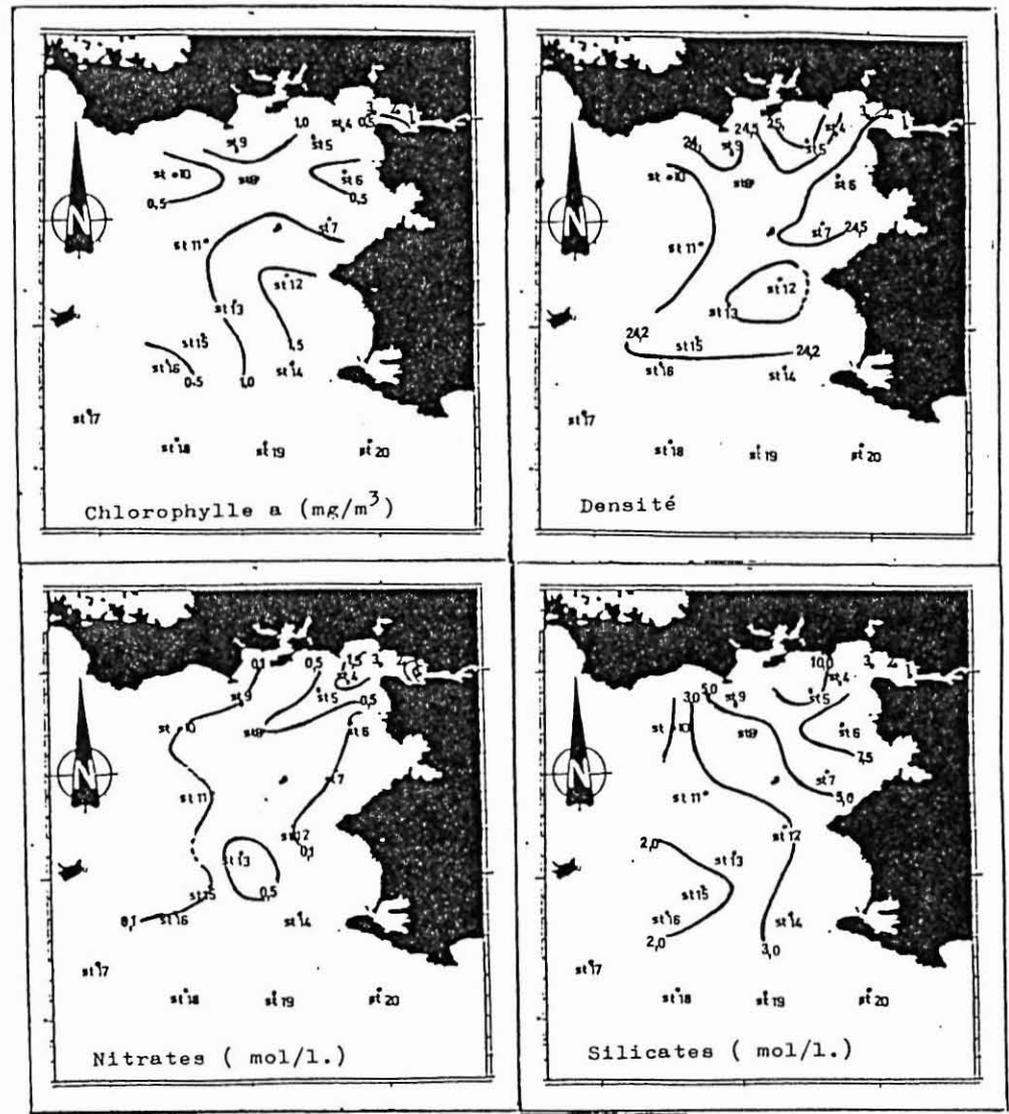


Figure n°6d: Isoplèthes de la Chlorophylle a, de la densité, des nitrates et des silicates, pour le niveau -5m en baie de Vilaine, le 9 juillet 1985.

CAMPAGNES	PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES PROPOSES POUR LA CONSTRUCTION DES EQUATIONS DE REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE.										
	TEMPERATURE	SALINITE	DENSITE	TURBIDITE	AMMONIAQUE	NITRATES	NITRITES	PHOSPHATES	SILICATES	UREE	R ² * 100
10 MAI 1984		*****						*****			79 %
22 MAI 1984	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
5 JUIN 1984						*****		*****			100 %
15 JUIN 1984			*****	*****		*****					98 %
20 JUIN 1984			*****								34 %
5 JUILLET 1984				*****		*****	*****				87 %
19 JUILLET 1984				*****	*****	*****					
25 MAI 1985								*****			31 %
4 JUIN 1985	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
18 JUIN 1985	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
25 JUIN 1985		*****				*****	*****				93 %
2 JUILLET 1985		*****						*****			59 %
9 JUILLET 1985	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Tableau n°6: PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES LE PLUS SOUVENT RETENUS DANS LES EQUATIONS DE REGRESSION LINEAIRES MULTIPLES.
(EQUATIONS DE REGRESSION SUR LES DONNEES DE SURFACE.)
(*****): Paramètres retenus dans les équations. (/): Aucune variable satisfaisante.

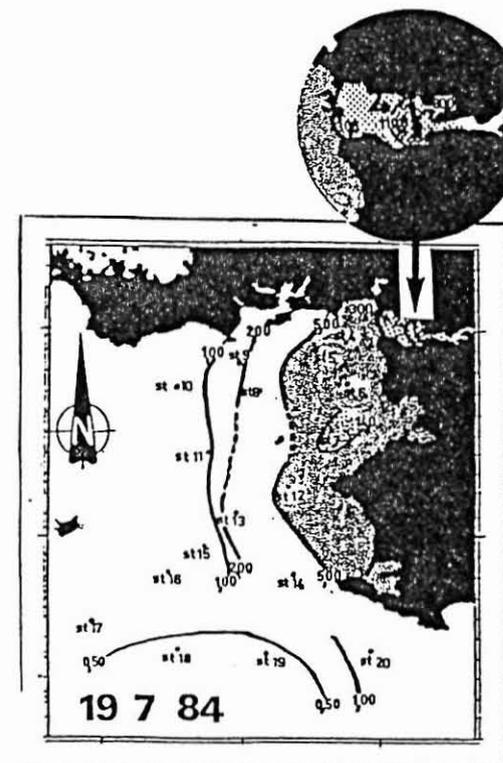
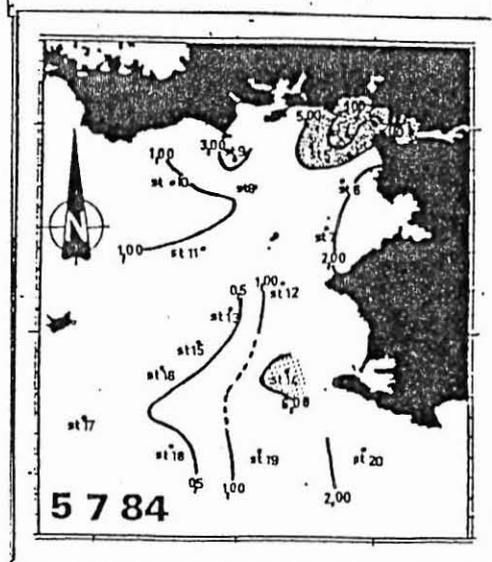
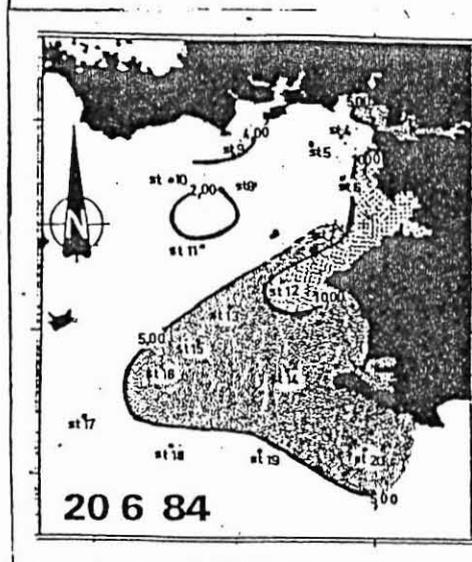
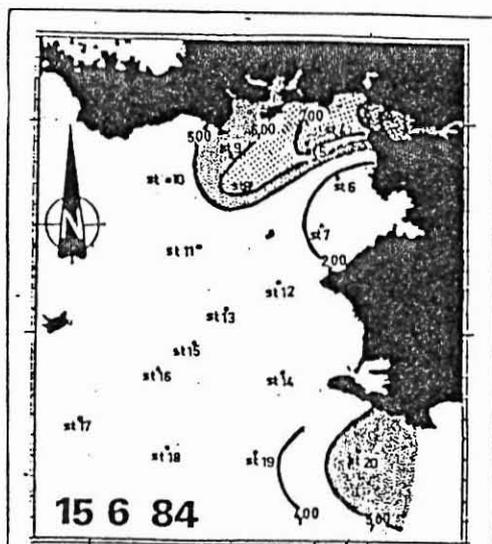
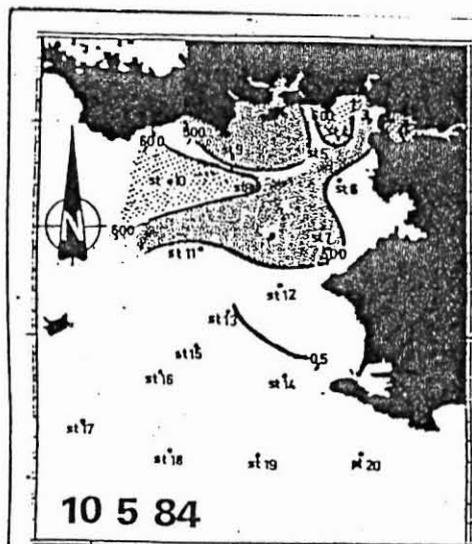


Figure n°7 : Concentration en chlorophylle a dans les eaux de surface de la baie de Vilaine, de mai à juillet 1984.
Chlorophylle a en mg/m^3 !

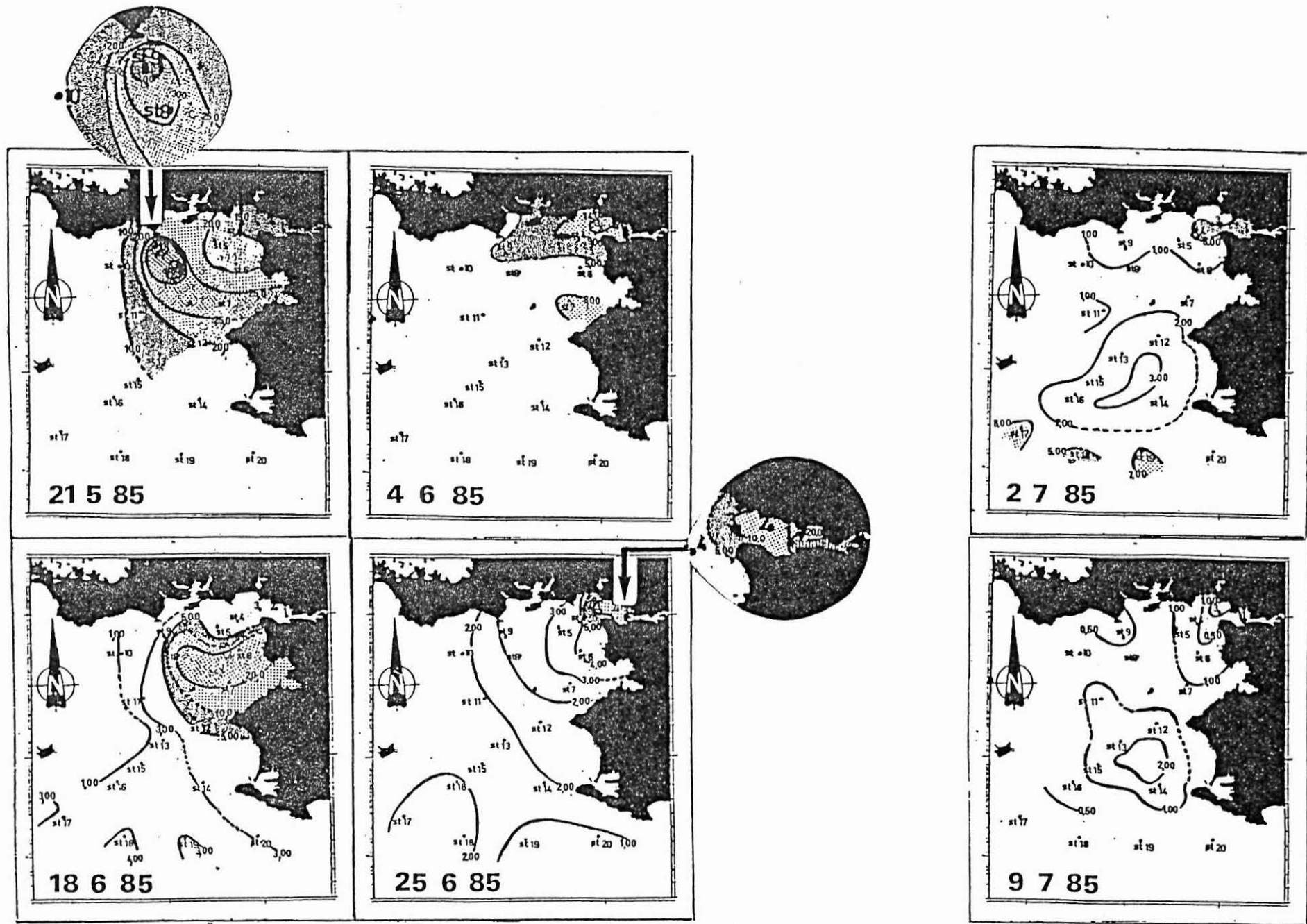


Figure n° 8 : Concentration en chlorophylle a dans les eaux de surface de la baie de Vilaine, de mai à juillet 1985.
 Chlorophylle a en mg/m^3 .

CAMPAGNE	EQUATIONS de REGRESSION	R ² * 100
5 JUIN 1984 (SURJUN 1)	(*) CHLa = 1.52 + 62.16 PO ₄ ³⁻ - 0.27 NO ₃ ⁻	100 %
15 JUIN 1984 (SURJUN 2)	(*) CHLa = 31.05 + 1.35 TURB. - 1.38 DENS. - 0.11 NO ₃ ⁻	98 %
19 JUILLET 1984 (SURJUL 2)	CHLa = 47.47 + 5.73 NO ₃ ⁻ - 19.54 NH ₄ ⁺ - 22.66 TURB.	97 %
25 JUIN 1985 (SURJUN 6)	CHLa = 108.76 - 1.08 NO ₃ ⁻ - 3.15 SAL. + 5.84 NO ₂ ⁻	93 %

Tableau n°7: RESULTATS des ANALYSES de REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE sur les DONNEES HYDROLOGIQUES de SURFACE.

(*) : EQUATIONS RETENUES pour l'ETUDE de PREVISION .

CAMPAGNES	VARIABLES	C.R.P.	F calculé (1,1)	significatif à	CONSTANTE	Nombre de données	F régression (2,1)	Ecart type résiduel
5 JUIN 1984 (SURJUN 1)	PO ₄ ³⁻	62.16	37505.64	**	1.52	4	30045.17 **	0.02
	NO ₃ ⁻	0.27	6030.99	**				
CAMPAGNES	VARIABLES	C.R.P.	F calculé (1,6)	significatif à	CONSTANTE	Nombre de données	F régression (3,6)	Ecart type résiduel
15 JUIN 1984 (SURJUN 2)	TURB.	1.35	73.91	**	31.05	10	95.53 **	0.88
	DENS.	- 1.38	14.48	**				
	NO ₃ ⁻	-0.11	5.10					

Tableau n°8: CARACTERISTIQUES STATISTIQUES des EQUATIONS de REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE, RETENUES pour les DONNEES de SURFACE.

(C.R.P. = Coefficient de régression partiel.)

(** = significatif à 1% , * = significatif à 5%)

2.2.2.2. Discussion

a) Prévision sur un mois

Pour soutenir favorablement l'intérêt du modèle de prévision, nous rendons compte des résultats les plus significatifs. Pour chaque station, à chaque campagne, nous avons rentré les données de surface dans l'équation de régression : $Chl a = 31,05 + 1.35 \text{ turb} - 1.38 \text{ dens.} - 0.11 \text{ NO}_3^-$. Les concentrations estimées sont comparées à celles mesurées ; les courbes de la figure n° 9 traduisent une très relative similarité d'allure. Mais seulement certaines stations de la baie de Vilaine se prêtent à la validation de ces modèles.

Les écarts les plus marqués sont observés à la station 3, le 19 juillet 1984 ($|e| = 26.05 \text{ mg/m}^3$) et à la station 4, le 5 juillet ($|e| = 8.29 \text{ mg/m}^3$) : la sous estimation de la teneur en chlorophylle est directement liée aux valeurs moins importantes de turbidité et à celles plus élevées de la densité, enregistrée à ces dates.

A la station 5, la différence moins accusée de 5 mg/m^3 entre les valeurs estimées et mesurées du 19 juillet, semble due essentiellement à une densité plus forte. Pour la même raison, on retrouve en station 6 un écart semblable, mais diminué d'un ordre de grandeur (4 mg/m^3). Quant à la station 9, elle valide l'équation de régression, d'une manière assez séduisante, puisque la variation maximum est de 1.36 mg/m^3 .

Sur la période estivale, la précision des teneurs de chlorophylle, d'un mois à l'autre s'avère relativement correcte. Lorsque les conditions du milieu accusent de modifications notables, la tendance du modèle est à la sous-estimation. Son utilisation est toutefois restreinte à un nombre réduit de stations ; celles pour lesquelles il est logique de suspecter une liaison accentuée entre la chlorophylle et les trois paramètres physico chimiques qui décrivent la régression.

b) Prévision d'une année à l'autre

Souhaitant vérifier les possibilités d'élargissement du modèle de prévision de la durée d'un mois à celle d'année - toujours pour la période estivale - nous avons procédé aux mêmes calculs sur une autre équation de régression :

$Chl a = 1,52 + 62,16 \text{ PO}_4^{3-} - 0,27 \text{ NO}_3^-$; elle a été obtenue sur la campagne du 5 juin 1984. Son coefficient de détermination ($R^2 \times 100$) est de 100 % (tableau n° 7). La comparaison des concentrations estimées à celles mesurées, rend compte de variations surtout importantes pour les mois d'été 1985. De plus, seules 7 stations dans la baie se prêtent à une relative vérification du modèle (figure n° 10).

