

DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'AMENAGEMENT LITTORAL

IFREMER

Laboratoire DEL - Documentation
B.P. 171

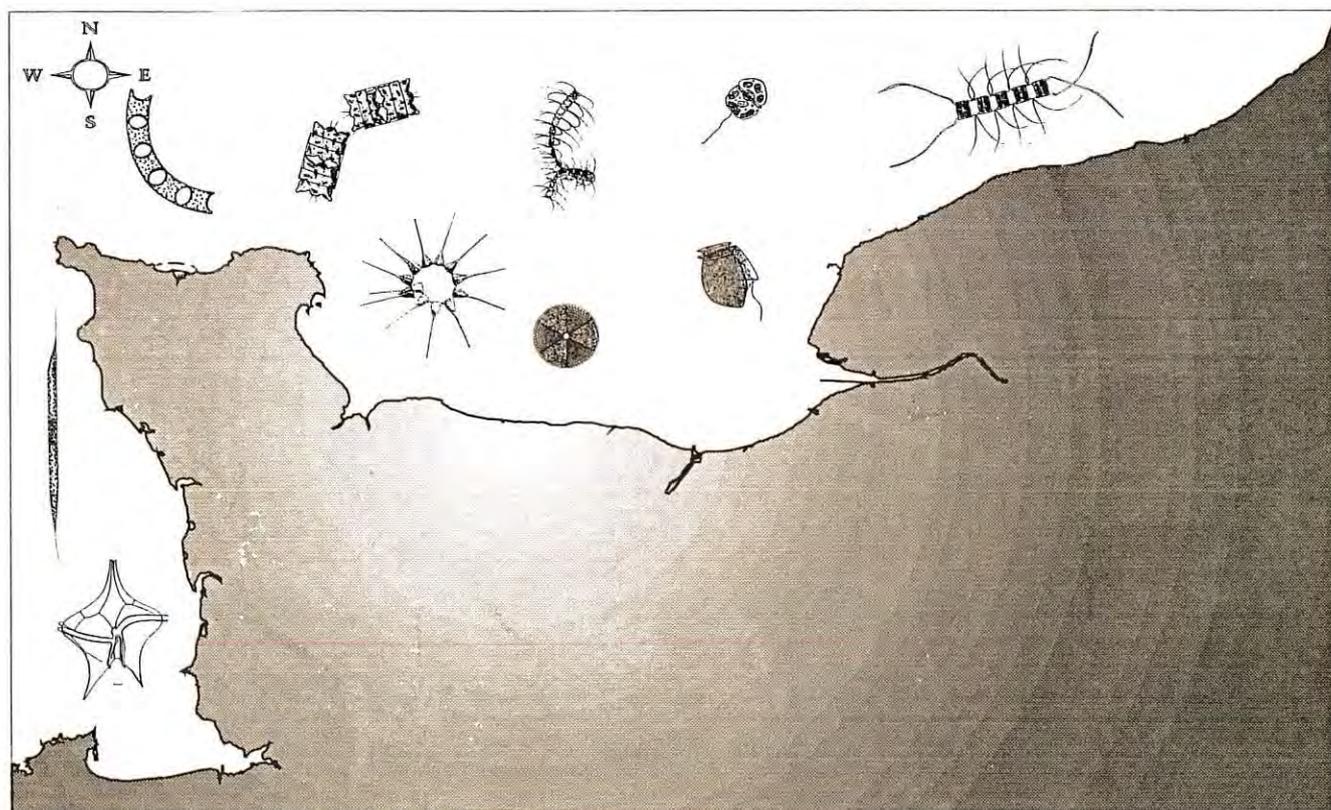
1, rue Jean Vilar - 34203 SETE CEDEX

Tél. 04 67 46 78 00

Fax 04 67 74 70 90

Bilan du réseau de surveillance phytoplanctonique en Normandie (1989-1992)

Par Jacqueline LE GRAND



R. INT. DEL / 94.09 / PORT EN BESSIN

IFREMER

Adresse :
 IFREMER
 Station de Port en Bessin
 Ave du Général de Gaulle
 14520 PORT EN BESSIN

AUTEUR(S) Jacqueline LE GRAND	CODE N° : R.INT.DEL/94.09-PORT EN BESSIN
TITRE Bilan du réseau de surveillance phytoplanctonique en Normandie (1989 - 1992)	date : MAI 1994
	tirage nb : 150
	Nb pages : 58 Nb figures : 17 nb photos : 0
CONTRAT (intitulé) N° _____	DIFFUSION libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> confidentielle <input type="checkbox"/>

RESUME

En 1983, l'IFREMER met en place un REseau de surveillance PHYtoplanctonique (REPHY) sur tout le littoral français dont l'un des objectifs est la protection de la santé publique. Il permet de suivre continuellement l'évolution de la flore phytoplanctonique dans l'eau et de cerner les risques dus à l'apparition d'espèces toxiques (*Dinophysis*).

En Normandie, l'évolution de la production phytoplanctonique est caractérisée par un bloom printanier et parfois un second plus faible en automne. Le phytoplancton est essentiellement composé de diatomées. Les 5 points de suivi présentent des compositions floristiques à peu près similaires malgré des situations géographiques assez différentes (estuaire, milieu plus océanique).

Dinophysis est la seule algue toxique qui ait provoqué des fermetures de zones de pêche de coquillages en Normandie. Il se développe généralement à l'est de Courseulles dans le Calvados et sur les côtes de Seine-Maritime (en particulier sur le site d'Antifer). Il semble que le vent et les courants jouent un rôle essentiel dans le mécanisme d'apparition de *Dinophysis* sur nos côtes.

Une meilleure connaissance de l'écologie de *Dinophysis* et l'amélioration des méthodes analytiques favorisent la prévention des risques d'intoxications, par ingestion de coquillages, lors du développement de l'algue dans le milieu.

L'évolution constante du réseau de surveillance permet à l'IFREMER de jouer pleinement son rôle dans le domaine de la protection de la santé publique et de la surveillance du milieu.

mots clé : phytoplancton, réseau de surveillance, *Dinophysis*, Normandie

key words : phytoplancton, monitoring network, *Dinophysis*, Normandie

**DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET
DE L'AMENAGEMENT LITTORAL**

**Bilan du réseau de surveillance phytoplanctonique
en Normandie (1989-1992)**

Par Jacqueline LE GRAND

Sous la direction d'Hélène JEANNERET

Collaboration technique pour
la cartographie : Claude ETOURNEAU
la mise en page : Corinne FLOCH

SOMMAIRE

	page
<i>INTRODUCTION</i>	01
<i>ORGANISATION DU RESEAU DE SURVEILLANCE</i>	03
I . PRESENTATION DU RESEAU PHYTOPLANCTONIQUE	05
II . METHODOLOGIE	12
<i>ETUDE DE LA FLORE TOTALE</i>	15
I. CONSTAT SUR 4 ANS	17
II. DISCUSSIONS	25
III. CONCLUSIONS	28
<i>PHENOMENE DINOPHYSIS EN NORMANDIE</i>	31
I . PRESENTATION DE DINOPHYSIS	33
II . HISTORIQUE DU PHENOMENE DINOPHYSIS EN BAIE DE SEINE JUSQU'EN 1989	34
III . DINOPHYSIS EN BAIE DE SEINE DE 1989 A 1992	36
IV . DISCUSSIONS	50
V . CONCLUSIONS	54
<i>CONCLUSION GENERALE</i>	57
<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	
<i>ANNEXES</i>	

INTRODUCTION

Le phytoplancton est l'ensemble des micro-algues marines et dulcicoles. Seules les espèces marines seront traitées dans ce rapport. Leur pouvoir photosynthétique les place au rang de producteurs primaires (avec les macro-algues benthiques côtières). Elles représentent le premier maillon de la chaîne alimentaire et leur rôle est essentiel. Cependant, depuis plusieurs années, des épisodes toxiques, dus à la prolifération de certaines de ces espèces dans le milieu, sont observés à travers le monde. De nombreux programmes scientifiques nationaux et internationaux ont été mis en oeuvre pour tenter de cerner ces phénomènes d'efflorescences algales et de production de phycotoxines dans les coquillages.

Le laboratoire DEL* de PORT-EN-BESSIN (Calvados), comme les onze autres laboratoires côtiers de l'IFREMER, est un observatoire du littoral. Une de ses missions principales est d'observer et d'enregistrer, tout en essayant de comprendre, ce qui se passe au niveau du littoral et de l'interface "eau-continent". Pour cela, il gère et anime trois réseaux de surveillance parmi lesquels, le REPHY*.

Ce rapport constitue la synthèse des observations phytoplanctoniques faites de 1989 à 1992, et concerne la côte située entre le Mont-Saint-Michel (Manche) et Le Tréport (Seine-Maritime). Il traite de l'ensemble du phytoplancton. Néanmoins, une partie plus importante est consacrée aux "épisodes *DINOPHYSIS*" (micro-algue toxique) qui, en saison estivale, peut poser des problèmes tant sur le plan économique que sur celui de la santé publique.

* Direction de
l'Environnement et
de l'aménagement du
Littoral

* REseau de
surveillance du
PHYtoplancton

ORGANISATION DU RESEAU DE SURVEILLANCE

I . PRESENTATION DU RESEAU PHYTOPLANCTONIQUE

I.1 . HISTORIQUE ET GENERALITES

I.2 . RESEAU NATIONAL

I.3 . RESEAU REGIONAL

II . METHODOLOGIE

II.1 . DETERMINATION PHYTOPLANCTONIQUE

II.1.1. Fréquence

II.1.2. Prélèvement

II.1.3. Identification floristique

II.2 . ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

▮ *température*

▮ *turbidité*

▮ *salinité*

II.3 . TESTS BIOLOGIQUES

II.3.1. Prélèvement

II.3.2. Recherche de D.S.P

II.3.3. Recherche de P.S.P

ORGANISATION DU RESEAU DE SURVEILLANCE

I. PRESENTATION DU RESEAU PHYTOPLANCTONIQUE

I.1. HISTORIQUE ET GENERALITES

En 1983, de nombreux cas de gastro-entérites sont déclarés (plus de 3000 intoxications par ingestion de coquillages sur les côtes bretonnes et normandes). Très vite la relation est faite entre ces intoxications et la présence de *Dinophysis* dans l'eau.

Dinophysis, dinoflagellé marin, produit une toxine qui se concentre dans l'hépatopancréas des coquillages. L'ingestion de ceux-ci provoque alors vomissements, coliques et diarrhées. La toxine produite appartient à la famille des D.S.P (*Diarrheic Shellfish Poison*). D'autres espèces telles que *Alexandrium minutum* produisent une toxine paralysante de type P.S.P. (*Paralytic Shellfish Poison*). Cette dernière espèce est observée actuellement et depuis 1988 au nord ouest de la Bretagne.

Dès 1984, l'IFREMER met en place un réseau de surveillance : le REPHY (réseau phytoplanctonique) dont les objectifs sont :

- le suivi des populations phytoplanctoniques et des évènements exceptionnels (eaux colorées, ...)
- la détection et le suivi des espèces toxiques pour la santé humaine
- La détection et le suivi des espèces toxiques pour les animaux marins

Celles-ci peuvent provoquer de nombreux problèmes économiques dans les domaines de la conchyliculture, l'aquaculture, le tourisme et l'industrie. Plusieurs exemples peuvent être cités :

- *Phaeocystis* : colmatage des crépines des pompes industrielles.
- *Dictyocha* : lésion des branchies des poissons et des coquillages ce qui provoque des problèmes de respiration
- *Gyrodinium aureolum* : lors de proliférations massives il est mortel pour les poissons d'élevage et les coquillages.

La France n'est pas le seul pays à posséder un tel réseau. Certains pays confrontés aux mêmes problèmes ont mis en place un protocole de surveillance à peu près similaire : Ecosse 1968, PSP ; Espagne 1976, PSP ; 1980, DSP ; Pays Bas 1979, DSP ; Irlande 1984, DSP ; Portugal 1986, DSP (Sournia *et al.*, 1991). Par ailleurs, le "réseau d'alerte CEE" permet d'obtenir une information très rapide sur les proliférations de phytoplancton toxique dans les pays membres.

1.2. RESEAU NATIONAL

Le REPHY est un réseau national de suivi des populations phytoplanctoniques. Les 37 points de prélèvement suivis régulièrement par les différents laboratoires de l'IFREMER couvrent tout le littoral français. Le réseau comporte deux phases : le **SUIVI** et l'**ALERTE**.

 Le **SUIVI** a pour but de suivre les populations phytoplanctoniques sur plusieurs années et d'identifier les espèces dominantes par secteur en intégrant aux traitements les modifications intervenues à terre (rejets) et les variations climatiques.

 L'**ALERTE**, plus ponctuelle, est déclenchée à partir des observations du suivi. Elle est principalement mise en oeuvre en vue d'une protection de la santé publique (présence d'espèces toxiques dans l'eau) et en cas d'efflorescences algales importantes (eaux colorées). A chaque point de suivi sont rattachés plusieurs points d'alerte où on prélève de l'eau (recherche des espèces toxiques) et/ou des coquillages (recherche des toxines). La fréquence des prélèvements augmente alors et passe de deux fois par mois à une ou deux fois par semaine.

L'IFREMER a pour mission de surveiller tous les phénomènes d'efflorescences algales, et d'apporter son appui scientifique aux instances administratives chargées des fermetures des zones de pêche de coquillages. Si les tests de toxicité sur les coquillages s'avèrent positifs, une mesure d'interdiction de pêche et de commercialisation des animaux contaminés est proposée au Préfet (ou par délégation aux Affaires Maritimes) qui décide ou non d'un arrêté de fermeture. Les zones fermées pour cause de toxicité ne pourront être réouvertes qu'après 2 tests négatifs.

1.3. RESEAU REGIONAL

Le laboratoire de Port-en-Bessin couvre le littoral depuis la baie du Mont-Saint-Michel jusqu'au Tréport (environ 550 km de côtes). La Normandie est une des premières zones de production conchylicole de France. En 1990, la production d'huîtres était d'environ 37 000 tonnes réparties comme suit : 10000 tonnes en baie des Veys (Kopp *et al*, 1991), 8 000 tonnes sur la côte est du Cotentin (Jeanneret *et al*, 1992) et environ 19 000 tonnes sur la côte ouest du Cotentin (Gouletquer *et al*, 1994). Les moules, principalement touchées par *Dinophysis*, représentaient environ 12 000 tonnes en 1990 pour la culture sur bouchots et 25 000 tonnes pour les moules de pêche en eau profonde de la région de Barfleur (Figure 1). L'élevage des moules sur filières est en projet à Grandcamp et près de Dieppe. De nombreux gisements naturels de moules font l'objet d'une pêche à pied importante, lors de la saison estivale, sur les côtes du Calvados et de la Seine-Maritime.

Le réseau de surveillance phytoplanctonique normand comporte 5 points de SUIVI qui couvrent à peu près régulièrement le littoral : BREVILLE et GATTEVILLE dans la Manche, GRANDCAMP et LUC-SUR-MER dans le Calvados et ANTIFER en Seine-Maritime. (Figure 1).

⚓ **BREVILLE** (021001)** : au nord de Granville

L'impossibilité de réaliser le prélèvement au large nous oblige à le faire dans une réserve d'écloserie au moment du pompage aux alentours de la pleine mer (réalisé à la sortie de la pompe). La profondeur du prélèvement varie donc en fonction du coefficient de marée.

⚓ **GATTEVILLE** (016001)** : nord est Cotentin

Le prélèvement est fait directement avec un flacon, en surface dans le ressac au pied du phare de Gatteville..

⚓ **GRANDCAMP** (014016)** : à l'ouest du Calvados

Comme à Bréville le prélèvement est réalisé au niveau d'une réserve (réserve ostréicole de la base de Grandcamp). De la même manière, il est fait à pleine mer, à la sortie de la pompe et la profondeur du prélèvement varie avec le coefficient de marée.

** Numérotation
"IFREMER" (Belin
et al., 1990)

⚓ **LUC-SUR-MER (013006)**** : centre Calvados

Le prélèvement est réalisé au bout d'une digue (100 m) à l'aide d'une bouteille à prélèvement de type HYDROBIOS équipée d'un thermomètre à mercure, à 1 mètre de profondeur. En période de tempête et de faible coefficient la zone est généralement très turbide.

⚓ **ANTIFER (010001)**** : dans le port d'Antifer

Le prélèvement est réalisé dans le port d'Antifer aux environs de la pleine mer, à -4 mètres à l'aide d'une bouteille de type HYDROBIOS. Ce point est suivi depuis 1992.

Ces différents points de suivi comportent des inconvénients :

⚓ à BREVILLE et GRANDCAMP, les prélèvements sont réalisés après pompage. Les cellules phytoplanctoniques subissent donc un choc mécanique important et l'éclatement des cellules biaise les résultats. De plus, la variation de profondeur du prélèvement par rapport à la surface ne nous permet pas de comparer correctement les résultats entre eux.

⚓ à GATTEVILLE et LUC-SUR-MER, les prélèvements sont réalisés dans le ressac. Les observations sont souvent faussées par la forte turbidité de l'échantillon.

Depuis la mise en place de ce réseau, l'**ALERTE** a toujours été déclenchée en période estivale par l'apparition de *Dinophysis* à Antifer. Il se retrouve généralement sur les côtes du Calvados et parfois, mais beaucoup plus rarement, sur le site de Barfleur. Il n'a jamais été observé de façon significative à Grandcamp et à Bréville.

Le port d'Antifer est un site privilégié pour essayer de comprendre l'écologie et le mécanisme d'apparition de *Dinophysis* car il présente les concentrations maximums observées en France. En période estivale ce point est suivi 2 fois par semaine par le Laboratoire Municipal du Havre et la Cellule de Suivi du Littoral Haut Normand (association loi 1901 dont le but essentiel est l'amélioration des connaissances concernant le littoral et son environnement). Des points "alerte coquillage" rattachés à ce site entre Dieppe et Villerville (Figure 2) sont suivis.

Quand *Dinophysis* se manifeste sur les côtes du Calvados, nous mettons en place un suivi plus fin (deux sorties par semaine en Zodiac quand le temps le permet). Nous réalisons des radiales afin de bien suivre la répartition géographique de *Dinophysis* et la toxicité des coquillages de Villerville à Bernières-sur-Mer (Figure 3).

Fig 2 : RESEAU DE SURVEILLANCE DU PHYTOPLANCTON EN SEINE MARITIME ET A L'EMBOUCHURE DE LA SEINE. POINTS D'ALERTE.

