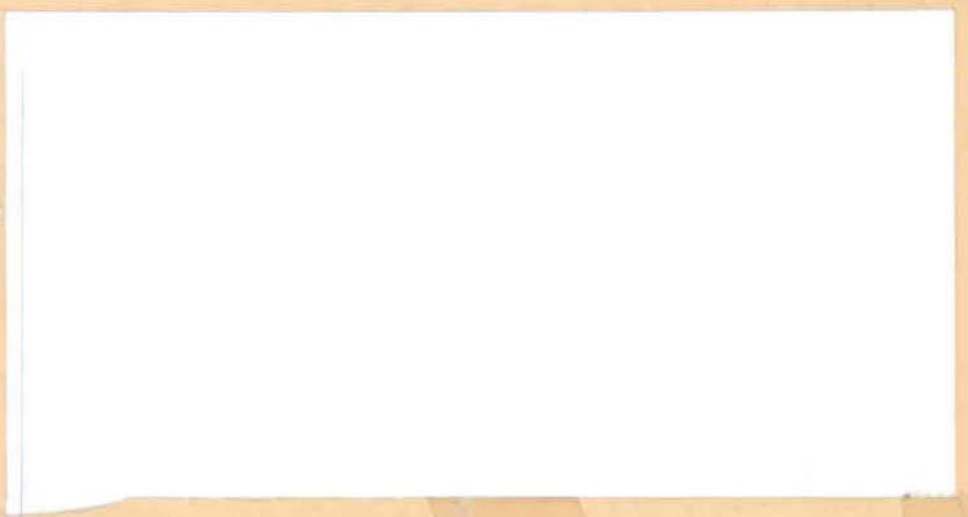
D. ARNAL

UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

STATION MARINE
de
WIMEREUX



28, avenue Foch - B. P. 41 - 62930 WIMEREUX

Aide financière à la formation pour la recherche 40652
accordée à Jean PRYGIEL le 2.08.84 :
BOURSE IFREMER/REGION CNEXO/SG/PP 84-40975 du 9.10.1984
Code U.S.T.L. 999/38 Ro 1641 9000

Contrat Programme Environnement

Référence EPR Nord-Pas-de-Calais - Convention 85.0347 du 26.04.85
(CS/MD/FMD n° 373 du 20.12.85)

J. PRYGIEL, C. QUISTHOUDT et A. RICHARD

Station Marine de Wimereux

ANALYSE DES COMMUNAUTES DES FONDS DE SABLE DE LA MANCHE ORIENTALE ET DU SUD DE LA MER DU NORD

SOMMAIRE

INTRODUCTION p.1

CHAPITRE I.BENTHOS - MATERIELS ET METHODES p.2
I.1. Le travail en milieu subtidal p.2
I.1.1. Choix et repérage des stations p.2
I.1.1.1. Etude bionomique p.2
I.1.1.2. Etude comparative p.2
I.1.2. Prélèvements qualitatifs p.5
I.1.3. Prélèvements quantitatifs p.5
I.1.4. Tamisage et conservation des échantillons p.5
I.2. Le travail en milieu intertidal p.7
I.3. Le travail au laboratoire p.8
I.3.1. Analyses granulométriques p.8
I.3.1.1. Traitement de l'échantillon granulométrique p.8
I.3.1.2. Principes de l'analyse granulométrique p.9
I.3.2. Analyse de la macrofaune p.10
I.3.3. Délimitation des associations faunistiques p.11
I.3.3.1. Mesure de ressemblance p.11
I.3.3.2. Le groupement p.12
I.3.4. Diversité - Régularité p.13
I.3.5. Diagrammes rangs - fréquences p.15

CHAPITRE II. DISTRIBUTION DES UNITES BIOSEDIMENTAIRES DE LA PARTIE FRANCAISE DE LA MER DU NORD p.18
II.1. Généralités p.18
II.2. Résultats p.18
II.2.1. Peuplement des cailloutis et graviers à épibiose sessile p.18
II.2.2. Peuplement de l'hétérogène envasé p.19
II.2.3. Peuplement à Amphioxus lanceolatus p.19
II.2.4. Peuplement à Ophelia borealis p.20
II.2.5. Peuplement à Abra alba p.20
II.2.6. Zone intertidale p.20
II.3. Conclusion p.21

CHAPITRE III. ETUDE DES "BIOTOPES " A OPHELIA : SEDIMENTOLOGIE HYDROLOGIE p.23
III.1. Structure des bancs p.23
III.2. Etude granulométrique p.23
III.3. Hydrologie p.26
III.3.1. Situation géographique p.26
III.3.2. Climatologie p.27
III.3.3. Les apports d'eaux dessalées au milieu marin p.27
III.3.4. Hydrographie p.28
III.3.4.1. Les marées p.28
III.3.4.2. Les courants p.29
III.3.5. Matériel et méthodes p.29
III.3.5.1. Présentation des campagnes p.29
III.3.5.2. Méthodes p.30
III.3.5.2.1. La température p.30
III.3.5.2.2. La turbidité p.31
III.3.5.2.3. La salinité p.31
III.3.5.2.4. L'oxygène dissous p.31
III.3.5.2.5. Les sels nutritifs dissous p.31
- L'ammoniac dissous p.31
- Les nitrites p.31
- Les nitrates p.31
- Les ions phosphates p.31
- Le silicium dissous p.31
III.3.5.2.6. Les pigments photosynthétiques p.32
- La chlorophylle a p.32
- Les phéopigments p.32
III.3.5.2.7. Le pH p.32
III.3.5.2.8. Le carbone et l'azote particulaires p.32
- Principe p.32
- Historique p.33
- Méthode analytique p.33
III.4. Résultats - Discussion p.34
III.4.1. La température p.34
III.4.2. La salinité p.36
III.4.3. La turbidité - la transparence de l'eau - les teneurs en MES p.37

III.4.4. Le pH p.38
III.4.5. L'oxygène dissous p.38
III.4.6. Les sels nutritifs dissous p.40
III.4.7. Les pigments photosynthétiques p.42
III.4.8. Le carbone et l'azote particulaires p.43
III.5. Conclusion p.45

CHAPITRE IV. ETUDE DE DIFFERENTS PEUPLEMENTS DE LA COMMUNAUTE A OPHELIA BOREALIS p.46
IV.1. Etude faunistique p.46
IV.1.1. Précision des mesures p.46
IV.1.1.1. Méthode p.46
IV.1.1.2. Résultats P.46
IV.1.1.2.1. Données numériques p.46
IV.1.1.2.2. Données pondérales p.47
IV.1.2. Généralités p.47
IV.1.3. Etude numérique p.49
IV.1.3.1. Variations faunistiques inter-bancs p.49
IV.1.3.2. Caractères généraux de la faune p.51
IV.1.3.3. Variations bathymétriques p.52
IV.1.3.3.1. Augmentation du nombre d'espèces avec la bathymétrie p.52
IV.1.3.3.2. Augmentation de la densité des espèces des sommets p.53
IV.1.3.3.3. Existence de "nuages" p.53
IV.1.3.4. Diagrammes rangs - fréquences p.55
IV.1.3.5. Dispersion spatiale p.55
IV.1.3.5.1. Méthode p.55
IV.1.3.5.2. Résultats p.58
IV1.4. Etude pondérale p.60
IV.1.4.1. Etude pondérale par groupe faunistique p.60
IV.1.4.2. Diagrammes rangs - fréquences p.64
IV.1.5. Peuplements homologues et analogues p.64
IV.1.5.1. Peuplements homologues p.67
IV.1.5.2. Peuplements analogues p.67
IV.1.5.3. Autres peuplements p.67
IV.1.6. Conclusion et discussion p.68

CHAPITRE V. CONTAMINATION DES ESPECES ENDOBENTHIQUES PAR QUELQUES POLLUANTS METALLIQUES p.70
V.1. Introduction p.70
V.2. Matériel et techniques p.71
V.2.1. Travail à la mer p.71
V.2.2. Travail de préparation de l'échantillon biologique en vue de son analyse chimique p.71
V.2.2.1. Travail à la mer p.71
V.2.2.2. Préparation des échantillons au laboratoire p.71
V.2.2.3. Attaques acides p.72
V.2.2.4. Analyse en absorption atomique p.73
V.3. Discussion des résultats des teneurs en éléments métalliques des principales espèces de l'endobenthos p.73

CHAPITRE VI. ETUDE COMPARATIVE DE LA PRODUCTION DE LA MACROFAUNE p.76
VI.1. Introduction p.76
VI.2. Définition p.76
VI.3. Méthodes p.76
VI.3.1. Méthodes directes p.77
VI.3.2. Méthodes indirectes p.78
VI.3.2.1. Généralités p.78
VI.3.2.2. Choix des valeurs de référence p.78
VI.4. Résultats p.79
VI.4.1.Estimation de la production de Nephtys cirrosa p.79
VI.4.2. Etude comparative de la production macrobenthique .. p.82
VI.5. Conclusion et discussion p.89

CONCLUSION p.91

BIBLIOGRAPHIE p.93

RESUME

Les études de prospection en Manche et en Mer du Nord Occidentale montrent l'existence de cinq unités biosédimentaires parmi lesquelles la communauté à Ophelia borealis.Cette communauté est établie sur des bancs sableux parallèles à la côte qui sont suceptibles de fournir d'importantes quantités de sables et de graviers marins.

Des prélèvements saisonniers sédimentologiques, hydrologiques et faunistiques permettent de préciser les caractéristiques de quatre d'entre eux:

- Le sédiment est constitué pour 60 à 90% de sables fins à moyens dont la médiane est comprise entre 190 et 260 µm.

- Le Haut Fond de Gravelines se situe dans une zone côtière ou l'importance des divers rejets entraine l'apparition d'un milieu eutrophe.Les bancs du Dyck et de la Bassure de Baas se situent dans une zone intermédiaire où l'influence de la côte est moindre et le Vergoyer est baigné par des eaux caractéristiques du large.

-Ces peuplements sont stables;les cortèges faunistiques sont comparables et composés d'espèces bien adaptées à un hydrodynamisme vigoureux.

-Cette communauté est pauvre.Le nombre d'espèces au mètre carré est de l'ordre de 25.La densité varie de 87 à 541 ind./m^2, la biomasse de 0,4 à 2,3g/m^2 et la production secondaire de 0,7 à 3,4g/m^2/an pour un rapport $P/\bar{B}$ compris entre 1,60 et 1,90.

- Les analyses de métaux au sein des principales espèces de ces bancs confirment la présence du fer, du cuivre, du zinc et du manganèse.Le cadmium et le plomb sont sauf chez les échinodermes, absents ou présents à des teneurs indétectables.Il est cependant difficile de conclure à une réelle contamination à cause de la variabilité spatiale et temporelle des concentrations.

Un classement par ordre de richesse décroissante donnerait le Haut Fond de Gravelines, le Dyck, la Bassure de Baas et le Vergoyer.La richesse de ces bancs décroit en effet avec l'éloignement à la côte même si les différents paramètres mesurés sont du même ordre de grandeur.Aussi, le choix d'un banc côtier aurait-il l'avantage de protéger les écosystèmes du large encore naturels.Il convient cependant d'être prudent: les ratios $P/\bar{B}$ calculés expriment le taux de renouvellement de la biomasse dans les conditions naturelles mais ne renseignent pas sur la régénération potentielle du peuplement en cas d'exploitation.

INTRODUCTION

Ce travail s'inscrit dans les études d'environnement régional, thème de la convention IFREMER - Région Nord - Pas de Calais et fait suite au D.E.A. :" Benthos de la Bassure de Baas , étude comparative de la communauté à Ophelia borealis".

Avec la prospection de la zone du large de la partie française de la Mer du Nord qui fait l'objet d'un chapitre, la description des unités biosédimentaires littorales du Nord - Pas de Calais est pratiquement achevée (CABIOCH et GLACON, 1977 ; SOUPLET et COLL., 1980 : PRYGIEL, 1983 : DESSAINT, 1987).

Le peuplement à Abra alba de la région de Gravelines est étudié depuis plusieurs années (DEWARUMEZ, 1979 ; DEWARUMEZ et COLL., 1986). L'étude du peuplement des cailloutis et graviers à épibiose sessile est actuellement en cours (DAVOULT et RICHARD, 1986,1987).

Nous nous proposons d'étudier plus en détail la communauté des sables fins à moyens propres à Ophelia borealis. Celle-ci se compose de plusieurs peuplements établis sur des bancs sableux qui ont tendance à fusionner face à Dunkerque. Ces bancs constituent d'importantes sources de sables et de graviers marins. Dans le but de préciser les principales caractéristiques de quatre bancs suceptibles d'exploitation (Bassure de Baas, Vergoyer, Dyck, Haut Fond de Gravelines), des prises d'échantillons ont été effectuées selon un rythme saisonnier sur une période de un à deux ans.

Après avoir défini les caractères hydrologiques propres à chacun d'entre eux, une approche faunistique portant sur des critères de densités, biomasses et de production secondaire a été entreprise. Une éventuelle contamination des principales espèces des bancs de la Bassure de Baas, du Vergoyer et du Dyck a été recherchée par l'analyse de six métaux.

CHAPITRE I - BENTHOS : MATERIELS ET METHODES

I.1. LE TRAVAIL EN MILIEU SUBTIDAL

I.1.1. Choix et repérage des stations

I.1.1.1. Etude bionomique

Les prélèvements de bionomie benthique ont été réalisés grâce au soutien de trois navires :

- Le Navire Océanographique SEPIA II de la Station Marine de Wimereux,
- Le Saint-Eloi, petit chalutier de Grand-Fort-Philippe,
- Le Pluteus, Navire Océanographique de la Station Marine de Roscoff.

Les stations sont repérées grâce au "Navigator Decca" qui autorise dans notre région une précision de 50 à 100 m.