Sur les 20 premiers jours, la différence entre les deux valeurs est faible, hormis le 5 juillet à la station 8 où l'écart est de $9,68 \text{ mg/m}^3$. Cette surestimation est attribuable à une teneur élevée en phosphates ($0.16 \mu\text{mol/l}$). Etant donné le fort coefficient de régression de cette variable, toute augmentation marquée de ses teneurs se repercute d'une manière accentuée sur les concentrations de chlorophylle. C'est par cette explication que l'on justifie des différences aiguës observées pour la plupart des stations, entre

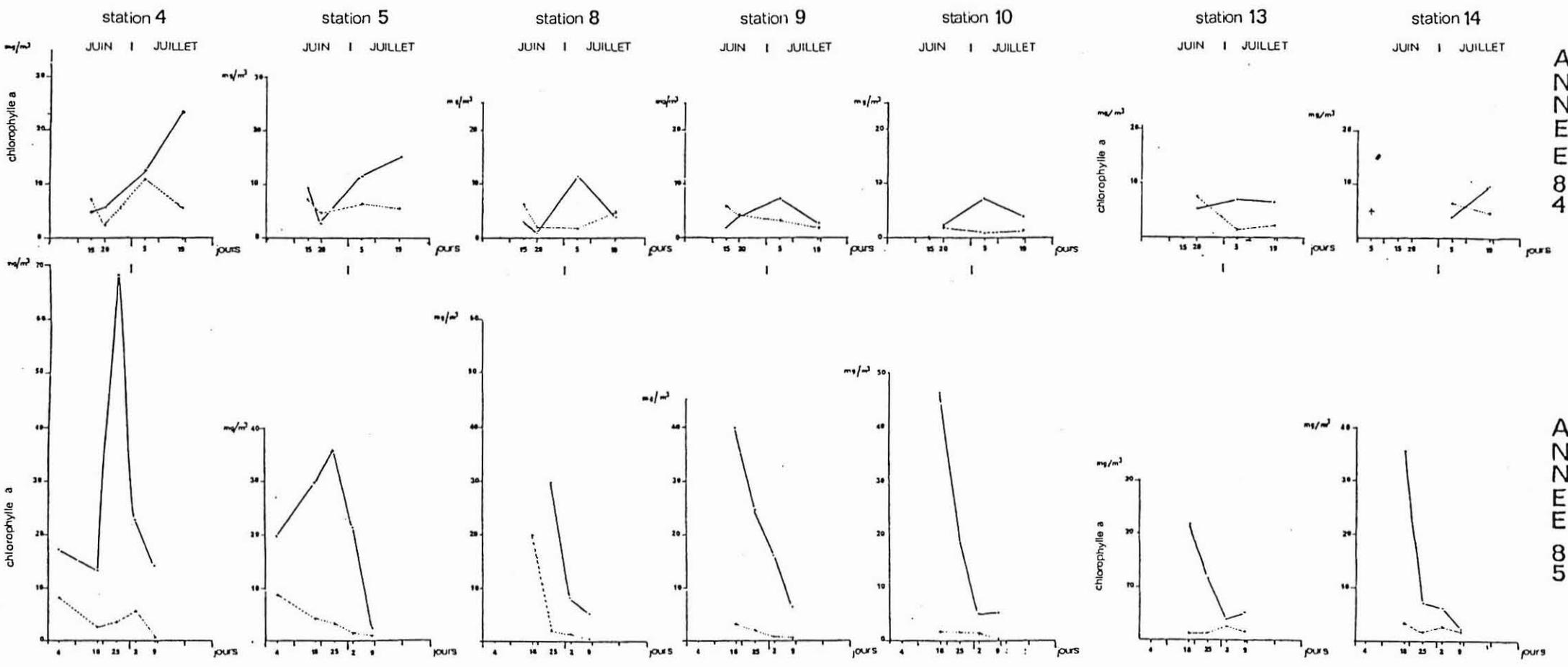


FIGURE n°9: Comparaison entre la concentration en chlorophylle a mesurée dans les eaux de surface et celle estimée par l'équation de régression multiple obtenue sur la campagne du 5 JUILLET 84.
 (—) : chloro. estimée . (+) : chloro. mesurée
 Equation : $Chl.a = 1.52 + 62.16 PC_4^{3-} - 0.27 NO_3^-$

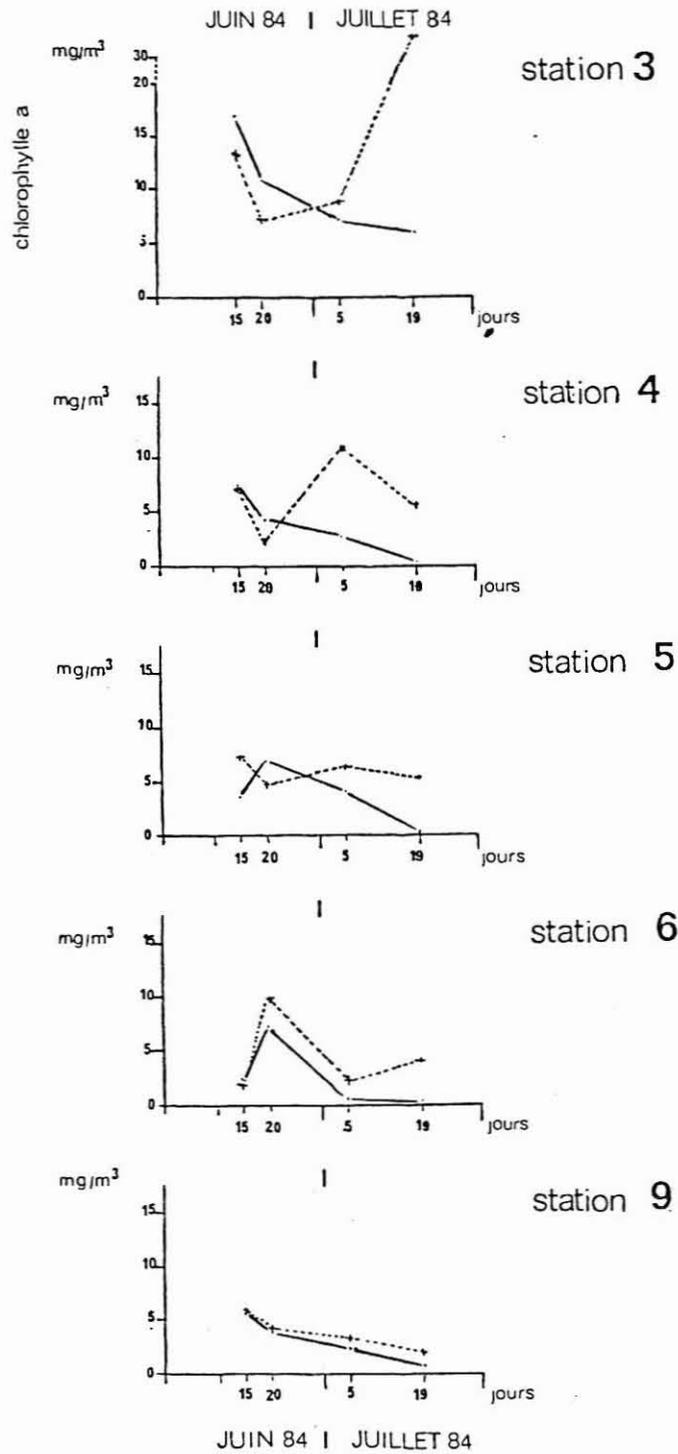


FIGURE n°10: Comparaison entre la concentration en chlorophylle a mesurée dans les eaux de surface et celle estimée par l'équation de régression multiple obtenue sur la campagne du 15 JUIN 84.

(—) : chloro. estimée (---) : chloro. mesurée

Equation : $Chl.a = 31.05 + 1.35 Turb. - 138 Dens. - 0.11 NO_3^-$

le 18 et le 25 juin 1985. En effet, sur cette période, les teneurs superficielles de phosphates comprises entre 0,30 et 1,10 $\mu\text{mol/l}$, conduisent systématiquement à une sur-évaluation des chlorophylles. Pour toute valeur plus faible des phosphates, (0,09 $\mu\text{mol/l}$) comme le 25 juin 1985, à la station 14 on retrouve une certaine validation du modèle, (écart = 5.35 mg/m^3). Pour une teneur quatre fois plus faible en ce nutriment, l'écart réduit considérablement est de 0,36 mg/m^3 , le 9 juillet 1985.

La prévision des teneurs en chlorophylle a sur la période d'une année est délicate. Son utilisation réclame beaucoup de prudence. Il est souhaitable d'appliquer un tel outil sur des périodes de similarité des conditions hydrologiques, sans pouvoir toutefois se mettre à l'abri d'écarts considérables entre les valeurs estimées et celles mesurées.

B - ETUDE DES SIMILITUDES ENTRE LES STATIONS DE LA BAIE DE VILAINE PAR UNE METHODE DE CLASSIFICATION/GROUPEMENT

1 - GENERALITES SUR LES METHODES DE GROUPEMENT

1.1. L'objectif de l'analyse

Le groupement est une opération de l'analyse multidimensionnelle qui consiste à partitionner la collection des objets de l'étude. Les méthodes écologiques de groupement doivent pouvoir dégager les groupes d'objets similaires entre eux. L'étape de base pour cette analyse est l'application de mesures d'association entre les objets ; on effectue une analyse en mode Q. Son objectif consiste à trouver le degré d'affinité entre les relevés, c'est-à-dire mesurer la ressemblance entre les objets de l'étude (stations), par rapport aux variables qu'ils contiennent (descripteurs). On souhaite aboutir à la caractérisation de groupes de stations affines. Le groupement des objets est ainsi une opération par laquelle on trouve une ou plusieurs partitions de ces objets en suivant des règles préétablies d'agglomération.

Cette opération est conduite sur une matrice d'association, transformation de la matrice de départ (stations x descripteurs) en une matrice carrée, symétrique (stations x stations) obtenue à l'aide d'un coefficient de distance.

1.2. Le coefficient de distance

La classe des coefficients de distance comprend une série de mesures qui ont en commun d'accorder une valeur maximale (souvent 1) à deux objets complètement différents et une valeur 0, à deux objets identiques quant aux descripteurs utilisés. Les coefficients de distance mesurent l'association entre objets et parmi les mesures de distance, les métriques obéissent aux quatre propriétés suivantes :

1. si $a = b$ alors $D(a,b) = 0$
2. si $a \neq b$ alors $D(a,b) > 0$
3. $D(a,b) = D(b,a)$
4. $D(a,b) + D(b,c) \geq D(a,c)$

La distance euclidienne est la mesure la plus familière de cette catégorie. Elle se calcule par la formule de Pythagore qui définit entre les points une relation dite d'espace euclidien (à n dimensions). Nous avons utilisé cette métrique :

$$D1(x_1, x_2) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{i1} - y_{i2})^2}$$

1.3 Le groupement des objets sans espace de référence

Les méthodes de groupement permettent de se dégager des contraintes métriques des cadres de référence habituels, destinés à positionner les objets ou les descripteurs. Pour la visualisation des résultats, les représentations de groupement permettent de relier les points librement, sans avoir à les placer dans un espace métrique. On peut donc utiliser les deux dimensions disponibles sur un graphique, pour illustrer d'autres aspects du groupement. On exprimera ainsi des relations intéressantes, comme le dendrogramme de l'interrelation entre les objets.

1.4 Le dendrogramme

Il illustre clairement le contenu des groupes formés à chaque niveau de partition. Ce graphique est construit d'une manière séquentielle agglomérative et hiérarchique. Il a comme point de départ une matrice d'association (ici une matrice de dissimilarités) entre les objets à grouper.

La méthode procède de la façon suivante : les groupes sont formés de façon hiérarchique, en commençant par les deux objets les plus semblables, puis en laissant les objets s'agglomérer aux groupes et les groupes s'agglutiner entre eux, à mesure que l'on relâche le critère de distance. Cette technique correspond à la méthode de base : le groupement à lien simple. Dans ce cas, la règle d'assignation d'un objet à un groupe, consiste en ce qu'un objet doit présenter, avec au moins un objet déjà membre du groupe, une distance au moins égale au niveau de partition considéré.

Dans cette méthode hiérarchique, les membres des groupes de rang inférieur deviennent membres de groupes plus importants de rang supérieur. Le groupement à liens simples est donc une stratégie qui contracte l'espace de référence tout en optimisant les routes hiérarchiques entre objets et grands groupes. On obtient ainsi un arbre de différentes partitions successives (LEGENDRE et LEGENDRE, 1979).

2 - CLASSIFICATION HIERARCHIQUE SUR LES STATIONS DE LA BAIE DE VILAINE EN 1984 ET 1985

2.1. Les données de surface

Pour effectuer ce traitement nous avons retenu les données hydrologiques de surface. En effet, ce niveau permet de conjuguer plus aisément

l'influence de la Vilaine sur l'enrichissement des eaux en sels nutritifs, la stratification horizontale thermique et haline et les accumulations éventuelles de dinoflagellés (niveaux superficiels ou subsuperficiels = -1 m) dans la baie. Notre objectif étant d'aboutir à un possible recouplement : lots de stations affines/zones à fortes concentrations en dinoflagellés.

En appliquant une stratégie d'agrégation (distance moyenne non pondérée) aux matrices d'association (ici des matrices de dissimilarité), nous obtenons les dendrogrammes qui mettent en évidence les groupes de stations (figures n° 11 et n° 13 a et b).

2.2. L'analyse portée sur le dendrogramme

Chaque dendrogramme obtenu par sortie a été décrit en fonction des partitions qu'il visualise. Pour chaque groupe de stations ainsi obtenu, nous avons relevé les caractéristiques des paramètres physico-chimiques. Ceci afin de cerner les facteurs susceptibles d'influencer l'allure de cette classification.

Il nous faut signaler que pour l'année 1985, trois paramètres font défaut à l'analyse (tableau n° 1 annexe 1) : il s'agit de la turbidité, de l'ammoniaque et de l'urée qui n'ont pas été mesurés.

Par ailleurs, il a été nécessaire de supprimer un certain nombre d'observations pour les stations présentant des données manquantes. A ce propos, nous avons pensé préférable de retirer ces relevés de l'analyse (au maximum quatre stations éliminées) plutôt que d'empêcher son déroulement.

Enfin, quand un grand nombre de stations restent absentes du groupement, c'est qu'elles n'ont pas été échantillonnées.

3 - LES RESULTATS DE L'ANALYSE

3.1. Les facteurs prépondérants dans le groupement des stations

D'une manière globale, il apparaît que les gradients de température, de salinité et les niveaux changeants de sels nutritifs gouvernent d'une manière prépondérante le regroupement des stations. Mais aux influences majeures jouées par ces facteurs, viennent s'ajouter celles, probablement moins déterminantes, de la teneur des eaux en chlorophylle a de la valeur de la turbidité et de la concentration en urée (exploitables en 1984).

3.2. Le découpage de la baie le plus souvent retrouvé en 1984

Sur la base des analyses portées sur les cinq dendrogrammes obtenus pour la période du 10 mai au 19 juillet 1984 (figure n° 11), nous proposons la sectorisation suivante de la baie de Vilaine : (figure n° 12 et tableau n° 9).

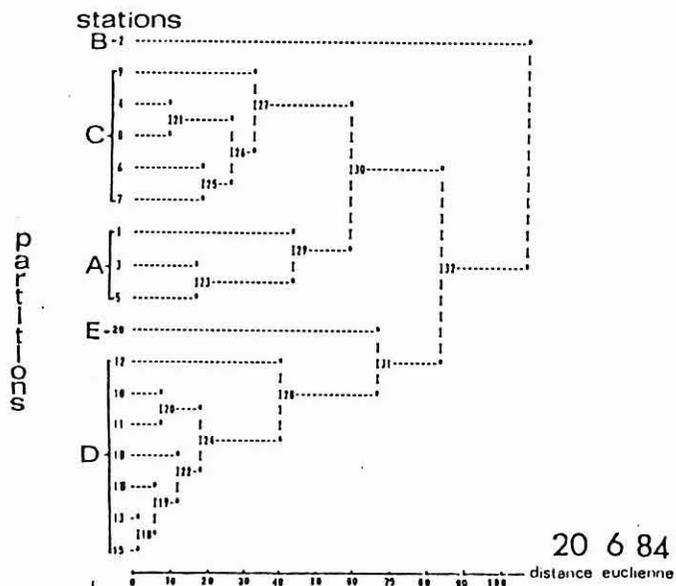
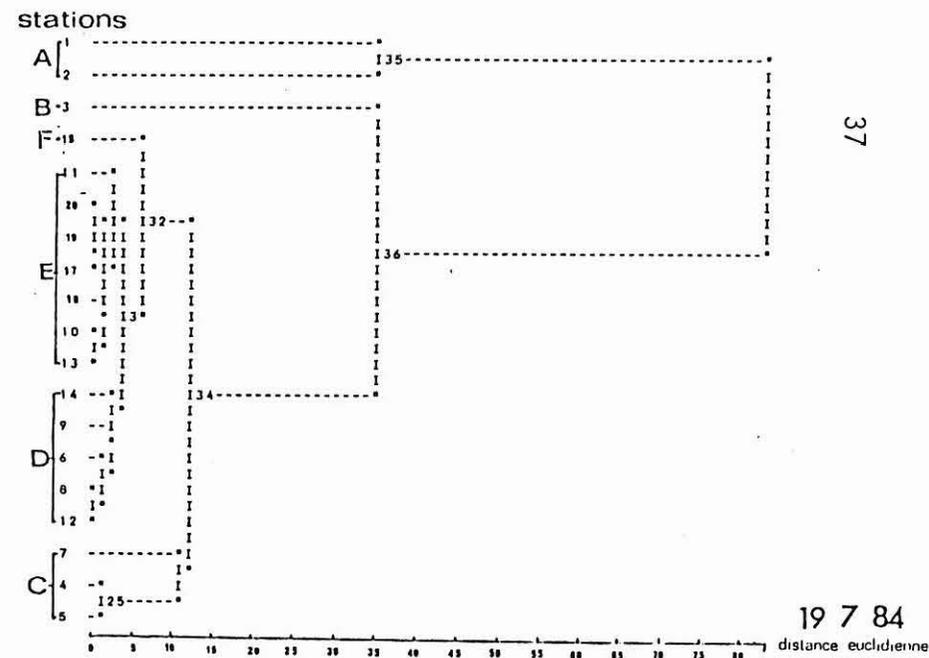
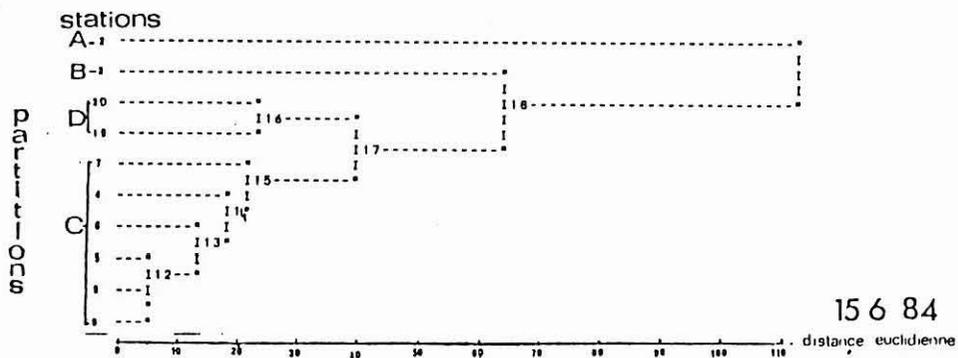
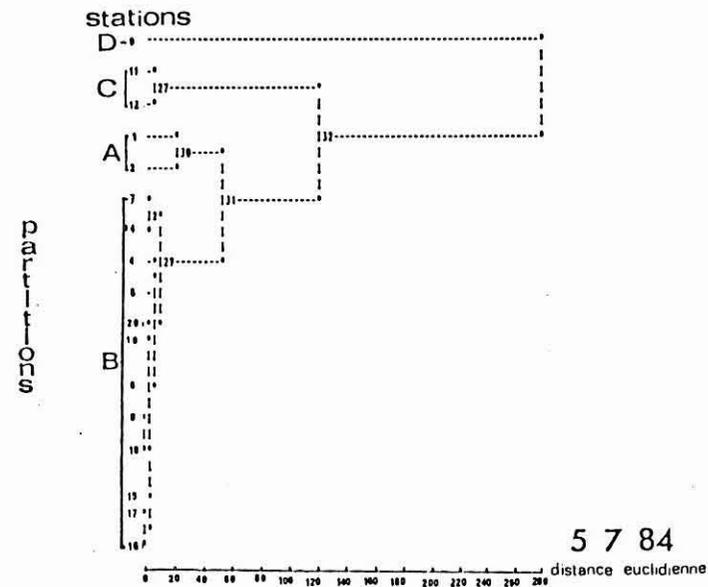
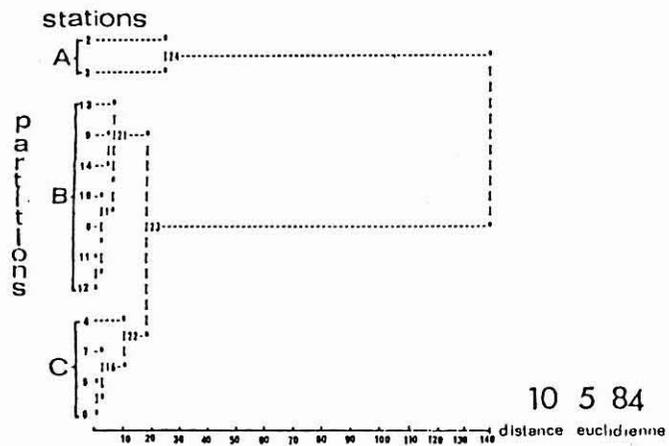