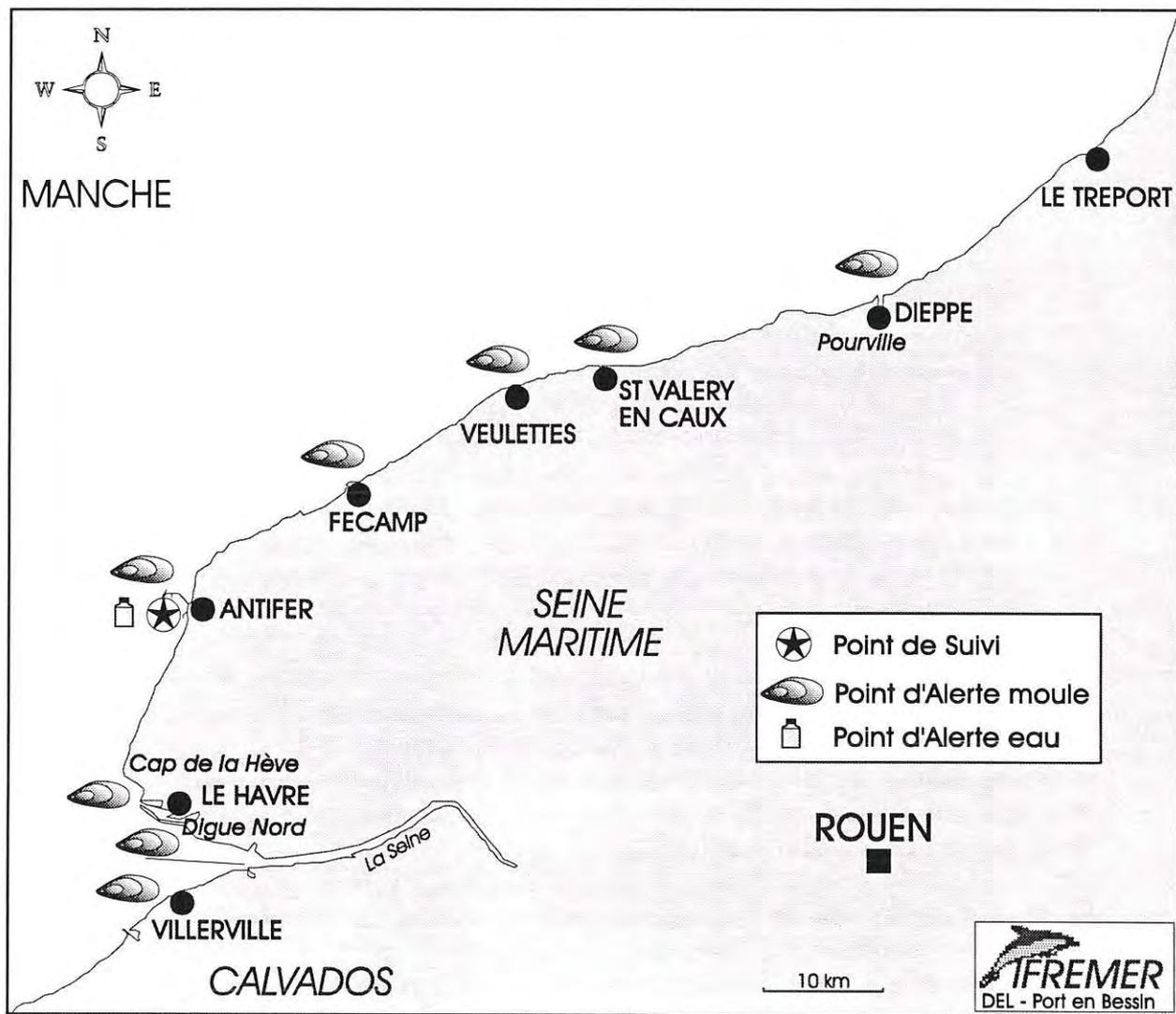
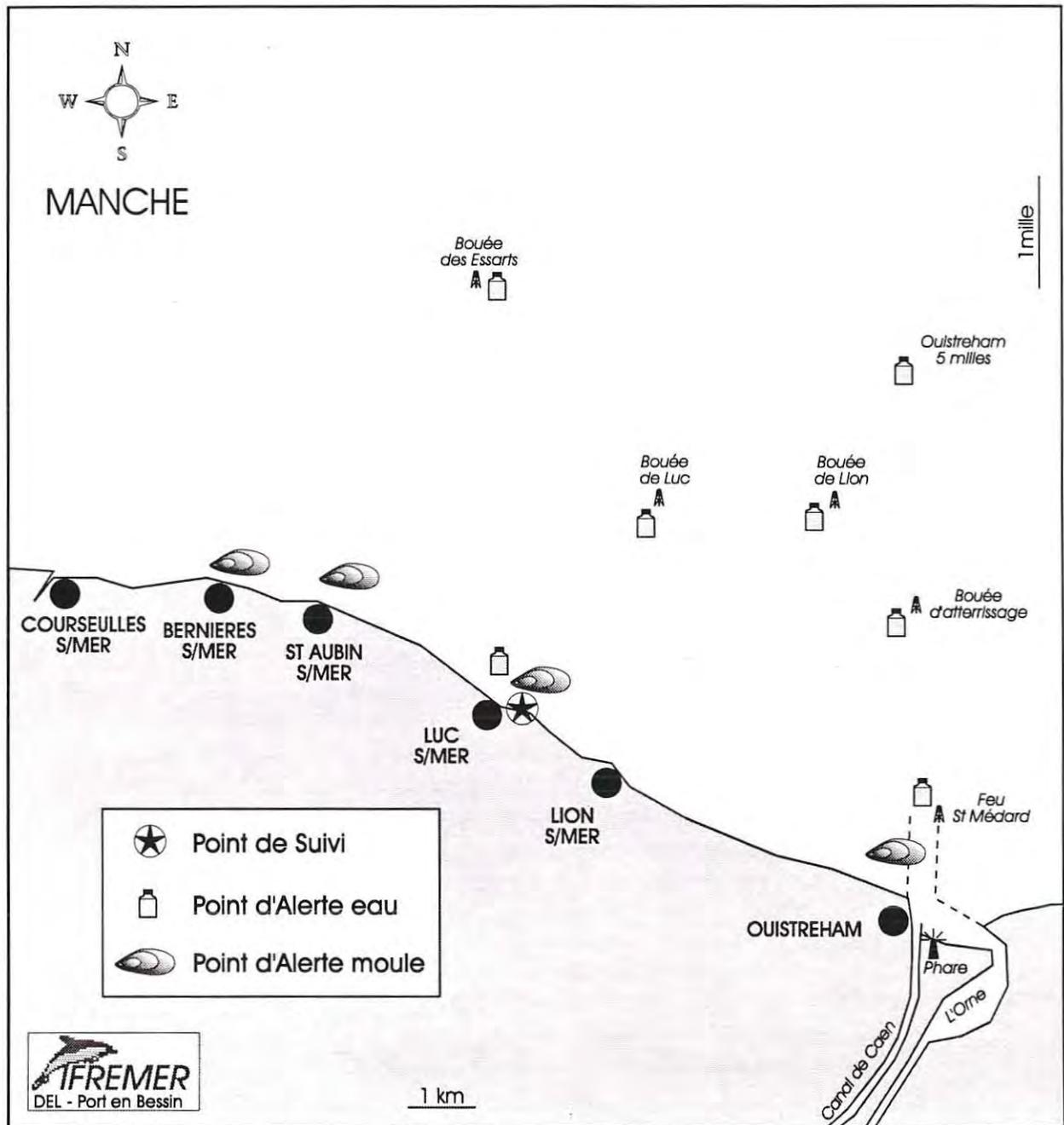


Fig. 3 : RESEAU DE SURVEILLANCE DU PHYTOPLANCTON DANS LE CALVADOS. POINTS D'ALERTE.



II. METHODOLOGIE

II.1. DETERMINATION PHYTOPLANCTONIQUE

II.1.1. Fréquence

Le suivi est réalisé toute l'année avec une fréquence bimensuelle. En période d'alerte (généralement de juin à septembre), la fréquence augmente et passe à une fois par semaine, voire plus sur les zones présumées à risque et surtout en cas d'apparition d'espèces toxiques (*Dinophysis*). En période d'alerte le suivi reste maintenu.

II.1.2. Prélèvement

Lorsque le prélèvement d'eau n'est pas fait en surface ou à la sortie d'une pompe, il est réalisé à l'aide d'une bouteille à prélèvement de type HYDRO BIOS munie d'un thermomètre à mercure.

Chaque prélèvement est constitué de deux fois un litre :

- ↳ un litre pour la détermination floristique
- ↳ un litre pour les analyses physico-chimiques (température, turbidité, salinité).

II.1.3. Identification floristique

Les prélèvements rapportés au laboratoire dans une glacière sont immédiatement fixés au LUGOL (environ 3 ml pour un litre). La lecture se fera ultérieurement, après décantation (3 heures minimum) de 10 ml d'échantillon dans une cuve de sédimentation, selon la méthode d'Utermöhl (1958). L'observation est réalisée sur un microscope inversé OLYMPUS CK2 (X100, X200, X400). Les résultats sont exprimés en nombre de cellules par litre.

☞ Dans le cadre du SUIVI : tous les genres présents dans l'échantillon sont déterminés et comptabilisés. L'identification va jusqu'à l'espèce quand celle-ci est caractéristique.

🔔 En cas d'ALERTE, seules les espèces "à risque" (toxiques ou nuisibles) contenues dans l'échantillon sont déterminées et comptabilisées.

II.2. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Ces analyses sont réalisées sur les échantillons d'eau prélevés pour les listes floristiques.

température

Elle est relevée sur le terrain au moment du prélèvement à l'aide d'un thermomètre à mercure de précision : 0,5°C.

turbidité

De retour au laboratoire, la turbidité est mesurée par néphélogéométrie à l'aide d'un turbidimètre HACH 2100A de précision : 0,05 NTU. Si la mesure est retardée, l'échantillon est conservé au réfrigérateur. Les résultats sont exprimés en unité NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

salinité

L'échantillon est conservé dans un flacon hermétique. La salinité est mesurée par argentimétrie et les résultats sont exprimés en gramme par litre (la précision de la méthode étant 0,1‰) (Aminot, 1983).

II.3. TESTS BIOLOGIQUES

Le but de ces analyses est de quantifier la toxicité des coquillages. Le laboratoire de Port-en-Bessin réalise des recherches de D.S.P et de P.S.P.

II.3.1. prélèvement

La quantité de coquillages prélevée est fonction de leur taille, cela varie de 1 à 5 kilogrammes. Les moules sont ramenées au laboratoire dans des glacières isothermes.

II.3.2. La recherche de D.S.P

Le test utilisé est un test souris sur un extrait d'hépatopancréas de coquillages, selon une méthode adaptée de Yasumoto *et al.* (1978) (annexe1).

Les résultats de toxicité D.S.P. sont exprimés en temps de survie moyen des souris (en minute). Le seuil de toxicité de ce test est égal à 5 heures (Marcaillou-Le Baut *et al.*, 1985) soit 20 µg. d'acide okadaïque pour 100 g de chair.

Si deux souris sur trois au moins meurent en moins de 300 minutes, le test est positif : il y a présence de toxine en quantité suffisante pour présenter un risque pour le consommateur.

Si deux souris sur trois au moins meurent entre 300 et 1440 minutes, le test est négatif mais il y a présence de toxine dans les coquillages en quantité inférieure au seuil de toxicité.

II.3.3. La recherche du P.S.P.

Le test utilisé est un test souris effectué selon la méthode AOAC* (1984). Ce test se fait sur la totalité de la chair de coquillages (Annexe 2). Comme pour le test DSP, trois souris sont testées. Le temps de survie moyen des souris est converti, en un résultat exprimé en µgrammes de P.S.P. par 100 grammes de chair. Le seuil de détection de cette méthode est de 38,5 µgrammes de P.S.P. par 100 grammes de chair et le seuil de toxicité est de 80 µg de P.S.P. pour 100 g de chair.

Le test est positif si la quantité de toxine est supérieure à 80 µgrammes de P.S.P. par 100 grammes de chair.

Il est négatif avec présence de toxine en faible quantité si le résultat est compris entre 38,5 et 80 µgrammes de P.S.P. par 100 grammes de chair.

* Association of
Official
Analytical Chemists

ETUDE DE LA FLORE TOTALE

I. CONSTAT SUR 4 ANS

I.1. PROPORTION DIATOMEES/DINOFLAGELLES

I.2. EVOLUTION DU PHYTOPLANCTON

I.2.1. Cycle phytoplanktonique

I.2.2. Succession des espèces

I.2.3. dominances

II. DISCUSSIONS

II.1. REPOSITIONNEMENT DES POINTS

II.2. METHODOLOGIE ET REPRESENTATIVITE

III. CONCLUSIONS

ETUDE DE LA FLORE TOTALE

I. CONSTAT SUR 4 ANS

L'étude du phytoplancton qui est présentée ici porte sur 4 ans, de 1989 à 1992. Au vu des difficultés rencontrées lors de la reconnaissance des différents taxons phytoplanctoniques, les observations seront traitées de façon très globale, au niveau des ordres et des sous-ordres, jusqu'en 1991. Par contre, les résultats de 1992 seront étudiés de manière plus détaillée. Certains modèles de traitement ont été tirés de "suivi des efflorescences phytoplanctoniques en Charentes Maritimes, 1988" (Burgeot *et al.*, 1990)

Les données sont parfois traitées par saison en considérant que le printemps "phytoplanctonique" commence en mars car c'est à cette époque que le réchauffement de l'eau devient sensible. Le découpage est donc le suivant :



Hiver : décembre, janvier et février



Printemps : mars, avril et mai



Eté : juin, juillet et août



Automne : septembre, octobre et novembre

I.1. PROPORTION DIATOMÉES/DINOFLAGELLES

En Manche, le phytoplancton regroupe principalement deux grandes classes : les **diatomées** et les **dinoflagellés**.

Les diatomées sont plutôt de grande taille. Ce sont des êtres unicellulaires formés d'une enveloppe dure appelée frustule (composée de silice et de substances pectiniques) qui renferme le cytoplasme, le noyau et les chromatophores. Elles peuvent former des chaînes (*Paralia sulcata*, *Thalassionema nitzschioides*) ou vivre libres (*Coscinodiscus sp.*, *Pleurosigma sp.*). Leur mobilité et leur flottabilité sont essentiellement dues aux mouvements d'eau (courants et agitations) et à leurs excroissances ou soies (ex : *Chaetoceros*). L'ensemble des diatomées est scindé en deux ordres : les pennales et les centrales qui se différencient au niveau de leur axe de symétrie.

L'ordre des pennales regroupe trois sous-ordres. Seuls deux sont présents de manière significative en Manche : les *fragilariineae* et les *naviculiineae*. La plupart des pennales sont benthiques mais quelques espèces sont planctoniques et souvent en chaîne (*Thalassiosira*, *Asterionella*, *Nitzschia*) (Bougis, 1974).

Comme les pennales, les centrales regroupent trois sous-ordres : les *coscinodiscineae*, les *rhizosoleniineae* et les *biddulphiineae*. Ils sont tous trois représentés largement en Manche.

Les diatomées sont pour non toxiques mais peuvent devenir nuisibles lors d'un bloom. En effet, la présence d'une quantité très importante de cellules dans l'eau appauvrit considérablement le milieu en oxygène et peut provoquer ainsi l'anoxie du milieu. Cela occasionne parfois une mortalité conséquente des animaux marins vivant dans cet environnement : annoxieen baie de Vilaine en 1982 (Maggi, 1982).

Les **dinoflagellés** sont pourvus de flagelles. Ils vivent libres (*Dinophysis*) ou en chaîne (*Alexandrium*) et sont mobiles. Leur corps est souvent enveloppé dans une thèque cellulosique. Plusieurs de ces micro-algues possèdent des chromatophores et peuvent donc, comme les diatomées, synthétiser leur propre matière grâce à la photosynthèse. Dépourvues de pigments, certaines se nourrissent en assimilant des matières nutritives présentes dans le milieu, d'autres vont même jusqu'à phagocyter des proies. Certains dinoflagellés produisent des toxines diarrhéiques, paralysantes, neurologiques, ... Les coquillages, qui se nourrissent de ce phytoplancton, accumulent ces toxines dans leur hépatopancréas et peuvent ainsi rendre des consommateurs malades.

Généralement en Normandie, en période automnale et hivernale, la population algale est très pauvre et constituée presque en totalité de diatomées. Les dinoflagellés n'apparaissent qu'en période estivale et souvent en quantité relativement faible. Ils disparaissent vers la mi-octobre et on ne les observe que très rarement au printemps (tableau 1 et annexe 3). Cette disproportion a également été observée lors de la campagne "Dinoseine 91" (Maggi *et al.*, 1992). Contrairement à d'autres régions comme la baie de Douarnenez ou la baie de Quiberon (Videau, 1993), les eaux normandes ne semblent pas favorables au développement des dinoflagellés (sauf le site pétrolier d'Antifer, site particulier car artificiel). La proportion de diatomées se situe rarement au-dessous de 95% de la flore totale.

C'est aux stations de LUC-SUR-MER et ANTIFER (pour 1992) que l'on observe le plus de dinoflagellés. Ceux-ci sont répartis principalement entre quatre ordres : les prorocentrales, les gymnodinales, les péridinales et les dinophysales. Le phénomène *Dinophysis* sera longuement étudié dans la troisième partie de ce rapport.

1.2. EVOLUTION DU PHYTOPLANCTON

1.2.1. Cycle phytoplanctonique

Le nombre des cellules phytoplanctoniques dans l'eau varie en fonction de la période de l'année. D'après Johnstone, Scott et Chadwick (*in* Bougis, 1974) le cycle saisonnier présente deux poussées phytoplanctoniques : une importante au printemps et une plus faible en automne. Ceci s'explique par le fait qu'en période hivernale, la faible luminosité limite la photosynthèse et donc le développement du phytoplancton.

Tab. 1 : Pourcentage diatomées/dinoflagellés à Luc sur Mer en 1992

LUC/MER 92	hiver	printemps	été	automne
F.coscinodiscaceae	4,29	1,76	1,79	1,97
F.heliopeltaceae	0,00	0,00	0,00	0,00
F.thalassiosiraceae	24,19	2,60	2,76	13,31
F.melosiraceae	15,33	2,95	4,76	17,16
SO.coscinodiscinées	43,81	7,31	9,32	32,43
F.rhizosoleniaceae	1,84	31,90	13,33	7,42
F.leptocylindraceae	0,00	0,00	2,81	1,03
SO.rhizosoleniinées	1,84	31,90	16,14	8,46
F.lithodesmiaceae	0,10	0,09	0,41	1,20
F.chaetoceraceae	1,95	0,47	3,04	2,53
F.biddulphiaceae	11,62	11,47	4,41	11,94
F.eupodiscaceae	0,00	0,09	0,00	0,00
SO.biddulphiinées	13,67	12,11	7,86	15,68
O.centrales	59,32	51,32	33,32	56,57
F.fragilariaceae	17,55	17,80	33,43	7,67
SO.fragillariinées	17,55	17,80	33,43	7,67
F.naviculaceae	7,82	7,30	9,57	10,13
F.nitzschiaceae	1,52	0,42	8,74	4,19
SO.naviculiinées	9,35	7,73	18,30	14,32
O.pennales	26,89	25,53	51,73	21,99
DIATOMEES	99,39	97,02	87,08	79,24
O.dinophysales	0,00	0,00	0,00	0,00
O.prorocentrales	0,00	0,00	0,32	0,10
F.gymnodiniaceae	0,41	0,00	0,00	19,00
O.gymnodiniales	0,41	0,00	0,00	19,00
F.gonyaulacaceae	0,00	0,00	0,00	0,00
F.peridiniaceae	0,00	0,18	0,40	0,14
O.peridinales	0,00	0,18	0,40	0,14
O.noctilucales	0,00	0,00	0,00	0,00
DINOFLAGELLES	0,41	0,18	0,72	19,24
AUTRES	0,20	2,80	12,20	1,52

Le stock de sels nutritifs peut donc se reconstituer. Au printemps, l'augmentation de l'ensoleillement, et donc de la température de l'eau, conjuguée à de fortes teneurs en nutriments provoque une poussée phytoplanctonique : les sels nutritifs sont alors consommés. L'été est propice aux dinoflagellés qui nécessitent peu d'éléments nutritifs. Cela explique en partie le fait qu'ils prolifèrent après les blooms printaniers de diatomées. En automne, on peut observer parfois un bloom de diatomées. Pour ce faire, il faut des conditions hydrologiques et météorologiques favorables (luminosité, température de l'eau, présence suffisante de nutriments dans le milieu).

En Normandie, quel que soit le point étudié, on observe toujours une augmentation nette de la concentration phytoplanctonique au printemps et en été. Le bloom automnal est généralement réduit. On observe néanmoins, certaines années, des développements importants de *Biddulphia*, *Paralia* et *Navicula* en octobre et novembre.

1.2.2. Succession des espèces

La succession des différentes espèces au cours de l'année a été largement étudiée par Johnstone, Scott et Chadwick (*in* Bougis, 1974). Les facteurs pouvant intervenir dans ces changements sont la température de l'eau (il existe des espèces d'eau froide et des espèces d'eau chaude), les variations d'ensoleillement et les concentrations de sels nutritifs dans le milieu.

Les cinq points de suivi en Normandie (figure 1) présentent des caractéristiques différentes, surtout en ce qui concerne la concentration phytoplanctonique. On observe que les stations de LUC-SUR-MER et GRANDCAMP sont plus riches que BREVILLE et GATTEVILLE. Cela pourrait peut-être s'expliquer par le fait que BREVILLE et GATTEVILLE sont des points baignés par des eaux plus océaniques et donc plus pauvres en sels nutritifs. GRANDCAMP, situé dans la baie des Veys, reçoit les eaux douces de l'Aure et la Vire riches en matières organiques et en sels nutritifs. LUC-SUR-MER est soumis aux apports nutritifs de l'Orne et en quantité moindre à ceux de la Seine.