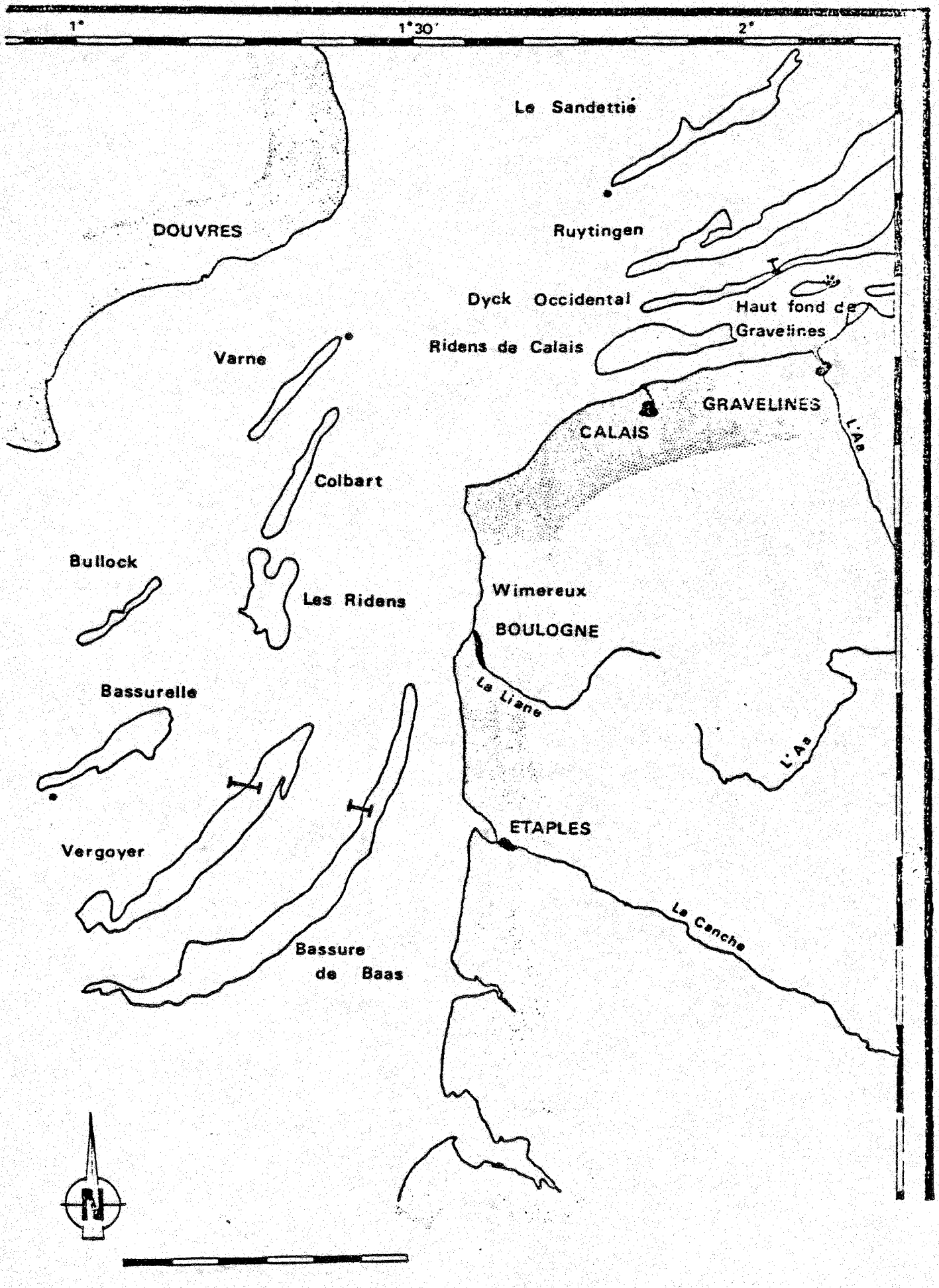
I.1.1.2. Etude comparative

L'ensemble des prélèvements a été réalisé à l'aide du N/O SEPIA II de la Station Marine de Wimereux.

Quatre bancs ont été choisis dans le cadre de l'étude comparative. Il s'agit des bancs de la Bassure de Baas et du Vergoyer en Manche Orientale et des bancs du Haut Fond de Gravelines et du Dyck en Mer du Nord Occidentale (Fig. I.1). Les sites de prélèvements sont situés respectivement au droit de l'estuaire de la Canche et de l'ensemble estuaire de l'Aa, centrale nucléaire de Gravelines. Contrairement au site de Gravelines qui ne comporte qu'une station de prélèvement, la morphologie des 3 autres bancs a permis de déterminer pour chacun d'entre eux trois stations de prélèvements situées sur une même radiale. Celles-ci répondent à des critères bathymétriques et sont situées sur le sommet, la pente et le creux du banc. Elles sont localisées côté large des bancs où une pente plus douce permet un meilleur positionnement du navire et un meilleur prélèvement.

Le choix de ces stations a été déterminé en s'appuyant sur des relevés antérieurs effectués au cours de travaux de bionomie benthique ou de suivis de peuplements soumis à l'influence de la centrale nucléaire de Gravelines (contrats E.D.F. - C.N.E.X.O. - S.M.W.). Ces stations sont repérées à l'aide du "Decca Navigator". Le positionnement exact de chaque niveau bathymétrique est alors obtenu en suivant le profil échosonde qui

Fig. I1 : HAUTS FONDS DE LA REGION DU NORD . PAS DE CALAIS
ET RADIALES D'ETUDE



permet de se placer exactement à la profondeur désirée (Tableau I.1).

TABLEAU I.1

Etude comparative, coordonnées des stations de prélèvements

Site	Coordonnées DECCA	Position géographique	Profondeur (m)*
Bassure de Baas	J 32,50 - D 13,00	50° 23,3' N 1° 26,2' E	S : 9 P : 15 C : 25
Vergoyer	J 36,50 - D 5,50	50° 37,8' N 1° 32,2' E	S : 12 P : 15 C : 30
Dyck	G 46,30 - F 10,00	2° 03,1' N 51° 05,1 'E	S : 8 P : 15 C : 22
Gravelines	G 46,00 - F 13,00	51° 04,7' N 2° 07,7 E	15

(* S : sommet ; P : pente ; C : creux).

Les campagnes de prélèvements ont été effectuées suivant un rythme saisonnier. Dans la mesure du possible , les ensembles Bassure de Baas-Vergoyer et Haut Fond de Gravelines-Dyck ont été échantillonnés dans un intervalle de temps le plus court possible (Tableau I.2).

TABLEAU I.2 : Etude comparative : calendrier des sorties

Date	Site et niveau bathymétrique échantillonnés
28.09.83	Bassure (sommet)
9.11.83	Gravelines
22.02.84	Gravelines
14.03.84	Bassure (sommet - pente)
19.03.84	Gravelines
13.04.84	Bassure (sommet)
19.04.84	Gravelines - Dyck (sommet)
3.05.84	Gravelines et Dyck (tous niveaux)
28.08.84	Dyck (tous niveaux)
2.10.84	Gravelines
15.11.84	Gravelines et Dyck (tous niveaux)
19.11.84	Bassure et Vergoyer (tous niveaux)
12.12.84	Gravelines - Dyck (sommet)
6.02.85	Bassure et Vergoyer (tous niveaux)
19.04.85	Gravelines et Dyck (tous niveaux)
22.05.85	Gravelines et Dyck (tous niveaux)
15.06.85	Bassure et Vergoyer (tous niveaux)
11.09.85	Gravelines et Dyck (tous niveaux)
17.10.85	Bassure et Vergoyer (tous niveaux)
18.10.85	Gravelines - Dyck (sommet)

I.1.2. Prélèvements qualitatifs

Nous avons utilisé, pour la description des communautés benthiques, la drague "RALLIER du BATY" modifiée (son diamètre d'ouverture est de 45 cm) dont les performances dans les sédiments meubles sont excellentes. Dans ce type de sédiments, la drague permet de remonter un volume de 40 à 45 litres pour un trait de 2 à 5 minutes. Celui-ci satisfait largement au volume minimum de 30 litres à trier défini par CABIOCH (1968) en Manche Occidentale. Lorsque les fonds étudiés sont peu favorables, en particulier les fonds rocheux, on effectue autant de prélèvements qu'il est nécessaire pour arriver à ce volume minimum.

I.1.3. Prélèvements quantitatifs

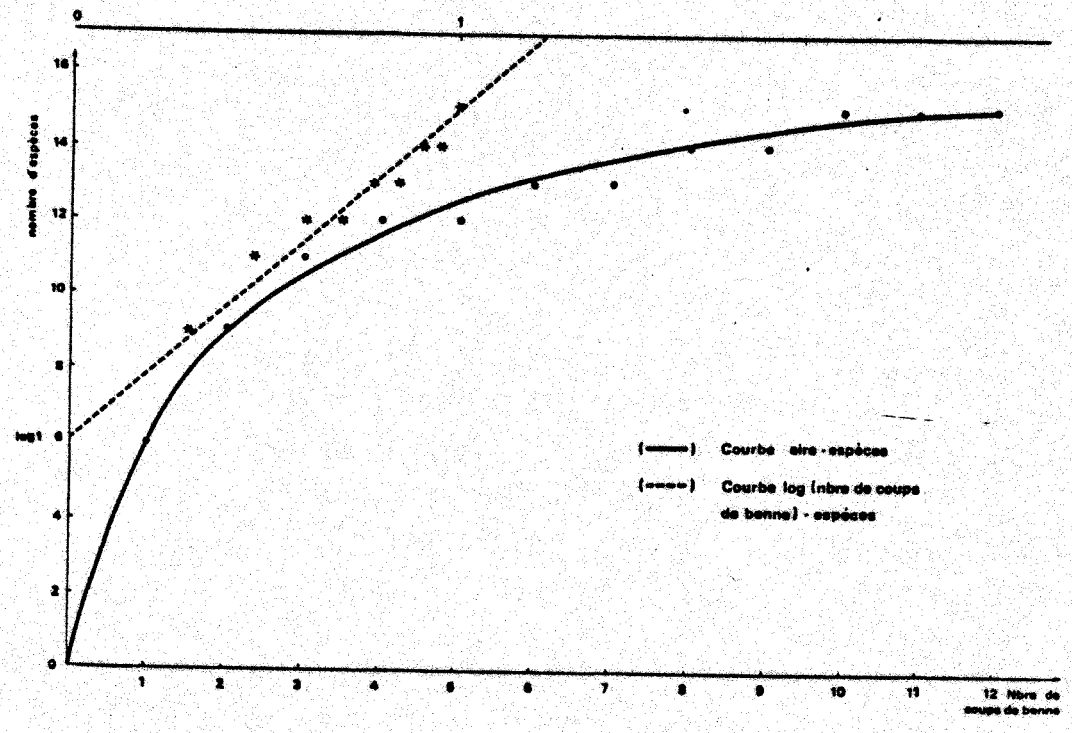
L'engin de prélèvements utilisé lors des études quantitatives est la benne SMITH-MAC INTYRE (1954) qui est l'un des engins les plus employés (DUCHENE, 1976 ; HILY, 1976 ; MENESGUEN, 1980) et des plus performants (LAMOTTE et BOURLIERE, 1971 ; DUCHENE, 1976). Cette benne permet des prélèvements de 0,1 m^2 sur une prodonfeur de 4,5 à 8,4 cm dans les sédiments meubles (MAC INTYRE et ELEFTHERIOU, 1968) où elle donne d'excellents résultats (HILY, 1976). On obtient ainsi des volumes de sédiment allant de 4,5 litres à 11,6 litres (BHAUD et DUCHENE, 1977). Cet engin permet également de travailler à des profondeurs relativement importantes et ne provoque qu'un balayage limité de l'épifaune vagile (DUCHENE, 1976). Les études menées sur la communauté des sables fins à moyens propres à Ophelia borealis (PRYGIEL, 1983) montrent que 10 prélèvements à la benne sont un bon compromis entre l'effort d'échantillonnage (nombre de coups à donner) et le nombre d'espèces suffisant pour décrire le peuplement (Fig. I.2). Le plateau observé à compter du 10ème coup n'est en effet qu'apparent comme le prouve un simple passage en valeurs logarithmiques.

I.1.4. Tamisage et conservation des échantillons

Après une estimation rapide du volume remonté, le sédiment est tamisé sur maille ronde de 1 mm. La totalité du refus de tamis est fixée à bord dans du formol à 8% additionné de rose bengale. Ce colorant organique permet un tri plus efficace au laboratoire.

Le choix de la maille est très important. De celui-ci dépendent les

Fig. I.2. : Courbes de détermination de l'aire minimale



valeurs de densité et de biomasse. MARE (1942) établissait la limite inférieure du macrobenthos à 1 mm. Celle-ci est désormais couramment admise (MASSE, 1972b ; ELKAIM, 1976 ; KIRKEGAARD, 1978b ; WITHERS et THORP, 1978) même si on relève dans la littérature des choix allant de 0,5 mm (ANGEL et ANGEL, 1967 ; MAC INTYRE et ELEFTHERIOU, 1968) ; 0,80 mm (HOLMES, 1949) ; 0,87 mm (GOVAERE et coll., 1980) ; 1,5 mm (HILY, 1976) ; 2 mm (MONBET, 1972 ; BACHELET, 1979 ; LOPEZ-COTELLO et coll., 1982) voire des mailles supérieures comme 2,2 mm (HOLMES, 1953).

En fait, le choix de la maille est fonction du type d'étude que l'on a à mener. Ainsi, étudiant les formes juvéniles de polychètes, GIBBS (1969) emploie un tamis de vide de maille de 250 µm et MATHIVAT et CAZAUX (1985), un tamis de 200 µm pour l'étude du recrutement de Nephtys hombergii. A l'inverse, dans le cadre d'études biosédimentaires (GUILLE, 1970 ; RETIERE, 1979) un tamis de 2 mm est utilisé.