Figure n°11 : Dendrogrammes réalisés sur les données hydrologiques de surface, en baie de Vilaine, sur la période de mai à juillet 1984.

<u>GROUPES de STATIONS</u>	<u>PARTITION</u>	<u>FACTEURS SUSCEPTIBLES d'ETRE PREPONDERANT DANS LE REGROUPEMENT des STATIONS</u>
1-2-3	A	Température élevée, salinité faible, turbidité le plus souvent importante, très fortes teneurs en nitrates, phosphates et silicates. Rôle considérable du panache de dilution de la Vilaine.
4-5-6-7-8-9	B	Nette diminution de la température et augmentation de la salinité. Teneurs amoindries en sels nutritifs. Concentrations relativement similaires en urée et silicates.
10-11-12-13-14	C	Toujours augmentation de la salinité suivant le gradient estuaire / large. Diminution de la turbidité. Affaiblissement marqué des teneurs en sels nutritifs.
15-16	D	Teneurs voisines pour la température, la salinité et les silicates.
17-18-19-20	E	Large influence océanique : salinités le plus souvent élevées. Possibilité d'une influence de la Loire. Eaux océaniques pauvres.

Tableau n°9: SECTORISATION TYPE de la BAIE de VILAINE en 1984, et FACTEURS PREPONDERANTS dans le REGROUPEMENT DES STATIONS.

<u>GROUPES DE STATIONS.</u>	<u>PARTITION</u>	<u>FACTEURS SUSCEPTIBLES D'ETRE PREPONDERANTS DANS LE REGROUPEMENT DES STATIONS.</u>
1-2-3	A	Température élevée, salinité faible. Large influence du panache de dilution de la Vilaine. Teneurs élevées et parfois considérables en nitrates, phosphates et silicates. Concentration en chlorophylle a souvent supérieure à 10 µg/m ³ .
4	B	Salinité intermédiaire dans le gradient de dilution.
5-6-7	C	Valeurs proches de la température et de la salinité. Teneurs en sels nutritifs légèrement diminuées.
8-9-10-11-12	D	Salinités identiques ou très voisines. Concentration en chlorophylle a relativement élevée.
13-14	E	Température et salinité : - Soit dans une gamme de valeurs côtières. - Soit dans une gamme de valeurs océaniques.
15-16-17-18-19-20	F	Influence océanique largement retrouvée aux vues des valeurs de salinité. Faibles teneurs en sels nutritifs.

Tableau n°10: SECTORISATION TYPE de la BAIE de VILAINE en 1985 et FACTEURS PREPONDERANTS dans le REGROUPEMENT des STATIONS.

Examinons les facteurs supposés prépondérants dans la formation de chacune de ces partitions. Nous suspectons le rôle majeur joué par la température et la salinité dans toute la baie. Les gradients qui s'établissent entre l'embouchure de la Vilaine et la zone plus largement océanique influencent considérablement le regroupement des stations. Les partitions s'arrangent également sur la distribution horizontale des sels nutritifs et surtout sur celle des nitrates, des phosphates et des silicates. Ainsi depuis l'emplacement du panache de dilution de la Vilaine, jusqu'à la zone externe de la baie, l'affaiblissement des teneurs participe à la construction des grappes de stations.

Par conséquent, c'est une conjugaison de facteurs prépondérants (Tp - salinité - sels nutritifs) qui semble être à l'origine de la sectorisation de la baie observée en 1984.

3.3. Le découpage de la baie le plus souvent retrouvé en 1985

Nous avons fait la même étude sur les classifications hiérarchiques des stations de la baie en 1985. Six dendrogrammes ont été tracés pour la période du 21 mai au 9 juillet (figures n° 13 a et b). Ils nous permettent de découper la baie de la façon suivante : (figure n° 14 et tableau n° 10).

Nous constatons là encore, un rôle manifeste de la température et de la salinité sur toute la surface de la baie. Les concentrations en nutriments contribuent également à rassembler certaines stations depuis l'embouchure du fleuve et jusque dans la zone externe de l'estuaire : stations 8 - 9 - 10 - 11 et 12. Pour les relevés sous incidence océanique -partition F- l'influence de la salinité reste prépondérante. Quant aux teneurs en sels nutritifs, considérablement affaiblies dans ces eaux, elles renforcent l'agglomération de ce lot de stations.

3.4. Un recoupement entre les deux années et un modèle type de découpage

Sur l'ensemble des résultats de 1984-1985, nous avons cherché à établir un découpage type de la baie de Vilaine. Tenant compte des affinités entre les stations, nous aboutissons à une sectorisation de la baie en six zones (cf figure n° 15 et tableau n° 11).

Trois de ces partitions (A, B et F) regroupent presque toujours les mêmes stations ; deux des lots sont respectivement en estuaire et proche estuaire externe (A et B). On remarquera que certains dendrogrammes visualisent des partitions des stations 1, 2 et 3 nettement isolées. La distance est importante avant qu'elles ne s'agglomèrent aux autres groupes de stations. Cet isolement souligne la forte individualité des relevés de la zone d'estuaire. Il aurait pour origine, le mélange des eaux qui se ferait mal. Le troisième lot F, est au large, en domaine beaucoup plus océanique. La grappe C, réunissant les stations 8 et 9, s'agglomère à la partition B, pour des valeurs similaires en silicates et en urée (le 20 juin 1984). Mais sous l'effet de fortes teneurs en chlorophylle a, renforcé des valeurs voisines pour les salinités, elle s'agglutine avec les stations de la grappe D. Cette partition, contenant les stations 10, 11, 12, s'individualise en fonction de l'augmentation de la salinité et de l'affaiblissement des concentrations en sels nutritifs. La nette

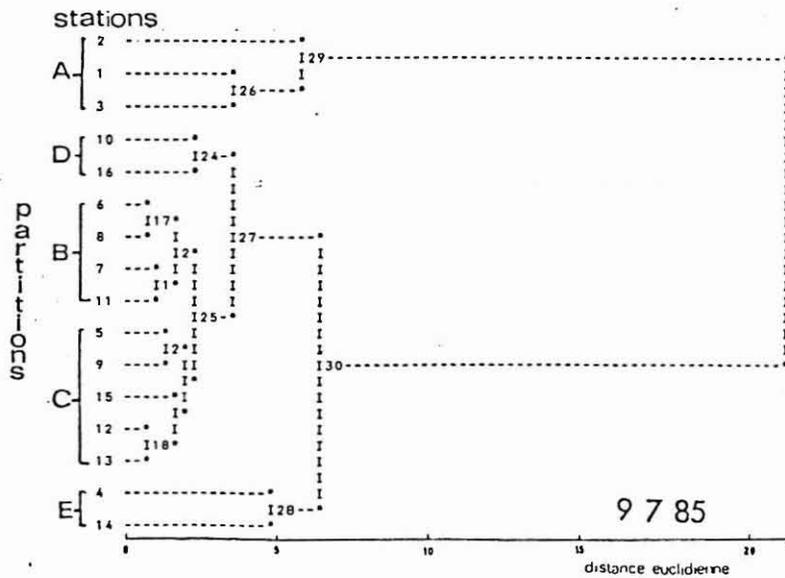
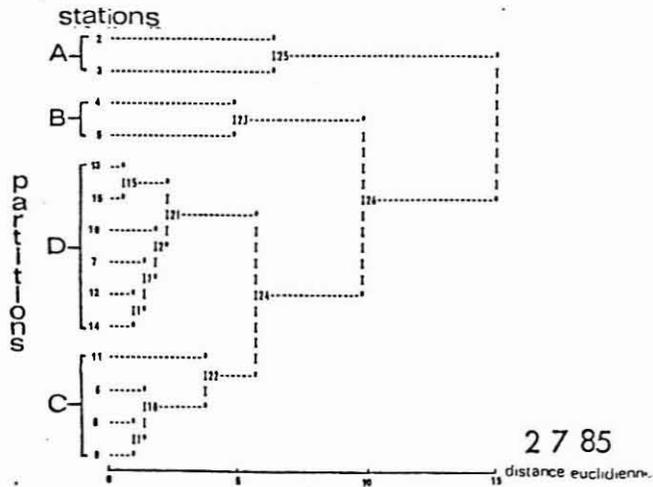
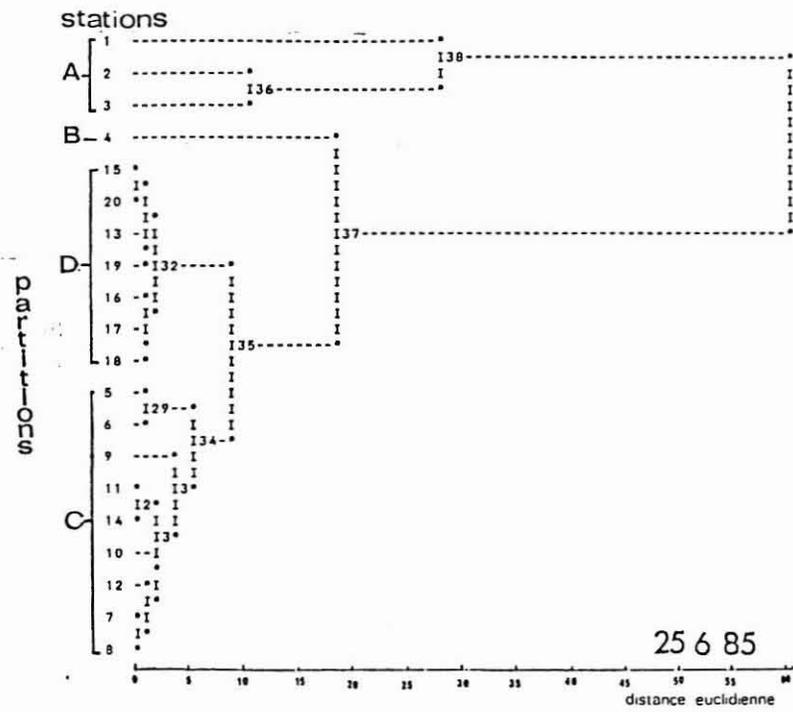


Figure n°13b: Dendrogrammes réalisés sur les données hydrologiques de surface, en baie de Vilaine, pour les campagnes du 25 juin, 2 et 9 juillet 1985.

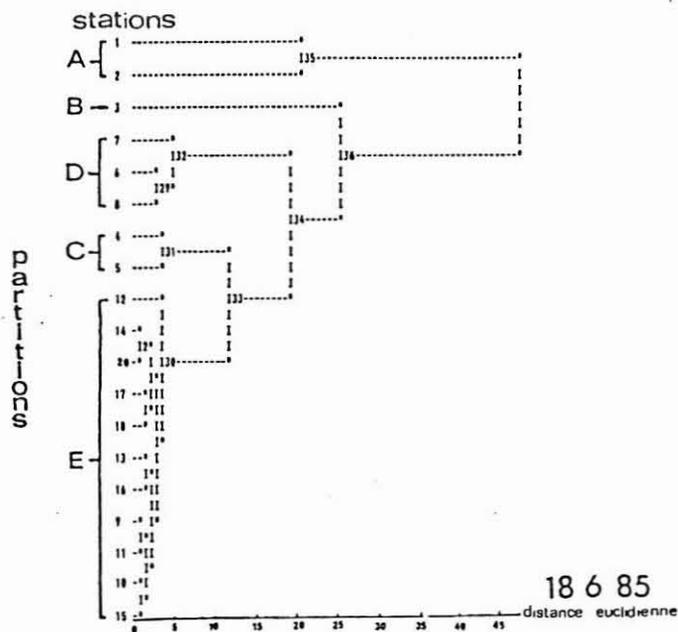
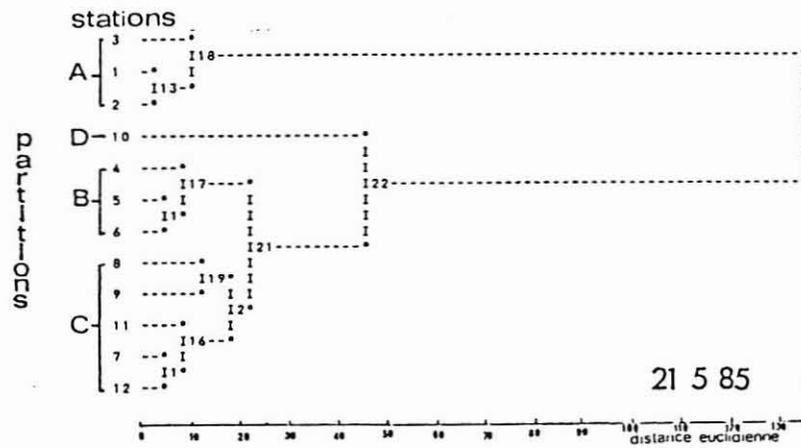
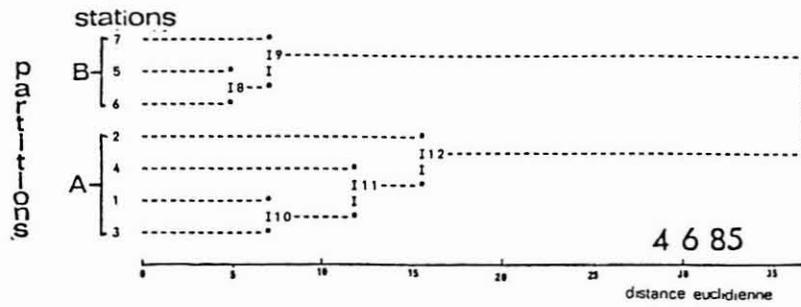
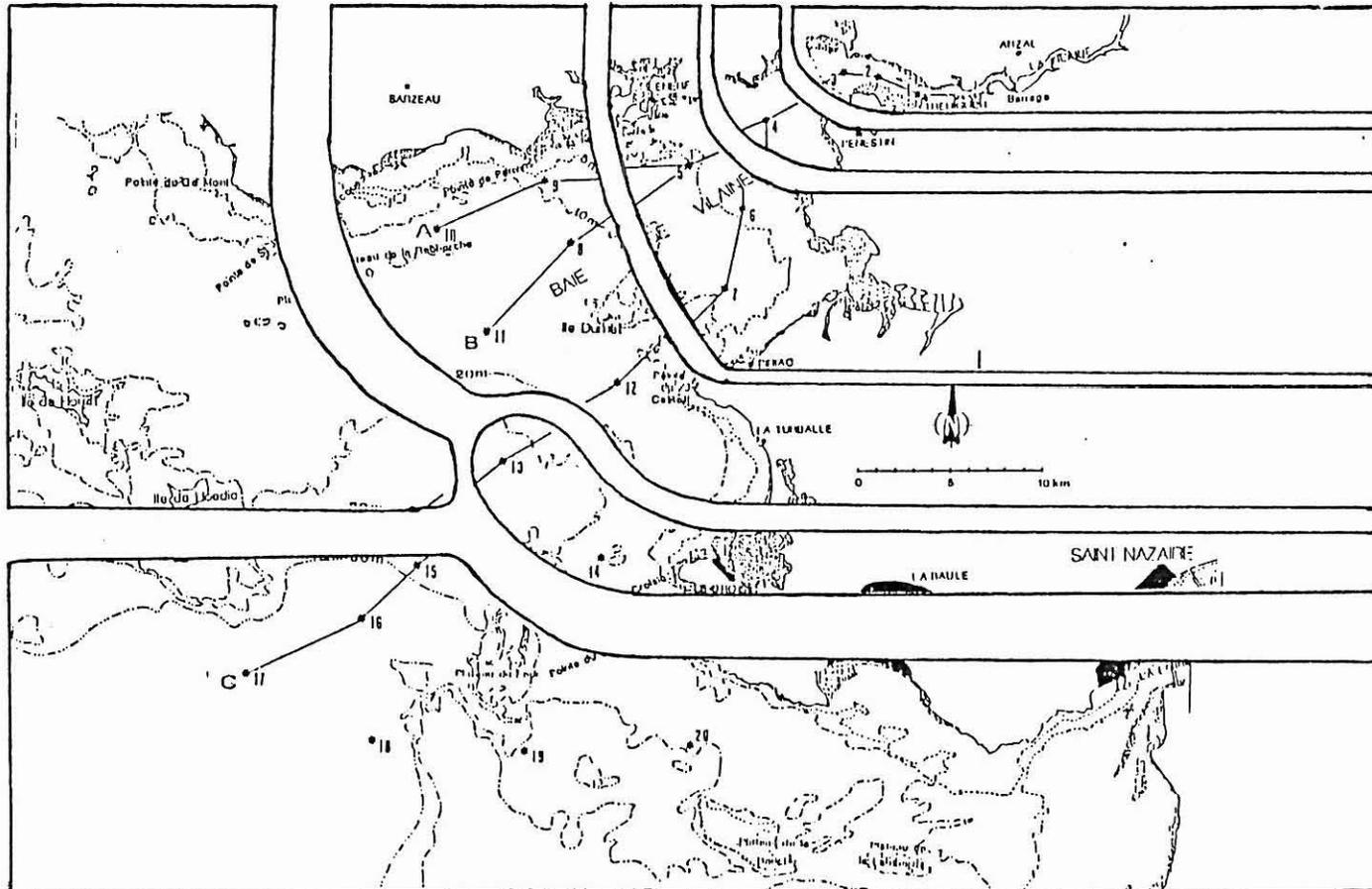


Figure n°13a: Dendrogrammes réalisés sur les données hydrologiques de surface, en baie de Vilaine, pour les campagnes du 25 mai, 4 et 18 juin 1985.