Il semble que certaines espèces puissent se développer avec de faibles teneurs en azote (Eppley, Rogers et McCarthy *in* Bougis, 1974). De plus, les espèces présentes dans l'eau à une certaine période peuvent induire ou inhiber le développement de telle ou telle espèce par le biais de leur excréation (vitamines, antibiotiques) (Bougis, 1974). Deux exemples illustrent bien ceci:



Les antibiotiques produits par *Asterionella* sont inhibés par une substance protéinique secrétée par *Prorocentrum micans*. Ceci permet un certain équilibre entre les deux espèces (Erard et Populus, 1984). Certains polluants (cuivre, zinc) peuvent provoquer une augmentation de la sécrétion d'antibiotiques.



Skeletonema costatum libère, en phase de croissance, des substances inhibitrices pour *Thalassionema nitzschioides*.

Certaines espèces très communes en Manche, comme *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum*, *Rhizosolenia* et *Plagiogramma*, ont fait l'objet d'une étude écologique (Erard et Populus, 1984). Nos observations au cours des quatre dernières années confirment celles de ces auteurs.



Paralia sulcata et *Skeletonema costatum* sont des espèces que l'on trouve préférentiellement en période froide en Normandie. La présence dans l'eau de *Paralia sulcata* peut être expliquée par la remise en suspension des sédiments, sur lesquels ils sont fixés par un coussin de mucus, lors de fortes tempêtes.

Skeletonema costatum est présent tout au long de l'année, mais au cours des quatre dernières années, aucun bloom (printanier et automnal) à *Skeletonema costatum* n'a été observé.



Le genre *Rhizosolenia* est présent en grande quantité sur les côtes de la Manche. Les trois espèces principales sont *Rhizosolenia delicatissima*, *Rhizosolenia styliformis* et *Rhizosolenia stolterfothii*. Elles se succèdent dans le temps. En mai, dès que l'ensoleillement devient important, les eaux sont vertes et l'on observe un bloom à *Rhizosolenia delicatissima*. C'est en fin de bloom que les *Rhizosolenia styliformis* se développent. En été, ils laisseront place aux *Rhizosolenia stolterfothii*.

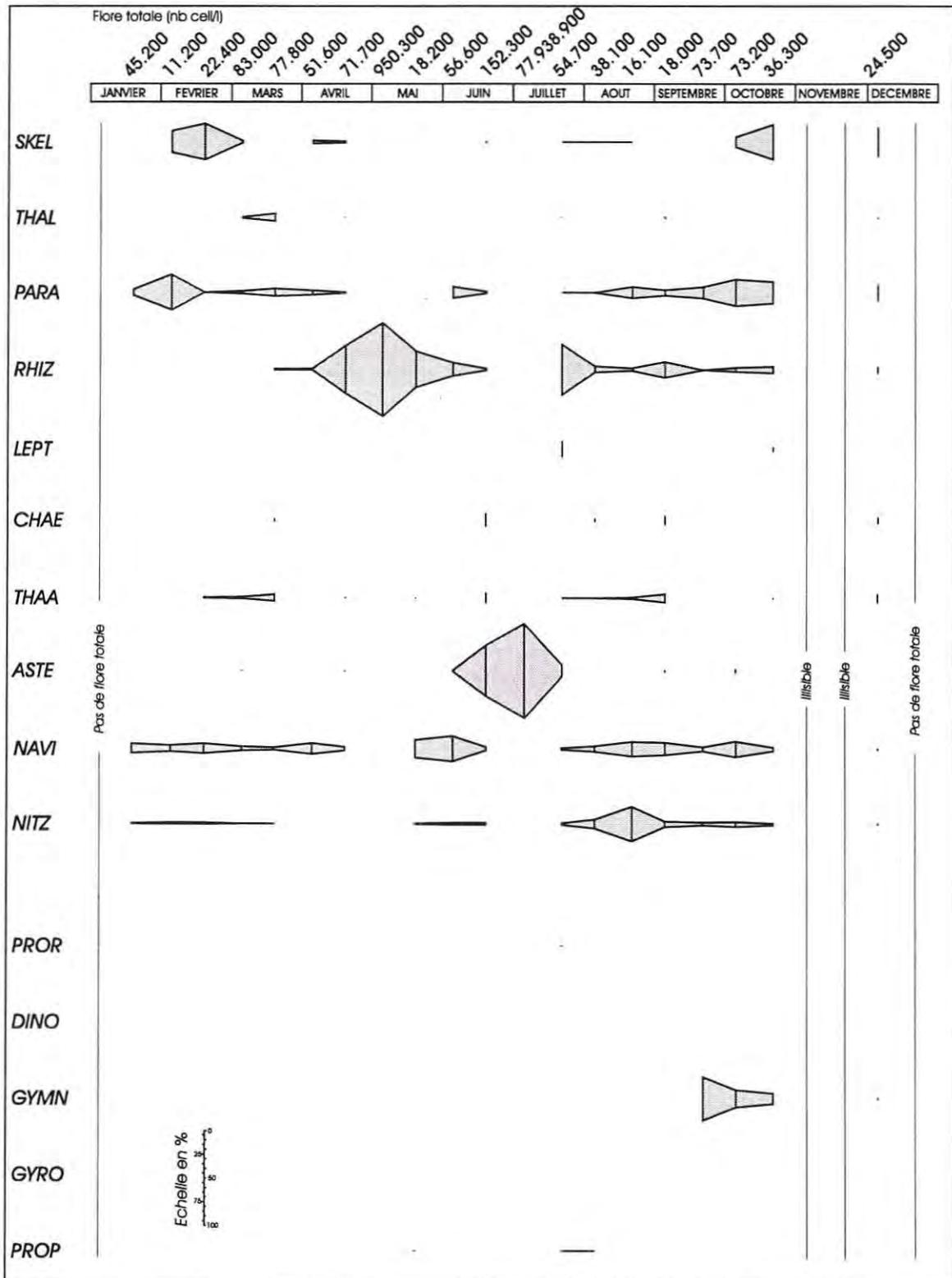


Les *Plagiogramma* sont des pennales coloniales de la famille des *Fragillariaceae*. En période hivernale, ils sont en quantité importante et très souvent en mauvais état à LUC-SUR-MER, GRANDCAMP et BREVILLE. Ceci peut être dû aux mauvaises conditions de conservation (mauvaise fixation des *Plagiogramma* par le lugol) ou, pour les points de BREVILLE et de GRANDCAMP, au passage dans une pompe mécanique avant prélèvement (réserve ostréicole).

La conjugaison de tous ces facteurs favorise un certain équilibre entre les différentes espèces.

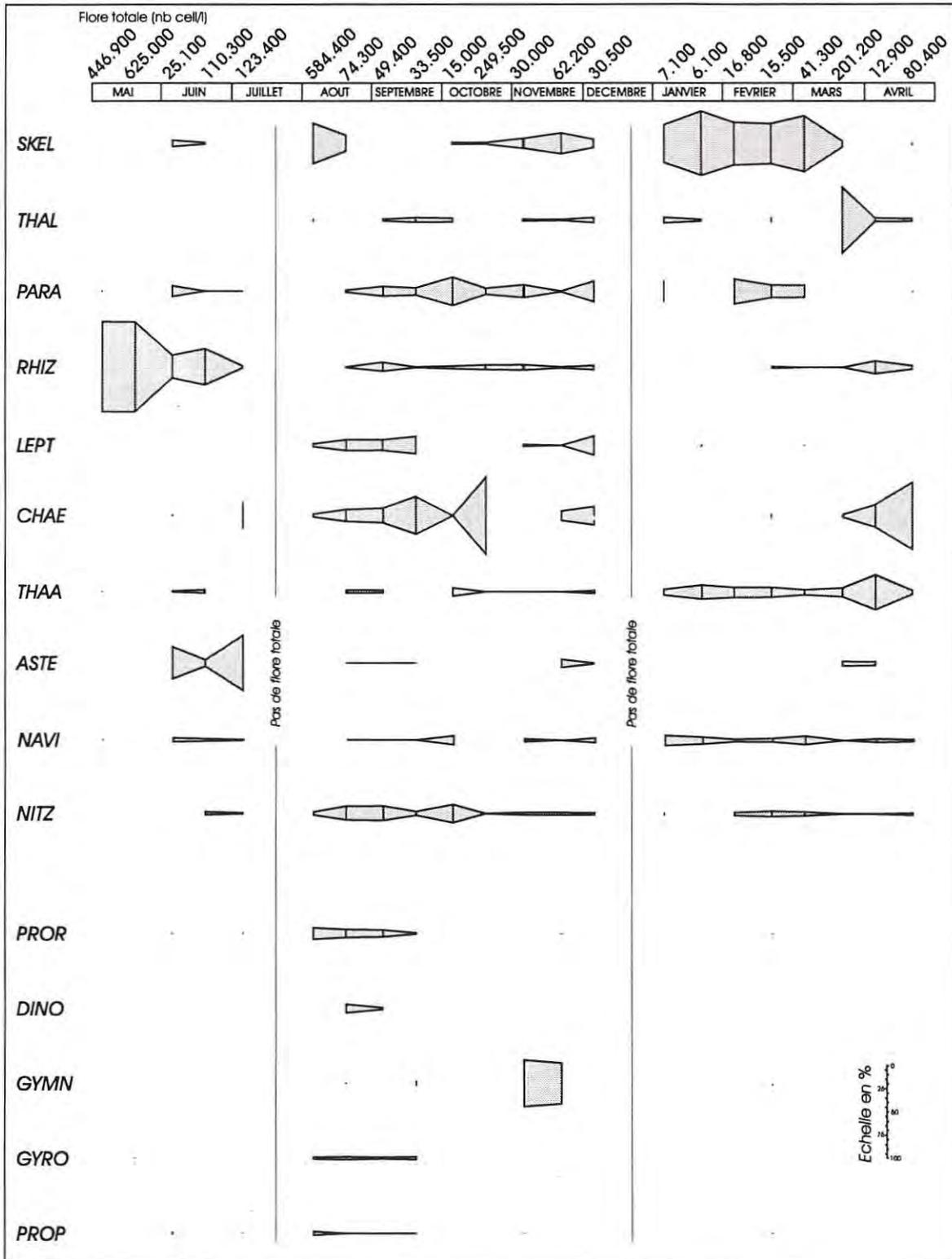
La représentation graphique de Johnstone, Scott, et Chadwick (figures 4 et 5) semble donner la meilleure vue de la succession floristique. Elle exprime le pourcentage des genres en fonction du nombre total de cellules par litre.

Fig. 4 : Succession floristique à LUC SUR MER en 1992
selon Johnstone, Scott et Chadwick



(Nomenclature des genres phytoplanctoniques en Annexe 2)

**Fig. 5 : Succession floristique à ANTIFER de mai 1992 à avril 1993
selon Johnstone, Scott et Chadwick**



(Nomenclature des genres phytoplanctoniques en Annexe 2)

Un faible pourcentage peut minorer l'importance de certaines espèces, alors que leur nombre de cellules au litre peut être important.

Sur la figure 5 ("ANTIFER 1992-1993"), le 19 août le pourcentage de *Dinophysis* est de 9,42% seulement, mais sa concentration dans le milieu atteint déjà 7000 cellules/litre.

Les stations d'ANTIFER et de LUC-SUR-MER sont les plus riches en quantité, elles ont donc été choisies pour illustrer ce mode de représentation (cf. figures 4 et 5).

1.2.3. Dominances

Les caractéristiques de la population restent particulières à chaque site. Le calcul de l'**indice biologique** par la méthode de **Sanders** (1960) permet la mise en évidence de la dominance de certains taxons. Cette méthode permet de classer les différentes espèces (ou genres) selon leur abondance dans un milieu précis. Pour l'étude des dominances, les espèces sont regroupées par genre. Cette méthode de regroupement semble plus judicieuse pour les espèces difficilement identifiables tels que *Chaetoceros*, par contre il y a une perte d'information pour des espèces comme *Rhizosolenia* qui sont aisément reconnaissables. Ce choix découle de travaux antérieurs sur les données du réseau phytoplanctonique REPHY d'IFREMER (Belin *et al.*, 1993).

Pour un point à une date donnée, chaque taxon reconnu reçoit une note de 0 à 10. Les dix plus abondants dans l'échantillon sont notés de 10 à 1 et les autres reçoivent le chiffre 0. Puis l'addition de ces chiffres sur une année, divisée par le nombre de prélèvements effectués sur le site, permet d'obtenir un indice pondéré. Il détermine les genres "**caractéristiques**" du site, les **accompagnateurs** et les **accessoires**.

Les caractéristiques sont les 10 genres qui obtiennent les plus forts indices de Sanders (noté I.S.). Les accompagnateurs ont un indice plus faible que celui des caractéristiques mais supérieur à zéro. Enfin, les accessoires sont les genres très peu observés sur les sites ; ils ont un indice nul. L'étude des indices de Sanders (tableau 2 et annexe 3) est effectué sur les données de 1992 car auparavant la reconnaissance taxonomique était moins poussée.

Tab. 2 : Tableau des espèces caractéristiques de chaque site en 1992
(cf Annexe 2 pour la nomenclature des genres)

ANTIFER	I.S.	LUC/MER	I.S.	GRANDCAMP	I.S.	GATTEVILLE	I.S.	BREVILLE	I.S.
PARA	5,86	NAVI	6,65	NAVI	8,65	NAVI	7,00	NAVI	8,60
RHIZ	5,71	PARA	5,40	PARA	7,40	RHIZ	6,48	PARA	6,93
CHAE	4,86	RHIZ	5,05	RHIZ	5,25	PARA	6,39	RHIZ	5,40
SKEL	4,57	BIDD	4,80	GRAM	3,45	CHAE	3,83	SKEL	3,27
NITZ	4,36	PLAG	4,05	PLAG	3,45	COSC	3,13	PLAG	3,20
NAVI	3,21	COSC	3,20	SKEL	3,15	GRAM	2,26	NITZ	3,13
LEPT	2,79	SKEL	3,05	COSC	3,00	SKEL	2,22	ASTE	2,93
THAA	2,57	NITZ	2,90	NITZ	3,00	NITZ	2,17	COSC	2,73
ASTE	2,43	THAA	2,55	BIDD	2,30	THAL	1,39	BIDD	2,00
CILI	2,29	PHYCEUG	2,40	THAL	1,95	EUCA	1,04	PLEU	1,87

Comme le montre le tableau 2, les taxons dominants communs sur les cinq points de suivi sont *Navicula*, *Paralia sulcata*, *Rhizosolenia (delicatula, stilyformis et stoltherfothii)*, *Skeletonema costatum* et *Nitzschia*.

Si les cinq stations de suivi présentent globalement les mêmes genres dominants, certains points se différencient néanmoins par quelques taxons particuliers. En effet, il est très courant d'observer des *Euglènes* à la station de LUC-SUR-MER alors qu'elles sont absentes sur les autres sites. Celles-ci traduisent un apport d'eau douce. Le point est situé entre les débouchés de l'Orne et de la Seulles, mais ceci ne paraît pas suffisant pour expliquer la présence abondante de cette espèce dans le milieu. ANTIFER se différencie par les *ciliés* et *Leptocylindrus* et GATTEVILLE par *Eucampia zodiacus*. Le tableau regroupant les accompagnatrices et les accessoires se trouve en Annexe 5.

Pour tenter de caractériser les peuplements phytoplanctoniques de manière plus fine, nous avons envisagé d'utiliser l'indice de **Shannon**. C'est un indice de diversité qui sert à caractériser un écosystème.

- Un peuplement diversifié est jeune et évolutif.
- Par contre, s'il contient peu d'espèces et qu'elles sont bien représentées, la structure est stable et bien établie.

L'indice est calculé pour un échantillon donné et devient caractéristique du milieu si l'échantillon en question en est représentatif. Dans le cadre du REPHY, la stratégie mise en oeuvre (taille de l'échantillon, fréquence des prélèvements) ne permet pas d'affirmer que les échantillons sont représentatifs du milieu. Dans ce cas, l'indice de Shannon n'est pas représentatif de l'écosystème et n'a de signification que par rapport à l'échantillon, ce qui présente un intérêt limité.

II. DISCUSSIONS

II.1. REPOSITIONNEMENT DES POINTS

Au vu des résultats obtenus, une remise en question de l'emplacement des points s'est faite progressivement ces deux dernières années. Chaque point a été pris un à un, critiqué et repositionné quand cela est apparu nécessaire.

Le passage du phytoplancton dans des pompes industrielles semble avoir un effet néfaste sur les cellules. Celles-ci subissent des chocs mécaniques qui peuvent provoquer leur éclatement ou casser les formations en chaîne.

Pour certains auteurs (Bourgade-Lê, 1981), ces chocs peuvent entraîner une diminution significative (de 5 à 27%) de la population phytoplanctonique. Les résultats obtenus sur les stations de BREVILLE et de GRANDCAMP seraient donc faussés dès le prélèvement. En 1993 ces points ont été modifiés :

⚓ Le point de BREVILLE a été déplacé à Granville (sous le Casino) au début 93. Ce point a été choisi en fonction de son accessibilité et de l'épaisseur de la masse d'eau au moment de la pleine mer. C'est le seul point réalisable à pied sur la côte ouest du Cotentin (Figure 6). Néanmoins, il présente certains inconvénients majeurs : pour que le prélèvement soit considéré comme significatif, il doit être réalisé lors de forts coefficients de marée, soit une fois par mois. Le nombre de prélèvements dans l'année est limité à 11 au lieu de 24 à BREVILLE. L'acquisition d'un véhicule 4X4 en milieu d'année 1993 (facilitant des sorties en zodiac) a permis de replacer le point au large du port de GRANVILLE. La fréquence de prélèvement est maintenant bimensuelle, quand le temps le permet.

⚓ Le point de GRANDCAMP n'est réalisable qu'en bateau et quand l'état de la mer le permet. Un autre mode de prélèvement pourrait être envisagé : la perche à marée (Rybarczyk *et al.*, 1993), mais le temps de prélèvement serait alors multiplié par trois.

⚓ Les points de LUC-SUR-MER et GATTEVILLE qui étaient réalisés dans le ressac, présentaient généralement une très forte turbidité et donc une grande difficulté de lecture. Ils ont été déplacés vers le large. Le prélèvement de LUC-SUR-MER est réalisé par le personnel de la station marine de LUC-SUR-MER en bateau. Leur fréquence de sortie est d'une fois par semaine (quand le temps le permet). Le point de Gatteville est transféré sur le site de Barfleur et réalisé par la vedette des Affaires Maritimes de Cherbourg, la fréquence du suivi est bimensuelle.

⚓ Seul le point d'Antifer n'a pas été modifié.

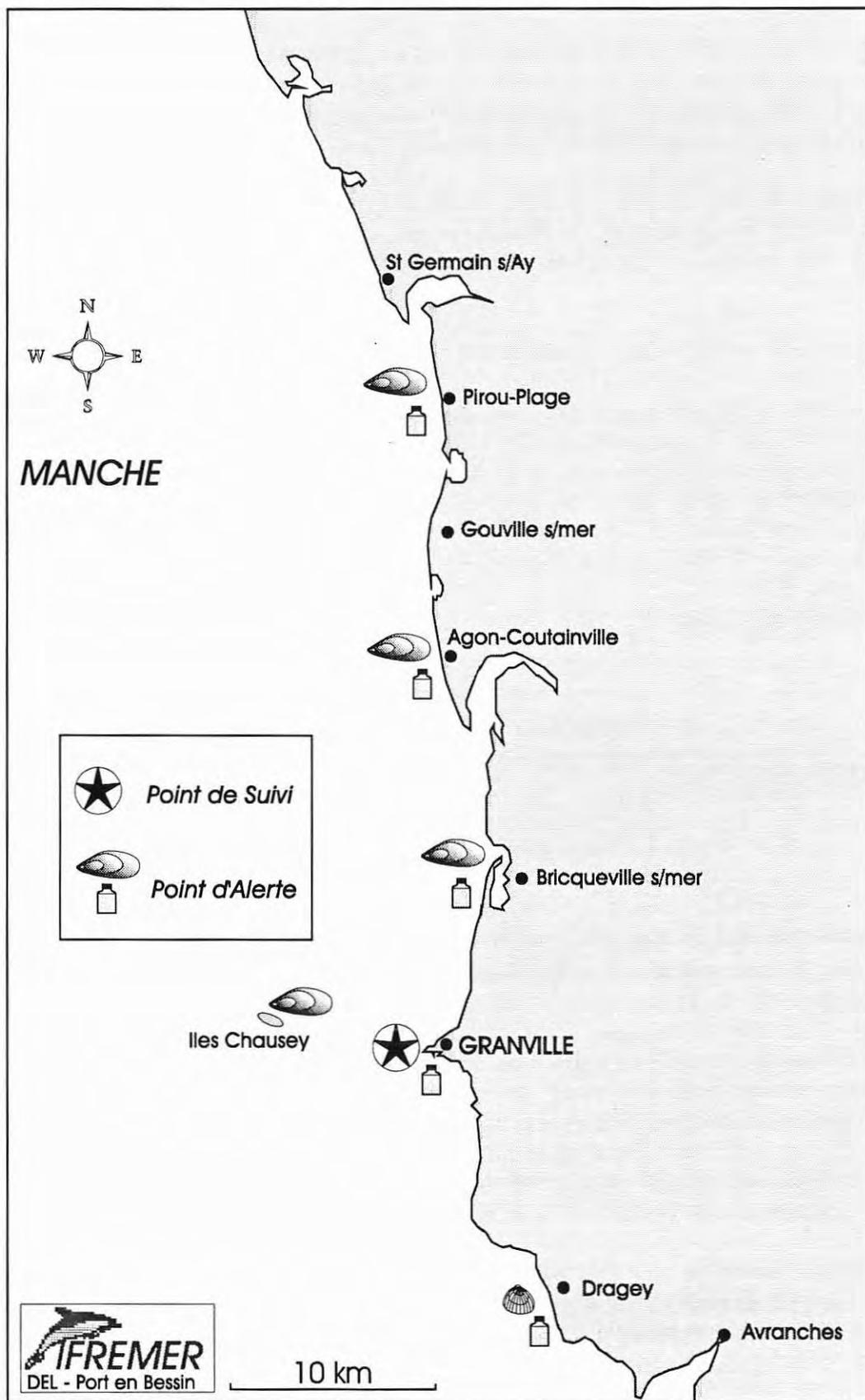
II.2. METHODOLOGIE ET REPRESENTATIVITE

Des problèmes d'échantillonnage et de représentativité de l'échantillon se posent également.