On sait que la relation entre la maille du tamis et le pourcentage de rétention des espèces varie selon la méthode utilisée. REISH (1959) donne une efficacité de 29,7% pour une maille de 1 mm et 88,3% pour un

tamis de 0,5 mm. Plus récemment et avec les mêmes tamis BACHELET (1984) obtient pour les annélides d'un peuplement de sables fins envasés des pourcentages respectifs de 15,8 % et 52,8 %. Si on tient compte du fait que 70 % des Polychètes débutent leur vie comme membre de la méiofaune (THORSON, 1966), on se rend compte qu'un choix de tamis supérieur à 0,5 mm entraîne des erreurs de comptage non négligeables.

Nous ne discuterons pas du choix de la maille idéale ; celle-ci dépend du type d'étude menée mais aussi de la granulométrie du sédiment. Le meilleur choix demeure celui qui permet le maximum d'efficacité pour une durée minimale de tri.

Un autre point important est le choix de l'agent fixateur. Le formol est un agent couramment employé même si son action, en particulier sur les structures calcaires, peut se révéler désastreuse. D'après ELLIS (1960) et HOPKINS (1968) in LAMOTTE et BOURLIERE (1971), celui-ci peut occasionner des pertes de poids de 1 à 45 % selon le groupe d'invertébrés marins.

Le choix d'un autre fixateur comme l'alcool n'est pas non plus sans risque pour le matériel biologique (WIEDERHOLM et ERIKSSON, 1971) puisqu'il provoque une dissolution de matière organique d'environ 15 (STEIMLE, 1985) à 20 % variable selon les espèces (LAMOTTE et BOURLIERE, 1971). L'idéal serait d'utiliser un fixateur adapté à chaque groupe zoologique et des travaux ont été faits dans ce sens (FRANK, 1982). Pour notre part, après avoir choisi le formol, nous nous sommes fixés comme règle d'exploiter le plus rapidement le matériel biologique et d'éviter dans la mesure du possible tout stockage prolongé.

I.2. LE TRAVAIL EN MILIEU INTERTIDAL

Ces prélèvements sont toujours réalisés à marée descendante et débutent aussitôt la station découverte. Afin d'obtenir des données quantitatives, 20 prélèvements jointifs sont effectués à l'aide de carottiers en P.V.C. de 0,025 m^2 de section. A ce premier type de prélèvements s'ajoutent d'autres, qualitatifs, réalisés à la bêche. Ces derniers permettent d'obtenir un nombre d'individus suffisant pour l'étude spécifique.

Dans les deux cas, le tamisage des sédiments s'effectue dans des tamis du type DAVANT et SALVAT (1961) modifié GLACON de 1 mm de vide de maille. Les animaux sont ramenés vivants au laboratoire où, par une

fixation progressive, on évite un trop grand pourcentage d'autotomie avant les mesures à effectuer. Comme pour les prélèvements subtidaux, celles-ci se font le plus rapidement possible, le jour même quand cela est possible.

I.3. LE TRAVAIL AU LABORATOIRE

I.3.1. Analyses granulométriques

I.3.1.1. Traitement de l'échantillon granulométrique

Si le sédiment est riche en matières organiques, il s'avère nécessaire de formoler le prélèvement. Ce traitement permet d'une part d'éviter une décomposition d'animaux mais aussi de faire éclater d'éventuelles boulettes de vases que contiendraient les échantillons.

La deuxième étape du traitement consiste à passer le sédiment sous jet modéré d'eau douce sur un tamis de 50 µm. Cette opération permet de séparer la plus grande partie des pélites responsables de la formation d'une croûte lors du séchage. Celle-ci est séchée et pesée à part. Le sédiment est ensuite lavé plusieurs fois à l'eau douce, ce qui permet d'éliminer le sel. Après décantation, la plus grande partie de l'eau surnageant est siphonnée et les sédiments sont placés dans une étuve à 110°C pendant 24 heures. Ils sont ensuite passés sur une série de 18 tamis circulaires en toile métallique inoxydable et à mailles carrées. Dans cette série normalisée (AFNOR), les vides de maille se succèdent suivant une progression géométrique de base 1 et de raison $10^{1/10}$. Les largeurs de maille données en mm sont les suivantes : 5 ; 2 ; 1,6 ; 1,25 ; 1 ; 0,800 ; 0,630 ; 0,500 ; 0,400 ; 0,315 ; 0,250 ; 0,200 ; 0,160 ; 0,125 ; 0,100 ; 0,080 ; 0,063 ; 0,050.

Cet ensemble est fractionné en trois séries à l'intérieur desquelles les tamis sont placés successivement et par ordre de maille décroissante sur une tamiseuse ROTOLAB équipée d'une minuterie. Les temps de tamisage pour chacune de ces séries sont les suivants :

1ère série : vide de maille de 5 mm à 0,800 mm : 10 minutes

2ème série : vide de maille de 0,630 mmm à 0,200 mm : 20 minutes

3ème série : vide de maille de 0,160 mm à 0,050 mm : 20 minutes.

Les refus de tamis sont pesés au centième de gramme près sur un balance à mémoire Sartorius type 1507.

Les résultats sont exprimés en pourcentages puis classés en

catégories granulométriques. Il existe de nombreuses classifications (BUCHAMAN, 1984). Nous avons retenu celle de LARSONNEUR (1977) également utilisée par MONBET (1972) et RETIERE (1979) : celle-ci fixe en particulier la limite supérieure des vases à 0,050 mm.

Taille des particules (mm)		Catégorie granulométrique
0,05	(P)	Vases ou pélites
0,05 à 0,01	S1	Sablons fins
0,01 à 0,02	S2	Sablons
0,02 à 0,5	S3	Sables fins
0,5 à 1	S4	Sables moyens
1 à 2	S5	Sables grossiers
2 à 5	G1	Petits graviers
5 à 10	G2	Graviers moyens
10 à 20	G3	Graviers grossiers
20 à 50	C	Coquilles entières
	Cx	ou cailloux

I.3.1.2. Principes de l'analyse granulométrique

Les résultats peuvent être présentés sous forme d'histogrammes ou de courbes de fréquences cumulées.

- L'histogramme des fréquences pondérales est obtenu en portant en ordonnée le poids des refus de tamis exprimé en pourcentage. Il donne la classe modale.

- La courbe cumulative pondérale est obtenue en portant en ordonnée le pourcentage cumulé des résidus de tamis. On reporte en abscisse et en métrique logarithmique les diamètres des mailles des tamis qui correspondent à la taille des grains. Cette dernière courbe permet de définir les paramètres suivants :

- La médiane (Md) : dimension théorique du vide de maille permettant le passage des 50% pondéraux de l'échantillon.

- Les 1er et 3ème quartiles (Q1 et Q3) correspondant aux dimensions théoriques des vides de maille permettant respectivement le passage des 25 et 75% pondéraux.

- Le coefficient de dispersion défini par le rapport Q3/Q1.

- L'indice de Trask ou "sorting coefficient" (So) défini par :

$$So = \sqrt{Q3/Q1}$$

So croît avec le mauvais triage. On peut définir en fonction de sa valeur plusieurs types de sédiments :

1	< So <	1,5	Sédiment très bien classé (STBC)
1,5	< So <	2,5	Sédiment bien classé (SBC)
2,5	< So <	4	Sédiment faiblement classé (SFC)
4	< So		Sédiment très mal classé (STMC)

- La pente arithmétique (Ska) définie de la façon suivante :

$$Ska = \frac{Q3 + Q1}{2} - Md$$

Cette pente permet d'évaluer la symétrie de la distribution des différentes classes granulométriques. Une valeur positive indique que la moyenne des quartiles étant supérieure à la médiane, il y a dissymétrie vers les sédiments plus grossiers. Inversement, une valeur négative indique une dissymétrie vers des sédiments plus fins.

Ces coefficients ont été critiqués par FOLK (1974) in BUCHAMAN (1984) en particulier parce qu'ils n'étaient calculés qu'avec 50% de la courbe et que de ce fait, les queues de distribution étaient ignorées. Cet auteur propose donc des coefficients basés non plus sur 2 mais sur plusieurs percentiles, utilisant la totalité de la courbe. De tels coefficients ne s'avèrent pas nécessaires dans l'étude comparative où les sédiments sont homogènes et pratiquement dépourvus de fractions fines et grossières.

I.3.2. Analyse de la macrofaune

Le tri de la faune est effectué par la méthode d'agitation flottaison sur une toile de nylon 200 µ. Après trois examens successifs négatifs, on procède alors à un dernier tri direct afin de récolter les quelques animaux qui auraient échappé à la méthode d'agitation flottaison en raison de leur forte densité. Les animaux sont déterminés jusqu'au niveau spécifique à l'aide de divers ouvrages. La nomenclature utilisée est celle proposée par GLACON (1984). Les biomasses ont été estimées par la méthode des poids secs. Après avoir débarassé les organismes détritivores de leur contenu stomacal (Ophélidés, Echinocardium cordatum, etc...), les animaux sont passés dans une solution d'acide chlorhydrique à 10% pendant 24 à 48 heures jusqu'à disparition complète des structures calcaires. Dans le cas d'animaux tels que les mollusques, les échinodermes et les gros crustacés, cette opération peut être renouvelée

plusieurs fois de suite, ce qui est préférable à l'utilisation d'une solution très concentrée dès le départ (BACHELET, 1979). Après décalcification, les organismes sont rincés à l'eau distillée et essorés sur papier Joseph avant d'être passés à l'étuve à 110°C pendant 24 heures. Les pesées sont alors effectuées sur une balance Sartorius avec une précision de 1/10ième de mg. Cette méthode est employée par MAC INTYRE et ELEFTHERIOU (1968) et GUILLE (1971a), ainsi que par HILY (1976) et WITHERS (1977) qui préfèrent cependant une température de 60°C.

I.3.3. Délimitation des associations faunistiques

La délimitation des ensembles d'affinités faunistiques par la méthode employée fait partie des analyses générales. Celles-ci ne prennent pas en compte l'existence de relations à priori entre les échantillons. Ces méthodes visent à former des groupes.

Cette délimitation se fait en comparant deux à deux des stations à l'aide d'un indice de similarité ou de distance. Les données récoltées suivent 3 axes :

- les différentes variables (espèces)
- l'espace (stations)
- le temps (moments).

Ces 3 axes permettent de dégager 6 modes principaux d'analyses appelés modes O ; P ; Q ; R ; S ; T communément représentés par le bloc tridimentionnel de CATELL (1966) in LEGENDRE et LEGENDRE (1984b).

A partir d'un tableau de données d'observations espèces-stations, on calcule une matrice de ressemblance à l'aide de coefficients de similarité, de distance ou de dépendance. Celle-ci sera à la base des groupements. C'est le mode Q qui a été choisi dans ce travail. Il correspond au type d'analyses entre les stations pour l'ensemble des espèces au même moment (LEGENDRE et LEGENDRE, 1984b). Le choix de l'indice est alors primordial et dépend du type de données que l'on a à traiter. Dans le cas présent, nous ne traiterons que des données qualitatives.

I.3.3.1. Mesure de ressemblance

Le choix de l'indice qualitatif est fonction de la signification accordée au double zéro en tant que critère de ressemblance. DAGET (1976)

et LEGENDRE et LEGENDRE (1984b) préconisent l'emploi d'indices asymétriques (ne tenant pas compte de la double absence) pour les descripteurs d'abondance d'espèces. L'emploi du double zéro peut en effet conduire à des ressemblances abusives,en particulier dans le cas présent où la majorité des comparaisons d'espèces pour une paire de stations est du type double zéro.

Nous avons opté pour des indices asymétriques.;

Parmi les nombreuses métriques possibles (BLANC et coll., 1976 ; LEGENDRE et LEGENDRE, 1984b), nous avons retenu l'indice suivant :

□ Indice d'OCHIAI (1957)

L'indice d'Ochiai a pour formule :

$$Io = \frac{a}{\sqrt{(a + b)\ (a + c)}}$$

avec a : espèces communes à 2 prélèvements
b : espèces propres à la 1ère station
c : espèces propres à la 2ème station.

Io est la moyenne géométrique des rapports de a sur le nombre d'espèces de chacun des échantillons soit (a + b) et (a + c). Cet indice a été fréquemment employé dans le cadre des études benthos Manche (SOUPLET et DEWARUMEZ, 1980 ; PRYGIEL, 1983 ; BOURGAIN, 1984).

I.3.3.2. Le groupement

Il existe plusieurs façons de représenter un groupement. Parmi celles-ci, nous avons choisi la méthode du dendrogramme (DAGET, 1976 ; LEGENDRE et LEGENDRE, 1984b). Le dendrogramme est une représentation dans un espace à deux dimensions (observations et niveau de similitudes) de la matrice de similitude. La position des objets ne correspond pas à un classement dans la mesure où, au sein de chaque groupement, les sous-groupes peuvent être inversés. Le niveau de similitude entre deux

observations est calculé à partir de l'algorithme de formule :

$$d_{h,(i,j)} = \alpha d_{h,i} + \alpha\, d_{h,j} + \beta d_{i,j} \quad (2\alpha + \beta = 1)$$

avec : $d_{h,i}$ niveau de similitude entre les observations h et i

$d_{h,j}$ niveau de similitude entre les observations h et j

$d_{h,(i,j)}$ niveau de similitude entre l'observation h et le couple (i,j).

Parmi les différentes valeurs de α et β possibles, nous avons choisi celles proposées par LANCE et WILLIAMS (1967) et avons donc utilisé l'algorithme suivant :

$$d_{h,(i,j)} = 0{,}625\, d_{h,i} + 0{,}625\, d_{h,j} - 0{,}25\, d_{i,j}$$

I.3.4. Diversité - Régularité

Il existe de nombreux ouvrages traitant des indices de diversité (DAGET, 1976 ; LEGENDRE et LEGENDRE, 1984a). Parmi les indices utilisant la distribution réelle des individus, il semble que celui de SHANNON-WIENER (1948) issu de considérations théoriques sur la notion d'information soit le plus employé et peut être le plus utilisable (MENESGUEN, 1980). HEIP et ENGELS (1974) in DAUVIN (1979) concluent à la supériorité de deux indices dont celui de SHANNON-WIENER. Ce dernier a pour formule :

$$H' = - \sum_{i=1}^{s} pi \log_2 pi$$

avec pi = fréquence relative des différentes espèces

S = nombre d'espèces

H' s'exprime en bits et représente la quantité moyenne d'information.