PARTITIONS



A
B
C
D
E
F

Figure n°14: SECTORISATION de la BAIE en 1985,
DRESSEE sur les RESULTATS des DENDROGRAMMES.

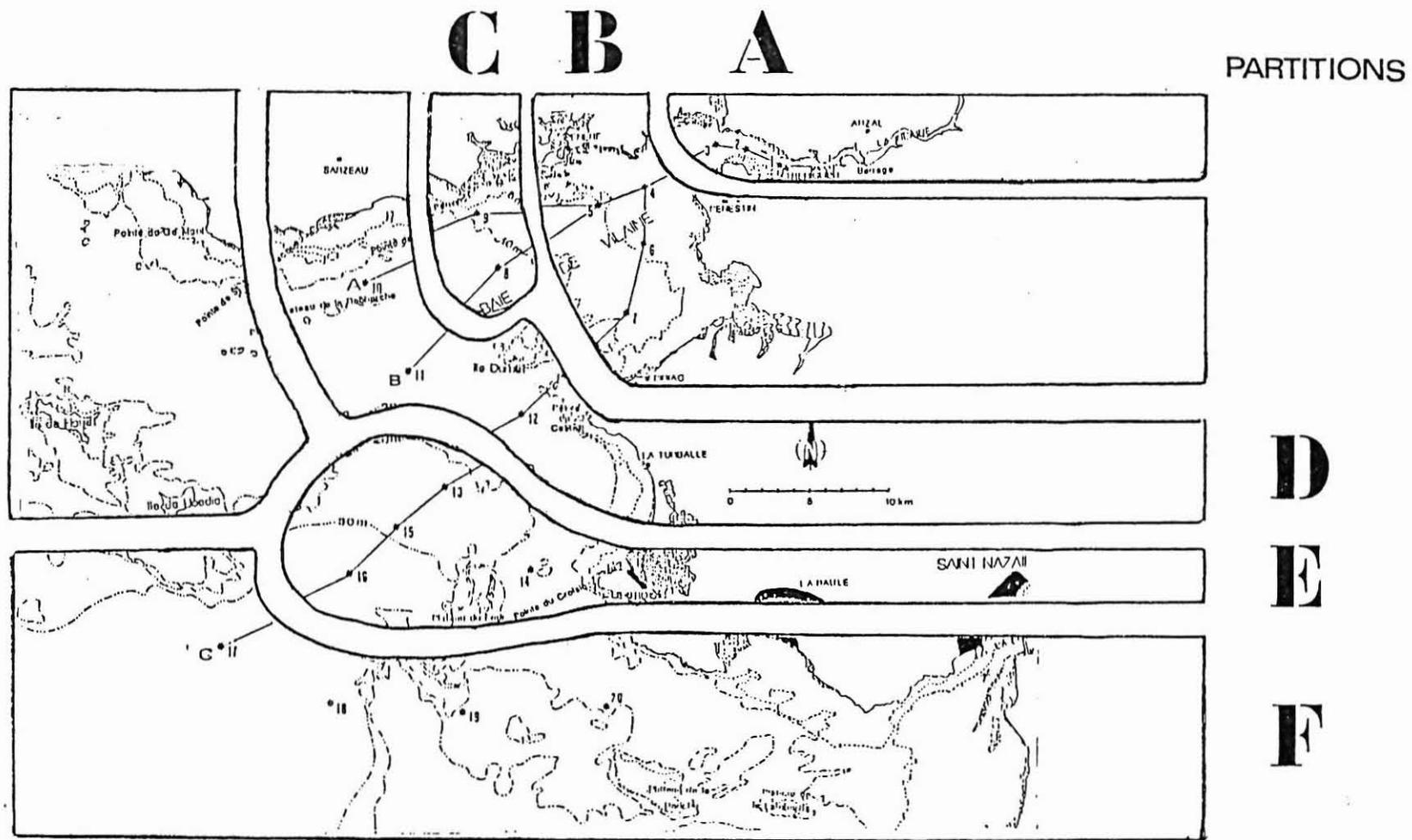


Figure n°15: UNE SECTORISATION TYPE POSSIBLE de la BAIE de VILAINE,
DRESSEE sur les RECOUPEMENTS de celles de 1984 et 1985.

<u>PARTITION</u>	<u>STATIONS</u>	<u>CARACTERISTIQUES du GROUPEMENT</u>	<u>FACTEURS PREPONDERANTS dans le GROUPEMENT.</u>
A	1-2-3	Stations nettement regroupées en 1984 et 1985.	Température élevée, salinité faible, influence considérable du panache de dilution de la Vilaine. Turbidité généralement importante. Fortes teneurs des sels nutritifs, surtout des nitrates, des phosphates, et des silicates. Concentration souvent élevée de la chlorophylle a.
B	4-5-6	Nettement groupées en 1984. En 1985, station 4 : agglomérée à A : une fois. à 5-6-7 : 3 fois seule : 2 fois.	Diminution de la température et augmentation de la salinité, sous l'effet de gradients inverses estuaire / large. Teneurs légèrement amoindries en sels nutritifs et concentrations souvent similaires en chlorophylle a.
C	8 et 9	En 1984, agglomérées avec B : 3 fois. avec D : 2 fois. En 1985, agglomérées avec B : 0 fois, mais réunies en une seule grappe B-C-D : 1 fois. agglomérées avec D : 1 fois.	Rôle suspecté de la position de ces stations dans les gradients thermiques et halins. Semblent agglomérées à B sur des valeurs similaires des silicates et de l'urée. Semblent agglomérées à D sous l'influence des fortes concentrations en chlorophylle a et des valeurs similaires de la salinité . (même isohaline.)
D	10-11-12	Regroupement irrégulier à l'image de la complexité hydrologique de la zone.	Agglomérées en fonction :- de l'augmentation de la salinité - des faibles teneurs en sels nutritifs. - de la diminution de la turbidité.
E	13 et 14	Faible individualité de ce lot de stations rattaché soit :- à un groupe plus central dans la baie. - à un groupe plus océanique	- Semblent agglomérées avec les lots de stations plutôt centre baie sur des valeurs de température et de salinité plus faibles. En situation inverse elles s'incorporent au lot de stations de localisation océanique. Sels nutritifs, turbidité et urée : valeurs faibles.
	15 et 16	idea.	- Mêmes influences de la température et de la salinité sur le sens de l'agglomération. Turbidité nettement diminuée.
F	17-18-19-20	Le plus souvent, nettement regroupées de façon homogène. A ce lot, peut venir se greffer un certain nombre de stations de localisation plus centrale dans la baie.	Rôle prépondérant de la salinité. Stations directement sous influence océanique. Influence de la Loire possible pour les plus sud d'entre elles. Faibles teneurs en sels nutritifs.

Tableau n°11 : SECTORISATION de la BAIE de VILAINE, et FACTEURS PREPONDERANTS dans le REGROUPEMENT des STATIONS, ETABLIE à PARTIR de l'ENSEMBLE des OBSERVATIONS sur la SECTORISATION réalisée en 1984 et 1985.

diminution de la turbidité semble également avoir de l'influence. Enfin, les points 13, 14, 15 et 16 décrivent la classe E et peuvent grossir le lot de relevés central baie (D) ou océanique (F) selon les valeurs de salinité ou de température. Cette irrégularité de la composition des partitions (E avec D ou avec F) traduit la complexité hydrologique de la zone en question.

4 - L'HYDROLOGIE POUR EXPLIQUER CE DECOUPAGE DE LA BAIE

Les gradients thermiques, halins et de sels nutritifs semblent avoir une influence déterminante dans la caractérisation des groupes de stations affines de la baie de Vilaine.

4.1. L'effet température

En 1984, le réchauffement des eaux est brutal et s'est fait en mai et surtout en juin. Ainsi le 20 juin un front thermique chaud apparaît en surface avec une lentille à 22° C devant l'estuaire (cf figure n° 1 annexe 3) le gradient de température de surface doit agir considérablement sur le regroupement des stations, surtout dans la zone estuaire/proche estuaire externe : stations 1, 2, 3 et 4, 5, 6 et 7. L'échauffement des eaux de surface se poursuit en juillet.

En 1985, les températures superficielles sont nettement inférieures à celles de 1984. Juillet affiche un léger réchauffement (figure n° 2, annexe 3). Le 9, deux masses d'eaux chaudes (inférieure à 18° C) sont situées respectivement au nord et au sud des abords de l'île Dumet. L'effet gradient de température zone interne/zone externe reste évident.

4.2. L'effet salinité

Les fortes pluies de janvier, mars et mai 1984, se traduisent par une dessalure superficielle dans l'estuaire externe de la Vilaine : (salinité = 28 ‰ - figure n° 3 annexe 3). En 1985, elle est plus importante et atteint 24 ‰, le 21 mai (figure n° 4 annexe 3). Le gradient de salinité se marque depuis l'embouchure du fleuve, jusque dans la partie nettement océanique de la baie : stations 17, 18, 19 et 20. Par ailleurs, l'influence de la Loire sur certains secteurs est fort possible. Elle semble évidente le 19 juillet 1984, aux vues des valeurs graduelles de salinité entre les stations 20 et 17 (S comprise entre 32,18 ‰ et 34 ‰ - figure n° 3 annexe 3). En fait, sur toute la surface de la baie, la distribution horizontale des salinités gouverne d'une manière prépondérante, l'agglomération des stations affines.

4.3. L'effet des sels nutritifs

Dans le panache de dilution de la Vilaine, les teneurs en sels nutritifs sont élevées et parfois considérables :

- supérieures à 200 $\mu\text{mol/l}$ pour NO_3^-
- 10 - 15 $\mu\text{mol/l}$ pour NH_4^+
- 2 - 3 $\mu\text{mol/l}$ pour NO_3^-
- 0,5 - 2 $\mu\text{mol/l}$ pour PO_4^{3-}
- 20 - 50 $\mu\text{mol/l}$ pour Si(OH)_4

En s'éloignant de cette zone, les concentrations s'affaiblissent. En domaine océanique les eaux sont pauvres en nutriments. L'effet du gradient des sels nutritifs est donc parallèle à celui de la température et de la salinité. Les distributions des nitrates, phosphates et silicates ont un rôle important dans le regroupement des stations du proche estuaire : stations 1, 2, 3 et 4, 5, 6, 7. Plus localement au centre de la baie, des concentrations similaires en silicates doivent favoriser l'agglomération de quelques relevés : stations 8 et 9 avec 4, 5, 6, 7.

Pour justifier de la sectorisation de la baie, il semble donc nécessaire d'ajouter au couple température/salinité, le facteur sels nutritifs. Ce triplet peut-il avoir une influence sur les distributions de Dinophysis ? En 1984 et 1985, elles étaient analysées en fonction du degré de stratification des masses d'eaux (conjugaison température/salinité). Or il s'avère que les proliférations plus ou moins intense de ce dinoflagellé sont presque toujours indépendantes de la charge du milieu en sels nutritifs. En est-il de même pour sa répartition et son maintien dans la baie ?

5 - LES DISTRIBUTIONS DE DINOPHYSIS DANS LE SYSTEME LOIRE - VILAINE

En 1984, les concentrations les plus élevées en surface (10 000 cellules par litre et plus) sont presque toujours associées à la partie interne de la baie, soit à l'est d'une ligne Pénérif - Piriac (figure n° 16) (Truquet et al., 1985). Cette zone correspond aux stations 1 à 7.

En 1985, les teneurs superficielles restent faibles pendant toutes les campagnes, excepté une légère recrudescence le 9 juillet. Là encore, la partie intérieure de la baie présente les plus importantes accumulations de Dinophysis (stations 4 à 9). Curieusement, ce sont les niveaux trois et cinq mètres qui attestent des plus fortes concentrations.

Globalement, il apparaît que les distributions de Dinophysis sont aiguës au niveau des stations 4, 5, 6 et 7. Ce lot de relevés correspond à la partie B du découpage fait sur la baie. Rappelons que ces stations semblent agglomérées sur des valeurs voisines de température, de salinité et de sels nutritifs. Elle présentent également des teneurs similaires en chlorophylle a.

Lorsque les blooms de ce dinoflagellé sont en régression on assiste à la fois à une diminution des concentrations et à une distribution plus large (20 juin 1984, 25 juin 1985) (stations de la grappe F) (cf figure n° 17). Ces variations d'effectifs et de répartition seraient dues essentiellement à une dispersion des cellules dans la colonne d'eau. Un régime très localisé de courants superficiels est également suspecté pour transporter les organismes vers l'extérieur du système. Les données courantologiques sont malheureusement absentes de cette étude (Lassus et al., 1986).

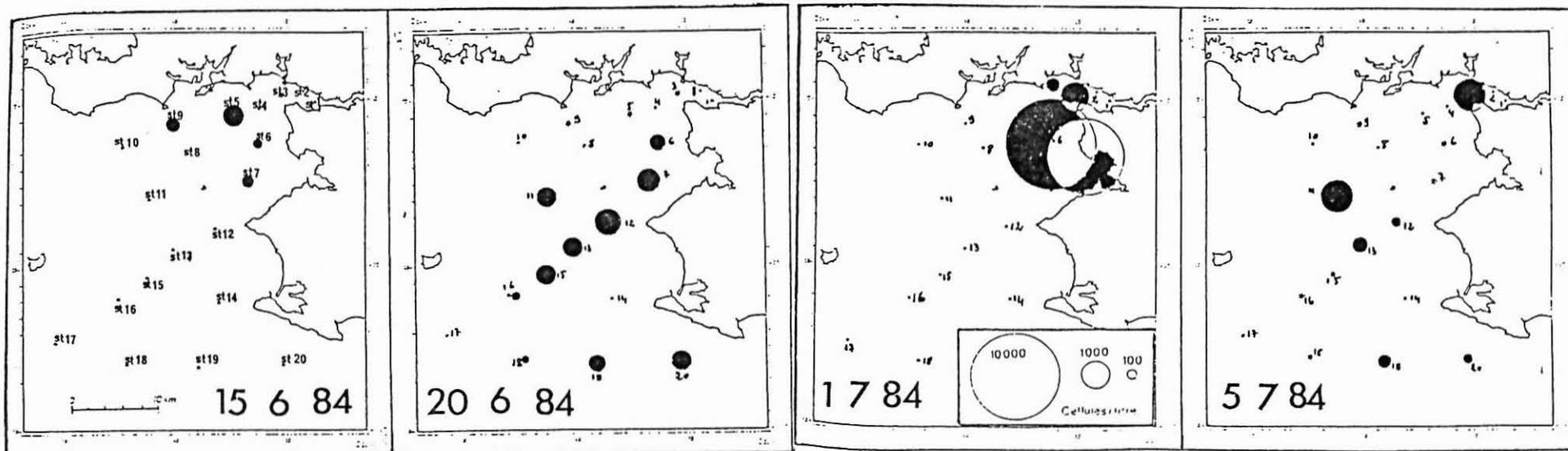


Figure n°16: Evolution des concentrations de surface en Dinophysis, en baie de Vilaine de juin à juillet 1984.

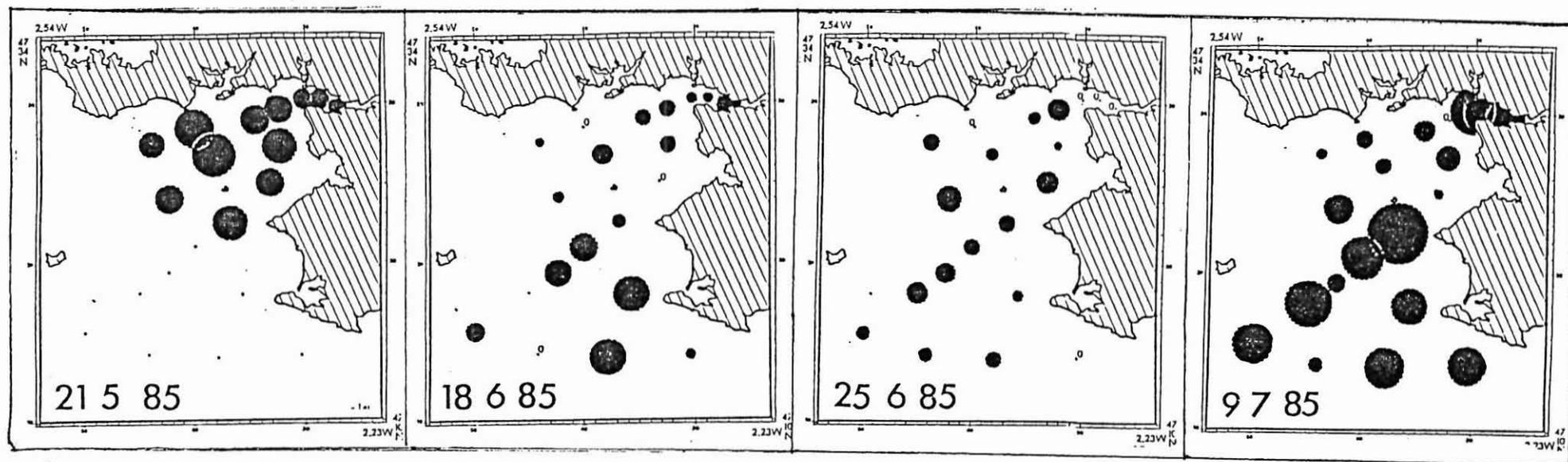


Figure n°17: Evolution des concentrations de Dinophysis en baie de Vilaine, de mai à juillet 1985. (Niveau : surface.)