⚓ Les 10 ml d'eau observés sont-ils représentatifs de la masse d'eau échantillonnée ?

Des études méthodologiques ont été réalisées à l'IFREMER de La Trinité sur Mer. Lachater (1989) démontre qu'un prélèvement de 10 ml est représentatif pour un point donné (pour un taxon donné : *Dinophysis*). Ceci est-il extrapolable à l'ensemble des taxons présents dans le milieu ou aux espèces caractéristiques du site?

Fig. 6 : RESEAU PHYTOPLANCTONIQUE DE LA COTE OUEST DU COTENTIN



↳ Quelle est l'étendue de l'écosystème représenté par les 10 ml observé sachant que la majorité des sites étudiés sont en "mer ouverte"?

D'après Bougis (1974), le phytoplancton est réparti de façon très hétérogène (par taches), alternant des zones à forte densité phytoplanctoniques et des zones à faible concentration micro-algales. Il est donc difficile d'identifier le phytoplancton sur les côtes du Calvados aux 10 ml prélevés à Luc sur Mer.

On peut supposer qu'une stratégie d'échantillonnage comportant un maillage plus fin permettrait de déterminer des zones homogènes où le calcul des indices de diversité tel que l'indice de Shannon serait envisageable.

Une équipe scientifique de la faculté de Caen (Calvados) suit régulièrement le phytoplancton au large de LUC-SUR-MER. Ses observations ne sont pas quantitatives mais qualitatives avec une notion d'abondance relative. Ses prélèvements sont réalisés avec un filet à plancton, la quantité d'eau filtrée est donc largement supérieure à la nôtre et la représentativité de l'échantillonnage certainement meilleure. Les listes floristiques obtenues s'avèrent donc plus riches. En comparaison, la méthode d'IFREMER permet d'établir la liste des espèces dominantes et les grandes tendances phytoplanctoniques du site mais le problème de la représentativité de l'échantillon reste entier.

III. CONCLUSIONS

Le secteur d'étude du laboratoire de Port-en-Bessin est très vaste et très diversifié. Il comprend des zones très océaniques telles que la côte ouest et le nord du Cotentin et des zones abondamment alimentées par des eaux douces telles que la baie des Veys et l'estuaire de la Seine. La flore phytoplanctonique varie d'un point à un autre. Néanmoins une dominante commune existe. Elle comprend les *Paralia sulcata*, *Navicula sp.*, *Rhizosolenia*, *Skeletonema costatum* et *Nitzschia*.

Il semble que la Manche, par rapport à la côte sud de la Bretagne et à la Méditerranée, soit moins propice au développement des Dinoflagellés malgré des poussées de *Dinophysis* dans la zone d'ANTIFER

Des travaux similaires ont été réalisés sur d'autres portions du littoral français et tout particulièrement en Charentes Maritimes (Burgeot *et al.*, 1990). Il serait très intéressant de comparer les résultats.

L'analyse des données phytoplanctoniques révèle différents problèmes liés essentiellement à la méthodologie.

Le problème du prélèvement d'eau dans les réserves ostréicoles pourrait faire l'objet d'une étude de comparaison "prélèvement avant et après pompage". Elle permettrait d'évaluer le biais dans les échantillons et de connaître de façon plus approfondie l'impact des pompes sur le phytoplancton.

De même une étude de comparaison "prélèvement au filet à plancton et à la bouteille de prélèvement" peut être envisagée. En effet l'échantillon obtenu à partir du filet à plancton peut révéler la présence de certaines espèces présentes dans le milieu et non observées dans les 10 ml analysés par la méthode utilisée à l'IFREMER.

Les résultats obtenus par la méthode actuelle (méthode d'Utermöhl) semblent suffisants pour la protection de la santé publique. Par contre les observations faites sur des prélèvements au filet semblerait intéressant pour la connaissance de l'évolution phytoplanctonique étudié dans le cadre du PNOC*.

L'écologie du phytoplancton, espèce par espèce, n'est pas suffisamment connue pour permettre de tirer des conclusions sur les dominances floristiques observées. Mais pour de nombreux auteurs (Bougis par exemple), la quantité de sels nutritifs (nitrates et phosphates en particulier) joue un rôle très importante pour la multiplication cellulaire. Il paraîtrait intéressant de quantifier ces nutriments sur les différents points de suivi. Les résultats pourraient nous donner un début d'explication en ce qui concerne la différence observée entre les flores des points de suivi.

Actuellement les équipes scientifiques se penchent essentiellement sur le développement des espèces toxiques. Des études parallèles sur certaines espèces non toxiques (diatomées en particulier) pouvant être indicatrices de l'état du milieu pourrait aider à la prévention des risques toxiques.

**Programme National
d'Océanographie
Côtière*

PHENOMENE DINOPHYSIS EN NORMANDIE

I . PRESENTATION DE DINOPHYSIS

II . HISTORIQUE DU PHENOMENE DINOPHYSIS EN BAIE DE SEINE JUSQU'EN 1989

II.1. LUC-SUR-MER ET ANTIFER

II.2. GATTEVILLE - BARFLEUR

II.3. GRANDCAMP ET BREVILLE

III . DINOPHYSIS EN BAIE DE SEINE DE 1989 A 1992

III.1. RESULTATS EN 1989

III.1.1. Nombre de cellules par litre

III.1.2. Relation Dinophysis/ tests souris

III.1.3. Fermeture des zones

III.2. RESULTATS EN 1990

III.2.1. Nombre de cellules par litre

III.2.2. Relation Dinophysis/ tests souris

III.2.3. Fermeture des zones

III.3. RESULTATS EN 1991

III.4. RESULTATS EN 1992

III.4.1. Nombre de cellules par litre

III.4.2. Relation Dinophysis/ tests souris

III.4.3. Fermeture des zones

IV . DISCUSSIONS

IV.1. VENTS ET COURANTS

IV.2. ANNEE 1991

IV.3. TOXICITE DES COQUILLAGES

V . CONCLUSIONS

PHENOMENE DINOPHYSIS EN NORMANDIE

I. PRESENTATION DE *DINOPHYSIS*

Dinophysis est un organisme phytoplanctonique unicellulaire appartenant à la classe des dinophycées (étymologiquement "algues tournoyantes") et à l'ordre des dinophysales. Il est de taille moyenne (30-100µm), ne contient que très rarement des chloroplastes et possède 2 flagelles locomoteurs. Il existe 200 espèces de *Dinophysis* dans le monde dont environ 10 espèces sont connues comme étant toxiques. Les différentes espèces de *Dinophysis* sont présentes dans pratiquement toutes les mers du monde. On les trouve préférentiellement dans les zones côtières (Sournia *et al.*, 1991). Certaines de ces espèces sont communes sur les côtes françaises, en Méditerranée, au sud de la Bretagne, en baie de Seine et tout particulièrement sur le site d'Antifer (port du complexe pétrolier situé au nord du Havre). Elles se développent plutôt en juin en sud Bretagne et en juillet-août en baie de Seine où l'on observe habituellement *Dinophysis cf. acuminata*.

Dinophysis est plus connu par son effet toxique que par son écologie et son cycle de reproduction. En effet, de nombreuses équipes de recherche à l'IFREMER et dans le monde ont tenté de cultiver *Dinophysis*, mais ces essais sont restés vains. *Dinophysis* se divise par scissiparité, aucune reproduction sexuée n'a été observée chez les dinophysales (Sournia *et al.*, 1991). Des kystes temporaires de *Dinophysis* ont été observés par Bardouil *et al.* (1991). Parallèlement le laboratoire d'écologie de l'IFREMER à Brest poursuit ses recherches sur le déterminisme des efflorescences algales toxiques.

Pour certains auteurs (GILSON, 1937, *in* SOURNIA *et al.*, 1991), la diminution du taux de sels nutritifs dans l'eau, au moment du déclin d'un bloom de diatomées, pourrait être propice au développement du *Dinophysis*. L'algue tend à se développer dans des eaux calmes et stratifiées (observées particulièrement en période de mortes-eaux) où elle peut se déplacer dans la colonne d'eau (phototactisme positif). Il semblerait également que la baisse de salinité et l'augmentation de la température de l'eau soient favorables à la multiplication des cellules.

Dinophysis peut rendre les coquillages toxiques à faible concentration (200c/l*), alors que généralement d'autres espèces phytoplanctoniques toxiques, telles que certains *Gyrodinium* et *Alexandrium*, ne présentent une toxicité qu'à très forte concentration.

En regroupant les différentes observations réalisées à travers le monde, il semble que *Dinophysis* se trouve souvent en présence de *Prorocentrum* (SOURNIA *et al.*, 1991). Tous deux semblent avoir des besoins physiologiques proches, on peut donc penser qu'ils occupent la même niche écologique. Les toxines produites par *Dinophysis* appartiennent à la famille des toxines D.S.P.. Les espèces de *Dinophysis* présentes en France produisent majoritairement de l'acide okadaïque (polyester d'acide gras) qui fut isolé par MURATA en 1982.

*Nombre de Cellules
par litre

La toxine est concentrée dans l'hépatopancréas des coquillages mais reste sans effet, semble-t-il, sur ces derniers. Dans le tube digestif humain, les toxines modifient la perméabilité vasculaire et engendrent en quelques heures des malaises, des diarrhées, des vomissements, des maux de tête et d'estomac. La toxine est thermostable : les coquillages contenant la toxine provoquent également tous ces symptômes, même s'ils sont cuits.

II. HISTORIQUE DES EPISODES *DINOPHYSIS* EN BAIE DE SEINE AVANT 1989

Dinophysis est apparu en baie de Seine pour la première fois en quantité importante en 1983. Sa première observation en Europe remonte à 1961 aux Pays-Bas. Son apparition en France a suscité la mise en place du réseau de surveillance REPHY.

Depuis 1983, *Dinophysis* se développe régulièrement en quantité plus ou moins importante en baie de Seine et plus particulièrement sur le site d'Antifer. Suivant les années, il est observé sur les côtes de Seine Maritime, du Calvados et plus rarement sur la côte est du Cotentin (gisement moulier de Barfleur).

II.1. LUC-SUR-MER ET ANTIFER

En 1983, 125 cas d'intoxication alimentaire dus à la présence de *Dinophysis* ont été recensés en Normandie. Sa concentration maximum dans l'eau est alors de $1,2 \cdot 10^6$ c/l dans le port d'Antifer et $1,7 \cdot 10^4$ c/l sur les côtes du Calvados.

En 1984, les concentrations de *Dinophysis* étaient sensiblement les mêmes qu'en 1983. On mesure jusqu'à $6 \cdot 10^5$ c/l le 10 juillet dans le port pétrolier d'Antifer et dans le même temps 9000 c/l à Saint-Aubin-sur-Mer dans le Calvados.

En 1985, le développement de la micro-algue est moindre : 7000 c/l à Antifer, 2100 c/l à Villerville et 800 c/l à Saint-Aubin-sur-Mer. Les gisements mouliers haut-normands n'ont fait l'objet d'aucune fermeture. Par contre trois secteurs du Calvados sont fermés à la pêche : Villerville-Le Ratier (26 jours), estuaire Seine-estuaire Orne (19 jours) et Orne-Bernières-sur-Mer (24 jours).

Contrairement à 1985, en 1986, la prolifération du *Dinophysis* s'est révélée d'une plus grande ampleur : jusqu'à $7,1 \cdot 10^4$ c/l à Antifer et $4 \cdot 10^4$ c/l sur le Calvados où la plupart du temps la concentration en *Dinophysis* n'excède pas 1000 c/l. Quelques cas d'intoxication déclarés ont pour origine le gisement moulier de Fécamp.

Les fermetures de zones sont particulièrement longues cette année là, et accompagnées d'un fort impact économique et touristique dû à l'interdiction de la pêche récréative.

Comme en 1986, la Seine-Maritime et le Calvados sont touchés par le phénomène en 1987 (jusqu'à 46600 c/l sur Antifer et 8400 c/l à Ouistreham). Les périodes d'interdiction de commercialisation de moules sont semblables à l'année précédente.

En 1988, les côtes du Calvados et de la Seine Maritime sont touchées comme les années précédentes (jusqu'à $2,4 \cdot 10^4$ c/l à Antifer et $1,3 \cdot 10^4$ c/l à Luc-sur-Mer).

Contrairement aux autres années, la moule n'est pas le seul coquillage atteint par le problème *Dinophysis*, l'interdiction de pêche et de commercialisation est également décrétée pour les *Chlamys opercularis* et *varius* (pétoncle) du port d'Antifer au site de Barfleur.

Les cas d'intoxication attribués à l'ingestion de moules contaminées par *Dinophysis* sont de 2000 en 1984, 10 en 1985, 2000 en 1986. La diminution notable des intoxications depuis 1986 est due en grande partie au bon fonctionnement du réseau d'alerte du REPHY de l'IFREMER.

II.2. GATTEVILLE - BARFLEUR

Plusieurs moulières d'importance variable sont situées sur les côtes du nord-est Cotentin. Les plus grandes et donc les plus productives sont des moulières en eaux profondes exploitées à l'aide de chalutiers.

Le gisement de Barfleur est le plus important de France. Situé au nord de la pointe de Barfleur et de 1 à 5 miles de la côte, il couvre plus de 1000 hectares à une profondeur allant de 15 à 50 mètres.

En 1983 et 1984, la pêche de moules sur ce site a été perturbée par la présence de *Dinophysis*. Pour ces deux années la zone a été fermée un peu plus d'un mois et à peu près à la même période : début août-début septembre.

De 1985 à 1987, *Dinophysis* n'a pas été observé sur le site.

L'année 1988 fut désastreuse du point de vue économique. En effet, *Dinophysis* qui se développe depuis 3 ans en Seine-Maritime et sur les côtes du Calvados, refait son apparition à Barfleur où l'activité mytilicole est la plus importante. La fermeture de cette zone en début de saison (24 juin-25 juillet) a provoqué une certaine panique chez les professionnels qui à cette époque de l'année amorcent la vente et les contacts avec leurs futurs clients (Morin, *comm. pers.*).

Le gisement de Barfleur est suivi tous les ans avec une attention particulière, car la présence de *Dinophysis* sur ce site a de graves répercussions au niveau économique, social et touristique.

II.3. GRANDCAMP ET BREVILLE

Les prélèvements hebdomadaires réalisés à GRANDCAMP en période estivale n'ont jamais révélé la présence de *Dinophysis*. Ceux réalisés après pompage dans une réserve ostréicole de BREVILLE ont permis l'observation sporadique de cellules de *Dinophysis* mais toujours en quantité très faible (100 à 300 c/l).

Jusqu'en 1993, seul le sud de la côte ouest Cotentin faisait l'objet d'un suivi *Dinophysis*.

Les cultures de moules sur bouchot réalisées sur cette côte couvrent environ 50 kilomètres d'estran. Il est donc matériellement impossible de réaliser un suivi sur toute la zone. Le choix de trois points de prélèvement situés au sud, au centre et au nord de la zone de production moulière (figure 6) paraît adapté au suivi du phénomène *Dinophysis*. Ce plan d'échantillonnage est actuellement à l'essai grâce à l'acquisition de matériel performant (véhicule 4X4, permettant de remonter le zodiac à terre à partir de la plage et non plus à partir d'une cale) et à l'obtention de moyens humains supplémentaires (un agent sous contrat à durée déterminée pour toute la période estivale).

III. DINOPHYSIS EN BAIE DE SEINE DE 1989 A 1992

En Seine-Maritime, le comptage de *Dinophysis* dans l'eau ne concerne que le site du port d'Antifer. Les prélèvements et les analyses sont réalisés par le LEA* .

La salubrité des coquillages est suivie par l'intermédiaire des tests souris. En 1989 et 1990, les sites situés entre Fécamp et Dieppe sont suivis (prélèvements et analyses) par la DSV* de Rouen. Les prélèvements entre Fécamp et Le Havre, réalisés par le LEA et par la CSLHN*, sont traités au laboratoire IFREMER de Ouistreham. Le suivi de la côte du Calvados est entièrement effectué par le CSRU de Ouistreham.

Depuis 1992, le laboratoire IFREMER de Port-en-Bessin réalise tous les prélèvements et les tests souris nécessaires au suivi, à l'exception des prélèvements de moules entre Antifer et Le Havre effectués par le LEA et la CSLHN.

* Laboratoire d'Etudes et d'Analyses du Havre

* Direction des Services Vétérinaires

* Cellule de Suivi du Littoral Haut-Normand

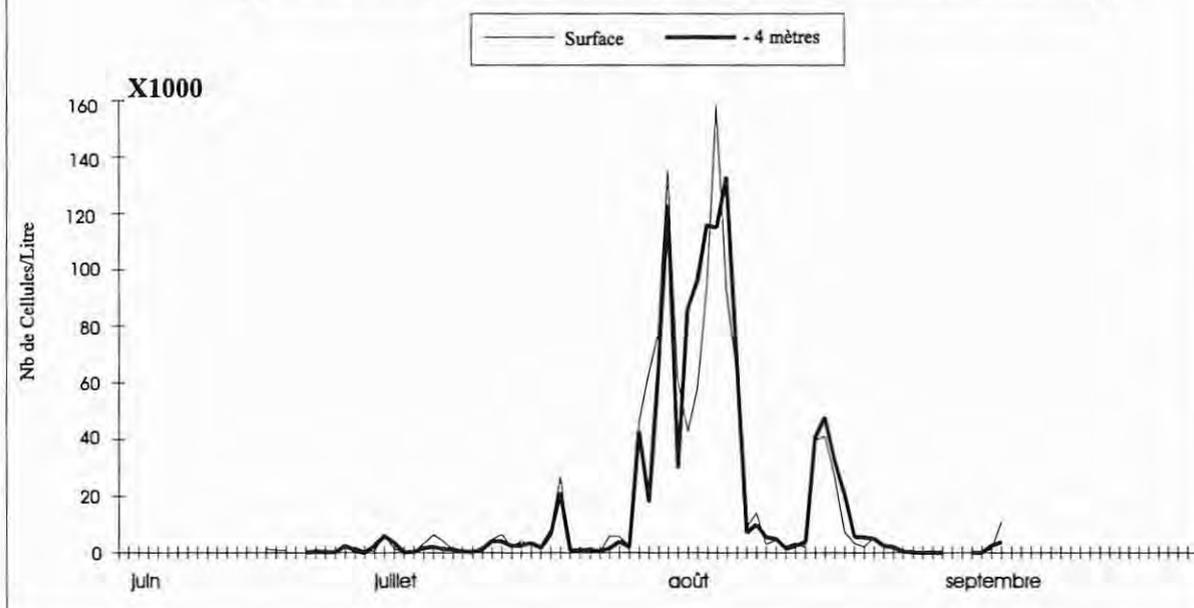
III.1. RESULTATS EN 1989

III.1.1. Nombre de cellules par litre

Les prélèvements quotidiens effectués par le laboratoire municipal du Havre sont réalisés simultanément à -4 mètres et en surface du 4 juillet au 4 octobre. *Dinophysis* est apparu fin juin dans le port d'Antifer à une concentration relativement élevée : 1300 c/l en surface. Au cours de la période estivale on observera fréquemment de fortes concentrations. Les observations aux deux profondeurs présentent une nette similitude. Quatre pics de concentration peuvent être observés au cours de la saison, deux forts et deux plus faibles.