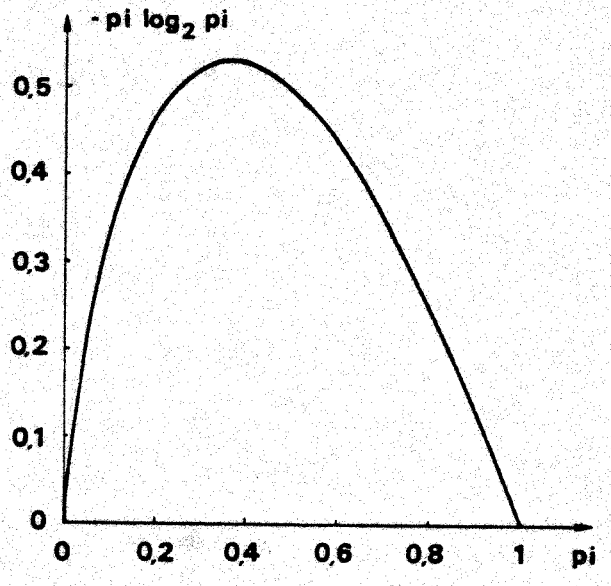
On applique généralement cet indice de diversité aux effectifs spécifiques mais le calcul peut également s'effectuer sur des biomasses, des productions (DAGET, 1976), des classes d'âge, des classes de taille, des groupes trophiques, des familles, des genres ; c'est-à-dire sur des entités jouant un rôle différent dans l'écosystème. Quand l'étude porte sur les biomasses, H' s'exprime de la façon suivante :

$$H'_b = - \sum_{i=1}^{s} \frac{bi}{B} \log_2 \frac{bi}{B}$$

où bi est la biomasse de l'espèce i et B la biomasse totale de l'échantillon. Cette application est justifiée car la biomasse représente alors la façon dont la masse totale de matière vivante est répartie entre les diverses niches dont chacune est concrétisée par l'espèce qui l'occupe (DAGET, 1976).

H' souffre cependant de plusieurs ambiguités inhérentes au concept de diversité (MENESGUEN, 1980). Tout d'abord, la valeur calculée de l'indice varie suivant la taille de l'échantillon (SANDERS, 1965 in MENESGUEN, 1980 ;). Selon PIELOU (1975) in FRONTIER (1985), on obtient toujours une estimation biaisée de H' de la communauté étudiée. Les espèces rares qui sont également les plus nombreuses sont responsables de cette large variation de la valeur de H'. Ainsi sur le graphe de la fonction $f(pi) = - pi \log_2 pi$ (Fig. I.3), on constate que la moitié et le quart de la contribution maximum sont atteints pour des valeurs respectives de pi de 0,0687 et 0,0249 (FRONTIER, 1983, 1985).

Fig. I.3 : Graphe de la fonction $f(pi) = -pi \log_2 pi$ (d'après FRONTIER, 1985)



Les diversités dépendent à la fois des fréquences relatives des espèces et du nombre de celles-ci qui varie d'un peuplement à l'autre.

Aussi les comparaisons se font-elles par l'intermédiaire de la régularité (quelquefois appelée équitabilité, DAGET, 1976) ou diversité relative (FRONTIER, 1983) qui peut se mesurer de la façon suivante (PIELOU, 1966 in LEGENDRE et LEGENDRE, 1984a) :

$$R = \frac{H'}{H'max} = \frac{\sum_{i=1}^{s} pi \log_2 pi}{\log_2 S}$$

où R est le rapport de la diversité mesurée sur la diversité maximale.

Cette notion de régularité est cependant contestée car N est supposé connu ce qui est rarement le cas (LEGENDRE et LEGENDRE, 1984a).

I.3.5. Diagrammes rangs-fréquences

"Un simple indice numérique, toujours possible à calculer, peut rarement permettre de juger de la justesse d'une analyse à une certaine échelle d'observation ou sur une collection d'animaux séparée en classes taxonimiques. Aussi une analyse plus précise est-elle nécessaire" (FRONTIER, 1985).

Les diagrammes Rangs-fréquences présentent l'avantage de donner une représentation synthétique plus détaillée du peuplement que le simple indice de diversité et de ne pas attacher autant d'importance aux espèces rares que l'indice de SHANNON-WIENER. Ils permettent par ailleurs d'interpréter l'évolution écologique du peuplement (FRONTIER, 1976).

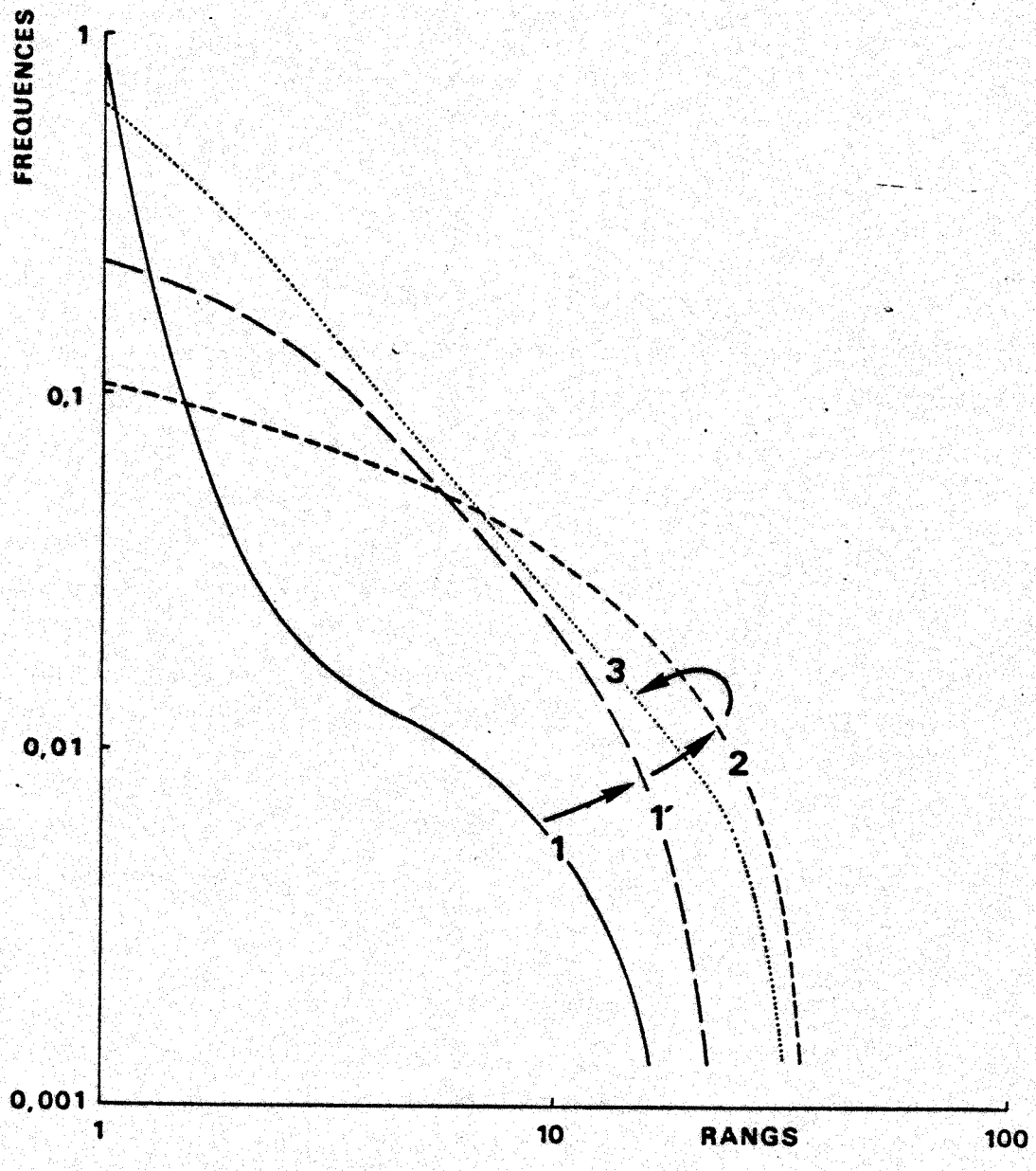
La courbe est obtenue en portant en abscisse les rangs des espèces par ordre d'abondance décroissante et en ordonnée les fréquences relatives ou absolues de la collection examinée. L'échelle est logarithmique ou semi-logarithmique.

Les courbes rangs-fréquences sont des états transitoires ou locaux avec une tendance vers une structure optimale atteinte en fin d'évolution à une certaine échelle d'espace (FRONTIER, 1976).

FRONTIER (1976, 1985) reconnaît 3 stades (Fig. I.4). Le stade 1 correspond à un début de succession et apparaît après une perturbation. Il correspond à une nouvelle colonisation après la perte d'une partie des espèces. La partie gauche de la courbe est de type S et s'explique par la dominance d'une ou deux espèces. La courbe devient alors convexe après une inflexion. On observe ensuite un chute rapide pour les espèces rares qui sont en fait des espèces mal échantillonnées. La diversité est faible. Au cours de la succession, la convexité gagne vers la gauche. Les

Fig. I.4: ALLURES DES DIAGRAMMES RANGS. FREQUENCES AU COURS D'UNE SUCCESSION ECOLOGIQUE DANS LE PLANCTON

(d'après FRONTIER, 1977)



stade 1 ; peuplement juvénile

stade 1' ; stade intermédiaire

stade 2 ; peuplement mature

stade 3 ; peuplement vieilli, ou changement d'échelle de la diversité ?

espèces fréquentes deviennent nombreuses et leur répartition est alors plus uniforme. La chute brutale des espèces rares demeure. H' augmente.

On arrive alors au stade 2 ou stade de maturité. La courbe devient entièrement convexe. Le nombre des espèces fréquentes augmente, celui des espèces rares diminue. H' atteint alors sa valeur maximale et est interprétée comme étant l'acquisition par l'écosystème d'une structure hiérarchique avec apparition d'espèces nouvelles s'intégrant au fur et à mesure de leur arrivée (FRONTIER, 1985).

Petit à petit, H' diminue. La courbe devient rectiligne par augmentation des espèces les plus abondantes du peuplement précédent. Celles-ci deviennent mal contrôlées et ont tendance à monopoliser l'espace comme en début de succession. La séparation de la courbe et de sa queue d'espèces rares devient plus apparente. Le stade 3 peut également correspondre à un changement d'échelle de la diversité

Ces 3 stades évoquent donc un vieillissement de l'écosystème qui aboutit à la gestion optimale de l'information en fonction des ressources limitées. La présence de paliers le long de la courbe peut indiquer un mélange de peuplements distincts mais peut également témoigner d'un mauvais échantillonnage ou encore de fluctuations aléatoires. Enfin signalons que, tout comme les indices de diversité, les diagrammes rangs-fréquences dépendent de l'échelle d'observation et des phénomènes saisonniers.

CHAPITRE II
DISTRIBUTION DES UNITES BIOSEDIMENTAIRES DE LA PARTIE FRANCAISE DE LA MER DU NORD

II.1. GENERALITES

La carte biosédimentaire que nous présentons est le fruit de nombreux travaux. Elle a été établie grâce à 365 stations de dragage, l'information apportée par 500 prélèvements et des observations en plongée. Afin d'étendre au large la description de SOUPLET et coll. (1980), un échantillonnage régulier de 79 stations (Annexe 2) espacées de 1,7 mille a été réalisé en 1985-1986 par trois d'entre nous (DAVOULT D., DEWARUMEZ J.M. et PRYGIEL J.). Un nouvel échantillonnage de certaines stations a permis de vérifier la stabilité spatiale des unités benthiques littorales malgré les différentes méthodes utilisées. La zone côtière (286 stations) a fait l'objet d'une analyse en composantes principales alors que la zone du large a été traitée par analyse hiérarchique (algorithme de LANCE et WILLIAMS).

La description des différentes unités repose sur la détermination de la macrofaune : endofaune et épifaune vagile et sessile.

II.2. RESULTATS

L'intensité des courants de marée est le principal facteur d'organisation et de distribution des peuplements. La forme en sablier du Détroit du Pas de Calais provoque une amplification de la vitesse du courant qui atteint au droit du Cap Gris-Nez une vitesse de 3 noeuds en vive-eau moyenne. Celui-ci décroît vers l'est et on enregistre une vitesse de 1,5 noeud à Dunkerque. Cette atténuation du courant entraîne un granuloclassement et permet l'installation d'un gradient biosédimentaire dont nous proposons ici de décrire les différentes composantes (Planche I).

II.2.1. Peuplement des cailloutis et graviers à épibiose sessile

Ce peuplement se situe surtout dans la partie ouest de la région étudiée, dans la zone la plus profonde et de plus forts courants.

Dans la partie ouest, le sédiment est composé de cailloux et de galets qui permettent l'installation d'une épifaune sessile où les Spongiaires (Haliclona oculata, Thethya aurantium), les Cnidaires

(Abietinaria abietina, Alcyonium digitatum, Hydrallmania falcata, Sertularia cupressina, S. argentea et Urticina felina) et les Bryozoaires (Alcyonidium raphanum et Flustra foliacea) sont dominants. Les formes vagiles sont principalement des décapodes (Pisidia longicornis, Galathea intermedia, Pilumnus hirtellus, Hyas coartatus, Macropodia rostrata). L'endofaune est réduite.

Dans la partie est du peuplement, l'augmentation de la proportion d'éléments plus fins permet l'installation d'une faune plus abondante et plus diversifiée : Echinocyamus pusillus, Laonice cirrata, Aonides oxycephala, Ophelia borealis, Notomastus latericeus. Au delà de 50 m, apparaissent à l'ouest des moulières à Modiolus modiolus dans lesquelles la bioturbation accroît la sédimentation et permet de retrouver quelques unes des espèces de la partie est. En zone plus côtière, des populations d'Ophiothrix fragilis s'organisent en bancs dont la densité estimée sur photographies peut atteindre 2 à 3000 individus/m^2.