CONCLUSION

De l'ensemble de ces résultats, nous pouvons retenir quelques points fondamentaux qui sont à relier à l'approche analytique d'un milieu marin complexe comme la baie de Vilaine.

1 - L'ajustement d'un modèle mathématique simple à un phénomène biologique suppose une quantité d'informations dont nous n'avons pas disposé ici. Or, pour approcher au mieux, la compréhension d'un mécanisme biologique, il est nécessaire de fournir au modèle le maximum d'informations. On minimise ainsi le biais entre le phénomène naturel et l'outil mathématique, voulu comme une représentation de la réalité.

2 - La régression linéaire multiple ne permet pas d'aboutir à cette approche fidèle du milieu. Les qualités de prévision de cet outil sont imparfaites et substitué à la réalité, il n'apporte qu'une restitution incomplète du phénomène. Ainsi, pour le même été, les prévisions de teneurs des eaux en chlorophylle a ne sont que relativement voisines des valeurs réelles et susceptibles d'écarts considérables. L'image produite par cet outil est simple mais insatisfaisante.

3 - La régression multiple confirme toute de même l'idée d'une liaison majeure entre les différents paramètres physico-chimiques. Les variations de la chlorophylle a sur toute la colonne d'eau, sont expliquées de façon prépondérante par la densité (couple température/salinité) les nitrates et les silicates. Sur les seules données de surface, la liaison s'établit surtout autour des phosphates et des nitrates. D'une manière générale la stratification du milieu et l'apport en éléments nutritifs gouvernent ce lien. La teneur en chlorophylle a décrit l'abondance des eaux en phytoplancton, et ses concentrations excessives sont légitimement rattachées aux proliférations d'organismes chlorophylliens. A l'origine de ces fortes teneurs : essentiellement les blooms de diatomées. La part des Dinoflagellés dans ces valeurs reste elliptique et aucune étude exhaustive ne permet de confirmer l'activité chlorophyllienne de certains groupes tandis que bon nombre d'espèces sont non photosynthétiques (Proto-peridinium, Ceratium, Diplopsalis,....).

4 - La compréhension du mécanisme de prolifération des Dinoflagellés, ne se fera pas au moyen d'un modèle de régression linéaire. Elle repose plutôt sur les outils de la modélisation fine et sur l'exploitation des équations différentielles. Aux compartiments classiques de ces modèles (éclairage, prédation, sels nutritifs), il serait intéressant d'y intégrer certains paramètres descriptifs de la physiologie de ces organismes (taux de division cellulaire, phase d'apparition des kystes, phototropisme positif, photopériode endogène, solubilisation de certains éléments, chélation...). Quant aux exigences nutritionnelles, les cultures et l'écophysiologie devraient permettre de les clarifier.

5 - L'utilisation d'une méthode de classification hiérarchique sur les données hydrologiques de surface de la baie de Vilaine, a permis de déterminer une structure spatiale. Les dendrogrammes visualisent des groupes de stations bien individualisés et on peut attribuer à ces partitions une "personnalité" reconnue forte. Elle s'applique surtout aux relevés de l'estuaire et du proche estuaire externe. Les stations du large, sous influence océanique, s'agglomèrent également en un groupe souvent homogène. Entre ces deux zones : une situation de complexité hydrologique et des regroupements de stations gouvernés par des valeurs voisines, voire similaires des paramètres physico-chimiques.

6 - Etant donné l'hétérogénéité des unités de ces paramètres, il faut réfléchir sur les distorsions d'échelles et si nécessaire homogénéiser la signification écologique des valeurs absolues de ces écarts dans ces déformations les plus fortes, comme dans les plus faibles.

Pour cela il est nécessaire :

- a) de regarder la distribution de chacune de ces variables sur un histogramme,
- b) d'en déduire une éventuelle transformation jusqu'au recours à une transformation en rang ou au codage logique.

7 - Cette structure spatiale présente des risques d'artéfacts, liés à l'ensemble des informations négligées dans l'étude. Par ailleurs, ces stations sont décrites par une valeur mesurée à un moment donné, des données auraient minimisé le risque d'erreurs, ces erreurs pouvant être suffisamment graves pour altérer les partitions du modèle réel. Il s'agit donc d'un problème d'inférence statistique. Pour le respecter, il faudrait bâtir un modèle stochastique fiable et qui soit associé à une stratégie d'échantillonnage rigoureuse et précise.

8 - Toute stratégie doit être inféodée aux besoins des travaux et conduire à la collecte des paramètres supposés prépondérants dans le phénomène étudié. Ceux-ci sont ceux destinés à la réalisation des modèles intégrant une dynamique spatiale et temporelle du système, solution possible pour élucider les mécanismes de prolifération des organismes phytoplanctoniques et plus précisément des Dinoflagellés.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (M.), PESANDO (D.) et PINCEMIN (J.M.), 1979.- Médiateur chimique et relations inter espèces. Mise en évidence d'un inhibiteur de synthèse métabolique d'une diatomée produit par un péridinien (étude "in vitro").- Rev. Intern. Oceanogr. Méd. 17 : 5-21.
- AUBERT (M.), 1971.- Télémédiateurs chimiques et équilibre biologique océanique (1ère partie). Théorie générale.- Rev. Intern. Océanogr. Méd. 21 : 5-16.
- AUBERT (M.) et PESANDO (D.), 1971.- Télémédiateurs chimiques et équilibre biologique océanique (2ème partie). Nature chimique de l'inhibiteur de la synthèse d'un antibiotique produit par une diatomée.- Rev. Intern. Oceanogr. Méd. 21 : 17-22.
- AUBERT (M.), PESANDO (D.) et PINCEMIN (J.M.), 1972.- Télémédiateurs chimiques et équilibre biologique océanique (4ème partie). Seuil d'activité de l'inhibiteur de la synthèse d'un antibiotique produit par une diatomée. Rev. Intern. Océanogr. Méd. 25 : 17-22.
- AUBERT (M.) et GAMBAROTTA (J.P.), 1972.- Etude de l'action antibactérienne d'espèces phytoplanctoniques marines vis-à-vis des germes anaérobies. Rev. Intern. Oceanogr. Méd. 25 : 39-47.
- BERTHOME (J.P.), BELIN (C.) et LASSUS (P.), 1986.- Eaux colorées, planctons toxiques et cultures marines. 1ère et 2ème partie. Equinoxe n° 5 et 6.
- BEUCHER (J.P.) et LE MAGUERESSE (A.), 1986.- Sensibilisation à l'outil informatique. Rapport IFREMER. DIT/DI - DRV/CSRU. 77 p.
- CARRETO (J.I.), NEGRI (R.M.), BENAVIDES (H.R.) and AKSELMAN (R.), 1985.- Toxic dinoflagellates blooms in the Argentine sea. Toxic dinoflagellates. Andersen, White and Baden, eds, Elsevier science publishing and Co. : 147-152.
- CORBETT (M.D.), ANDERSON (D.M.), PRAKASH (A.), OWAICHI (T.) and BRANN (M.L.), 1979.- The role of chelators and trace metals in toxic blooms. Toxic dinoflagellate blooms. Taylor/Seliger, ed, Elsevier North Holland, Inc : 463-467.
- DAVISON (P.) and YENTSH (C.M.), 1985.- Occurrence of toxic dinoflagellates and shellfish toxin along coastal Uruguay, South America. Toxic dinoflagellates. Andersen, White and Baden, eds, Elsevier Science publishing and Co. : 153-155.
- DOIG (M.T.III) and MARTIN (D.F.), 1974.- The effects of naturally occurring organic substances on the growth of red-tide organism. Water Research. 8 : 601-606.
- ENG-WILMOT (D.L.), Mc COY (L.F.) and MARTIN (D.F.), 1979.- Isolation and synergism of a red-tide (Gymnodinium breve) Cytotoxic factor(s) from cultures of Gomphosphaeria aponina. Toxic dinoflagellate blooms. Taylor/Seliger, eds, Elsevier North Holland Inc. : 355-360.

- FOGG (G.E.), EAGLE (D.J.) and KINSON (M.E.), 1984.- The occurrence of glycolic acid in naturel waters. Verh. Intern. Verein. Limnol. 17 : 480-484.
- FRONTIER (S.), 1973.- Stratégie d'échantillonnage en écologie. Masson coll. écol. 17 : 494 p.
- GAYRAL (P.), 1975.- Les algues ; Morphologie, cytologie, reproduction, écologie. 166 p.
- GUILLARD (R.R.L.) and HELLEBUST (J.A.), 1971.- Growth and the production of extracellular substances by two strains of Phaeocystis poucheti. Reprinted from Journ. of Phycol. 7 (4) : 330-338.
- GRANELI (E.), EDLER (L.), GEDZIOROWSKA (D.) and NYMAN (U.), 1985.- Influence of humic and fulvic acid on Prorocentrum minimum. Toxic dinoflagellates. Andersen, White and Baden, eds, E.S.P. and Co : 201-206.
- HADDAD (K.D.) and CARDER (K.L.), 1979.- Oceanic intrusion : one possible initiation mechanism of red-tide blooms on the west coast of Florida. Toxic Dinoflagellate blooms. Taylor/Seliger, eds, Elsevier North Holland : 269-274.
- HELLEBUST (J.A.), 1965.- Excretion of some organic compounds by marine phytoplankton. Limnol. Oceanogr. 10 : 192-206.
- HOLLIGAN (P.M.), 1979.- Dinoflagellate blooms associated with tidal fronts around the british isles. Toxic dinoflagellate blooms. Taylor/Seliger, eds, Elsevier North Holland : 249-256.
- HOLLIGAN (P.M.), 1985.- Marine dinoflagellate blooms. Growth strategies and environmental exploitation. Toxic dinoflagellates. Andersen, White and Baden, eds, E.S.P. and Co : 133-139.
- IWASAKI (H.), 1979.- Physiological ecology of red-tide flagellates. Biochem. Physiol. of Protozoa. 2nd ed. (1) : 357-393.
- KHALANSKI (M.), 1983.- Synthèse de la littérature sur les eaux rouges. (d'après le rapport du CRIEPI). Rapport E.D.F. : 110 p.
- LASSUS (P.), MAGGI (P.) et BESSINETON (C.), 1980.- Les phénomènes d'eaux colorées dans la baie de Seine en 1978. Science et Pêche. B.I.D.-I.S.T.P.M. 298 : 28 p.
- LASSUS (P.), 1984.- Dinoflagellés toxiques et phénomènes d'eaux colorées au Japon. Rapport de mission. R.D.R. 40. IFREMER DERO/MR : 69 p.
- LASSUS (P.), BARDOUIL (M.), TRUQUET (I.), TRUQUET (P.), LE BAUT (C.) et PIERRE (M.J.), 1985.- Dinophysis acuminata, distribution and toxicity along the southern brittany coast (FRANCE) : correlation with hydrological parameters Toxic dinoflagellates. Andersen, White and Baden, eds, E.S.P. and Co : 159-164.
- LASSUS (P.), MAGGI (P.), TRUQUET (I.), TRUQUET (P.), BARDOUIL (M.) et LARRAZABAL (M.E.), 1986.- Distribution de Dinophysis acuminata et des espèces associées, en baie de Vilaine pendant l'été 1985. Rapport IFREMER. DERO/MR : 56 p.

- LEGENBRE (L.) et LEGENBRE (P.), 1979.- La structure des données écologiques. Masson coll. écol. 12 : 1-151.
- LEWIN (J.) and CHEN (C.H.), 1971.- Available iron : a limiting factor for marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.* 16 : 670-675.
- LINDAHL (O.), 1983.- On the development of a Gyrodinium aureolum on the Swedish west coast in 1982. *Mar. Biol.* 77 : 143-150.
- MAGGI (P.), 1982.- Les mortalités massives de poissons en baie de Vilaine. (juillet 1982). Rapport ISTPM P.MA/MA : 19 p.
- MAHONEY (J.B.) and Mc LAUGHLIN (J.J.A.), 1977.- Association of phytoflagellates blooms in lower New-York bay with hypertrophication. *J. Exp. Mar. Ecol.* 28 : 53-65.
- MARTIN (D.F.) and MARTIN (B.B.), 1976.- Aponin, a cytotoxic factor toward the red-tide organism, Gymnodinium breve. Biological assay and preliminary characterisation. *J. Environ. Sci. Health.* 10-11 : 613-622.
- MARTIN (J.L.Y.) et VACELET (E.), 1975.- Le rôle des vitamines dans les relations bactéries plancton en eau de mer littorale et dans les flaques supralittorales. III. Relations entre la quantité de vitamine B₁₂ et les peuplements qui en font la synthèse. *Cah. Biol.Mar.* 16 : 511-519.
- MASTOURI (A.), 1985.- Contribution à l'étude des conditions hydrologiques favorables aux apparitions d'eaux colorées en baie de Vilaine, durant l'année 1984. Th. 3ème cycle E.N.S.A. Rennes : 137 p.
- OUCHI (A.), 1982.- Prédiction of red-tides occurrence by means of multiple linear regression. *Bull. Jap. Soc. Scient. Fish.* 48 (9) : 1245-1250.
- OUCHI (A.), KUSUKI (Y.), TAKAYAMA (H.), 1983.- Multiple regression equations of diatoms red tides and clustering of observation sea area. *Bull. Jap. Soc. Scient. Fish.* 49 (6) : 867-873.
- PIERRE (M.J.), 1984.- Analyses des successions phytoplanctoniques liées à l'apparition de Dinophysis acuminata dans la baie de Vilaine, au cours de l'été 1983. D.E.A. d'Ecologie. Université de Rennes I : 65 p.
- PINGREE (R.D.), PUGH (P.R.), HOLLIGAN (P.M.) and FORSTER (G.R.), 1975.- Summer phytoplankton blooms and red-tides along tidal fronts in the approaches to the English Channel. *Nature* 258 : 672-677.
- POOLE (B.M.) and GRANDONI (R.P.), 1979.- Response of Gonyaulax excavata and Rhizosolenia sp. in mixed culture to a synthetic auxin. Toxic dinoflagellate blooms. Taylor/Seliger, eds, Elsevier North Holland Inc. : 135-138.
- PRAKASH (A.) and RASHID (M.A.), 1968.- Influence of humic substances of the growth of marine phytoplankton : dinoflagellates. *Limnol. Oceanogr.* 13 : 598-606.

- RICE (T.R.), 1954.- Biotic influence affecting population growth of planktonic alga - U.S. Fish. Wild. Serv. Fish. Bull. 64 : 227-245.
- SILVA (E.S.), 1985.- Ecological factors related to Prorocentrum minimum blooms in Obidos lagoon (Portugal). Toxic dinoflagellates. Andersen, White and Baden, eds, E.S.P. and Co : 251-256.
- SNECEDOR (G.W.) et COCHRAN (W.G.), 1956.- Méthodes statistiques : 287-378 et 425-466.
- STEIDINGER (K.A.), 1975.- Basic factors influencing red-tides. Reprinted from : Proceedings of the First International conference on Toxic Dinoflagellates blooms. Lo Cicero (V.R.) and Mass. Scien. and Technol. Found., eds, 154-162.
- STEIDINGER (K.A.), 1983.- A re-evaluation of toxic dinoflagellate biology and ecology. Prog. in Phys. Research. 2 part 4 : 171-176.
- STEIGINGER (K.A.) et WALKER (L.M.) 1983.- Life histories, dispersal and survival in marine, planktonic dinoflagellates. In Marine plankton life cycle strategies. C.R.C. Press. Inc. : 19-35.
- TAKAHASHI (M.) and FUKASAWA (N.), 1982.- A mechanism of "red-tide" formation. II. Effect of selective nutrient stimulation on the growth of different phytoplankton species in natural waters. Mar. Biol. 70 : 267-273.
- TETT (P.), 1984.- The ecophysiology of exceptional blooms. I.C.E.S. Special meeting : 17 p.
- TRICK (C.G.), HARRISON (P.J.) and ANDERSEN (R.J.), 1981.- Extracellular secondary metabolite production by the marine dinoflagellate Prorocentrum minimum in culture. Can. J. Fish. Aquat.Sci. 38 : 864-867.
- TRICK (C.G.), ANDERSEN (R.J.) and HARRISON (P.J.), 1984.- Environmental factors influencing the production of an antibacterial metabolite from a marine dinoflagellate : Prorocentrum minimum. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49 : 423-432.
- TRUQUET (I.), LASSUS (P.), TRUQUET (P.) et MAGGI (P.), 1985.- Influence de la température et de la salinité sur les perturbations phytoplanktoniques observées dans le Mor-Bras en 1983 et 1984. Rapport IFREMER. DERO/MR. 48 p.
- TYLER (M.A.) and SELIGER (H.H.), 1981.- Selection for a red tide organism : Physiological responses to the physical environment. Limnol. Oceanogr. 26 (2) : 310-324.
- VIDEAU (C.), 1983.- Influence des excréments d'algues benthiques (substances jaunes) sur la croissance de Dinoflagellés marins. Rapport E.D.F. D.E.A.A./D.E.P.E.E. 46 p.
- WYATT (T.), 1973.- A mechanism for the origine of red tide and some note on the ecology of dinoflagellates. I.C.E.S. - CM/L : 12 p.
- WYATT (T.) and HORWOOD (J.), 1973.- Model wich generates red tides. Nature 224 : 238-240.