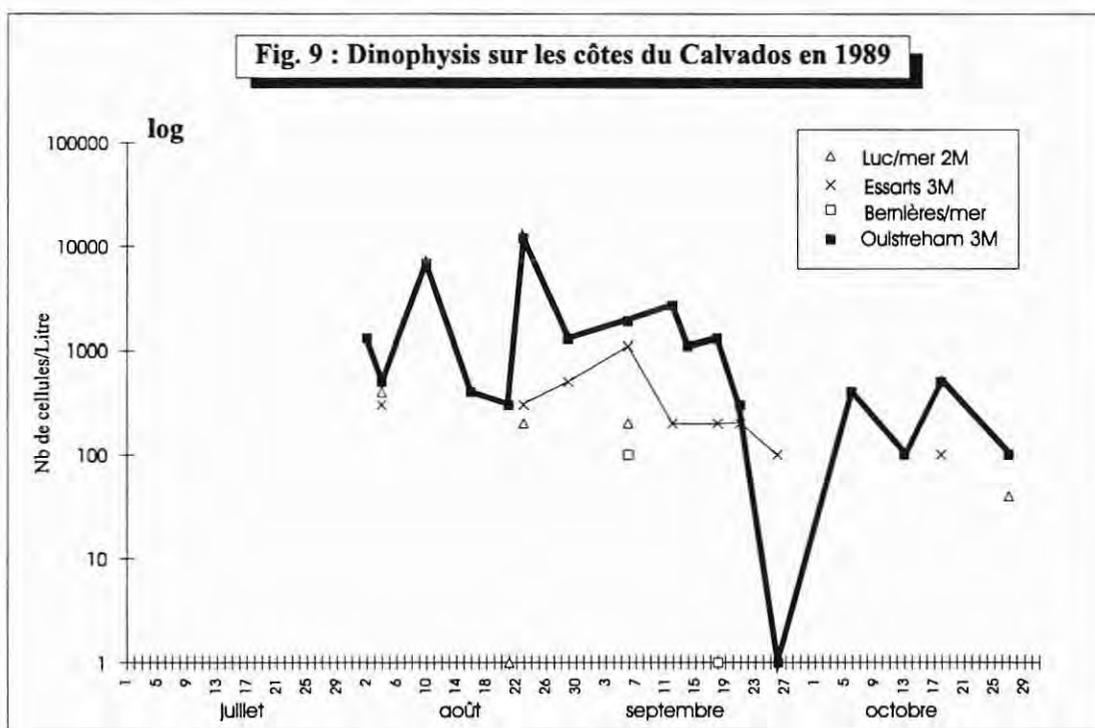
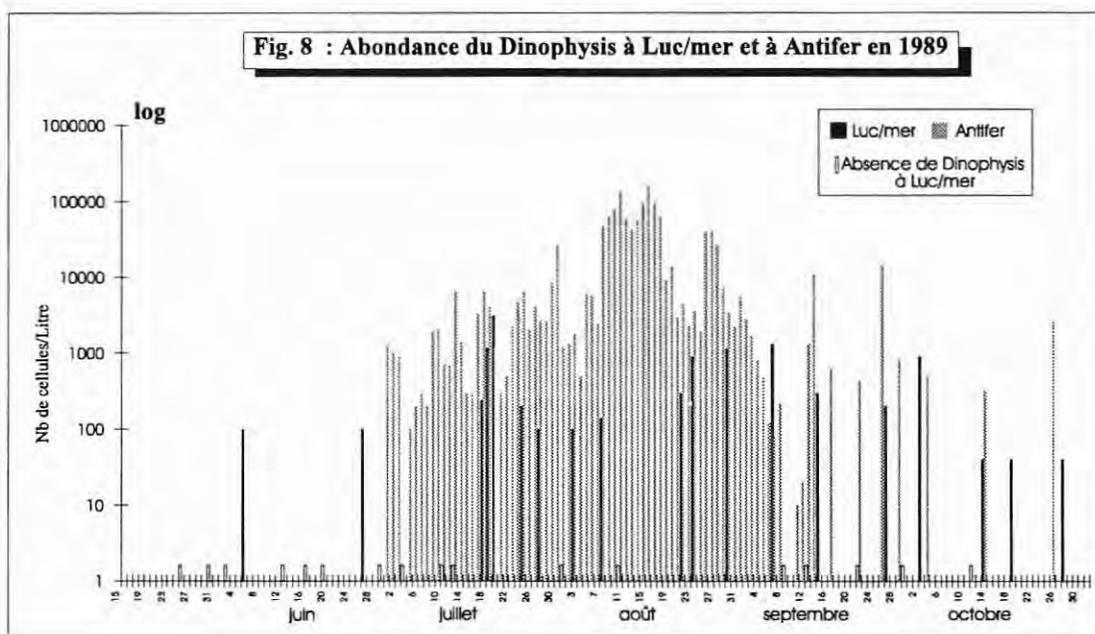
Généralement la concentration en surface est plus forte qu'à moins quatre mètres (Figure 7).

Fig. 7 : Evolution de la concentration en *Dinophysis* à ANTIFER en 1989



Sur les côtes du Calvados *Dinophysis* apparaît un peu plus tôt (Figure 8) : le 5 juin (100 c/l à Luc sur Mer). Les concentrations sont restées très faibles jusqu'à la mi-août. Dès le 18 juillet, des sorties en zodiac sont faites au large de Ouistreham jusqu'à Bernières-sur-Mer (Figure 3). Les concentrations qui variaient généralement entre 100 et 5000 c/l atteignent 12600 c/l à 5 milles au large de Ouistreham, le 23 août. Les stations de Ouistreham, Luc-sur-Mer et Saint-Aubin-sur-Mer sont touchées à peu près au même moment. Les concentrations observées à Ouistreham sont constamment plus élevées qu'à la station des Essarts située plus à l'ouest (Figure 9). Pour les stations de Luc-sur-mer et de Bernières-sur-mer, le nombre d'observations trop faible ne permet pas de conclure.

Aucune observation phytoplanctonique n'est effectuée à l'est de l'embouchure de l'Orne, car cette zone est classée insalubre par les pouvoirs publics et donc interdite à la pêche professionnelle et touristique. Seul le gisement moulier de Villerville, parfois ouvert à la pêche professionnelle en période estivale est suivi pour *Dinophysis*.



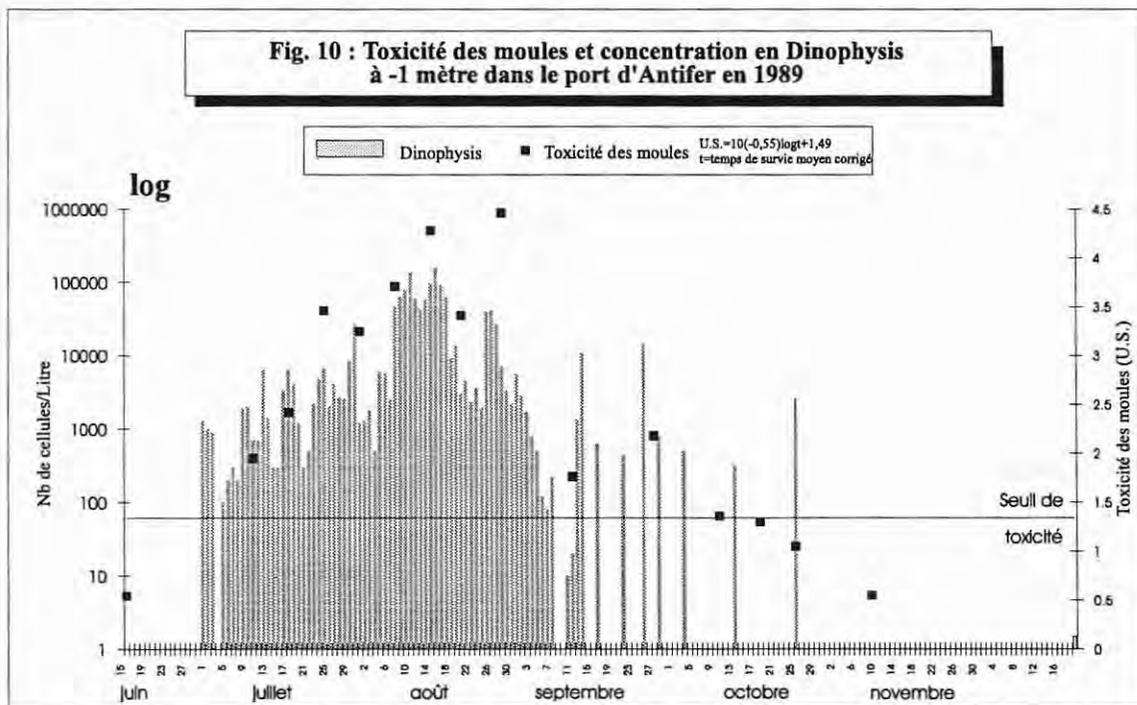
III.1.2. Relation *Dinophysis*/ tests souris

Dès le 5 juin, des tests souris D.S.P sont réalisés sur les points d'Antifer et du Havre afin d'avoir un état initial de la toxicité des moules sur les côtes de la Haute-Normandie. Un suivi de la toxicité des gisements de moules se situant de l'estuaire de la Seine à Pourville (sud de Dieppe) a été réalisé entre le 10 juillet et le 16 novembre 1989 (tableau 3). Cette zone fait l'objet d'une pêche professionnelle limitée mais attire en revanche, à cette période de l'année, de nombreux estivants pêcheurs à pieds.

Dans le sud de l'estuaire, à Villerville, les tests se sont tous avérés négatifs mais ils révèlent tout de même la présence de toxine dans les moules en quantité inférieure au seuil de toxicité.

Pour le site d'Antifer, sur 15 tests de toxicité effectués 4 sont en-dessous du seuil. La quantité de toxine dans les moules suit à peu près les variations de la concentration en *Dinophysis* dans l'eau (Figure 10).

Les moules ne présentent plus de toxicité pour le consommateur alors que l'on trouve encore 2640 c/l dans l'eau. Il faut cependant remarquer que les moules prélevées à Antifer, contrairement à tous les autres échantillons, sont continuellement immergées. Elles peuvent filtrer en permanence et donc présenter une toxicité plus forte due à l'accumulation plus importante de toxine dans les tissus.



Tab 3 : Tests DSP en Seine Maritime en 1989

Villerville		Digue nord du Havre		Cap de la Hève		Antifer		Fécamp		Veulette		St Valéry en Caux		Pourville Dieppe	
		15/06	-			15/06	-								
		>1440	-			>1440	-								
						10/07	+								
						150	+								
						17/07	+	18/07	-					18/07	-
						100	+	>1440	-					>1440	-
25/07	-					24/07	+	24/07	-						
>1440	-					52	+	>1440	-						
						31/07	+	01/08	-	01/08	-			03/08	-
						60	+	>1440	-	>1440	-			>1440	-
						07/08	+	09/08	-	08/08	-			08/08	-
						57	+	>1440	-	>1440	-			>1440	-
						17/08	+	16/08	+	15/08	+				
						35	+	90	+	260	+				
						20/08	+			21/08	+			21/08	+
						55	+			300	+			160	+
						28/08	+	30/08	+	30/08	+				
						37	+	250	+	260	+				
06/09	-			05/09	+			07/09	+	07/09	+				
>1440	-			80	+			190	+	300	+				
14/09	-					11/09	+								
535	-					185	+								
20/09	-							20/09	-			20/09	-		
615	-							>1440	-			>1440	-		
26/09	-			28/09	+	27/09	+	26/09	-			26/09	-		
315	-			300	+	125	+	>1440	-			>1440	-		
09/10	-					10/10	+	11/10	-						
>1440	-					290	+	>1440	-						
17/10	-	18/10	-			18/10	-	16/10	-						
>1440	-	>1440	-			315	-	>1440	-						
						25/10	-	23/10	-						
						470	-	>1440	-						
								30/10	-						
								>1440	-						
						09/11	-			12/11	-				
						>1440	-			>1440	-				
		16/11	-	16/11	-										
		>1440	-	>1440	-										

date t < 300 = présence de toxine
 300 < t < 1440 = présence de toxine mais quantité inférieure au seuil de toxicité
 t > 1440 = absence de toxine
 temps de survie (en minute)

- test négatif
 + test positif

Le 18 juillet, on observe 1160 c/l sur le Calvados ; le 20 juillet commence la série de tests souris sur le gisement de Luc-sur-Mer (gisement exploité par les professionnels). Les tests s'avèrent positifs à partir du 9 septembre. Ici la toxicité des moules peut être due à l'accumulation, tout le long de l'été, de la toxine dans les tissus.

A Luc-sur-Mer la concentration en *Dinophysis* dépasse rarement 1000 c/l, sauf le 19 juillet (3100 c/l). Par contre sur le site de Ouistreham, les concentrations observées sont nettement plus élevées, mais les 4 tests souris réalisés se révèlent négatifs.

III.1.3. Fermeture des zones

Les fermetures de zones de pêche sont proposées lorsqu'un seul test de toxicité est positif.

La première fermeture est prononcée le 13 juillet par un arrêté des Affaires Maritimes du Havre. Elle concerne la zone allant du cap de la Hève à Antifer.

Tab. 4 : Secteurs et périodes de fermeture en Haute-Normandie en 1989

	Estuaire de Seine 6Km	Digue nord 3Km	La Hève 18Km	Antifer 20Km	Fécamp 20Km	Veulettes 10Km	St Valery en Caux
13/07/89							
17/08/89							
07/09/89							
03/10/89							
14/11/89							
31/12/89							

FERMETURE

Pendant la période estivale tous les secteurs allant de l'estuaire de la Seine à Saint-Valéry-en-Caux sont touchés par le phénomène à des moments différents et sur des durées différentes (tableau 4). La décision de fermeture de l'estuaire de la Seine est prise par mesure de sécurité et pour rappeler l'insalubrité de la zone. En effet, l'estuaire de la Seine est déjà une zone classée insalubre au niveau bactériologique :

- ☞ Pour la rive nord, du cap de la Hève à la pointe du Hoc par la Décision Ministérielle n°1 du 13 mai 1941.
- ☞ Pour la rive sud, de Honfleur à Trouville et le Ratier au large par Décision Ministérielle n°126 du 6 mai 1970.

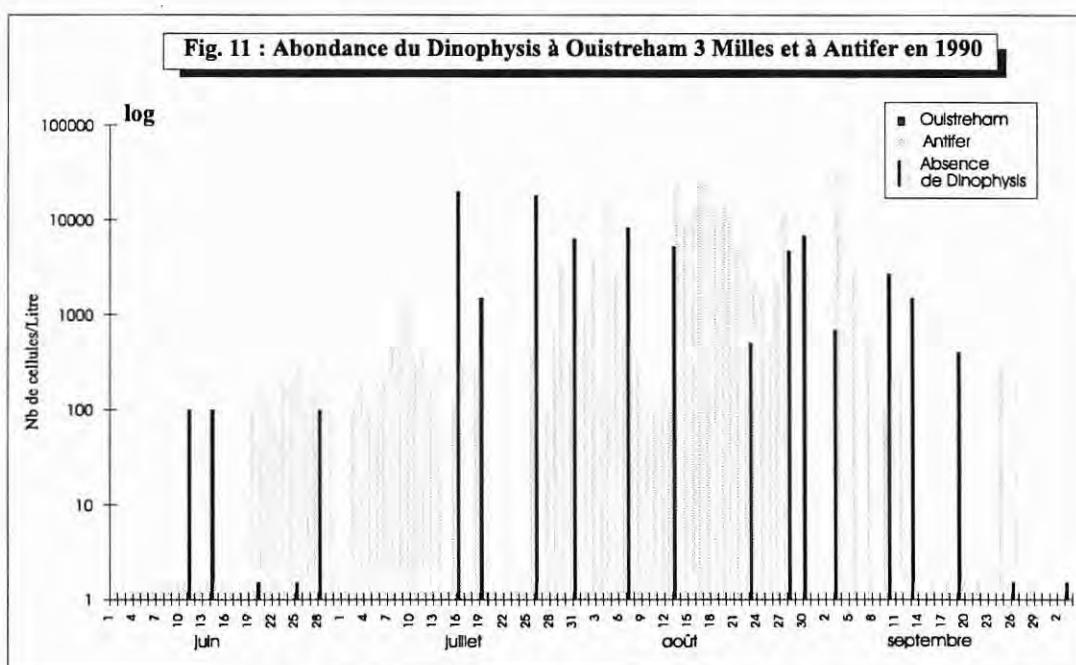
Dans le Calvados, les secteurs Ouest-Orne (Ouistreham - Courseulles) et Est-Orne (Ouistreham - Villerville) ont été fermés successivement du 6 au 22 septembre et du 28 septembre au 20 octobre.

III.2. RESULTATS EN 1990

III.2.1. Nombre de cellules par litre

Comme en 1989, le LEA a fait les prélèvements d'eau et les comptages de *Dinophysis* sur le site d'Antifer. Contrairement à l'année précédente une seule profondeur a été échantillonnée quotidiennement : - 4 mètres. Ce choix découle des résultats des différentes études réalisées sur *Dinophysis* en baie de Seine. En effet, le barycentre de la population se trouve aux environs de - 4 mètres (Lassus, *comm. pers.*).

Dinophysis apparait à Antifer le 19 juin. Sa concentration reste relativement faible jusqu'au 13 août, malgré un pic à 13500 c/l le 4 août (Figure 11).



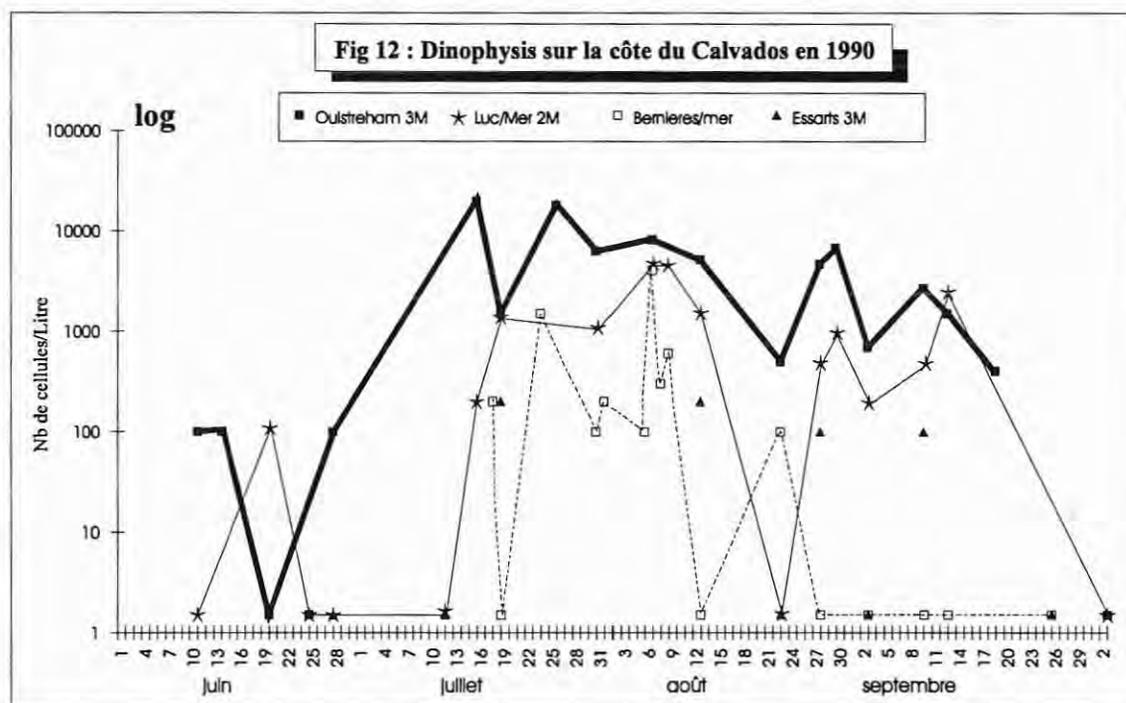
Durant la dernière quinzaine du mois d'août la quantité de *Dinophysis* dans l'eau augmente pour atteindre 68100 c/l le 28 août. La température de l'eau est alors de 21°C, le maxima de l'été.