II.2.2. Peuplement de l'hétérogène envasé

L'affaiblissement du courant vers la côte se traduit par un envasement qui permet l'installation du peuplement de l'hétérogène envasé. Ce peuplement est localisé en zone côtière au fond de dépressions entre les bancs de l'Out Ruytingen et du Dyck et entre le Dyck et la côte. Il se prolonge également dans le chenal ouest de Dunkerque. Le sédiment est composé de cailloutis, de graviers et de sables ; le taux de pélites peut atteindre 4%.

Le cortège faunistique est constitué de quelques Cnidaires (Halecium halecinum, Sertularia cupressina), Bryozoaires, Crustacés Décapodes (Pisidia longicornis, Galathea intermedia) et d'échinodermes (Asterias rubens, Ophiura texturata, Psammechinus miliaris). Les autres espèces à tendance vasicole ne se retrouvent pratiquement que dans ce peuplement : Sagartia troglodytes, Sthenelais boa, Owenia fusiformis, Cerianthus lloydii, Sabella penicillus, Abra alba, Mya truncata, Golfingia elongata. En raison du taux élevé de pélites, Ophiothrix fragilis disparait malgré la présence de matériel grossier.

II.2.3. Peuplement à Amphioxus lanceolatus

Il apparaît surtout au-delà du Sandettié et constitue quelques enclaves au sein du peuplement des cailloutis. Il est installé sur un

sédiment essentiellement d'origine biogène et constitué de graviers et de sables grossiers propres. Le cortège faunistique est réduit et constitué principalement d'Amphioxus lanceolatus, Spatangus purpureus, Echinocyamus pusillus, Ampelisca spinipes, Spisula ovalis, S. elliptica, Ophelia borealis, Nucula nucleus, N. hanleyi.

II.2.4. Peuplement à Ophelia borealis

Bordant le peuplement à Abra alba dans la partie ouest de la région, le peuplement à Ophelia borealis occupe les bancs des Ridens de Calais, du Haut Fond de Gravelines, du Dyck, de l'Out Ruytingen et du Sandettie. Il forme à l'est un vaste complexe qui recouvre cette région à l'exception des dépressions entre les bancs. Les sables fins à moyens représentent 60 à 90% en poids du sédiment. Ophelia borealis, Nephtys cirrosa, Bathyporeia elegans, B. guillamsoniana, Gastrosaccus spinifer, Magelona papillicornis, Nerine bonnieri, Spisula ovalis, Scoloplos armiger, Echinocardium cordatum, Spiophanes bombyx et Spio filicornis font partie des espèces les plus importantes. Une espèce typiquement intertidale Haustorius arenarius a été trouvée en quelques stations du sommet du Sandettié.

II.2.5. Peuplement à Abra alba

Le peuplement à Abra alba est situé le long des côtes à une profondeur maximale de 10 m. Le sédiment est composé de sables fins (75 à 80% du poids) et de vase (1 à 12%), les faciès les plus envasés se situant devant les ports et les estuaires. Abra alba, Tellina fabula, Lanice conchilega, Nephtys hombergii et Lagis koreni sont dominantes dans cette communauté. On trouve également Ophiura texturata, Mysella bidentata, Spisula subtruncata, Phyllodoce mucosa, Spiophanes bombyx, Eumida sanguinea et Owenia fusiformis qui jouent un rôle important dans l'organisation et le fonctionnement de ce peuplement.

II.2.6. Zone intertidale

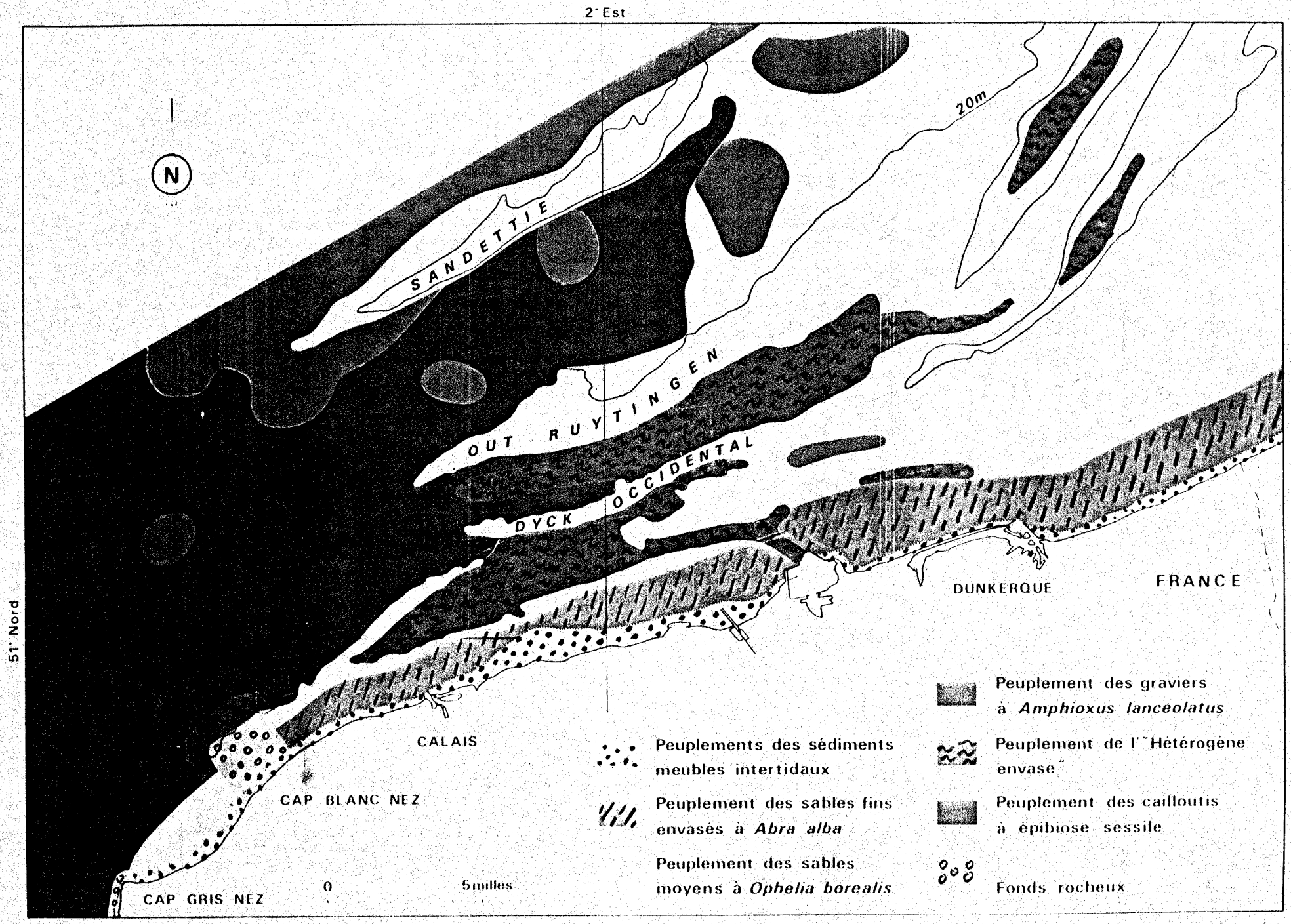
Les peuplement intertidaux ont été représentés globalement. Leur étude a été réalisée au cours des différents travaux (GREGOIRE, 1976 ; DAVOULT, 1983 ; MOGUEDET et CUISINET, 1983).

II.3. CONCLUSION

L'étude des peuplements macrozoobenthiques du sud de la Mer du Nord permet de mettre en évidence 5 unités biosédimentaires. Celles-ci se répartissent en fonction d'un gradient hydrodynamique Ouest-Est décroissant.

La transition entre le peuplement des cailloutis et le peuplement à Ophelia borealis peut se faire sans l'intermédiaire du peuplement à Amphioxus lanceolatus ainsi que l'ont montré des prélèvements réalisés sur les écotones.

La zone du large témoigne d'une stabilité remarquable à l'inverse de la zone côtière du fait des activités humaines (aménagements portuaires, rejets de dragages...). Cette instabilité affecte plus l'importance relative des espèces principales que la structure même des peuplements.


2° Est
51° Nord
N
SANDETTIE
OUT RUYTINGEN
DYCK OCCIDENTAL
20m
DUNKERQUE
FRANCE
CALAIS
CAP BLANC NEZ
CAP GRIS NEZ
0
5 milles
Peuplements des sédiments meubles intertidaux
Peuplement des sables fins envasés à *Abra alba*
Peuplement des sables moyens à *Ophelia borealis*
Peuplement des graviers à *Amphioxus lanceolatus*
Peuplement de l'"Hétérogène envasé"
Peuplement des cailloutis à épibiose sessile
Fonds rocheux

CHAPITRE III

ETUDE DES "BIOTOPES" A OPHELIA : SEDIMENTOLOGIE - HYDROBIOLOGIE

La situation géographique de chaque site d'étude ainsi que les références des stations de prélèvements ont été précisées dans le paragraphe I.1.1.2. Nous nous proposons dans ce chapitre, de donner les principales caractéristiques hydrographiques et granulométriques du milieu.

III.1. STRUCTURE DES BANCS

La morphologie de la Manche Orientale et de la Mer du Nord Occidentale se caractérise par une série de bancs sableux parallèles à la côte. Orientés respectivement SO-NE et OSO-ENE, ces bancs ont une même origine sédimentaire et sont composés de sables lithoclastiques fins (VASLET et coll., 1978 in DESSAINT, 1987).

Ces bancs montrent une nette dissymétrie. Ils présentent en Manche une pente plus forte vers la côte que vers le large (PRYGIEL, 1983). AUGRIS et CLABAUT (1985) les estiment respectivement à 3% et 1,5% sur le Vergoyer. L'utilisation du sonar latéral par ces mêmes auteurs a montré que le sommet et la pente la plus abrupte de ces bancs étaient dépourvus de figures sédimentaires à l'inverse de la face orientée vers le large. Ces figures sont réparties en 3 catégories :

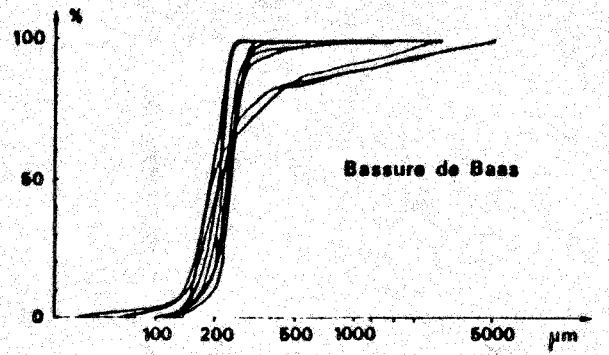
- Les rides de courant de longueur d'onde inférieure ou égale à 5 m qui caractérisent le pied des bancs.
- Les rides de courant de longueur d'onde de 10 à 15 m
- Les mégarides dont la longueur d'onde varie de 100 à 400 m et la hauteur de 2 à 10 m.

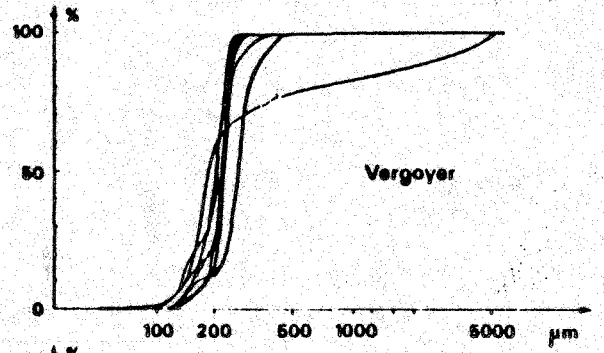
III.2. ETUDE GRANULOMETRIQUE

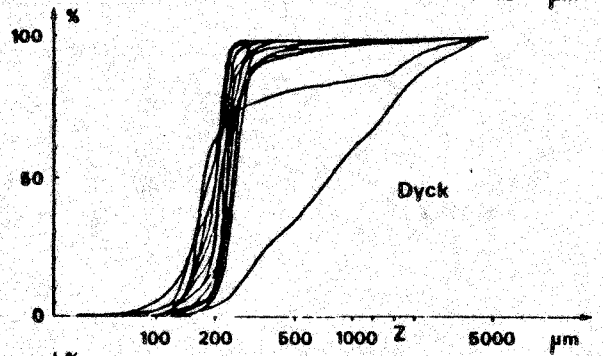
L'analyse granulométrique de la totalité des échantillons montre une grande homogénéïté des résultats. Les courbes cumulatives établies pour chacun des bancs (Fig. III.1) montrent qu'il existe, à une exception près (creux du Dyck), deux types de sédiments. Le premier correspond à la totalité des sommets, des pentes ainsi qu'à une partie des creux tandis que le deuxième regroupe certains creux qui présentent un enrichissement notable en particules grossières (Fig. III.1).