- WYATT (T.), 1985.- Modelling of red tides. Toxic dinoflagellates. Andersen, White and Baden, eds, E.S.P. and Co : 488-489.
- YAMOCHI (S.) and ABE (T.), 1984.- Mechanisms to initiate a Heterosigma akashiwo red-tide in Osaka Bay. II. Diel vertical migration. Mar. Biol. 83 : 255-261.
- YASUMOTO (T.), OSHIMA (Y.) and YAMAGUCHI (M.), 1978.- Occurrence of a new type of shellfish poisoning in the Tohoku District. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 44 (11) : 1249-1255.

TABLEAU n° 1. TABLEAU SYNOPTIQUE des CAMPAGNES de PRELEVEMENTS en BAIE de VILAINE sur la PERIODE 1984-1985.
(Données hydrologiques retenues pour le traitement.)

date de la campagne de prélèvements.	coefficient de marée.	heure de la basse mer.	stations échantillonnées.		nbr total d'observations.	nbr total de variables.	nature des variables mesurées.	paramètres manquants.
			nbr	n° stations.				
10 MAI 1984.	56	20 ^h 09	14	1 à 14.	67	15	Tp°, Sal, Den, Turb, NH4, NO3, NO2, PO4, SiOH4, Urée, Chlora, Chlo/Phe, Chlo.Acti, Niv, Sta.	Néant.
22 MAI 1984.	39	05 ^h 03	4	18 à 20 et 14	28	15	Idem	Néant.
5 JUIN 1984.	60	16 ^h 21	4	20.18.14.12.	26	15	Idem	Néant.
15 JUIN 1984.	80	13 ^h 11	10	2 à 9. 20 et 19	44	13	Idem sauf ----->	NH4et Urée
20 JUIN 1984.	46	16 ^h 55	18	1 à 13.16 et 20	101	15	Tp°, Sal, Den, Turb, NH4, NO3, NO2, PO4, SiOH4, Urée, Chlora, Chlo/Phe, Chlo.Acti, Niv, Sta.	Néant.
5 JUILLET 1984.	70	17 ^h 08	20	1 à 20	116	15	Idem	Néant.
19 JUILLET 1984.	58	16 ^h 11	19	1 à 19	114	15	Idem	Néant.
6 AOUT 1984.	49	19 ^h 44	20	1 à 20	117	15	Idem	Néant.
20 AOUT 1984.	43	17 ^h 40	20	1 à 20	117	15	Idem	Néant.
19 SEPTEMBRE 1984.	35	18 ^h 12	20	1 à 20	115	15	Idem	Néant.
30 OCTOBRE 1984.	52	15 ^h 07	16	1 à 20, sauf 10.13	103	15	Idem	Néant.
21 MAI 1985.	77	12 ^h 55	12	1 à 12	54	12	Niv, Sta, Tp°, Sal, Den, NO3, NO2, PO4, SiOH4, Chlora, Chlo/Phe, Chlo.Acti.	Turb, NH4, Urée.
4 JUIN 1985	96	12 ^h 42	7	1 à 7	28	12	Idem	Idem.
18 JUIN 1985.	73	11 ^h 57	20	1 à 20	114	12	Idem	Idem.
25 JUIN 1985.	60	17 ^h 19	20	1 à 20	114	12	Idem	Idem.
2 JUILLET 1985.	84	11 ^h 40	18	2 à 19	104	12	Idem	Idem.
9 JUILLET 1985.	50	17 ^h 08	16	1 à 16	88	12	Idem	Idem.

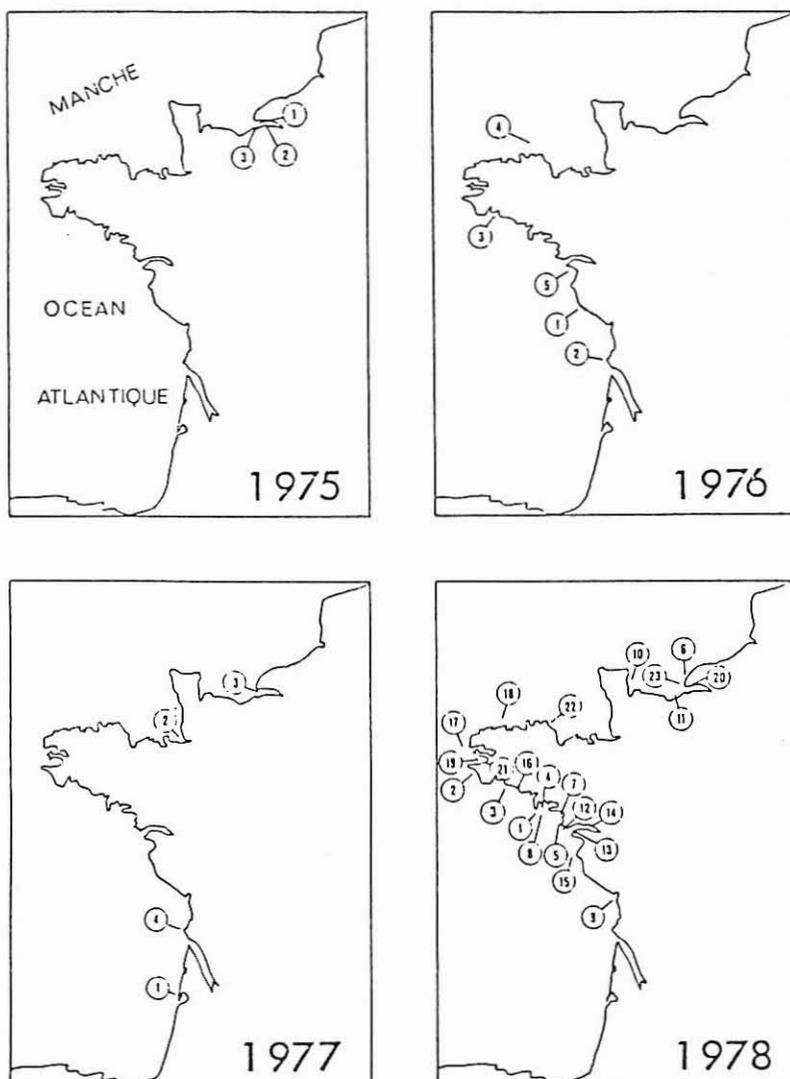
PARAMETRES A MESURER	METHODE UTILISEE
Oxygène dissout	Méthode de WINKLER.
Température	Thermomètre à mercure gradué au 1/10 de degré celcius.
Salinité	Salinomètre à induction Guildline Autosal, modèle 8400.
Sels nutritifs	Analyse automatique sur Technicon Auto Analyser II.
nitrites	Méthode de BENSCHNEIDER et ROBINSON.
nitrates	Méthode de WOOD et al.
ammoniaque	Méthode de KOROLEFF.
phosphates	Méthode de MURPHY et RILEY.
silicates	Méthode de FANNING et PILSON.
Urée	Méthode d'AMINOT et KEROUEL.
Matières en suspension/Turbidité	Par mesure néphélométrique.
Chlorophylle	Méthode de YENTSH et MENZEL.

Tableau n° 2 : METHODES ANALYTIQUES APPLIQUEES
AUX FACTEURS HYDROLOGIQUES.

LISTE DES FICHIERS DISPONIBLES

NO.	DATE	N O M	NBR.IND	NBR.VAR
1	2- 7-86	VILMAI1	67	15
2	2- 7-86	VILMAI2	28	15
3	2- 7-86	VILJUN1	26	15
4	2- 7-86	VILJUN2	44	13
5	2- 7-86	VILJUN3	101	15
6	2- 7-86	VILJUL1	116	15
7	2- 7-86	VILJUL2	114	15
8	7- 7-86	VILAOU1	117	15
9	7- 7-86	VILAOU2	117	15
10	7- 7-86	VILSEP1	115	15
11	7- 7-86	VILOCT1	103	15
12	9- 7-86	VILMAI3	54	12
13	9- 7-86	VILJUN4	28	12
14	9- 7-86	VILJUN5	114	12
15	9- 7-86	VILJUN6	114	12
16	9- 7-86	VILJUL3	104	12
17	9- 7-86	VILJUL4	88	12
18	16- 7-86	SURMAI1	14	13
19	16- 7-86	SURMAI2	4	13
20	16- 7-86	SURJUN1	4	13
21	16- 7-86	SURJUN2	10	11
22	16- 7-86	SURJUN3	18	13
23	16- 7-86	SURJUL1	20	13
24	16- 7-86	SURJUL2	19	13
25	16- 7-86	SURAOU1	20	13
26	16- 7-86	SURAOU2	20	13
27	16- 7-86	SURSEP1	20	13
28	16- 7-86	SUROCT1	18	13
29	17- 7-86	SURMAI3	12	10
30	17- 7-86	SURJUN4	7	10
31	17- 7-86	SURJUN5	20	10
32	17- 7-86	SURJUN6	20	10
33	17- 7-86	SURJUL3	18	10
34	17- 7-86	SURJUL4	16	10

Tableau n°3 : Liste des fichiers disponibles sur les données hydrologiques de la baie de Vilaine (colonne d'eau et surface) pour les années 1984 et 1985.



Localisation des eaux colorées signalées sur les côtes françaises de 1975 à 1978.

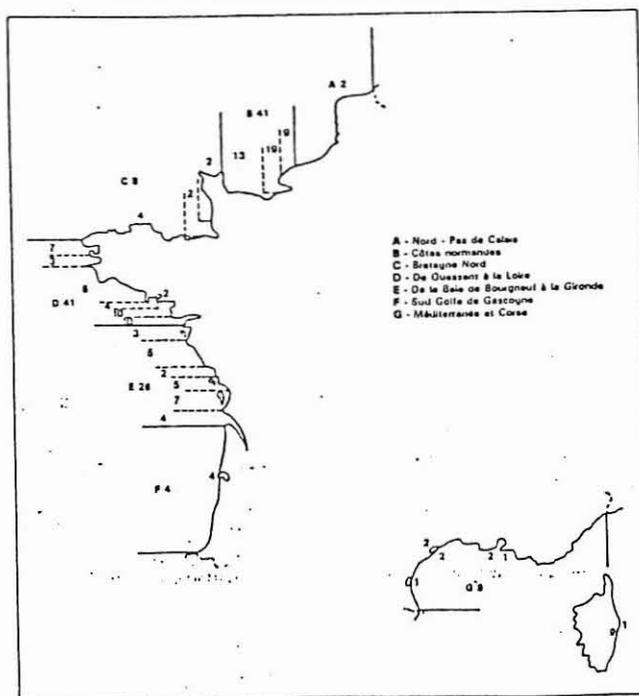


Figure n°1 : Nombre d'apparition d'eaux colorées le long du littoral français de 1975 à 1984.

Dates	Positions sur les cartes et localisations	Organismes responsables
11-21 juil. 1975 10 août 12 août	1 Estuaire de la Seine 2 Honfleur 3 Villerville	<i>Mesodinium rubrum</i> , <i>Prorocentrum</i> sp., Indéterminés. Indéterminés.
3 juil. 1976 4 juil. 24 juil. 6 août oct.	1 Les Sables d'Olonne 2 Bassin de Marennes-Oléron 3 Concarneau 4 49° 15' N - 3° 15' O 5 Baie de Bourgneuf	<i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Prorocentrum micans</i> , <i>P. micans</i> , Diatomées, <i>Gyrodinium aureolum</i> , <i>Nitzschia</i> sp.
fév.-mars 1977 16-17 mai 27 mai juil.	1 Arcachon 2 Baie du Mont-Saint-Michel 3 Estuaire de la Seine 4 Bassin de Marennes-Oléron	<i>Dinophysis ovum</i> , <i>Prorocentrum micans</i> , <i>Phaeocystis poucheti</i> , <i>Gyrodinium</i> sp., <i>Gonyaulax</i> sp., <i>Mesodinium</i> sp., <i>Prorocentrum micans</i> .
24 avril 1978 avril avril avril 3 juin 5 juin 8 juin juin 9 juin 1-20 juin 7-21 juin juin 15 juin 15 juin 20 juin 17 juil. 28-30 juil. 11 août 12 août 17 août 26 août 11 sept. 10-15 sept. 24-26 sept.	1 Belle-Ile 2 Baie d'Audierne 3 De Concarneau à Lorient 4 De Quiberon au golfe du Morbihan 5 Le Croisic 6 Port d'Antifer 7 Estuaire de la Vilaine 8 Ile de Hoedic 9 De la baie de l'Aiguillon à la Pallice 10 De Barthelemy à Grandcamp 11 De Arromanches à Honfleur 12 Du Croisic à Saint-Nazaire 13 Estuaire externe de la Loire 14 Estuaire interne de la Loire 15 Ile de Noirmoutier 16 Estuaire du Belon 17 Ile d'Ouessant 18 49° N - 4° 20' O 19 Morgat 20 Port du Havre 21 Baie de Douarnenez 22 Port de Paimpol 23 D'Antifer à Honfleur 20 Port du Havre	<i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Gonyaulax</i> sp., <i>Gonyaulax</i> sp., <i>Mesodinium</i> sp., <i>Prorocentrum micans</i> , <i>Peridinium</i> sp., <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Phaeocystis poucheti</i> , <i>Gonyaulax polygramma</i> , <i>Gonyaulax spinifera</i> , <i>G. polygramma</i> , <i>Gonyaulax</i> sp., <i>Gonyaulax spinifera</i> , <i>G. sp.</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Nitzschia seriata</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Peridinium punctulatum</i> , <i>P. sp.</i> , <i>Gyrodinium aureolum</i> , <i>Noctiluca scintillans</i> , <i>Gyrodinium aureolum</i> , <i>Prorocentrum micans</i> , <i>Gyrodinium aureolum</i> , <i>Gonyaulax</i> sp., <i>Prorocentrum</i> sp., <i>Polykrikos schwartzii</i> , <i>Exuviaella</i> sp., <i>Pseudopedinella pyriformis</i> , <i>Pyramimonas disomata</i> , <i>Gonyaulax spinifera</i> .

Tableau n°1 : Les eaux colorées signalées sur les côtes françaises, entre 1975 et 1978. (D'après LASSUS, 1980.)

ORGANISMES RESPONSABLES	DISTRIBUTION GEOGRAPHIQUE	TOXINE
<i>Gonyaulax catenella</i>	Pacifique Nord. Californie. Colombie. Alaska. Japon.	P.S.P.
type <i>Gonyaulax</i>	Uruguay.	analogue P.S.P. supposé Saxitoxine Néosaxitoxine Gonyautoxine.
<i>Gonyaulax excavata</i>	Argentine	P.S.P.
<i>Gonyaulax tamarensis</i>	Atlantique Nord. Canada. Grande Bretagne. Mer du Nord.	P.S.P.
<i>Gonyaulax acatenella</i>	Colombie.	P.S.P.
<i>Gonyaulax polyedra</i>	Sud Californie.	P.S.P.
<i>Gonyaulax monilata</i>	Golfe du Mexique.	Ichthyotoxine
<i>Pyrodinium phoneus</i>	Côtes de la Mer du Nord.	P.S.P.
<i>Gymnodinium breve</i> <i>Ptychodiscus brevis</i>	Golfe du Mexique.	Neurotoxine (Brevétoxine)
<i>Gymnodinium veneficum</i>	Manche Anglaise.	Neurotoxine
<i>Prorocentrum minimum</i> var. <i>mariae</i> Lebouriae	Japon.	Vénéropine
<i>Gymnodinium nagasakiense</i>	Japon.	Ichthyotoxine et P.S.P.
<i>Protogonyaulax tamarensis</i>	Japon.	P.S.P.
<i>Protogonyaulax catenella</i>	Japon.	P.S.P.
<i>Gyrodinium aureolum</i>	Atlantique Nord.	D.S.P.
<i>Gymnodinium catenatum</i>	Mexique. Côte Pacifique.	P.S.P.
<i>Dinophysis acuminata</i>	Atlantique Nord.	D.S.P.
<i>Dinophysis fortii</i>	Japon.	D.S.P.
<i>Pyrodinium bahamense</i>	Pacifique tropical.	P.S.P.
<i>Gambierdiscus toxicus</i>	Pacifique.	Ciguatoxine

Tableau n°2: Liste non exhaustive des principales espèces de Dinoflagellés reconnus toxiques.

I- MESURES PREVENTIVES	
<u>OBJECTIFS A REALISER.</u>	<u>DE QUELLE MANIERE.</u>
<ul style="list-style-type: none"> - Suppression de la surabondance des substances nutritives dans les eaux. - Elimination des substances stimulant la prolifération des micro-organismes. - Limitation des créations de terrains par remblais. 	<p>Réglementation de la charge en azote et en phosphore, et élimination de la boue polluée contenant des matières organiques.</p> <p>Elimination des matières organiques et des métaux lourds; Epuration des eaux et de la vase.</p> <p>Prévention de l'apparition d'eaux mortes, de la dissolution des substances nuisibles par brassage du fond, d'un apport nouveau de facteurs polluants.</p>
II- MESURES DIRECTES POUR LA LIMITATION DES DEGATS.	
<ul style="list-style-type: none"> - Prévention et détection précoces. - Suppression des micro-organismes d'eaux rouges. - Protection des produits de l'aquaculture. 	<p>Analyse du mécanisme d'apparition du phénomène, mise en place d'une organisation de surveillance et d'alerte.</p> <p>Pompage, destruction (attention aux effets secondaires).</p> <p>Analyse du processus de destruction, circonscription du phénomène. Expériences de détoxification.</p>

Tableau n°3: LES DIFFERENTS MOYENS DE LUTTE CONTRE LES EAUX ROUGES.
(Selon MURAKAMI)

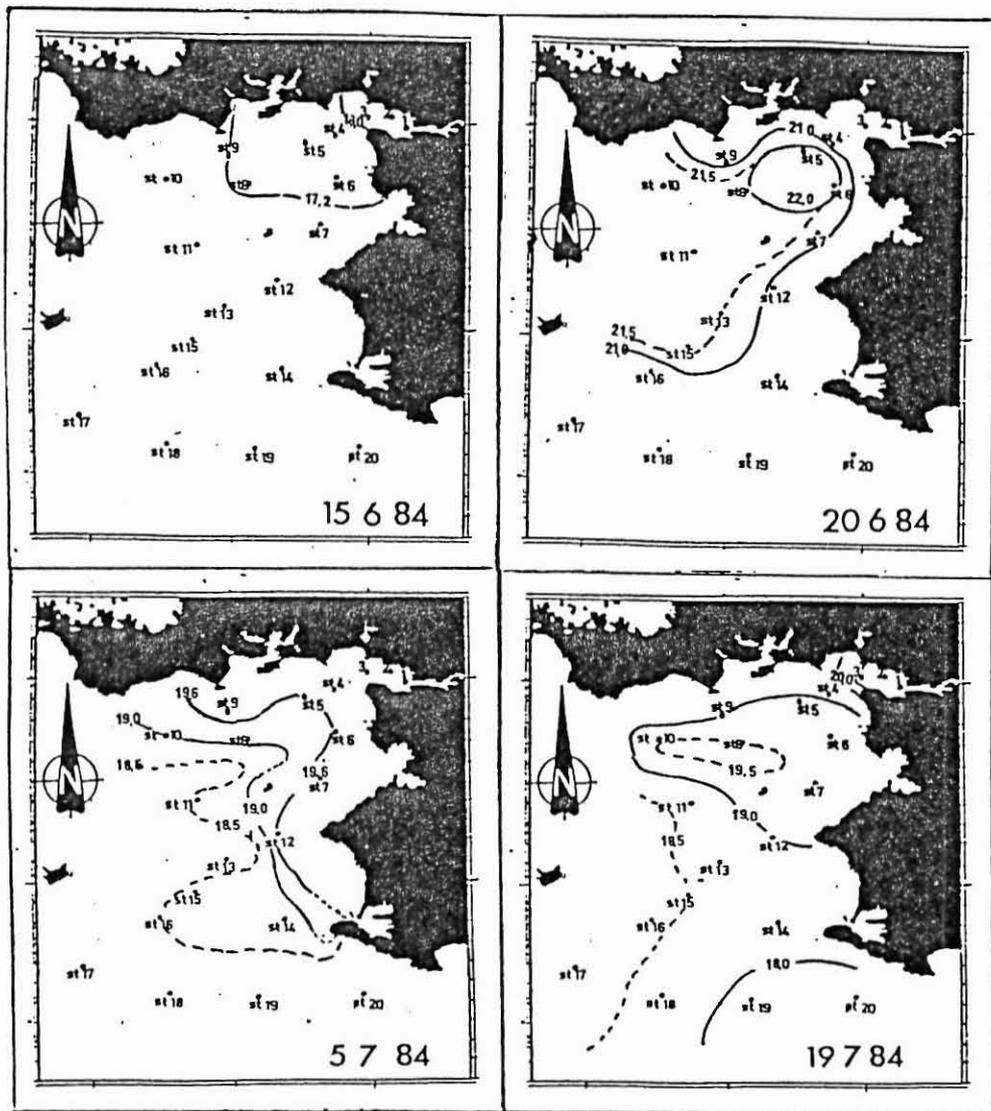


Figure n° 1 : Températures de surface en baie de Vilaine, de juin à juillet 1984. (en °C.)