L'été 1990 est marqué par des vents dominants ouest-nord ouest. Toutefois on observe deux périodes de vents de nord-est : du 11 au 27 juillet et du 8 au 16 septembre. Elles correspondent à des chutes nettes de la concentration en *Dinophysis* dans les eaux du port d'Antifer, avec 3 ou 4 jours de retard.

Dinophysis, sur les côtes du Calvados, a fait l'objet d'un suivi régulier de juin à septembre. Début juin, l'algue toxique fait quelques apparitions sporadiques entre Ouistreham et Luc-sur-Mer, mais elle n'est vraiment présente sur le site qu'à partir de la mi-juillet (Figure 11).

Dinophysis s'est alors propagé jusqu'à Bernières-sur-Mer touchant les gisements mouliers exploités par les professionnels. Les concentrations variaient de 100 à quelques milliers de cellules/litre. Les stations de Ouistreham et Luc-sur-Mer ont été touchées de la même manière par le phénomène, bien que la concentration à Luc-sur-Mer soit généralement inférieure à celle observée sur Ouistreham. Par contre, les stations plus à l'ouest, Saint-Aubin-sur-Mer et les Essarts sont atteintes plus tard et de façon moins importante (Figure 12). Cela recoupe les observations faites pour 1989, et semble s'expliquer par l'hypothèse des courants dominants.

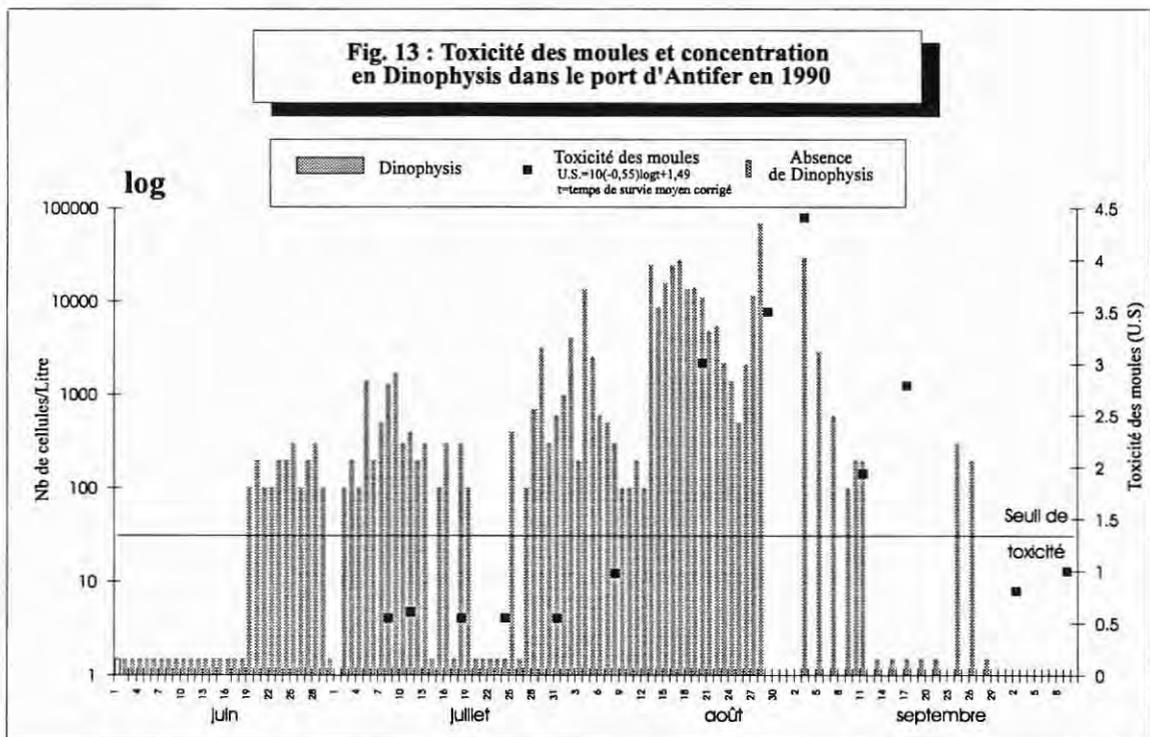
En septembre la quantité de *Dinophysis* baisse progressivement pour disparaître totalement début octobre.



III.2.2. Relation *Dinophysis*/ tests souris

Les soixante dix-sept tests souris réalisés entre le 10 juin et le 9 novembre 1990 ont permis de suivre la toxicité des moules sur les côtes normandes.

A Antifer, contrairement à 1989, la toxicité des moules ne s'avère positive que longtemps après l'apparition de *Dinophysis* : première observation de l'algue toxique le 19 juin et le premier test positif le 20 août (Figure 13). Tous les tests effectués au nord de Fécamp se révèlent négatifs (tableau 5). Il semble que la nappe de *Dinophysis* n'a pas atteint la zone de Dieppe comme l'année précédente, malgré un vent dominant d'ouest pendant tout l'été.



Comme l'année précédente, la toxicité des moules présente son maximum quelques jours après le pic de concentration en *Dinophysis*. Cela confirme bien l'hypothèse qu'il y a un décalage dans le temps entre l'ingestion de *Dinophysis* par la moule et l'augmentation du taux de toxine dans ses tissus. A partir de la mi-septembre, *Dinophysis* disparaît (malgré deux pics à 200 et 300 cellules/litre) et en une semaine la toxicité des coquillages chute.

Sur les côtes du Calvados, les tests souris sont faits principalement sur deux points : Ouistreham et Bernières-sur-Mer. Les prélèvements de Bernières sont réalisés par les pêcheurs professionnels entre nos deux points de prélèvements d'eau : Bernières (côte) et les Essarts.

Tab 5 : Tests DSP en Seine Maritime en 1990

Villerville		Cap de la Hève		Antifer		Vaucotte		Fécamp		Veulette		St Valéry en Caux		Pourville Dieppe	
								10/06	-						
								>1440	-						
								18/06	-						
								>1440	-						
								24/06	-					24/06	-
								>1440	-					>1440	-
		08/07	-	08/07	-			09/07	-						
		>1440	-	>1440	-			>1440	-						
10/07	-	12/07	-	11/07	-			11/07	-						
>1440	-	>1440	-	>1440	-			>1440	-						
18/07	-	17/07	-	18/07	-	19/07	-	16/07	-						
>1440	-	>1440	-	>1440	-	>1440	-	>1440	-						
		25/07	-	24/07	-			23/07	-						
		>1440	-	>1440	-			>1440	-						
31/07	-	01/08	-	31/07	-			30/07	-						
>1440	-	>1440	-	>1440	-			>1440	-						
09/08	+			08/08	-			05/08	-						
147	+			545	-			>1440	-						
								12/08	-						
								>1440	-						
23/08	-	21/08	+	20/08	+	22/08	+	23/08	+	22/08	-				
>1440	-	130	+	70	+	195	+	120	+	>1440	-				
				29/08	+							28/08	-		
				50	+							>1440	-		
		03/09	+	03/09	+			04/09	-	03/09	-				
		105	+	35	+			315	-	>1440	-				
				11/09	+			09/09	-						
				155	+			1230	-						
		17/09	-	17/09	+			17/09	-						
		>1440	-	80	+			>1440	-						
								24/09	-						
								>1440	-						
				02/10	-										
				750	-										
		08/10	-	09/10	-										
		>1440	-	515	-										

date		t < 300 = présence de toxine
temps de survie (en minute)		300 < t < 1440 = présence de toxine mais quantité inférieure au seuil de toxicité
		t > 1440 = absence de toxine

- test négatif
+ test positif

Sur 24 tests, seul un se révèle positif. Les concentrations de *Dinophysis* observées à Bernières et aux Essarts sont plus faibles que celles observées à Ouistreham, mais elles provoquent la toxicité des moules.

III.2.3. Fermeture des zones

Contrairement à 1989, les fermetures n'ont touché que les secteurs situés au nord du cap de la Hève (tableau 6).

Seule la zone située entre Ouistreham et Courseulles a été fermée à la pêche, du 30 juillet au 27 août.

Tab. 6 : Secteurs et périodes de fermeture en Haute-Normandie en 1990

	La Hève 18Km	Antifer 50Km	St Valéry en Caux
13/07/90			
24/08/90			
01/10/90		FERMETURE	

III.3. RESULTATS EN 1991

Comme les autres années, en 1991, *Dinophysis* a fait l'objet, à Antifer, d'une importante surveillance. La micro-algue toxique a fait une brève apparition au début de l'automne : 300 c/l le 16 septembre mais n'a pas dépassé 100 et 200 c/l par la suite.

Aucun test souris n'a été réalisé sur les moules de Haute-Normandie.

Sur les côtes du Calvados et de la Manche, aucune observation n'a révélé la présence de *Dinophysis* pendant la période d'alerte.

III.4. RESULTATS EN 1992

III.4.1. Nombre de cellules par litre

En 1992, les prélèvements sont réalisés par le LEA à - 4 mètres. *Dinophysis* apparaît à Antifer le 6 août à une concentration de 500 c/l où il est observé jusqu'au 14 septembre. Le maximum de la concentration, $5,6 \cdot 10^4$ c/l, est observé le 21 août alors que la température décroît.

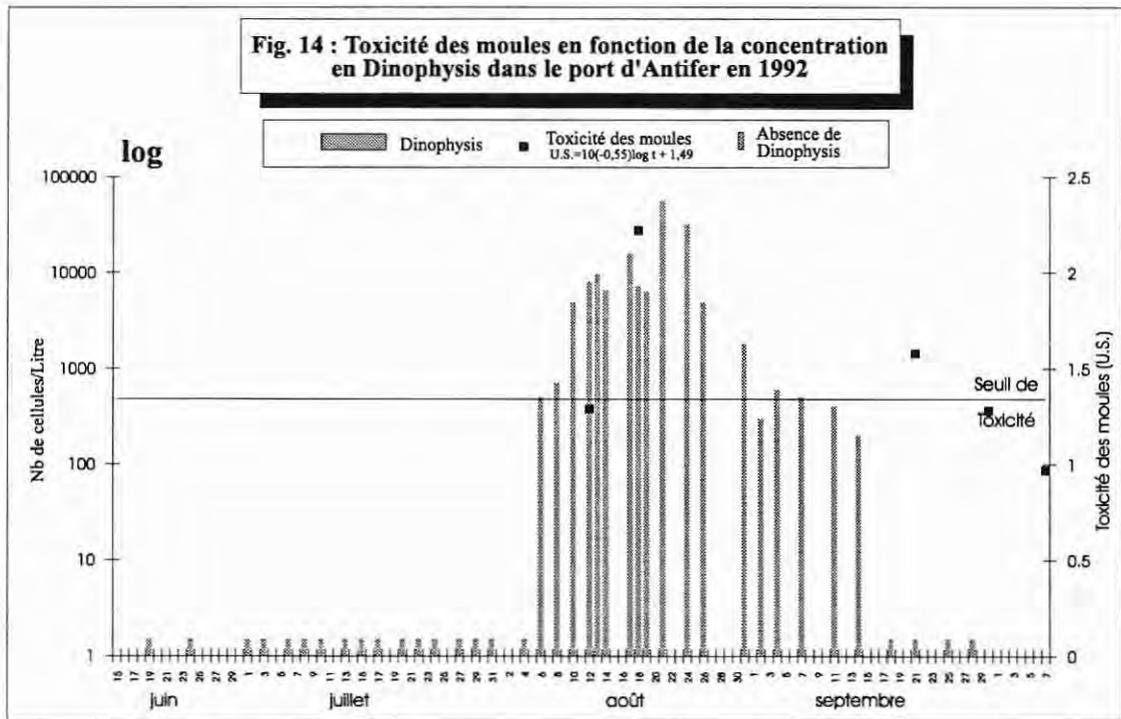
Sur les côtes du Calvados, pendant tout l'été, la recherche de *Dinophysis* s'est avérée vaine. Par contre, on peut noter que parallèlement à l'IFREMER, le laboratoire d'algologie de l'université de Caen a observé la présence de *Dinophysis* à plusieurs reprises: le 30 juin (abondant à la station de Luc-sur-Mer), le 15 juillet et le 5 août (rare), le 18 et 19 août (à la bouée de Luc-sur-Mer et Ouistreham) (Billard, *comm. pers.*). Le laboratoire de la faculté réalise une analyse qualitative du phytoplancton au large de Luc-sur-Mer, tout les quinze jours. Leur méthode de prélèvement consiste à traîner un filet à plancton 5 minutes environ à - 4 mètres. Les observations concernent donc un volume d'eau très important, contrairement à la méthode en usage à l'IFREMER (10 ml d'eau en moyenne). Ceci peut expliquer que le *Dinophysis* n'a pu être mis en évidence.

III.4.2. Relation *Dinophysis*/ tests de toxicité

Dès le 12 août la concentration atteint 8000 c/l à Antifer. Le réseau d'alerte est déclenché au niveau des gisements moulières de la Seine-Maritime. Les prélèvements sont réalisés par la Cellule du Suivi Littoral Haut Normand, par le laboratoire IFREMER DRV/RH/Boulogne, par le LEA du Havre et par le laboratoire IFREMER DEL/Port en Bessin. Des tests souris sont réalisés entre le cap de Hève et Saint-Valéry-en-Caux.

Les résultats des tests de toxicité sont rapportés dans le tableau 7. Dès le 12 août le test se révèle à la limite du positif sur Antifer (Figure 14). Dans un premier temps, il semble que l'algue toxique s'est développée vers le sud (test de la Hève positif), puis vers le nord. Saint-Valéry-en-Caux n'a été touché à aucun moment par le phénomène *Dinophysis*. Comme en 1990, on ne décèle aucune présence de toxine au nord de Fécamp.

Aucun test souris n'a été effectué sur le site entre le 18 août 1992 et le 21 septembre 1992 car la zone est fermée et que la quantité de *Dinophysis* est relativement importante dans l'eau. On a donc pu passer à côté d'une toxicité plus élevée pendant cette période.



III.4.3. Fermeture des zones

Dès le premier test positif, le 18 août, les Affaires Maritimes du Havre prennent la décision de fermer la zone, allant de la digue nord du Havre au cap d'Antifer, à toute pêche et à la commercialisation des moules. Une semaine plus tard, alors que Vaucottes et Fécamp se révèlent toxiques, la zone de fermeture est étendue au nord jusqu'à Fécamp (tableau 8). La zone ne sera réouverte à la pêche que le 26 octobre après l'obtention de 2 tests souris négatifs sur chaque site.

Tab 7 : Tests DSP en Seine Maritime en 1992

Cap de la Hève		Antifer		Vaucotte		Fécamp		St Valéry en Caux	
		12/08	-						
		320	-						
18/08	+	18/08	+	18/08	-	20/08	-		
285		120		>1440		>1440			
				25/08	+	27/08	+	27/08	-
				227		197		>1440	
								02/09	-
								>1440	
						15/09	+	15/09	-
						225		>1440	
22/09	-	21/09	+						
>1440		225							
29/09	-	30/09	-			30/09	-		
>1440		325				>1440			
		07/10	-			07/10	-		
		545				>1440			

date		t<300= présence de toxine
temps de survie (en minute)		300<t<1440= présence de toxine mais quantité inférieure au seuil de toxicité
		t>1440= absence de toxine

- test négatif
+ test positif

Tab. 8 : Secteurs et périodes de fermeture en Haute-Normandie en 1992

	Estuaire de Seine 6km	Digue nord La Héve 3km	18km	Antifer 20km	Fécamp 20km	Veulettes 10km	St Valery en Caux
18/08/92							
27/08/92							
			FERMETURE				
26/10/92							

IV. DISCUSSIONS

IV.1. VENTS ET COURANTS.

En 1989, comme Pigeon et Veret (*in* Sournia *et al.*, 1991) en 1988, Lassus *et al.* (1993) montrent une corrélation entre la présence de vent de sud-sud ouest et l'accumulation de *Dinophysis* dans le port d'Antifer. D'après les cartes courantologiques établies par Larsonneur (1975) en baie de Seine (figure 15), les courants "poussent" les masses d'eaux le long des côtes de Seine-Maritime du sud vers le nord au flot. Les vents et les courants semblent faire partie des facteurs déterminants dans le phénomène *Dinophysis* à Antifer.

Nos prélèvements sont généralement réalisés au flot. Dans le sud de la baie de Seine à ce moment de la marée, les courants tendent à "déplacer" les eaux de l'ouest vers l'est.

En 1990, sur les côtes du Calvados, les plus fortes concentrations sont relevées dans la troisième décade de juillet. Il est intéressant de noter que le vent est passé alors au nord-est.

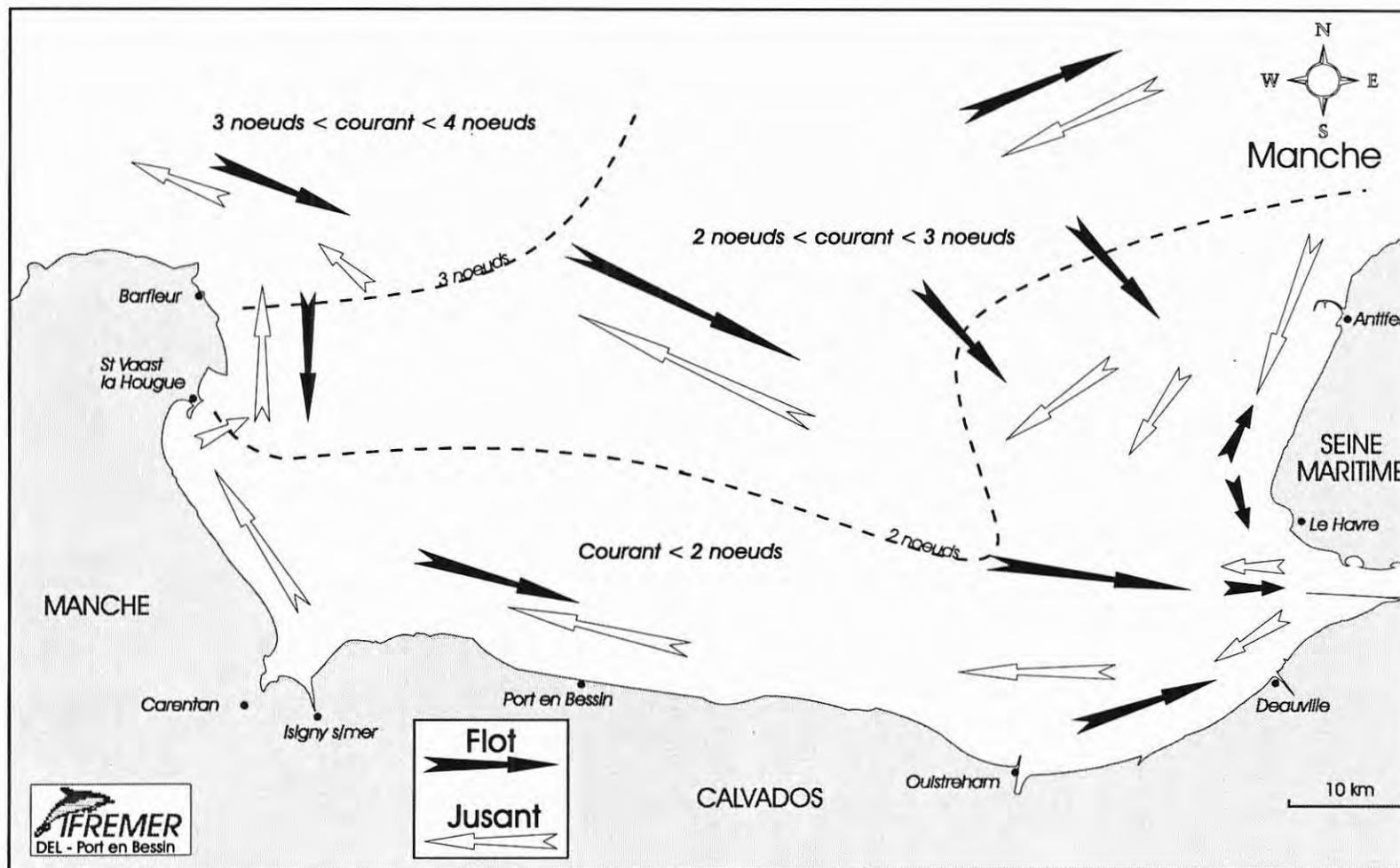


Fig. 15 : Les Courants de marée en Baie de Seine (d'après Larssonneur, 1975)

On peut donc supposer que la nappe de *Dinophysis* présente à Antifer se déplace alors vers le sud-ouest (Figure 16). Toutefois il faut rester prudent sur les conclusions car aucun prélèvement n'a pu être réalisé entre Ouistreham et Bernières-sur-mer entre le 29 juin 1990 et le 15 juillet 1990. Les concentrations en *Dinophysis* ont pu croître dès le début juillet alors que les vents étaient à l'ouest.