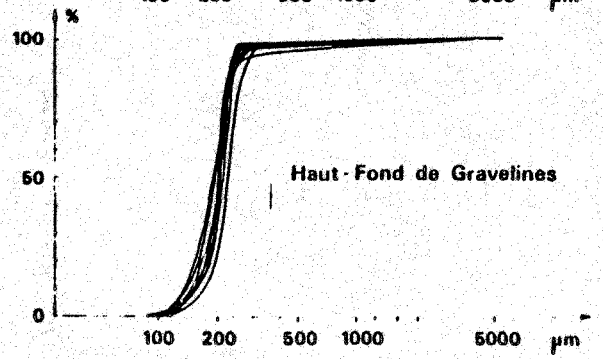
La médiane oscille entre 190 et 260 µm pour l'ensemble des sédiments

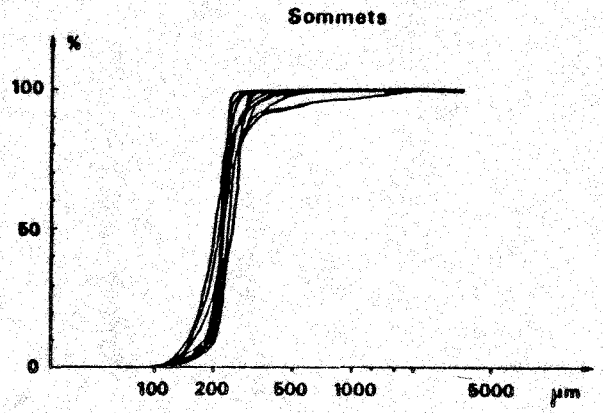
Fig. III.1 : COURBES GRANULOMETRIQUES ETABLIES PAR BANC ET PAR NIVEAU BATHYMETRIQUE

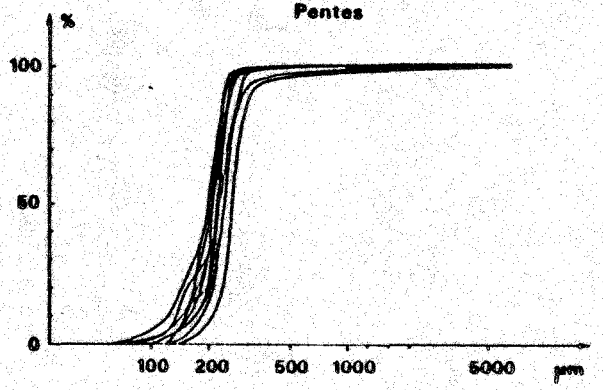












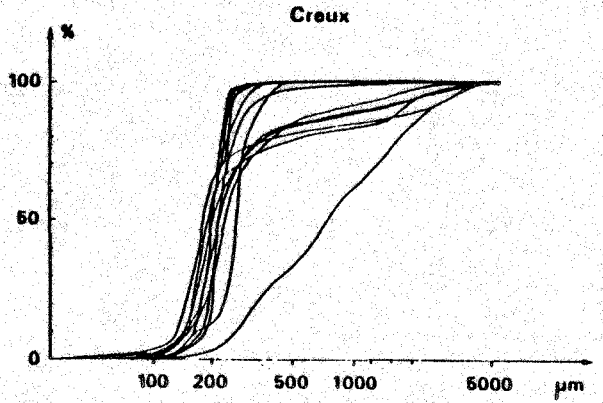


TABLEAU III.1 : VALEURS EXTREMES DES DIFFERENTS PARAMETRES GRANULOMETRIQUES PAR BANC ET PAR NIVEAU BATHYMETRIQUE

	Bassure de Baas			Vergoyer			Dyck			Gravelines
	Sommet	Pente	Creux	Sommet	Pente	Creux	Sommet	Pente	Creux	
Médiane (µm)	190-235	190-235	195-230	205-230	210-220	200-260	220-250	200-260	190-250	190-225
S_o	1,06-1,08	1,14-1,08	1,35	1,14-1,07	1,14-1,08	1,12-1,14	1,04-1,07	1,23-1,10	1,23-1,10	1,16-1,11
Sk_a	+ 2,5	+5 à -7,5	+37,5à-75	- 5	+2,5 à-15	-2,5 à-15	-2,5à+2,5	- 5 à 0	- 2,5 à 0	- 2,5 à 5
% max. Pélites	0	0,04	1,63	0,03	0,25	0,55	0,08	0,67	0,47	0,7

et se situe dans les sables fins (tableau III.1). L'amplitude des médianes est faible. Elle est de 35 µm pour le Haut-Fond de Gravelines, 50 µm pour la Bassure de Baas, 55 µ pour le Vergoyer et de 70 µm pour le Dyck. L'amplitude augmente sensiblement avec la profondeur passant de 40 µm pour le sommet à 70 µm pour les pentes et les creux.

Les taux de pélites sont extrêmement faibles et même nuls dans la majorité des cas quel que soit le niveau bathymétrique considéré (tableau III.1). Les taux les plus élevés sont cependant relevés sur les creux (1,63% sur la Bassure de Baas) où ils peuvent être accompagnés d'un enrichissement quelquefois important en particules comprises entre 250 et 2000 µm (sables moyens et grossiers, petits graviers).

Cet enrichissement s'observe dans la plupart des cas sur la Bassure de Baas et occasionnellement sur le Vergoyer et le Dyck. La médiane est alors voisine de 200 µ et quoique plus élevé (So = 1,48), l'indice de Trask montre que le sédiment est toujours très bien classé. Le taux de particules supérieures à 250 µm varie de 22,84 à 72,6% et celui des particules supérieures à 2 mm de 5,33 à 22,84%. Cette teneur élevée en particules grossières conduit à une augmentation brutale de la valeur de la pente arithmétique. Voisine de zéro dans la majorité des cas, elle peut atteindre + 72,5 (Vergoyer). La plus forte valeur a été relevée sur le Dyck et constitue un cas unique (Fig. III.1) : la médiane atteint 750 µm et le sédiment est bien classé (So = 2,02). Les taux de particules supérieures à 250 µm (97,3%) et 2 mn (22,66%) conduisent au calcul d'un $Sk_a = 215$.

III.3. HYDROLOGIE

III.3.1. Situation géographique

L'étude hydrobiologique présentée ici concerne, d'une part, la Manche Orientale et d'autre part, la Mer du Nord. La bathymétrie se caractérise par la présence de bancs sableux dont l'orientation générale est de Sud-Ouest - Nord-Est, sensiblement parallèle au trait de côte : ce travail porte sur les bancs de la Bassure de Baas, le Vergoyer, le Dyck et le Haut Fond de Gravelines (Fig. I.1).

La Bassure de Baas s'étend de la Baie d'Authie à Audresselles au Nord de Boulogne-sur-mer. Le creux du banc côté littoral est à environ 14 milles du niveau de la baie de l'Authie pour se retrouver à environ 2 milles de la côte à sa limite nord. Le banc du Vergoyer se situe plus au

large : sa limite sud est au droit de Berck-Plage (nord de la baie de l'Authie) et sa distance à la côte avoisine 18 milles, quant à sa limite Nord, elle se localise au niveau d'Hardelot-Plage à une distance du littoral d'environ 9 milles.

Quant aux bancs situés en Mer du Nord, respectivement le Haut-fond de Gravelines et le Dyck, ils se trouvent d'une part au droit de l'avant-port Ouest de Dunkerque, au large du chenal d'accès au port à environ 3,5 milles de la côte et d'autre part, le Dyck s'étend de Calais à la Belgique à environ 4,5 milles du littoral

III.3.2. Climatologie

La région côtière Nord-Pas-de-Calais bénéficie d'un climat océanique tempéré. Les masses d'eaux côtières présentent une faible inertie aux variations climatiques.

D'une manière générale, la température de l'air varie de façon sinusoïdale montrant un maximum en été (21° en juillet 84 et 20° en juillet 85) et un minimum en janvier-février (températures négatives en 1985). (données fournies par la station météorologique de Boulogne-sur-mer).

Nous retraçons rapidement l'évolution climatique au cours des différentes campagnes saisonnières.

- le printemps 1984 (mai 84) fut froid et très pluvieux puisqu'au mois de mai, la pluviosité a été excédentaire de 100 % par rapport à la normale.

- l'automne 1984 (novembre 84) se caractérise par une douceur thermique et une pluviosité normale [(notons que les mois précédents, septembre et octobre, étaient particulièrement pluvieux (excédent de 50 % en septembre et 23 % en octobre)].

- l'hiver 1985 (du mois d'avril au mois de juin) fut pluvieux (précipitations excédentaires) mais les températures étaient normales.

- Fin d'été 1985 (septembre et octobre) fut doux et sec notamment en octobre où les précipitations furent déficitaires (< 50 %).

- Hiver 1985 (décembre) : le mois de décembre se caractérise par une douceur thermique et des précipitations normales pour la saison.

III.3.3. Les apports d'eaux dessalées au milieu marin

Au cours d'une étude hydrologique, il ne faut pas négliger

l'existence d'apports continentaux. Ceux-ci peuvent entraîner des modifications d'ordre physico-chimique et par conséquence affecter certains paramètres tels que la salinité, la richesse en nutriments..., d'où un changement quantitatif et qualitatif des populations animales et végétales existant dans le milieu... Le littoral Mer du Nord considéré est caractérisé par la présence d'un certain nombre d'apports continentaux : les eaux de ruissellement, les résurgences de la nappe phréatique et l'Aa. Ce dernier est un fleuve côtier qui draîne les eaux d'une partie de l'arrière pays et débouche à Grand-Fort-Philippe. Son débit retrace l'évolution climatologique de la région. De manière identique, la zone Manche orientale étudiée présente aussi des apports telluriques avec principalement la présence de la Canche. C'est un fleuve côtier qui débouche à Etaples et dont le débit est régulier et important en relation avec l'étendue de son bassin versant.

Cours d'eau	Station	Bassin versant	Débit moyen annuel m^3/s
Aa	Wizernes	392	1982 = 10,74 réf (1964-1977) = 4,48
Canche	Brimeux	894	1982 = 15,52 réf (1962-1982) = 11,45

(in Bentley - 1985)

III.3.4. Hydrographie

Les données hydrographiques proviennent de l'"Annuaire des marées" et des "Courants de marée dans la Manche et sur les côtes françaises de l'Atlantique" (Service hydrographique de la marine).

III.3.4.1. Les marées

La Mer du Nord est trop exigüe, pour que l'attraction lunisolaire y exerce une influence marquante. La marée observée s'explique par l'action d'ondes dérivées provenant de l'Atlantique. Elle présente un caractère trinodal. On note un accroissement sensible des amplitudes dans le Pas-de-Calais provenant d'un phénomène d'interférences (R. Codde et L. de Keyser, 1967).

L'onde de marée est de type semi-diurne et montre une dissymétrie : le montant est plus court que le perdant d'environ deux heures.

III.3.4.2. Les courants

Les courants de marée sont alternatifs et parallèles à la côte. Le courant de flot, qui passe de la mi-marée montante à la mi-marée descendante, porte à l'Est - Nord-Est, tandis que le courant de jusant se dirige à l'Ouest - Sud-Ouest.

Les caractéristiques pour chaque site sont représentées sur le tableau ci-dessous.

Bassure	latitude longitude	50° 30' 7" N 1° 32' 2" E	N - S
Vergoyer	latitude longitude	50° 37' 8" N 1° 13' 0" E	NNE - SSW
Gravelines	latitude longitude	51° 03' 0" N 2° 08' 0" N	ENE - WSN

(in Prygiel - 1983)

Le courant général résiduel porte au Nord-Est, à raison de 2,7 milles par jour. Cependant, il faut souligner l'action possible des vents qui, lorsqu'ils soufflent de manière continue, peuvent parfois modifier le régime des courants en période de morte-eau.

III.3.5. MATERIEL ET METHODES

III.3.5.1. Présentation des campagnes

Les campagnes ont été assurées par le navire océanographique "SEPIA II". Les stations de prélèvements sont repérées à l'aide du "Navigator Decca".

Il avait été prévu une campagne hydrobiologique par site et par saison ; nous avons effectué un certain nombre de missions supplémentaires afin de pouvoir se rapprocher d'un cycle annuel notamment sur Gravelines (le Dyck et le Haut-fond de Gravelines) où les conditions météorologiques ont été plus favorables que sur le Vergoyer et la Bassure de Baas. Il faut préciser que ces campagnes intermédiaires ont été allégées puisque seul le sommet du banc a été échantillonné. Sinon, trois points sont échantillonnés : le creux du banc, la mi-pente et le sommet.

Calendrier des campagnes :

Lieu	Date	Stations échantillonnées			Coefficient marée	Heure de la P.M.
		creux	mi-pente	sommet		
Le Dyck	23.03.84	0	0	1	61	17h01
	19.04.84	0	0	1	91	15h09
Campagnes →	3.05.84	1	1	1	86	14h10
	2.10.84	0	0	1	39	18h13
saisonnières ↳	15.11.84	1	1	1	49	16h57
	12.12.84	0	0	1	73	15h12
Campagnes →	18.04.85	1	1	1	79	12h16
→	22.05.85	1	1	1	75	14h14
saisonnières →	11.09.85	1	1	1	50	10h20
	18.10.85	0	0	1	87	15h22
	10.12.85	0	0	1	89	11h06
Haut-Fond Gravelines	19.03.84	0	0	1	117	14h16
	19.04.84	0	0	1	91	15h09
	3.05.84	0	0	1	86	14h10
	2.10.84	0	0	1	39	18h13
	15.11.84	0	0	1	49	16h57
	18.04.85	0	0	1	79	12h16
	22.05.85	0	0	1	75	14h14
	11.09.85	0	0	1	50	10h20
	18.10.85	0	0	1	87	15h22
	10.12.85	0	0	1	89	11h06
Bassure de Baas	14.03.84	0	1	1	53	9h26
	11.04.84	0	0	1	49	7h44
Campagnes →	19.11.84	1	1	1	72	8h45
→	6.02.85	1	1	1	92	12h47
→	15.06.85	1	1	1	61	10h03
saisonnières →	17.10.85	1	1	1	103	13h56
Vergoyer	11.04.84	0	0	1	49	7h44
Campagnes →	19.11.84	1	1	1	72	8h45
→	6.02.85	1	1	1	92	12h47
→	15.06.85	1	1	1	61	10h03
saisonnières →	17.10.86	1	1	1	103	13h56

III.3.5.2. Méthodes

Les prélèvements d'eau ont été réalisés au-dessus du fond à l'aide d'une bouteille à clapet de type NISKIN (capacité 5 litres) descendue près du fond et déclenchée par l'envoi d'un messager. Les échantillons sont traités immédiatement après le prélèvement et analysés à la Station Marine de Wimereux.