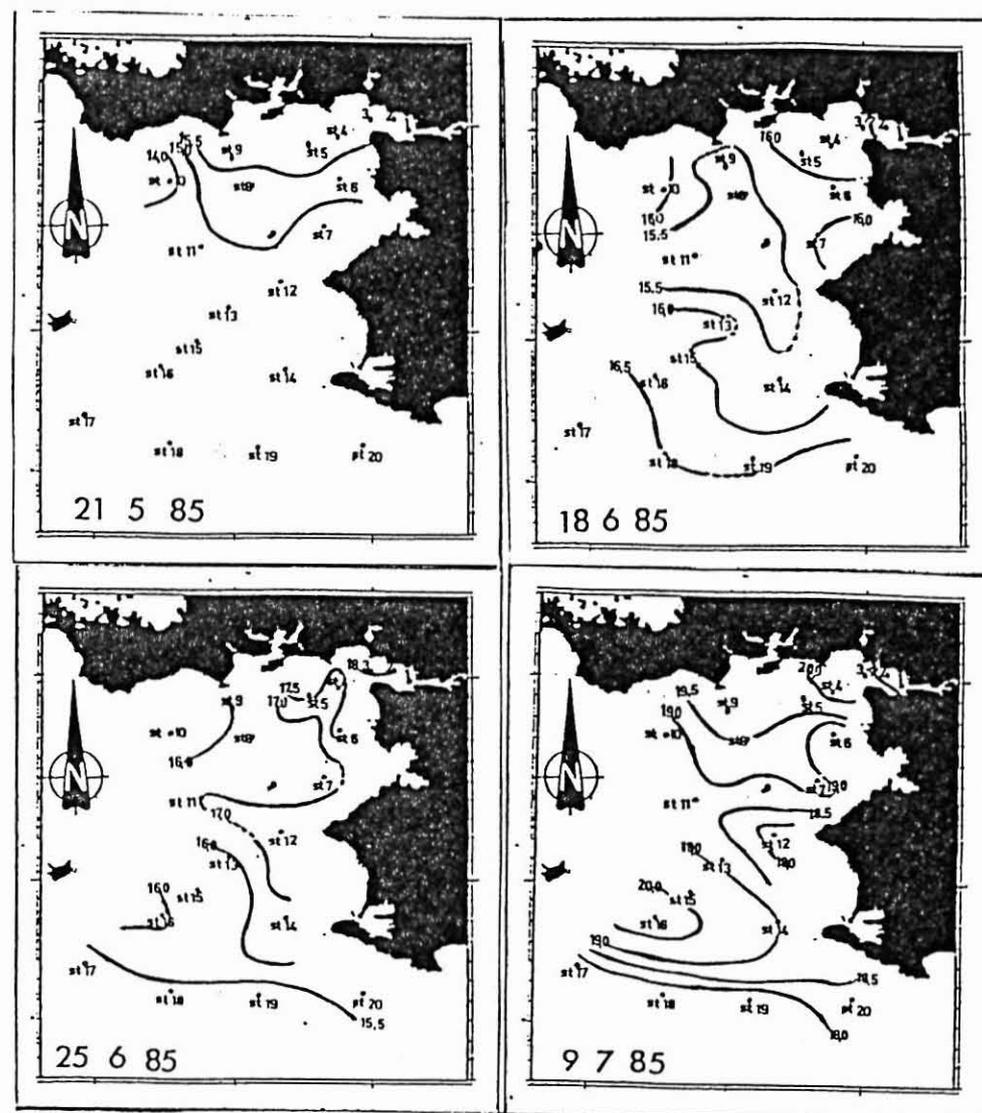


Figure n° 2 : Température de surface en baie de Vilaine, de mai à juillet 1985. (en °C.)

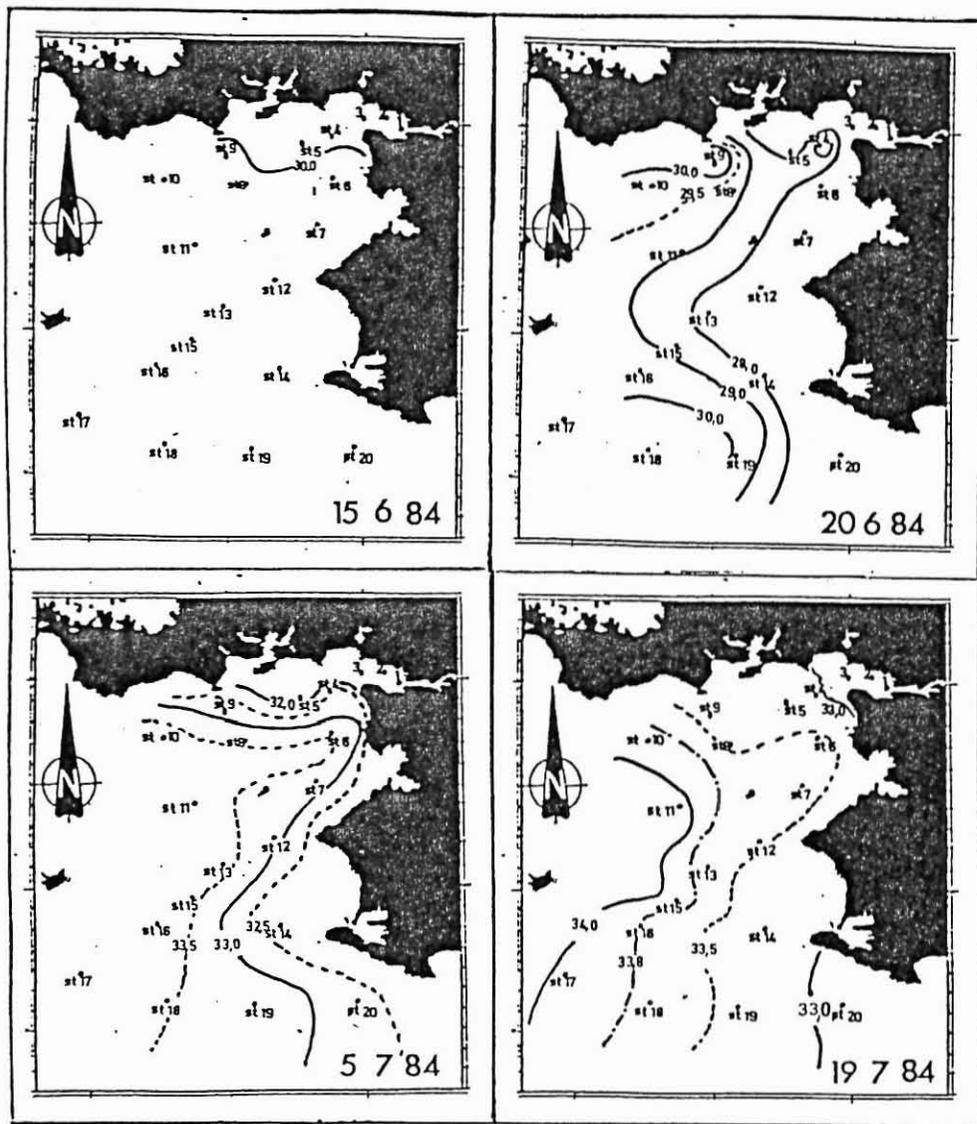


Figure n° 3 : Salinités de surface en baie de Vilaine, de juin à juillet 1984. (en %,)

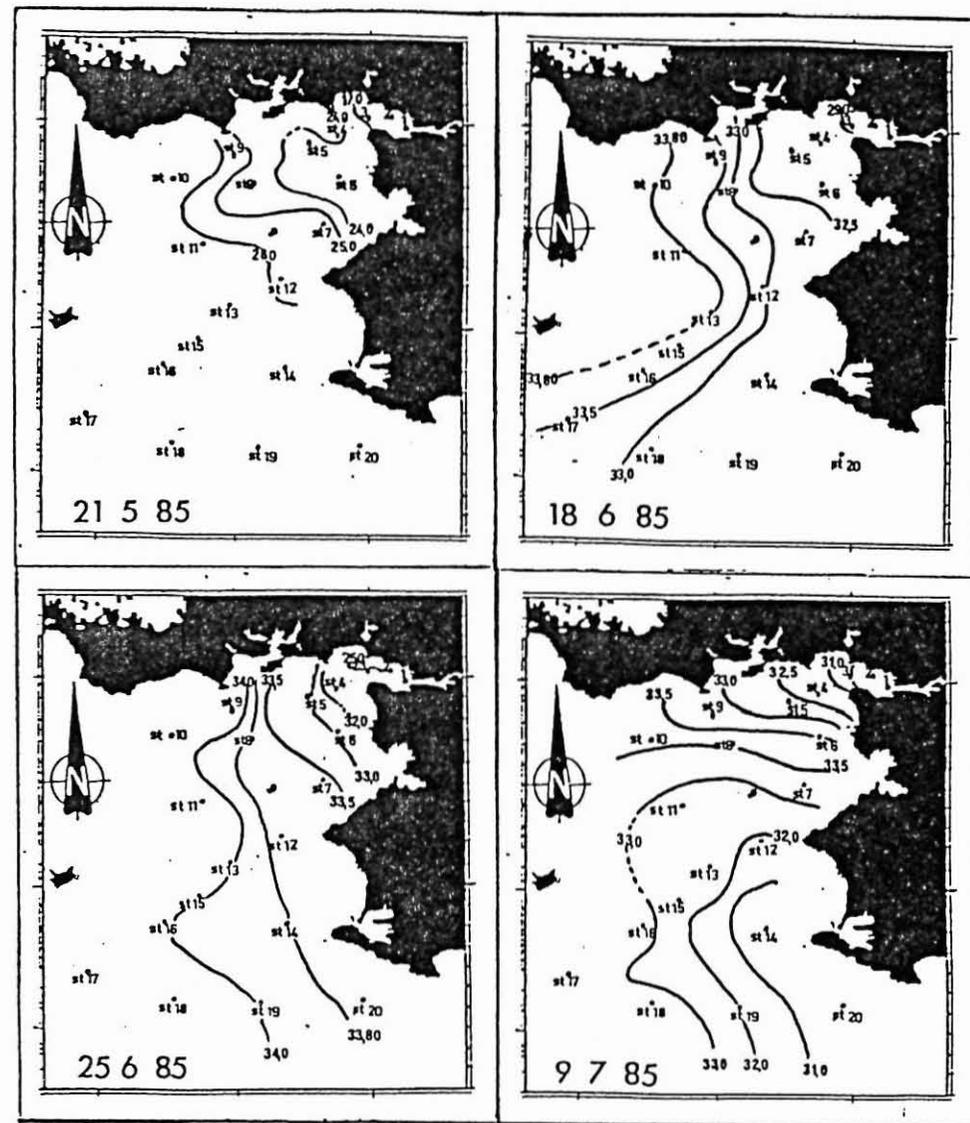


Figure n° 4 : Salinité de surface en baie de Vilaine, de mai à juillet 1985. (en %,)

SUBSTANCES	MODE D'ACTION	DINOFLAGELLES EXPERIMENTES	AUTEURS
FER MANGANESE CUIVRE MICRONUTRIMENTS	Développement maximal à 65 µg/l. Très inhibiteur. Influence de la nature moléculaire.	Amphidinium carterae Hornelia sp. Gonyaulax tamarensis Hétérosigma sp.	KRAMER et RYHER (1960) IWABAKI (1979) ANDERSON et TAKAHASHI et FUKASAWA (1982)
<u>COMPOSES ORGANIQUES AMINES (CHELATEURS)</u> ACIDES HUMIQUES FULVIQUES HYMATOMELONIQUES HYDROXAMIQUES LIGNOSULFONIQUES PROROCENTRINE SUBSTANCES JAUNES ANALOGUES DES SUBSTANCES HUMIQUES	Stimulation du métabolisme cellulaire algal. Agents sensibilisants augmentant la perméabilité membranaire et l'absorption des nutriments et des ions métalliques nécessaires. - Catalyseurs respiratoires Transporteur spécifique du fer. Diminution ou suppression de la phase de latence	Prorocentrum minimum Gonyaulax tamarensis / Prorocentrum minimum Prorocentrum micans Scripsiella faroense Amphidinium carterae	GRANELLI (1980) PRAKASH et RASHID (1968) CORBEIT (1979) TRICK et al. (1983) VIDEAU (1983)
SUBSTANCES	MODE D'ACTION	DINOFLAGELLES EXPERIMENTES	AUTEURS
<u>CHELATEURS</u> NTA EDTA (Fe) EDTA GLYCYLGLYCINE SULFURES	Augmente la croissance ou l'inhibe pour des concentrations comprises entre 10 et 50 µg/l. Augmentation de la croissance exponentielle. Amélioration de la croissance. Très forte amélioration. Par complexation du cuivre, détoxification, et donc amélioration du développement.	Gonyaulax tamarensis Ptychodiscus brevis Prorocentrum micans Prorocentrum micans Gymnodinium nagasakiense	YENTSH et al. (1975) WILSON (1966) KAIN et FOGG (1960) * IIZUKA (1972)

Tableau n° 1: Substances pouvant influencer le développement des Dinoflagellés.

- ANNEXE 3 -

SUBSTANCES	MODE D'ACTION	DINOFLAGELLES EXPERIMENTES	AUTEURS
<u>HORMONES NATURELLES</u> AUXINES, KINETINES, GIBBERELLINES.	Stimulation de la croissance. Réduction du temps pour atteindre le maximum de la population cellulaire.	Gymnodinium splendens Gymnodinium breve	POOLE (1979) DOIG et MARTIN (1974)
<u>VITAMINES</u> B 12 THIAMINE THIAMINE et BIOTINE BIOTINE	Fortes croissances exponentielles. Augmentation de la croissance. Stimulent la croissance de quelques Dinoflagellés. Rendrait toxiques certaines cultures.	Gonyaulax polyedra Gymnodinium nelsonii Amphidinium carterae A. rhynchoncephalum Ptychodiscus brevis Polykrikos schwartzii Gyrodinium aureolum	CARLUCCI et BOWES (1970) UENO et al. (1977) IWASAKI (1979) TURNER et al. (1984)
<u>SUBSTANCES BIOLOGIQUEMENT ACTIVES</u> ACIDES NUCLEIQUES Bases puriques et pyrimidiques	Très bonne augmentation de la croissance et/ou multiplication favorisée de manière notable.	Massartia rotundata et Prorocentrum micans	MAHONEY et McLAUGHLIN (1977)

Tableau n°2: Substances pouvant influencer le développement des Dinoflagellés.

SUBSTANCES	MODE D'ACTION	DINOFLAGELLES EXPERIMENTES	AUTEURS
<u>SUBSTANCES INHIBITRICES ou ACTIVATRICES.</u> (Métabolites extracellulaires)			
PROTEINE	Inhibiteur de la fraction nucléosidique d'un antibiotique produit par une diatomée : Asterionella japonica.	Prorocentrum minimum	AUBERT et al. (1970-71) UCHIDA (1977, dans IWASAKI, 1979) PRATT (1966)
SUBSTANCES ALLELOPATRIQUES (Nature tannoïde)	Inhibiteur de la croissance de Skeletonema costatum.	Olithodiscus luteus	IWASAKI (1979)
EXUDATS de DIATOMEES	Emis par Skeletonema costatum et Chatonnella japonica ; Effets favorisants sur la croissance.	Prorocentrum minimum Gonyaulax catenella	IWASAKI (1979)
PRODUIS de DECOMPOSITION	Ceux d'une diatomée : Mitzshia	genre Gonyaulax	PRAKASH (non publié)
TOXINES de DINOFLAGELLES	Peut inhiber ou améliorer la croissance.	non mentionné	RICE (1954)
MORCAROTENOIDES (β Dicétone, etc...)	Réduction de l'activité dégradatrice des bactéries.	Prorocentrum minimum	TRICK et al. (1984)
TANNINS, ACIDES ORGANIQUES ACIDE ACRYLIQUE GONIODOMINE	Agents antibiotiques.	genre Gonyaulax	SIEBURTH (1959) TRICK et al. (1983)
FACTEURS CYTOLIITIQUES (Aponine 1 et 2)	Lyse des cellules.	Gymnodinium breve	MARTIN et MARTIN (1976)
<u>ACIDE GLYCOLIQUE</u>	Susceptible d'affecter la croissance des algues qui l'excrètent.	Nombreux genres dont, Gymnodinium nelsonii	HELLEBUST (1965)

Tableau n°3: Substances pouvant influencer le développement des Dinoflagellés.