Plusieurs hypothèses peuvent être émises :

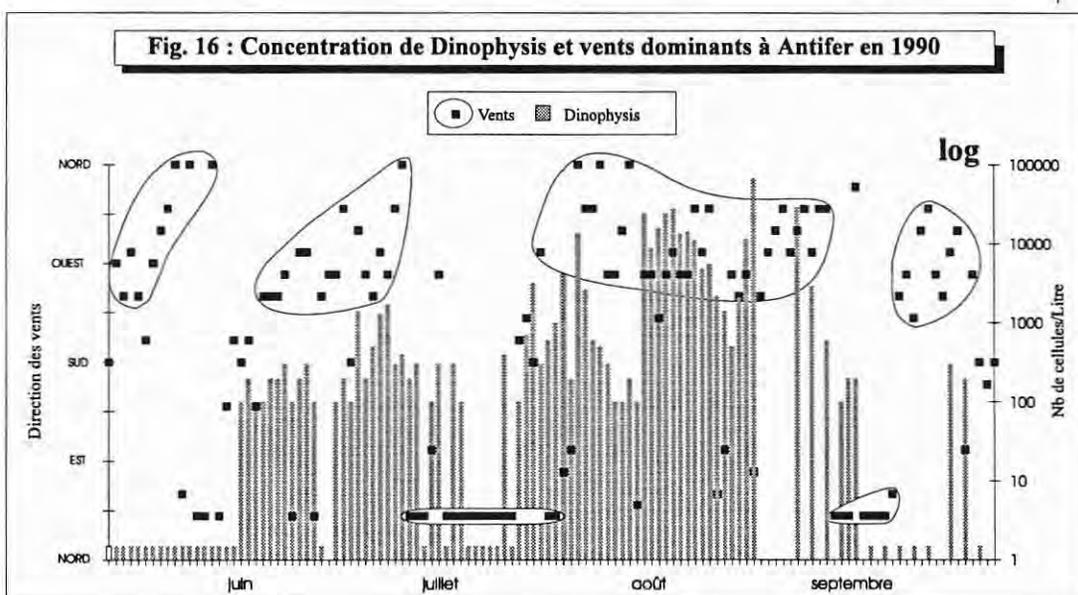
↳ Il existe deux "nappes" de *Dinophysis* ; une au large des côtes de Seine-Maritime et une autre au large du Calvados. Quand le vent souffle de nord-nord est, la population de *Dinophysis* présente sur Antifer s'écarte de la côte tandis que la deuxième s'approche de Ouistreham.

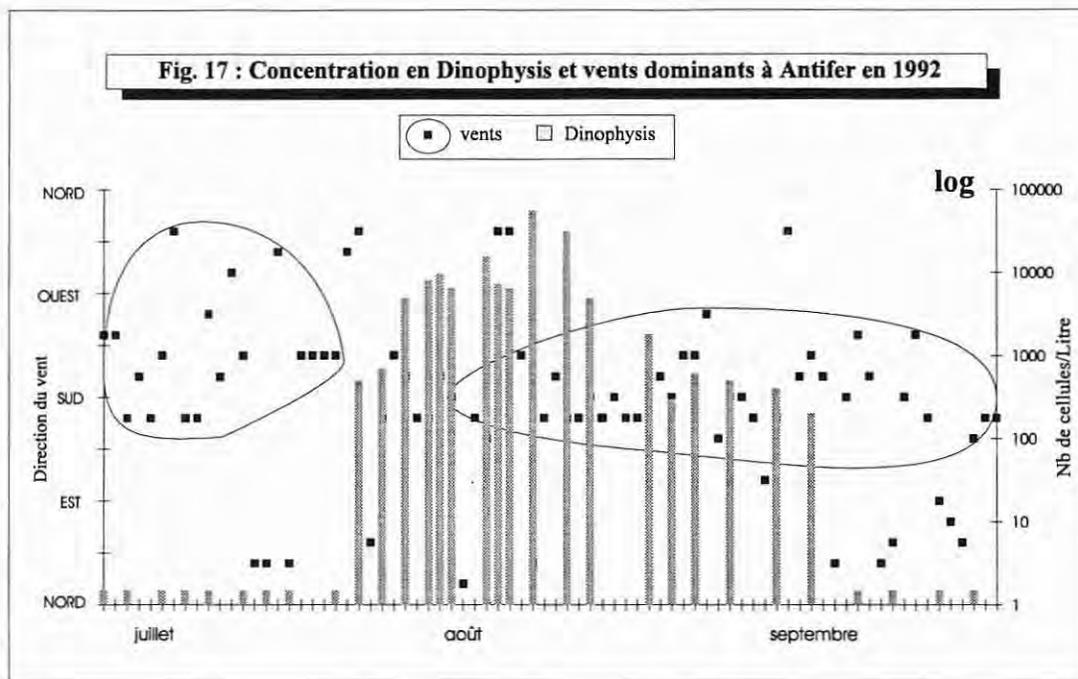
↳ Il existe une seule "nappe" de *Dinophysis* qui se déplace par la force du vent et des courants d'Antifer à Ouistreham.

Cette deuxième hypothèse semble peu probable car cela voudrait dire que la population de micro-algues traverse le flux de la Seine.

En 1992, la recherche de *Dinophysis* s'est avérée vaine sur les côtes du Calvados. Le vent dominant pendant la saison estivale est sud-sud ouest (Figure 17). Cela conforte en partie l'hypothèse selon laquelle le vent joue un rôle important dans le déplacement des nappes de *Dinophysis* par rapport à la côte.

Plusieurs questions se posent en ce qui concerne les origines de *Dinophysis* trouvé à Antifer, Ouistreham et Barfleur. Est-il possible que la nappe de *Dinophysis* se trouvant à Antifer soit poussée vers la côte du Calvados par des vents de N-NE et traverse ainsi le panache de la Seine? Est-il possible que le *Dinophysis* des côtes du Calvados soit porté par les courants et les vents sur le site de Barfleur? Pourquoi *Dinophysis* ne se développe-t-il pas à l'ouest de Courseulles (Figure 3)





IV.2. ANNEE 1991

L'année 1991 est très importante pour la compréhension du phénomène *Dinophysis*, car c'est la seule année où il ne s'est pas manifesté. La comparaison des données biotiques, chimiques, climatiques et hydrologiques recueillies cette année-là avec celles des années "à *Dinophysis*", peut permettre de mieux cerner les facteurs indispensables à l'apparition de cette micro-algue sur les côtes normandes.

Ainsi, Maggi et al. (1992) montrent qu'en 1991 le taux de phosphates était très faible par rapport aux autres années ($< 0.1\text{mg/l}$). Une forte corrélation entre la présence du *Dinophysis* et le taux élevé en NO_3 et PO_4 , couplé à une légère dessalure, semble montrer que le développement de *Dinophysis* se fait dans les eaux estuariennes de la Seine, riche en NO_3 et PO_4 (Programme National d'Efflorescences Algales Marines, 1993).

En 1991, les vents dominants en juin et juillet ont soufflé d'ouest-sud ouest. Dès le début août et ceci jusqu'à fin septembre (fin de la période à "risque"), les vents étaient majoritairement orientés au nord. Les radiales effectuées lors de la campagne DINOSEINE 1 (Maggi et al., 1992) ne montrent aucune présence de *Dinophysis* même au large d'Antifer. Les vents de sud-ouest ne pouvaient donc pas rabattre *Dinophysis* sur la côte. Outre les côtes normandes, le développement de *Dinophysis* en France, en particulier en Bretagne sud, en 1991 a été pratiquement nul.

IV.3. TOXICITE DES COQUILLAGES

En 1990, malgré la présence de *Dinophysis* sur les côtes du Calvados, les moules se sont révélées faiblement toxiques. Des hypothèses peuvent être émises :

- ↳ la fréquence d'échantillonnage (une à deux fois par semaine quand le temps le permettait) n'est pas suffisamment importante pour identifier tous les pics de *Dinophysis* et la toxicité correspondante,
- ↳ l'algue toxique est présente sur le site de Bernières en faible quantité (inférieur à notre seuil de détection) pendant un certain temps, la toxine s'accumule progressivement dans les moules, les rendant ainsi impropres à la consommation humaine.
- ↳ La composition du reste du phytoplancton, s'il est en quantité importante dans l'eau, peut jouer un rôle important dans la nourriture des mollusques et donc au niveau de leur toxicité.

En 1992, la toxicité des coquillages est largement supérieure à celle observée en 1990 alors que la quantité de *Dinophysis* dans l'eau a atteint les mêmes valeurs. Mais en 1992 le nombre de *Dinophysis* dans l'eau passe de 0 à 56100 c/l (son maximum) en quinze jours, alors qu'en 1990 l'algue toxique est présente en faible concentration pendant environ 2 mois avant d'atteindre son maximum. La toxine a eu le temps de s'accumuler en quantité importante dans l'hépatopancréas des moules.

La toxicité des coquillages ne suit pas une courbe

"temps moyen de survie = f(concentration en *Dinophysis*)"

De nombreux paramètres semblent intervenir dans la concentration de la toxine dans les moules : l'exposition plus ou moins prolongée des mollusques au *Dinophysis*, le bol alimentaire des coquillages, l'espèce de *Dinophysis* présent dans l'eau, ...

V. CONCLUSIONS

Le secteur géographique que gère le laboratoire IFREMER de Port-en-Bessin est très étendu. Le fait que *Dinophysis* n'apparaît que rarement sur le site de BARFLEUR et pratiquement jamais à l'ouest de Courseulles et sur la côte ouest du Cotentin, ne permet en aucune façon d'abandonner le suivi sur toute cette bande littorale. La charge de travail (temps passé aux prélèvements en particulier) en période à risque est donc très importante.

En Seine-Maritime, département fortement touché par le phénomène d'algues toxiques, plusieurs administrations (DSV*, DDASS**) forment avec l'IFREMER un réseau de surveillance plus complexe que le REPHY. En effet, un réseau complémentaire "DIA-MOULES" a été mis en place en 1988. Il est basé sur la collaboration de la DDASS avec les pharmaciens, les médecins et les hôpitaux du littoral Haut-Normand. Les diagnostics répétés de diarrhées dues à l'ingestion de moules peuvent aider à mieux cerner les zones contaminées (Lesne, 1992). De plus, les symptômes décrits par les patients pourraient permettre de déceler des toxines autres que le DSP dans les coquillages et donc d'alerter l'IFREMER sur l'éventualité d'un développement d'algues toxiques différentes du *Dinophysis* (ex : *Alexandrium*, *Gonyaulax*). Pour des raisons opérationnelles, seul le point d'Antifer est suivi en vue de la reconnaissance et du comptage des espèces toxiques. Le réseau DIA-MOULES est donc un complément indispensable au réseau REPHY.

Outre le prélèvement, l'observation microscopique prend beaucoup de temps. Plusieurs méthodes de lecture rapide ont été testées : analyse d'image, sonde nucléique. Il semble que la deuxième solution soit retenue pour un développement futur. En effet, l'analyse d'image est une technique lourde en investissement et le temps d'analyse reste encore relativement long. Les tests souris réalisés permettent de connaître le taux de toxicité des coquillages incriminés. Ce test est long et coûteux. De plus, il présente une certaine variabilité due à l'utilisation d'animaux vivants. Cette méthode n'est pas utilisée dans tous les pays et la législation européenne devient très draconienne à ce sujet. Elle tend à faire disparaître l'utilisation des animaux de laboratoire. Pour remédier à cela, différentes équipes de recherche se sont tournées vers les tests immunologiques et cytologiques, les tests chimiques sur HPLC* étant très lourds et peu compatibles avec des analyses en routine. Actuellement, le test de cytotoxicité est le plus avancé et dès 1994 il sera à l'essai en routine dans certains laboratoires côtiers de la DEL. Le test D.R.A.M.E.* (Amzil *et al.*, 1993) permet d'obtenir le résultat en 4 heures. Il est spécifique du D.S.P., alors que le test souris révélait une toxicité globale (Marcaillou-Le Baut, 1993) en 24 heures. Néanmoins, au vu des problèmes de toxines inconnues rencontrés fin 1992-début 1993 dans différentes régions du littoral français, il semble prématuré d'abandonner pour l'instant les tests de toxicité globale.

Le développement de *Dinophysis* est un phénomène qui malgré de nombreuses recherches reste encore imprévisible. Selon les régions, les phénomènes de parution et de prolifération de *Dinophysis* ainsi que le développement de la toxicité des coquillages sont différents. Ceci peut être dû aux espèces de *Dinophysis* présentes dans chaque région ainsi qu'aux conditions environnementales qu'offrent chaque site. Jusqu'à présent peu d'études spécifiques ont été réalisées dans le but de définir une relation entre la quantité de *Dinophysis* dans l'eau et le taux de toxine dans les coquillages.

* Direction des Services
Vétérinaires

**Direction
Départementale des
Affaires Sanitaires et
Sociales

* Chromatographie Liquide
à Haute Pression

* Détection Rapide de
l'Acide Okadaïque dans les
Moules après Extraction

Les données physico-chimiques recueillies au cours des quatre années n'ont pas fait l'objet d'un traitement car la plupart d'entre elles nous semblent inexploitable (turbidité des échantillons prélevés dans le ressac ou dans une réserve ostreicole). La mise en place des nouveaux points REPHY permettra, dans les années à venir, d'intégrer ces données à celles du phytoplancton.

Le bon fonctionnement des réseaux de surveillance reste à l'heure actuelle la meilleure manière de protéger la santé publique. Il est donc intéressant de réduire le temps de l'analyse afin d'agir au plus vite pour la fermeture des zones de pêche. Inversement, sur le plan économique, il est important de pouvoir réouvrir ces zones dès que les coquillages redeviennent salubres.

CONCLUSION GENERALE

Le suivi du Phytoplancton (REPHY) joue un rôle important au niveau de la protection de la santé publique et de la connaissance du milieu littoral. Les observations permettent de déterminer les dominances phytoplanctoniques du milieu et de détecter la présence d'algues toxiques.

En Normandie, le REPHY comporte 5 points de suivi situés dans des secteurs très différents (océaniques, estuariens). On constate tout de même une certaine homogénéité dans les espèces dominantes.

Depuis 1983, le *Dinophysis* fait régulièrement son apparition. En Normandie, c'est la seule algue toxique ayant provoqué l'interdiction de la pêche des coquillages. On la trouve généralement en Seine-Maritime et sur le Calvados (entre Ouistreham et Bernières-sur-mer), mais plus rarement à Barfleur. Elle n'a jamais été observée de façon significative à l'ouest de Courseulles et sur la côte ouest du Cotentin. *Dinophysis* apparaît en période estivale et peut être observée jusqu'à mi-novembre. Depuis 1989, il n'a touché que des zones peu exploitées par des professionnels de la pêche mais très prisées par les touristes qui s'adonnent à la pêche récréative. L'impact économique s'est donc ressenti au niveau touristique.

Actuellement l'association du réseau DIA-MOULES et du REPHY ainsi que l'amélioration des techniques d'analyses permettent à l'IFREMER de suivre le phénomène *Dinophysis* en temps réel et donc d'assurer pleinement son rôle dans la protection de la santé publique.

Outre les études menées au niveau de la reconnaissance des algues toxiques et de la détection des toxines, des programmes ont été largement développés afin de tenter de cerner les caractéristiques du milieu (température, salinité, sels nutritifs, météorologie, ...) favorables au développement des micro-organismes. Aujourd'hui, l'IFREMER met au point les "Stations MAREL*". Ces stations localisées en pleine eau permettront de suivre en continu différents facteurs du milieu. Dans les années à venir, les données recueillies et traitées instantanément pourront peut-être nous alerter sur les éventuels risques d'apparition d'espèces nuisibles ou toxiques.

Au niveau des tests de toxicité, l'expérience nous a permis de mieux connaître la nature de certaines toxines extraites. Mais aujourd'hui encore, un grand nombre de phénomènes toxiques restent inexplicables. C'est pour essayer de suivre et de comprendre ces phases critiques que l'IFREMER a mis en place le programme I.T.I.*. Son but est de rechercher des toxines inconnues sur le littoral français afin de prélever des coquillages toxiques en grande quantité pour essayer d'élucider ces phénomènes.

* Mesures
Automatisées en
Réseau pour
l'Environnement
Littoral

* Intervention
Toxines
Inconnues

Toutes les données acquises par le REPHY font actuellement l'objet d'une analyse dans le cadre du PNOC*. Le phytoplancton est une des principales bases de la chaîne alimentaire marine. Il semble donc important de suivre son évolution afin de noter s'il y a lieu les modifications (quantitatives ou/et qualitatives). On peut supposer qu'une variation notable de la composition phytoplanctonique pourrait avoir certaines répercussions sur l'équilibre de l'écosystème marin.

Dans le domaine du phytoplancton de nombreuses recherches restent à réaliser. Car si la morphologie des espèces est relativement bien connue, leur écologie l'est beaucoup moins. Dans un premier temps une bonne connaissance écologique des principales espèces phytoplanctoniques pourrait permettre leur mise en culture.

Il serait alors très intéressant de rechercher des espèces sentinelles indicatrices de l'état du milieu, d'essayer de prévenir les développements d'algues toxiques, ...

BIBLIOGRAPHIE

- AMINOT A., CHAUSSEPIED M., (1983) - Manuel des analyses chimiques en milieu marin.- CNEXO, 395p.
- AMZIL Z., POUCHUS YF, LE BOTERFF J., ROUSSAKIS C., VERBIST J.F., MARCAILLOU-LEBAUT C., MASSELIN P., (1992) - Short-time cytotoxicity of mussel extracts : a new bio-assay for okadaic acid detection. *Toxicon*, 30(11), 1419-1425
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist, 1984) - Procedure 18.086 - 18.092 in official Methods of Analysis, 14 th ed.
- BARDOUIL M., BERLAND B., GRZEBYK D. et LASSUS P., (1991) - L'existence des kystes chez les Dinophysales. -C.R. Acad. Sci., Paris, t. 312, série III, p.663-669.
- BELIN C. et RAFFIN B., (1990) - REPHY (Reseau phytoplancton) : inventaire cartographique des points de prélèvement (1990) - R. INT. DRV-90.60-CSRU/DEL/Nantes, 40p.
- BELIN C., BELIAEFF B., RAFFIN B., RABIA M. et IBANEZ F. - Phytoplankton time-series data of the french phytoplankton monitoring network : toxic and dominant species. - 6ème conférence internationale sur le phytoplancton toxique, Nantes, 18-22 octobre 1993 (sous presse)
- BOUGIS P., (1974) - Ecologie du plancton marin - 1. Le phytoplancton, Masson, Paris, 196 p.
- BOURGADE-LE B., (1981) - Effets immédiats des chocs mécaniques, thermiques et chimiques sur le phytoplancton à la centrale de Martigues-Ponteau - 2è journées de la thermoécologie (14 et 15 novembre 1979), EDF, 556-569
- BURGEOT T., FILLON A., RATISKOL G., VAYNE J.J., THOMAS G., (1990) - Suivi des efflorescences phytoplanctoniques en Charentes Maritimes 1988 - R. INT. DRV/90.50/CSRU/DEL/NANTES, 44 p.
- ERARD E., POPULUS D., (1984) - Etude bibliographique de quelques espèces planctoniques et benthiques littorales de la Manche - 1. Espèces phytoplanctoniques -Rapport EDF/CNEXO, 93 p.
- GOULLETQUER P., JOLY J.P., KOPP J., LE GAGNEUR E., MORICEAU J., RUELLE F., (1994) - La production ostréicole sur la côte ouest du Cotentin - Rapport IFREMER/Région Basse-Normandie R. INT. DRV-94.002-RA/Port en Bessin, 85p.
- JEANNERET H., KOPP J., JOLY J.P., MORICEAU J., LE GAGNEUR E. , (1992) - L'ostréiculture sur la côte est du Cotentin - Rapport IFREMER/Région Basse-Normandie, R. INT. DRV/92.010/RA/Port-en-Bessin, 64 p.
- KOPP J., JOLY J.P., MORICEAU J., LE GAGNEUR E., JACQUELINE F., (1991) - La conchyliculture en Baie-des-Veys. Rapport IFREMER/Région Basse-Normandie, 91 p.
- LACHATER R., (1989) - Abondance, distribution de *Dinophysis sp.* en un point de la baie de Vilaine (Morbihan). Facteurs de variabilité. Rapport de stage IUT / IFREMER, 20p.