III.3.5.2.1. La température

La température est lue sur un thermomètre à renversement protégé (Richter et Wiese) composé d'un thermomètre principal et d'un thermomètre auxiliaire dont les précisions respectives sont du 1/100ème et du 1/10ème de degré. Une correction est apportée à chaque lecture suivant les abaques correspondantes.

III.3.5.2.2. La turbidité

La turbidité de l'eau varie en fonction de la quantité de matières en suspension. Elle est mesurée par néphélométrie (turbidimètre modèle DRT 1000) et s'exprime en NTU.

III.3.5.2.3. La salinité

La salinité est mesurée à l'aide d'un salinomètre Beckman (modèle RS 7c) dont la précision est de l'ordre du 10 millième.

III.3.5.2.4. L'oxygène dissous

La quantité d'oxygène dissous est déterminée par la méthode de Winckler (P. Le Corre, P. Treguer, 1974). Le titrage est réalisé à l'aide d'un Dosimat E 535 associé à un titrator E 459. La précision est de 5.10^{-2} ml/l.

III.3.5.2.5. Les sels nutritifs dissous

L'ammoniac dissous

Les ions ammonium sont dosés suivant la méthode de Koroleff (1970) en spectrophotométrie (Beckman - modèle 24). (précision ± 0,12 µat.l^{-1}).

Les nitrites (NO_2^-)

La détermination des nitrites s'effectue selon la méthode mise au point par Bendschneider et Robinson sur l'analyser Technicon II. La précision de la mesure est de ± 0,02 µatg N-NO_2^-/l.

Les nitrates (NO_3^-)

La méthodologie nécessite une réduction des ions NO_3^- en ions NO_2^-. La concentration en nitrate est obtenue par différence. Ceci demande l'utilisation d'une colonne de cadmium. (précision ± 0,08 µatg/l sur autoanalyser Technicon II).

Les ions phosphates (PO_4^{3-})

Le dosage des ions PO_4^{3-} repose sur la réaction de DENIGES. Ils sont dosés sur autoanalyser Technicon II avec ± 0,01 µatg/l de précision.

Le silicium dissous (SiO_3^-)

La méthode décrite par Mullin et Riley s'applique pour le dosage des silicates. Nous avons utilisé l'autoanalyser Technicon II. (précision ± 0,01 µatg/l).

III.3.5.2.6. Les pigments photosynthétiques

La chlorophylle a

L'extraction de la chlorophylle a est réalisée par addition d'acétone ; elle est ensuite dosée par spectrophotométrie. La concentration est calculée suivant l'équation établie par Richards et Thompson (1952).

Nous avons également calculé le rapport :

$$\frac{e\ 430}{e\ 663}$$

qui selon Margaleff (1963), donne une évaluation de l'état physiologique des populations planctoniques.

Les Phéopigments

Les phéopigments sont photosynthétiquement inactifs et proviennent d'une altération de la chlorophylle, due aux organismes zooplanctoniques. La méthode de Lorenzen (1967) permet d'estimer la quantité de phéopigments présents dans l'extrait acidifié.

III.3.5.2.7. Le pH

Le pH est mesuré à bord aussitôt le prélèvement terminé (pH-mètre Knick).

III.3.5.2.8. Le carbone et l'azote particulaires

Principe

Le carbone et l'azote sont des éléments présents dans les cellules phytoplanctoniques. Leur dosage permet d'estimer une biomasse du fait de la faible variation de leurs taux respectifs d'une espèce à l'autre (par rapport au poids sec). L'échantillon à analyser est brûlé et sa combustion est facilitée par une injection d'oxygène pur. Une chromatographie en phase gazeuse permet la séparation de l'azote (N_2), du carbone (CO_2) et de la vapeur d'eau. On utilise l'hélium comme gaz vecteur. Une substance étalon permet de déterminer les quantités d'azote et de carbone présents dans l'échantillon.

Historique

Depuis 1960, la microanalyse élémentaire n'a cessé d'évoluer. Les premiers essais, réalisés par Pregl, concernaient le carbone et l'hydrogène. En 1950, Beicher et Ingram mettent au point une technique de combustion qui sera perfectionnée onze ans plus tard avec l'utilisation de l'oxygène pur. Les mesures de conductivité thermique des produits finaux ainsi que les techniques de séparation par chromatographie en phase gazeuse sont utilisées. Mais l'oxygène, en tant que gaz vecteur, modifie la phase stationnaire, ce qui n'est pas compatible avec le mode de séparation utilisé. En 1962, la combustion Dumas permet l'analyse de l'azote ; les produits finaux apparaissent ainsi :

$$N_2 - CO_2 - C_2H_2$$

Les premiers appareils sont commercialisés en 1963 : l'échantillon est brûlé au contact d'hélium enrichi à 31 % d'oxygène et les produits de combustion sont séparés par adsorption. On utilise le gel de silicate par l'eau tandis que la forme CO_2 est libérée par adsorption alcaline. Pour améliorer les résultats, le mélange gazeux et introduit dans un four d'oxydation, de réduction, puis dans la colonne de chromatographie : 3 pics sont enregistrés :

$$N_2 - CO_2 - H_2O.$$

Nous avons utilisé ce dispositif : Analyseur Carlo Erba, modèle 1106, avec automatisation de l'injection des échantillons et adjonction d'un intégrateur calculateur DELSI.

Méthode analytique

La filtration s'impose lorsque l'on veut travailler sur le phytoplancton naturel. Nous avons utilisé des filtres en fibre de verre de type Whatman GF/C. Ils sont préalablement passés au four à 300°C pendant 3 heures avant d'être prépesés (balance SARTORIUS mod. 2474) (selon Maestrini et coll.).

Les filtrations sont effectuées dès que possible au laboratoire, sous vide modéré. Les échantillons sont ensuite séchés à l'étuve à 45°C.

Puis vient l'analyse : l'ensemble du matériel doit être manipulé avec précaution afin d'éviter toute pollution. Chaque filtre est pesé (ce qui donne les teneurs en matières en suspension (MES), broyé et analysé.

Nous obtenons d'une part, le carbone total particulaire (CTP) et

l'azote total particulaire (NTP), et d'autre part, suite à une décarbonatation sous vapeurs d'acide chlorhydrique concentré nous aurons le carbone organique particulaire (COP) et l'azote organique particulaire (NOP).

III.4. RESULTATS - DISCUSSION

III.4.1. La température

Des travaux antérieurs ont montré que la température suit, au cours de l'année une courbe d'allure sinusoïdale analogue à celle de l'air (Quisthoudt, 1983).

Le Haut-Fond de Gravelines

Si l'on ne considère que les campagnes saisonnières, on s'aperçoit que lors de la première campagne printanière (3 mai 1984) le réchauffement de la masse d'eau a déjà bien commencé pour atteindre 9,79°C. La température continue à augmenter durant l'été (15,70°C en octobre) puis commence à diminuer en automne (12,82°C le 15 novembre 84) jusqu'à un minimum hivernal.

Au printemps suivant (18 avril 85) la température relevée était de 8,27°C puis de 10,63°C fin mai vers un maximum thermique estival de 16,78°C en septembre. Puis les températures commencent à rediminuer.

Le Dyck

Par comparaison avec le banc du Dyck, situé légèrement plus au large, on peut noter une légère variation thermique : en fin d'automne et hiver, les eaux côtières se refroidissent plus rapidement qu'au large du fait des échanges accrus, de l'influence continentale, de la faible profondeur... (12,82°C sur le Haut-Fond Gravelines et 13,00°C sur le Dyck) tandis qu'en été, la zone du large reste plus froide que la zone littorale [16,45°C sur le Dyck et 16,78°C sur le Haut-Fond de Gravelines (11/9/85)]. Bien sûr ce phénomène est beaucoup plus marqué entre eaux côtières et eaux du large proprement dites.

Les différences de température entre les différentes stations d'échantillonnage sur le banc sont limitées : maximum 34/100 de °C.

Date	Températures		
	creux	mi-pente	sommet
3 mai 84	9,57	9,49	9,46
15 novembre 85	13,00	-	12,99
18 avril 85	7,99	7,97	8,03
22 mai 85	10,50	10,16	10,50
11 septembre 85	16,47	16,45	16,46

La Bassure de Baas

L'évolution de la température suit un schéma identique à celui décrit précédemment. Les températures semblent du même ordre que celles obtenues en Mer du Nord :

- Novembre 84 : sommet : 12,99°C Dyck
  12,86°C Bassure de Baas
- Octobre 85 : sommet : 15,70°C Dyck
  16,02°C Bassure de Baas

Comme sur le Dyck, il n'est pas possible d'établir une différenciation thermique entre les stations selon la bathymétrie.

Date	Températures		
	creux	mi-pente	sommet
19 novembre 84	12,91	12,93	12,86
6 février 85	-	-	-
15 juin 85	12,70	12,96	13,02
17 octobre 85	16,00	16,02	16,02

Le Vergoyer

Ici encore nous avons le même schéma concernant l'évolution saisonnière. Il est aussi difficile de noter une différence significative entre stations :

Date	Températures		
	creux	mi-pente	sommet
19 novembre 84	13,60	13,55	13,57
6 février 85	-	-	-
15 juin 85	12,47	12,43	12,44
17 octobre 85	15,90	15,90	15,91

Le gradient thermique côte-large déjà décrit pour les bancs situés en Mer du Nord existe aussi entre le Vergoyer et la Bassure de Baas : en automne (novembre) les eaux sont plus froides près de la côte (environ 12,90°C sur la Bassure de Baas et > 13,50°C sur le Vergoyer), tandis que, en octobre la température des eaux côtières est sensiblement plus élevée (environ 16,00°C contre 15,90°C au large).

III.4.2. La salinité

La salinité est un paramètre conservatif dans le milieu marin. Les eaux côtières présentent, en règle générale, une salinité inférieure par rapport aux eaux du large. Elles sont plus sensibles vis-à-vis des apports telluriques ce qui explique les dessalures observées à certaines époques de l'année.

Le Haut-Fond de Gravelines

Au cours des campagnes saisonnières effectuées, on relève une salinité toujours inférieure à 34°/$_{oo}$:

15 novembre 84 : 33,942
18 avril 85 : 33,690
22 mai 85 : 33,890
11 septembre 85 : 33,850

Ce qui est caractéristique d'une masse d'eau côtière influencée par le continent (présence de l'Aa).

Ces résultats montrent une légère diminution de la salinité au mois d'avril (33,69°/$_{oo}$) provoquée sans doute par une pluviosité excédentaire qui engendre une augmentation du débit des cours d'eau (Aa).

Néanmoins, l'étude nous a permis de relever des valeurs supérieures à 34°/$_{oo}$:

2 octobre 84 : 34,258
10 octobre 85 : 34,400
10 décembre 85 : 34,170

Ces périodes étaient, météorologiquement parlant, sèches surtout le mois d'octobre 85 qui fut déficitaire d'environ 50 %.

Le Dyck

Le Dyck n'est pas assez éloigné de la côte pour ne plus subir l'influence du continent ; aussi nous avons relevé des salinités comprises entre 33,60°/$_{oo}$ et 34,20°/$_{oo}$. Les variations saisonnières sont du même type que celles observées précédemment.

L'étude de la salinité au niveau de la structure même du banc (sommet, mi-pente et creux) montre la présence de veines d'eau, de nature différente, parallèles entre elles : en effet, on observe une variation de la salinité d'un point à l'autre signifiant l'existence de masses d'eau différentes. Ce phénomène engendre donc des variations de la densité. Ceci est probablement dû à des modifications courantologiques.

La Bassure de Baas

Au niveau de ce banc, aucune salinité inférieure à 34°/$_{oo}$ n'a été relevée. Sa situation géographique est décalée vers le large par rapport aux bancs étudiés en Mer du Nord. Ainsi, l'influence terrestre est déjà très atténuée malgré la présence de la Canche.

Le même phénomène que précédemment est observé : des différences de salinité s'observent au sein d'un même banc.

Le Vergoyer

Le Vergoyer est situé au large et les valeurs de salinité relevées sont tout à fait caractéristiques d'une masse d'eau du large soumise au passage des eaux atlantiques qui transitent à travers le détroit du Pas-de-Calais vers la Mer du Nord. En effet, tous les résultats sont supérieurs à 34,4°/$_{oo}$ et ont tendance à se rapprocher de 35,0°/$_{oo}$.

Date	Salinité °/$_{oo}$		
	creux	mi-pente	sommet
19 novembre 84	35,004	34,847	34,883
6 février 85	34,712	34,957	34,956
15 juin 85	34,420	34,660	34,420
17 octobre 85	34,420	34,420	34,540

Ici aussi, on peut mettre en évidence le passage de veines d'eau d'origine différente (variations de salinité entre les points de prélèvements).

III.4.3. La turbidité - la transparence de l'eau - les teneurs en MES

Les diverses observations montrent que la transparence de l'eau (profondeur de disparition du disque de secchi) augmente lorsque l'on va vers le large ; inversement la turbidité diminue. La transparence de l'eau est donc directement liée à la teneur en matières en suspension. Les eaux côtières sont caractérisées par un brassage plus important, une

activité biologique intense et sont sensibles aux apports terrestres. Nous avons aussi remarqué, au cours d'études antérieures (Quisthoudt, 1983) que turbidité et teneurs en MES ont tendance à augmenter avec le coefficient de marée.

Il faut souligner que les profils de turbidité, transparence de l'eau et MES sont différents au niveau d'un banc sableux, donc subissent des phénomènes de remise en suspension des particules (turbulences accrues dues à une modification courantologique...).

L'analyse des résultats obtenus montre que les valeurs de turbidité sont les plus élevées sur le Haut-Fond de Gravelines puis viennent le Dyck, la Bassure de Baas et le Vergoyer ; ceci concorde avec le gradient côte-large décrit précédemment :

novembre 1984 : Haut-Fond de Gravelines : 31 NTU
mi-pente Dyck : 5,30 NTU
mi-pente Bassure de Baas : 0,30 NTU
mi-pente Vergoyer : 0,20 NTU

Il est difficile d'établir un lien entre l'évolution de ces paramètres et les variations saisonnières, ils varient suivant la masse d'eau et sont très sensibles aux courants de marée, aux conditions météorologiques (état de la mer), aux apports terrestres...Souvent, les valeurs les plus élevées sont recueillies pendant la période hivernale (Quisthoudt, 1983) du fait des précipitations accrues augmentant le débit des fleuves, des tempêtes plus nombreuses provoquant une remise en suspension des particules benthiques..