- ANNEXE 4 - : Détails des calculs de la régression
linéaire multiple. (données du 19 07 84.)

***** REGRESSION *****

CARACTERISTIQUES DU FICHIER : B:VILJUL2
TITRE : MRA Prédiction Ex Rouges

NOMBRE D'OBSERVATIONS : 116 NOMBRE DE VARIABLES : 15

TITRE DU DOSSIER :

ANALYSE de REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE. Modèle de régression linéaire multiple progressive destiné à la prédiction des proliférations de phytoplancton dans les eaux de la baie de Vilaine. Données hydro. du mois de Juillet 1984. Sortie du 19/07/84.

NO	NOM	MOYENNE	ECART-TYPE
3	TEMP	17.351	2.483
4	SAL	33.098	3.492
5	DENS	24.236	1.705
6	TURB	1.866	1.403
7	MH4	0.978	0.765
8	NO3	3.003	7.294
9	NO2	0.286	0.511
10	PO4	0.211	0.281
11	SIOH4	4.458	5.043
12	UREE	2.536	2.334
VAR. EXPLIQUEE : CHL.a		8.749	19.117

MATRICE DES CORRELATIONS

	TEMP	SAL	DENS	TURB	MH4	NO3	NO2	PO4	SIOH4	UREE
TEMP	1.0000									
SAL	-0.3745	1.0000								
DENS	-0.7581	0.5518	1.0000							
TURB	0.0084	-0.2928	-0.4571	1.0000						
MH4	-0.4212	0.0078	0.1481	0.5730	1.0000					
NO3	0.1571	-0.4554	-0.7272	0.6853	0.1949	1.0000				
NO2	0.2156	-0.4815	-0.7682	0.7207	0.2538	0.9832	1.0000			
PO4	-0.2976	0.0611	0.1364	0.2693	0.3872	0.1659	0.1546	1.0000		
SIOH4	-0.0721	-0.3064	-0.4005	0.7482	0.6066	0.7033	0.7650	0.3433	1.0000	
UREE	0.0369	-0.1327	-0.3141	0.3303	0.1240	0.4608	0.4590	0.1214	0.3149	1.0000
CHL.a	0.3639	-0.4361	-0.7835	0.7401	0.1591	0.8172	0.8399	0.0378	0.6139	0.2581

CHL.a
CHL.a 1.0000

PROBA A L' INTRODUCTION = 5.00 %
PROBA A L' ELIMINATION = 5.00 %

PALIER 1 , VARIABLE 9 : NO2 ENTREE.

VARIABLE EXPLIQUEE : CHL.a

VAR.	COEFF. DE REGRESSION	ECART-TYPE	F(1,114)	PROBA(%)
NO2	31.4072	1.9007	273.044	0.00

TERME CONSTANT : -0.2449

ECART-TYPE RESIDUEL = 10.4202
r**2 = 0.7055
r = 0.8399

TABLEAU D'ANALYSE DE LA VARIANCE

SOURCE	SCE	D.O.L.	CARRES MOYENS	F
TOTALE	42025.668	115		
REGRESSION	29647.418	1	29647.4180	273.0439
NO2	29647.418	1	29647.4180	273.0439
RESIDUELLE	12378.250	114	108.5811	

VARIABLES NON ENTREES DANS L'EQUATION :

NOM	r**2 PARTIEL	F A L'INTRODUCTION	PROBA (%)
TEMP	0.1190	15.2673	0.02
SAL	0.0044	0.5051	48.56
DENS	0.1584	21.2719	0.00
TURB	0.1283	16.6342	0.01
MH4	0.0106	1.2120	27.28
NO3	0.0077	0.8723	35.49
PO4	0.0295	3.4299	6.33
SIOH4	0.0067	0.7637	38.80
UREE	0.0699	8.4865	0.44

PALIER 2 . VARIABLE 5 : DEMS ENTREE.

VARIABLE EXPLIQUEE : CHL.a

VAR.	COEFF. DE REGRESSION	ECART-TYPE	F(1,113)	PROBA(%)	r**2 PARTIEL
DEMS	-3.7828	0.8202	21.272	0.00	0.1584
NO2	21.7138	2.7358	62.997	0.00	0.3579

TERME CONSTANT : 94.2101

ECART-TYPE RESIDUEL =	9.6015
R**2 =	0.7521
R MULTIPLE =	0.8672

TABLEAU D'ANALYSE DE LA VARIANCE

SOURCE	SCE	D.D.L.	CARRES MOYENS	F
TOTALE	42025.668	115		
REGRESSION	31608.430	2	15804.2148	171.4347
DEMS	1961.012	1	1961.0117	21.2719
RESIDUELLE	10417.238	113	92.1880	

VARIABLES NON ENTREES DANS L'EQUATION :

NOM	r**2 PARTIEL	F A L'INTRODUCTION	PROBA (%)
TEMP	0.0121	1.3751	24.18
SAL	0.0052	0.5814	45.36
TURB	0.2467	36.6843	0.00
MH4	0.0237	2.7167	9.80
NO3	0.0001	0.0100	91.71
PO4	0.0002	0.0194	88.46
SIOH4	0.0146	1.6595	19.73
UREE	0.0672	8.0749	0.54

PALIER 3 . VARIABLE 6 : TURB ENTREE.

VARIABLE EXPLIQUEE : CHL.a

VAR.	COEFF. DE REGRESSION	ECART-TYPE	F(1,112)	PROBA(%)	r**2 PARTIEL
DEMS	-4.7476	0.7325	42.004	0.00	0.2727
TURB	4.9806	0.8223	36.684	0.00	0.2467
NO2	9.3925	3.1347	8.978	0.35	0.0742

TERME CONSTANT : 111.8272

ECART-TYPE RESIDUEL =	8.3704
R**2 =	0.8133
R MULTIPLE =	0.9018

TABLEAU D'ANALYSE DE LA VARIANCE

SOURCE	SCE	D.D.L.	CARRES MOYENS	F
TOTALE	42025.668	115		
REGRESSION	34178.633	3	11392.8779	162.6095
TURB	2570.203	1	2570.2031	36.6843
RESIDUELLE	7847.036	112	70.0628	

VARIABLES NON ENTREES DANS L'EQUATION :

NOM	r**2 PARTIEL	F A L'INTRODUCTION	PROBA (%)
TEMP	0.0114	1.2797	25.94
SAL	0.0051	0.5667	45.95
MH4	0.0321	3.6854	5.45
NO3	0.0253	2.8866	8.82
PO4	0.0117	1.3113	25.34
SIOH4	0.0088	0.9813	32.51
UREE	0.0839	10.1663	0.20

PALIER 4 . VARIABLE 12 : UREE ENTREE.

VARIABLE EXPLIQUEE : CHL. »

VAR.	COEFF. DE REGRESSION	ECART-TYPE	F(1,111)	PROBA(%)	r**2 PARTIEL
DEMS	-4.5910	0.7060	42.287	0.00	0.2759
TURB	4.9402	0.7907	39.036	0.00	0.2602
NO2	12.2977	3.1486	15.256	0.02	0.1208
UREE	-1.1568	0.3628	10.166	0.20	0.0839

TERME CONSTANT : 110.2086

ECART-TYPE RESIDUEL = 8.0475
 R**2 = 0.8289
 R MULTIPLE = 0.9105

TABLEAU D'ANALYSE DE LA VARIANCE

SOURCE	SCE	D.D.L.	CARRÉS MOYENS	F
TOTALE	42025.668	115		
REGRESSION	34837.031	4	8709.2578	134.4799
UREE	658.398	1	658.3984	10.1664
RESIDUELLE	7188.638	111	64.7625	

VARIABLES NON ENTREES DANS L'EQUATION :

NOM	r**2 PARTIEL	F A L'INTRODUCTION	PROBA (%)
TEMP	0.0141	1.5729	20.98
SAL	0.0109	1.2121	27.29
MH4	0.0387	4.4321	3.55
NO3	0.0320	3.6359	5.61
PO4	0.0104	1.1579	28.42
SIOH4	0.0173	1.9319	16.36

PALIER 5 . VARIABLE 7 : MH4 ENTREE.

VARIABLE EXPLIQUEE : CHL. »

VAR.	COEFF. DE REGRESSION	ECART-TYPE	F(1,110)	PROBA(%)	r**2 PARTIEL
DEMS	-3.6540	0.8256	19.589	0.00	0.1512
TURB	6.0703	0.9458	41.189	0.00	0.2724
MH4	-3.0691	1.4578	4.432	3.55	0.0387
NO2	13.6791	3.1696	18.625	0.01	0.1448
UREE	-1.1802	0.3575	10.899	0.15	0.0901

TERME CONSTANT : 88.0546

ECART-TYPE RESIDUEL = 7.9259
 R**2 = 0.8356
 R MULTIPLE = 0.9141

TABLEAU D'ANALYSE DE LA VARIANCE

SOURCE	SCE	D.D.L.	CARRÉS MOYENS	F
TOTALE	42025.668	115		
REGRESSION	35115.457	5	7023.0913	111.7969
MH4	278.426	1	278.4258	4.4321
RESIDUELLE	6910.212	110	62.8201	

VARIABLES NON ENTREES DANS L'EQUATION :

NOM	r**2 PARTIEL	F A L'INTRODUCTION	PROBA (%)
TEMP	0.0095	1.0479	30.92
SAL	0.0093	1.0186	31.64
NO3	0.0087	0.9513	33.31
PO4	0.0066	0.7238	40.13
SIOH4	0.0027	0.2929	59.62

***** REGRESSION *****

CARACTERISTIQUES DU FICHER : B:VILJUL4

TITRE : MRA Prédiction Ex Rouges

NOMBRE D'OBSERVATIONS : 88 NOMBRE DE VARIABLES : 12

TITRE DU DOSSIER : ANALYSE de REGRESSION LINEAIRE MULTIPLE.

NO	NOM	MOYENNE	ECART-TYPE
3	TEMP	17.303	2.881
4	SAL	33.221	1.347
5	DENS	23.773	2.934
6	NO3	1.991	4.259
7	NO2	0.228	0.287
8	PO4	0.139	0.131
9	SIOH4	5.800	3.281
VAR. EXPLIQUEE : CHL.a		0.804	0.587

MATRICE DES CORRELATIONS

	TEMP	SAL	DENS	NO3	NO2	PO4	SIOH4	CHL.a
TEMP	1.0000							
SAL	-0.4639	1.0000						
DENS	0.2467	0.5628	1.0000					
NO3	0.2393	-0.6911	-0.2749	1.0000				
NO2	0.1545	-0.6211	-0.1982	0.9659	1.0000			
PO4	0.0377	-0.2825	-0.0136	0.7677	0.7726	1.0000		
SIOH4	0.0270	-0.3793	-0.1493	0.5748	0.5575	0.6359	1.0000	
CHL.a	0.1567	-0.5704	-0.4208	0.0238	0.0124	-0.2311	0.2135	1.0000

PROBA A L' INTRODUCTION = 5.00 %
PROBA A L' ELIMINATION = 5.00 %

PALIER 1 . VARIABLE 4 : SAL ENTREE.

VARIABLE EXPLIQUEE : CHL.a

VAR.	COEFF. DE REGRESSION	ECART-TYPE	F(1, 86)	PROBA(%)
SAL	-0.2486	0.0386	41.474	0.00

TERME CONSTANT : 9.0635

ECART-TYPE RESIDUEL = 0.4852
r**2 = 0.3254
r = 0.5704

TABLEAU D'ANALYSE DE LA VARIANCE

SOURCE	SCE	D.D.L.	CARRES MOYENS	F
TOTALE	30.006	87		
REGRESSION	9.762	1	9.7625	41.4735
SAL	9.762	1	9.7625	41.4735
RESIDUELLE	20.244	86	0.2354	

VARIABLES NON ENTREES DANS L'EQUATION :

NOM	r**2 PARTIEL	F A L'INTRODUCTION	PROBA (%)
TEMP	0.0220	1.9121	16.67
DENS	0.0216	1.8758	17.08
NO3	0.3894	54.1970	0.00
NO2	0.2820	33.3905	0.00
PO4	0.2478	28.0089	0.00
SIOH4	0.0000	0.0012	97.11

 PALIER 2 . VARIABLE 6 : NO3 ENTREE.

VARIABLE EXPLIQUEE : CHL.a

VAR.	COEFF. DE REGRESSION	ECART-TYPE	F(1, 85)	PROBA(%)	r**2 PARTIEL
SAL	-0.4622	0.0420	121.208	0.00	0.5878
NO3	-0.0978	0.0133	54.197	0.00	0.3894

TERME CONSTANT : 16.3549

ECART-TYPE RESIDUEL = 0.3814
 R**2 = 0.5880
 R MULTIPLE = 0.7668

- ANNEXE 4 - (suite)

TABLEAU D'ANALYSE DE LA VARIANCE

SOURCE	SCE	D.D.L.	CARRES MOYENS	F
TOTALE	30.006	87		
REGRESSION	17.644	2	8.8222	40.6623
NO3	7.882	1	7.8819	54.1969
RESIDUELLE	12.362	85	0.1454	

VARIABLES NON ENTREES DANS L'EQUATION :

NOM	r**2 PARTIEL	F A L'INTRODUCTION	PROBA (%)
TEMP	0.0862	7.9288	0.60
DENS	0.0013	0.1105	73.96
NO2	0.0579	5.1579	2.44
PO4	0.0016	0.1305	71.94
SIOH4	0.1739	17.6789	0.01

 PALIER 3 . VARIABLE 9 : SIOH4 ENTREE.

VARIABLE EXPLIQUEE : CHL.a

VAR.	COEFF. DE REGRESSION	ECART-TYPE	F(1, 84)	PROBA(%)	r**2 PARTIEL
SAL	-0.4672	0.0384	147.955	0.00	0.6379
NO3	-0.1248	0.0137	82.508	0.00	0.4955
SIOH4	0.0586	0.0139	17.679	0.01	0.1739

TERME CONSTANT : 16.2322

ECART-TYPE RESIDUEL = 0.3487
 R**2 = 0.6597
 R MULTIPLE = 0.8122

TABLEAU D'ANALYSE DE LA VARIANCE

SOURCE	SCE	D.D.L.	CARRES MOYENS	F
TOTALE	30.006	87		
REGRESSION	19.794	3	6.5979	54.2701
SIOH4	2.149	1	2.1493	17.6789
RESIDUELLE	10.212	84	0.1216	

VARIABLES NON ENTREES DANS L'EQUATION :

NOM	r**2 PARTIEL	F A L'INTRODUCTION	PROBA (%)
TEMP	0.0685	6.1025	1.49
DENS	0.0014	0.1138	73.61
NO2	0.0693	6.1790	1.43
PO4	0.0272	2.3176	12.76

 PALIER 4 . VARIABLE 7 : NO2 ENTREE.

VARIABLE EXPLIQUEE : CHL.a

VAR.	COEFF. DE REGRESSION	ECART-TYPE	F(1, 83)	PROBA(%)	r**2 PARTIEL
SAL	-0.4909	0.0385	162.765	0.00	0.6623
NO3	-0.2115	0.0373	32.070	0.00	0.2787
NO2	1.2520	0.5037	6.179	1.43	0.0693
SIOH4	0.0585	0.0135	18.703	0.01	0.1839

TERME CONSTANT : 16.9087

ECART-TYPE RESIDUEL = 0.3384
 R**2 = 0.6832
 R MULTIPLE = 0.8266

PALIER 2 . VARIABLE 5 : DEMS ENTREE.

VARIABLE EXPLIQUEE : CHL.a

VAR.	COEFF. DE REGRESSION	ECART-TYPE	F(1,113)	PROBA(%)	r**2 PARTIEL
DEMS	-3.7828	0.8202	21.272	0.00	0.1584
NO2	21.7138	2.7358	62.997	0.00	0.3579

TERME CONSTANT : 94.2101

ECART-TYPE RESIDUEL = 9.6015
 R**2 = 0.7521
 R MULTIPLE = 0.8672

TABLEAU D'ANALYSE DE LA VARIANCE

SOURCE	SCE	D.D.L.	CARRES MOYENS	F
TOTALE	42025.668	115		
REGRESSION	31608.430	2	15804.2148	171.4347
DEMS	1961.012	1	1961.0117	21.2719
RESIDUELLE	10417.238	113	92.1880	

VARIABLES NON ENTREES DANS L'EQUATION :

NOM	r**2 PARTIEL	F A L'INTRODUCTION	PROBA (%)
TEMP	0.0121	1.3751	24.18
SAL	0.0052	0.5814	45.36
TURB	0.2467	36.6843	0.00
MH4	0.0237	2.7167	9.80
NO3	0.0001	0.0100	91.71
PO4	0.0002	0.0194	88.46
SIOH4	0.0146	1.6595	19.73
UREE	0.0672	8.0749	0.54

PALIER 3 . VARIABLE 6 : TURB ENTREE.

VARIABLE EXPLIQUEE : CHL.a

VAR.	COEFF. DE REGRESSION	ECART-TYPE	F(1,112)	PROBA(%)	r**2 PARTIEL
DEMS	-4.7476	0.7325	42.004	0.00	0.2727
TURB	4.9806	0.8223	36.684	0.00	0.2467
NO2	9.3925	3.1347	8.978	0.35	0.0742

TERME CONSTANT : 111.8272

ECART-TYPE RESIDUEL = 8.3704
 R**2 = 0.8133
 R MULTIPLE = 0.9018

TABLEAU D'ANALYSE DE LA VARIANCE

SOURCE	SCE	D.D.L.	CARRES MOYENS	F
TOTALE	42025.668	115		
REGRESSION	34178.633	3	11392.8779	162.6095
TURB	2570.203	1	2570.2031	36.6843
RESIDUELLE	7847.036	112	70.0628	

VARIABLES NON ENTREES DANS L'EQUATION :

NOM	r**2 PARTIEL	F A L'INTRODUCTION	PROBA (%)
TEMP	0.0114	1.2797	25.94
SAL	0.0051	0.5667	45.95
MH4	0.0321	3.6854	5.45
NO3	0.0253	2.8866	8.82
PO4	0.0117	1.3113	25.34
SIOH4	0.0088	0.9813	32.51
UREE	0.0839	10.1663	0.20