- LARSONNEUR C., (1975) - Données scientifiques générales sur le littoral de la baie de Seine. Chapitre I : La Baie de Seine : le substrat géologique et sa couverture de dépôts meubles, p11-38, 199 p.
- LASSUS P., PRONIEWSKI F., MAGGI P., TRUQUET P., BARDOUIL M., (1993) - Wind induced toxic blooms of *Dinophysis cf. acuminata* in the Antifer area (France) - Toxic phytoplankton blooms in the sea (Smayda et Shimizu editeurs), Elsevier, Amsterdam, 519-523
- LESNE J., (1992) (coordination) - Coquillages et santé publique, du risque à la prévention - Editions de l'Ecole Nationale de la santé publique, 343 p.
- MAGGI P., (1982) - Les mortalités massives de poissons en baie de Vilaine (juillet 1982) - Rapport ISTPM Nantes, 19 p.
- MAGGI P., TRUQUET P., MORNET F., LASSUS P., (1992) - Distribution verticale à basse et pleine mers du phytoplancton estival en baie de Seine (juillet 1991 - Campagne Dinoseine 1) - Rapport IFREMER R. INT. DEL/92.06/Nantes, 21 p.
- MARCAILLOU-LE BAUT C., LUCAS D. et LE DEAN L., (1985) - *Dinophysis acuminata* toxin : status of toxicity bioassays in France. Toxic Dinoflagellats. - Anderson, White and Baden Eds. ELSEVIER, 485-488.
- MARCAILLOU-LE BAUT C., MASSELIN P., BOHEC M., TRUCQUET P., AMZIL Z., POUCHUS Y.F., LE BOTERFF J., VERBIST J.F., VERNOUX J.P., MARAIS C., SIMON J.F., NIZARD G., MERCIER G., CHOUMILOFF R., BARON B., (1993) - Détection de l'acide okadaïque dans les moules toxiques : comparaisons de bioessais - Programme national phycotoxines - Rapport Ifremer, 17 p.
- PROGRAMME NATIONAL EFFLORESCENCES ALGALES MARINES, (1993) - Principaux résultats 1989-1992. Ifremer/CNRS/Ministères de la Mer, de l'Environnement, de la Recherche et de la Technologie, 62 p.
- RYBARCZYK H., DESPREZ M., DUCROTOY JP., OLIVESI R., DELESMONT R., JAMET F. et ELKAIM B., (1993) - Dynamics of nutrients and faecal bacteria in a macrotidal estuary, the bay of Somme (France) - Neth.J.Aquat.Ecol., 27 (2-4) : 395-404
- SOURNIA A., BELIN C., BERLAND B., ERARD-LE DENN E., GENTIAN P., GRZEBYSE D., MARCAILLOU-LE BAUT C., LASSUS P., PARTENSKY F., (1991) - Le phytoplancton nuisible des côtes de France - De la biologie à la prévention - IFREMER, centre de Brest, 154 p.
- UTERMOHL H., (1958) - Zur Vendlhomung der quantitativen Phytoplankton. Methodik. Int. Ver. Theoret. Argueur. Limnol, 9:1-38
- VIDEAU C., (1993) - Phytoplancton de la baie de Quiberon et facteurs nutritifs limitant la production marine. Rapport CISE Ouest/Université de Bretagne Occidentale/IFREMER, 92 p. + annexes
- YASUMOTO T., OSHIMA Y., YAMAGUCHI M., (1978) - Occurence of a new type of shellfish poisoning in the Tokoku district. Bull. Jap. Soc. Scient. Fisheries, 43:1249-1255

ANNEXES

	Page
Annexe n°1 : Méthode de recherche du D.S.P.	I
Annexe n°2 : Méthode de recherche du P.S.P.	II
Annexe n°3 : Proportion Diatomées/Dinoflagellés.	III
Annexe n°4 : Nomenclature du phytoplancton	VII
Annexe n°5 : Espèces accompagnatrices et accessoires des différents sites	VIII

Méthode de recherche des toxines D.S.P.



Extraction de la toxine

- ↳ Broyer 30g d'hépatopancréas (égouttés) dans 100 ml d'acétone.
- ↳ Filtrer puis reprendre le broyat dans 100 ml d'acétone.
- ↳ Broyer de nouveau pour être sûr d'extraire toute la toxine.
- ↳ Filtrer.
- ↳ Réunir les deux fractions acétoniques puis évaporer l'acétone à l'aide d'un ROTAVAPOR.
- ↳ Reprendre les substances toxiques déposées sur les parois du ballon avec 6 ml d'eau de tween 60 à 1%.



Quantification de la toxine

- ↳ Inoculer 3 souris mâles Swiss de 20g avec 1 ml de la solution de tween.
 - ↳ Observer le temps qui s'écoule entre le moment de l'inoculation et la mort des animaux.
 - ↳ Si au moins 2 souris meurent en moins de 5h on considère que le test est positif : il y a présence de toxine en quantité suffisante pour rendre un consommateur malade. Si les souris meurent entre 5h et 24h on peut dire qu'il y a présence de toxine mais en quantité insuffisante pour indisposer une personne.
- La quantité de toxine présente dans l'échantillon est calculée à partir du temps de survie moyen des souris, du poids exact des animaux et est exprimée en U.S (unité souris) par gramme d'hépatopancréas.

Une U.S. est la quantité de toxine capable de tuer une souris de 20g en 24 heures. Cette U.S. est égale à 4µg d'Acide Okadaïque (A.O.).

Méthode de recherche des toxines P.S.P.



Extraction de la toxine

- ↳ Broyer 100g de chair de coquillage (lavés et égouttés) dans 100 ml de HCl 0.1N.
- ↳ Ajuster le pH aux alentours de 3 puis faire bouillir doucement le mélange pendant 5 minutes.
- ↳ Laisser refroidir à température ambiante.
- ↳ Ramener le volume du mélange à 200ml avec de l'eau distillée.
- ↳ Centrifuger à 3000 tours pendant 15 minutes et récupérer le surnageant.



Quantification de la toxine

- ↳ Injecter 1 ml de surnageant en intrapéritonéal à 3 souris mâles Swiss de 20g.
- Au-delà d'1 heure de survie, le test est considéré comme négatif. Le seuil de détection de la méthode est de 38,5µg de P.S.P par 100g de chair.

ANNEXE n°3

Proportion DIATOMEES / DINOFLAGELLES à Antifer en 1992

ANTIFER 92	hiver	printemps	été	automne
F.coscinodiscaceae	2.08	0.05	0.64	1.19
F.heliopeltaceae	0.00	0.00	0.00	0.00
F.thalassiosiraceae	16.91	0.08	14.93	3.71
F.melosiraceae	12.75	0.48	3.27	14.40
SO.coscinodiscinées	31.74	0.62	18.84	19.30
F.rhizosoleniaceae	4.07	96.99	13.92	4.77
F.leptocylindraceae	8.09	0.00	2.96	7.50
SO.rhizosoleniinées	12.16	96.99	16.88	12.28
F.lithodesmiaceae	0.60	0.00	0.48	0.72
F.chaetoceraceae	9.94	0.02	9.37	34.06
F.biddulphiaceae	0.66	0.64	0.64	1.29
F.eupodiscaceae	0.00	0.00	0.07	0.00
SO.biddulphiinées	11.19	0.67	10.56	36.07
O.centrales	55.09	98.27	46.28	67.65
F.fragilariaceae	5.02	0.47	22.82	4.09
SO.fragillariinées	5.02	0.47	22.82	4.09
F.naviculaceae	3.19	0.30	1.73	3.51
F.nitzschiaceae	2.51	0.05	4.38	10.20
SO.naviculiinées	5.70	0.35	6.11	13.71
O.pennales	10.72	0.82	28.93	17.80
DIATOMEES	66.73	99.22	81.53	88.09
O.dinophysales	0.00	0.00	1.88	0.63
O.prorocentrales	0.43	0.03	4.69	2.45
F.gymnodiniaceae	31.35	0.44	1.34	2.51
O.gymnodiniales	31.35	0.44	1.34	2.51
F.gonyaulacaceae	0.00	0.00	0.00	0.00
F.peridiniaceae	0.28	0.00	1.94	0.60
O.peridinales	0.28	0.00	1.94	0.60
O.noctilucales	0.00	0.00	0.00	0.00
DINOFLAGELLES	32.06	0.47	10.07	6.44
AUTRES	1.21	0.31	8.40	5.47

Proportion DIATOMEES / DINOFLAGELLES à Barfleur en 1992

BARFLEUR 92	hiver	printemps	été	automne
F.coscinodiscaceae	21.40	2.62	2.57	1.51
F.heliopeltaceae	0.00	0.00	0.00	0.00
F.thalassiosiraceae	0.29	0.00	1.37	21.42
F.melosiraceae	21.36	19.46	4.40	19.28
SO.coscinodiscinées	43.05	22.08	8.35	42.21
F.rhizosoleniaceae	5.83	70.59	44.32	5.58
F.leptocylindraceae	0.00	0.00	2.04	1.27
SO.rhizosoleniinées	5.83	70.59	46.37	6.84
F.lithodesmiaceae	0.00	0.08	0.00	0.14
F.chaetoceraceae	26.67	4.67	3.91	3.89
F.biddulphiaceae	2.99	0.68	0.55	0.62
F.eupodiscaceae	0.00	0.15	0.00	0.00
SO.biddulphiinées	29.66	5.58	4.45	4.66
O.centrales	78.54	98.25	59.17	53.71
F.fragilariaceae	6.56	0.00	8.48	4.12
SO.fragilariinées	6.56	0.00	8.48	4.12
F.naviculaceae	13.20	1.33	20.56	30.01
F.nitzschiaceae	1.62	0.42	2.47	1.74
SO.naviculiinées	14.82	1.75	23.03	31.75
O.pennales	21.39	1.75	31.51	35.87
DIATOMEES	99.93	100.00	91.97	91.35
O.dinophysales	0.00	0.00	0.00	0.00
O.prorocentrales	0.00	0.00	1.05	0.97
F.gymnodiniaceae	0.00	0.00	0.14	7.14
O.gymnodiniales	0.00	0.00	0.14	7.14
F.gonyaulacaceae	0.00	0.00	0.00	0.04
F.peridiniaceae	0.00	0.00	6.18	0.24
O.peridinales	0.00	0.00	6.18	0.28
O.noctilucales	0.00	0.00	0.00	0.00
DINOFLAGELLES	0.00	0.00	7.37	8.44
AUTRES	0.07	0.00	0.66	0.21

Proportion DIATOMEES / DINOFLAGELLES à Grandcamp en 1992

GRANDCAMP 92	hiver	printemps	été	automne
F.coscinodiscaceae	1.71	1.70	1.53	2.80
F.heliopeltaceae	0.05	0.00	0.00	0.00
F.thalassiosiraceae	3.82	1.96	17.81	15.67
F.melosiraceae	32.37	5.93	8.62	19.90
SO.coscinodiscinées	37.94	9.59	27.97	38.37
F.rhizosoleniaceae	0.92	40.08	26.12	11.50
F.leptocylindraceae	0.00	0.00	1.10	1.05
SO.rhizosoleniinées	0.92	40.08	27.22	12.55
F.lithodesmiaceae	0.00	0.00	0.00	0.00
F.chaetoceraceae	6.72	0.00	5.56	0.50
F.biddulphiaceae	7.40	1.28	0.98	2.24
F.eupodiscaceae	0.00	0.00	0.00	0.00
SO.biddulphiinées	14.12	1.28	6.54	2.74
O.centrales	52.99	50.95	61.72	53.66
F.fragilariaceae	18.00	3.90	12.03	13.43
SO.fragillariinées	18.00	3.90	12.03	13.43
F.naviculaceae	21.90	17.42	17.72	21.54
F.nitzschiaceae	1.70	1.65	3.43	3.42
SO.naviculiinées	23.60	19.07	21.15	24.96
O.pennales	41.59	22.97	33.18	38.39
DIATOMEES	99.82	99.42	96.07	94.04
O.dinophysales	0.00	0.00	0.00	0.00
O.prorocentrales	0.00	0.03	0.76	1.19
F.gymnodiniaceae	0.00	0.00	0.00	0.69
O.gymnodiniales	0.00	0.00	0.00	0.69
F.gonyaulacaceae	0.00	0.00	0.00	0.00
F.peridiniaceae	0.00	0.00	0.00	0.00
O.peridinales	0.00	0.00	0.00	0.00
O.noctilucales	0.00	0.00	0.00	0.00
DINOFLAGELLES	0.00	0.03	0.76	1.88
AUTRES	0.18	0.55	3.17	4.08

Proportion DIATOMÉES / DINOFLAGELLES à Brévilles en 1992

BREVILLE 92	hiver	printemps	été	automne
F.coscinodiscaceae	3.04	0.47	0.80	1.22
F.heliopeltaceae	0.00	0.00	0.00	0.00
F.thalassiosiraceae	15.97	1.83	0.00	19.30
F.melosiraceae	35.82	19.91	16.74	8.72
SO.coscinodiscinées	54.82	22.21	17.54	29.24
F.rhizosoleniaceae	0.11	3.87	19.50	46.21
F.leptocylindraceae	0.00	0.00	0.00	0.31
SO.rhizosoleniiniées	0.11	3.87	19.50	46.51
F.lithodesmiaceae	0.00	0.97	0.00	0.15
F.chaetoceraceae	0.00	0.00	1.70	1.22
F.biddulphiaceae	1.00	0.05	4.89	3.82
F.eupodiscaceae	0.00	0.00	0.00	0.00
SO.biddulphiiniées	1.00	1.02	6.59	5.20
O.centrales	55.94	27.10	43.64	80.95
F.fragilariaceae	15.60	43.29	15.55	3.55
SO.fragillariiniées	15.60	43.29	15.55	3.55
F.naviculaceae	23.21	21.61	33.66	9.82
F.nitzschiaceae	4.63	0.86	3.57	3.06
SO.naviculiiniées	27.83	22.47	37.24	12.88
O.pennales	43.43	65.76	52.79	16.43
DIATOMÉES	99.37	92.86	96.43	97.38
O.dinophysales	0.00	0.00	0.63	0.00
O.prorocentrales	0.00	1.79	2.07	0.00
F.gymnodiniaceae	0.00	0.00	0.17	0.00
O.gymnodiniales	0.00	0.00	0.17	0.00
F.gonyaulacaceae	0.00	0.00	0.00	0.31
F.peridiniaceae	0.00	1.79	0.27	0.00
O.peridiniales	0.00	1.79	0.27	0.31
O.noctilucales	0.00	0.00	0.00	0.00
DINOFLAGELLES	0.00	3.57	3.14	0.31
AUTRES	0.63	3.57	0.44	2.31

ANNEXE n°4

Nomenclature du phytoplancton

DIATOMEES	
COSC	COSCINODISCUS
ACTN	ACTINOPTYCHUS
LAUD	LAUDERIA + SCHROEDERELLA
SKEL	SKELETONEMA
THAL	THALASSIOSIRA
MELO	MELOSIRA
PARA	PARALIA
GUIN	GUINARDIA
RHIZ	RHIZOSOLENIA
LEPT	LEPTOCYLINDRUS
BELL	BELLEROCHEA
DITY	DITYLUM
CHAE	CHAETOCEROS
BIDD	BIDDULPHIA
CERA	CERATAULINA
EUCA	EUCAMPIA
TRIC	TRICERATIUM
THAA	THALASSIONEMA
FRAG	FRAGILARIA
ASTE	ASTERIONELLA
LICM	LICMOPHORA
RHAB	RHABDONEMA
GRAM	GRAMMATOPHORA
PLAG	PLAGIOGRAMMA
PLEU	PLEUROSYGMA
STAU	STAURONEIS
NAVI	NAVICULA
NITZ	NITZSCHIA
DINOFLAGELLES	
PROR	PROROCENTRUM
DINO	DINOPHYSIS
GYMN	GYMNODINIUM
GYRO	GYRODINIUM
GONY	GONYAULAX
PROP	PERIDINIUM
AUTRES	
PHYCEUG	EUGLENE
PHAE	PHAEOCYSTIS
TINI	TINTINNIDES
DICT	DICTYOCHA
CILI	CILIE

ANNEXE n°5

Espèces accompagnatrices et accessoires des différents sites

ANTIFER	I.S.	LUC/MER	I.S.	GRANDCAMP	I.S.	BARFLEUR	I.S.	BREVILLE	I.S.
ACCOMPAGNATRICES DU SITE									
GYMN	1.86	CHAE	1.90	THAA	1.85	LEPT	1.00	GRAM	1.80
THAL	1.64	ASTE	1.65	CHAE	1.50	BIDD	1.00	PROR	1.47
PROR	1.57	GYMN	1.35	ASTE	1.05	GYMN	0.96	LICM	1.27
COSC	1.29	LEPT	1.15	PHYCEUG	0.80	DIAO	0.87	PHYCEUG	1.13
PROP	1.29	LAUD	1.05	LAUD	0.75	PROR	0.74	BELL	0.53
GYRO	1.21	FRAG	0.95	CERA	0.55	PROP	0.70	CHAE	0.53
PHYCEUG	1.21	CERA	0.80	LICM	0.55	LAUD	0.39	FRAG	0.47
CERA	1.00	GRAM	0.70	LEPT	0.50	THAA	0.39	PROP	0.47
EUCA	0.71	THAL	0.45	PLEU	0.50	PLEU	0.35	DINO	0.27
DINO	0.50	GUIN	0.35	PROR	0.50	DITY	0.30	DICT	0.27
DICT	0.50	DITY	0.35	GYMN	0.20	TRIC	0.26	THAA	0.20
LAUD	0.29	EUCA	0.35	EUCA	0.10	LICM	0.26	CILI	0.20
GUIN	0.29	CILI	0.20	RHAB	0.10	RHAB	0.17		
GRAM	0.21	PROR	0.15	DICT	0.10	PHYCEUG	0.17		
PLAG	0.14	PROP	0.15	GUIN	0.05	GYRO	0.04		
STAU	0.14	PLEU	0.10	FRAG	0.05	DICT	0.04		
TRIC	0.07	LICM	0.05			CILI	0.04		
ACCESSOIRES DU SITE									
ACTN	0	ACTN	0	ACTN	0	ACTN	0	ACTN	0
BELL	0	BELL	0	BELL	0	GUIN	0	LAUD	0
DITY	0	TRIC	0	DITY	0	BELL	0	THAL	0
BIDD	0	RHAB	0	TRIC	0	CERA	0	GUIN	0
FRAG	0	STAU	0	STAU	0	FRAG	0	LEPT	0
LICM	0	DINO	0	DINO	0	ASTE	0	DITY	0
RHAB	0	GYRO	0	GYRO	0	PLAG	0	CERA	0
PLEU	0	GONY	0	GONY	0	STAU	0	EUCA	0
GONY	0	PHYCDIN	0	PROP	0	DINO	0	TRIC	0
PHYCDIN	0	PHAE	0	PHYCDIN	0	GONY	0	RHAB	0
PHAE	0	AUTRE	0	PHAE	0	PHYCDIN	0	STAU	0
AUTRE	0	TINI	0	AUTRE	0	PHAE	0	GYMN	0
TINI	0	DICT	0	TINI	0	AUTRE	0	GYRO	0
				CILI	0	TINI	0	GONY	0
								PHYCDIN	0
								PHAE	0
								AUTRE	0

I.S.=Indice de Sanders