Au cours de cette étude, les valeurs maximales sont relevées en

octobre 1985 : Haut-Fond de Gravelines : 4,3 NTU (?)
Dyck : 12 NTU
Bassure de Baas : 8,3 NTU
Vergoyer : 5 NTU

III.4.4. Le pH

Le milieu marin possède un fort pouvoir tampon ce qui limite ainsi les grandes variations du pH qui pouvaient se produire notamment en milieu côtier où les rejets urbains sont susceptibles de modifier ce paramètre.

En Mer du Nord, nous mettons en évidence un gradient de pH positif

entre la côte et le large. Ce phénomène est compréhensible vu l'importance des rejets urbains qui tendent à déplacer l'équilibre des bicarbonates (responsables de l'effet tampon de l'eau de mer). (Haut-Fond de Gravelines : 7,95 < pH < 8,50. Dyck : 8,01 < pH < 8,88). Le pH a tendance à augmenter avec la reprise de l'activité biologique printanière.

Sur les bancs situés en Manche Orientale, il est plus difficile de mettre en évidence ce gradient côte-large mais ceci provient du fait que la Bassure de Baas se trouve déjà dans une zone du large et subit les influences terrestres de façon atténuée. (Bassure de Baas : 7,72 < pH < 8,16. Vergoyer : 7,94 < pH < 8,14). Néanmoins, l'augmentation printanière est bien marquée sur les deux bancs.

Date	Creux		mi-pente		sommet	
Novembre 84	8,05(BB)	8,00(V)	8,04(BB)	8,02 (V)	8,04(BB)	7,93(V)
Février 85	7,72	7,94	7,91	8,02	7,88	7,97
Juin 85	8,14	8,14	8,17	8,12	8,13	8,13
Octobre 85	8,14	8,14	8,16	8,13	8,15	8,07

BB : Bassure de Baas
V : Vergoyer

III.4.5. L'oxygène dissous

L'oxygène est un facteur biologique important puisqu'il intervient lors des processus de photosynthèse. Le taux d'oxygène dissous dans le milieu marin dépend de certains paramètres tels que l'état de la mer, les échanges avec l'atmosphère, l'activité biologique...

Les travaux antérieurs (Quisthoudt, 1983 ; Quisthoudt, 1987) ont montré que sur le site de Gravelines, le milieu marin est bien oxygéné. Les résultats obtenus sur le Haut-Fond de Gravelines et le Dyck sont proches, il n'y a pas de différence significative entre les deux sites. Par contre, nous mettons en évidence des fluctuations saisonnières importantes : la concentration en oxygène dissous augmente considérablement au printemps lors des poussées phytoplanctoniques, c'est-à-dire, au moment où la photosynthèse est maximale :

Dyck (sommet)

Octobre 84 5,18 ml O_2/l
Novembre 84 5,53
Avril 85 7,53 ←
Mai 85 5,74

Septembre 85 5,02

Octobre 85 5,10

Décembre 85 5,51

En ce qui concerne les bancs situés au sud de Boulogne, on peut considérer que l'oxygénation est bonne sur les deux sites. L'absence de prélèvements lors des poussées végétales printanières ne permet pas de montrer une augmentation aussi nette que précédemment. Nous observons un maximum en février (période de vents forts).

III.4.6. Les sels nutritifs dissous

La présence des sels nutritifs dissous est liée, principalement, aux cycles biologiques. Lors du développement du phytoplancton, on note la diminution du stock des éléments nutritifs. Inversement, pendant la période hivernale le stock de nutriments est reconstitué par dégradation bactérienne des organismes morts et des déchets.

D'autre part, les fortes teneurs rencontrées en zone côtière proviennent des apports telluriques (rejets urbains, industriels, lessivage des sols...).

Sur le Haut-fond de Gravelines, l'ensemble des sels nutritifs dissous (NH_4^+, NO_3^-, NO_2^-, PO_4^{3-}, SiO_3^-) est en plus grande quantité que sur le Dyck en hiver (15.11.84). Cette observation concorde avec le fait que les apports terrestres enrichis en polluants industriels, urbains et agricoles contribuent à l'enrichissement de la zone littorale. De plus, le recyclage semble plus intense à la côte et les remises en suspension à partir du fond sont aussi importantes. Au printemps, les concentrations sont épuisées, tandis que les populations planctoniques se développent au détriment du stock des sels nutritifs. Puis, ce pool de nutriments se reconstitue peu à peu pour être de nouveau plus faible lors du bloom automnal (septembre).

Sur le Dyck, le schéma saisonnier est le même et les concentrations sont, en règle générale, moins élevées que précédemment mais caractéristiques d'une région eutrophe. Il faut souligner que lors des poussées planctoniques (printanières et automnales) les teneurs en nutriments sont légèrement supérieures mais cela provient du fait que la biomasse phytoplanctonique (Chla) est plus faible que sur le Haut-Fond de Gravelines ce qui engendre une consommation moindre.

Si l'on compare les trois stations (creux - mi-pente - sommet)

effectuées sur le banc, il semblerait que en dehors des blooms planctoniques : hiver (novembre), été (mai), la station "creux" (la plus "côtière") soit la plus riche, suivie de la station "mi-pente" puis "sommet" ce qui concorde avec le gradient côte-large déjà décrit.

Les concentrations en sels dissous relevées à la Bassure de Baas semblent fluctuer suivant un ordre de grandeur proche des valeurs obtenues à Gravelines. Pendant la période étudiée les maximums ont été relevés en novembre (début de l'hiver) puis les valeurs décroissent en février [début de la reprise de l'activité biologique (valeurs de chlorophylle en augmentation)] et sont minimales au printemps et réaugmentent en automne. Le gradient côte-large mis en évidence à Gravelines n'est pas observé ici.

Le banc du Vergoyer, se situe géographiquement le plus au large. Ceci a une conséquence directe sur sa richesse en nutriments : au cours des périodes où le recyclage est important (novembre-février) on s'aperçoit que les concentrations en sels nutritifs sont moindres notamment en ce qui concerne les nitrates, l'ammoniaque, les phosphates et les silicates (novembre).

Tandis qu'aux mois de juin et octobre, les valeurs obtenues sont plus proches.

(Novembre 84)

Sels nutritifs Site	NH_4^+ $\mu atg.l^{-1}$	NO_2^- $\mu atg.l^{-1}$	NO_3^- $\mu atg.l^{-1}$	SiO_3^- $\mu atg.l^{-1}$	PO_4^{3-} $\mu atg.l^{-1}$
Haut-Fond Gravelines	3,16	0,52	14,20	10,00	1,20
Dyck (creux)	1,79	0,40	11,90	7,90	0,95
Bassure Baas (creux)	0,31	0,34	11,20	6,50	0,99
Vergoyer (creux)		0,31	2,40	2,70	0,37

Ce qui signifie que l'influence continentale (Canche...) est fortement atténuée. Les variations saisonnières sont identiques aux autres sites. Il n'y a pas le gradient côte-large observé en Mer du Nord. Mais il existe parfois des variations importantes entre les différentes stations situées sur le banc.

III.4.7. Les pigments photosynthétiques

Les teneurs en chlorophylle a permettent de déterminer la quantité de phytoplancton présent dans les eaux. Les phéopigments représentent un produit de dégradation de la chlorophylle et par conséquent retracent la senescence de la population.

Selon Margaleff, l'indice pigmentaire varie suivant l'état physiologique des populations phytoplanctoniques. Il varie au cours de l'année mais n'est pas caractéristique d'une masse d'eau.

Le Haut-Fond de Gravelines présente des concentrations en chlorophylle a, relativement élevées au mois de novembre 84 (campagne saisonnière - 6,69 $mg.m^{-3}$) significatives d'un bloom automnal tardif.

Le maximum est obtenu au printemps (11,54 $mg.m^{-3}$) puis les valeurs diminuent progressivement (4,96 $mg.m^{-3}$ en mai).

Un deuxième bloom a lieu en automne (8,95 $mg.m^{-3}$ en octobre 85).

Ces variations saisonnières sont liées avec d'autres paramètres :

- température
- oxygène dissous
- pH
- sels nutritifs dissous

Les phéopigments tendent à évaluer de façon inverse.

Sur le Dyck le bloom automnal n'a pas eu lieu au même moment que sur le Haut-Fond de Gravelines (environ 1,38 $mg.m^{-3}$ de Chla). Les valeurs sont déjà de l'ordre de celles trouvées en hiver (1,14 $mg.m^{-3}$ Dyck sommet décembre 85). Au printemps, les concentrations chlorophylliennes sont légèrement inférieures par rapport à celles relevées à la côte. Par contre, en mai la consommation par les herbivores est moins importante puisque les teneurs sont plus élevées sur le Dyck. Celles-ci deviennent à nouveau inférieures en septembre. On observe de petites variations entre les trois stations échantillonnées mais sans grande importance.

Les valeurs relevées à la Bassure de Baas en novembre (84) sont similaires à celles du Dyck. En février, elles ont tendance à augmenter légèrement jusqu'à un maximum printanier. Il n'y a pas eu de campagne saisonnière au moment du bloom mais voici des valeurs obtenues en 1984 :

Avril 1984 :

Haut-Fond de Gravelines : Chla = 15,65 $mg.m^{-3}$

Dyck sommet : Chla = 12,84 $mg.m^{-3}$

Bassure de Baas : Chla = 11,66 $mg.m^{-3}$

Vergoyer : Chla = 6,38 $mg.m^{-3}$

Elles montrent l'existence d'un gradient décroissant : Haut-Fond de Gravelines, Dyck, Bassure de Baas, Vergoyer. Il faut souligner que Bassure de Baas et Dyck ont des valeurs très proches.

Au mois de juin, les teneurs sont faibles et réaugmentent en octobre. Le bloom automnal ne semble pas se produire au même moment partout ; on n'a pas la même ampleur.

Octobre 1985 :

Haut-Fond de Gravelines : Chla = 8,95 $mg.m^{-3}$

Dyck : Chla = 10,80 $mg.m^{-3}$

Bassure de Baas : Chla = 4,16 $mg.m^{-3}$

Vergoyer : Chla = 4,56 $mg.m^{-3}$

Néanmoins, on observe encore un gradient décroissant : Mer du Nord - Manche Orientale.

Comme sur le Dyck, les variations spatiales au sein du banc ne sont pas très importantes.

Sur le banc du Vergoyer, la biomasse phytoplantonique est plus faible. On observe le même schéma saisonnier et des variations spatiales au sein du banc, identiques aux observations déjà décrites. Cette richesse moindre est due aux caractéristiques hydrologiques spécifiques aux eaux du large, où l'influence terrestre est fortement atténuée.

III.4.8. Le carbone et l'azote particulaire

La matière organique joue un rôle important dans le milieu marin. Elle existe soit sous forme vivante, soit sous forme inerte ; cette dernière forme n'est pas à négliger puisqu'elle peut jouer un rôle de transport, de transfert de polluants, nutritif...

Son origine peut être diverse : apports terrestres, rejets domestiques, fragments d'organismes, boulettes fécales...

Quant à sa distribution, elle dépend de nombreux facteurs tels que, la distance par rapport à la côte, l'influence de la marée, la faible profondeur, la teneur en sels nutritifs et leur renouvellement...

Les teneurs en carbone particulaire ont tendance à être supérieures à la côte ; nos résultats montrent des concentrations plus élevées à Gravelines (Dyck et Haut-Fond de Gravelines) qui diminuent sur la Bassure de Baas et le Vergoyer. Novembre 1984 :

	Haut-Fond de Gravelines	Dyck	Bassure de Baas	Vergoyer
CTP (µg/l)	507,43	596,42	157,95	134,09
COP/Chla	-	263,18	106,00	222,74

D'un point de vue variations saisonnières, le rapport COP/Chl semble élevé durant la période hivernale, des valeurs plus faibles sont relevées au printemps et en été. Alors que le phytoplancton est peu abondant durant l'hiver, les rapports COP/Chl sont importants, l'intervention du carbone chlorophyllien est négligeable. La fraction particulaire est constituée de débris organiques. Néanmoins, nous observons des variations différentes d'un site à l'autre, il est donc difficile d'interpréter ces phénomènes. En général, le carbone augmente au printemps, parallèlement au développement des populations planctoniques.

Les rapports C/N évoluent au cours de l'année et retracent ainsi l'évolution de la matière organique. En général, C/N est maximum durant la période hivernale et diminue au printemps. Il existe des rapports théoriques permettant d'estimer la nature de la fraction particulaire :

$\frac{C}{N} \approx 4$ bactéries et zooplancton

$\frac{C}{N} \approx 5,6$ phytoplancton

$\frac{C}{N} > 10$ matière organique inerte

	Haut-Fond de Gravelines	Dyck	Bassure de Baas	Vergoyer
C/N hiver	-	36,41	-	26,07
C/N printemps	7,76	8,20	9,62	19,76
C/N été	9,40	7,60	12,84	12,88

Nos résultats confirment le maximum hivernal, caractéristique de la présence de débris organiques en grande quantité. L'ensemble des valeurs est plus faible durant la période estivale mais reste néanmoins élevé.

Nous observons aussi des variations au sein d'un même banc, difficilement interprétables étant donné la faible quantité de données

que nous disposons.

III.5. CONCLUSION

Cette étude hydrobiologique, effectuée par saison nous permet de classer les quatre bancs étudiés suivant les paramètres physicochimiques ou biologiques analysés.

On différencie d'une part :

- une zone côtière, directement soumise aux influences continentales : industrialisation et développement urbain provoquent l'apparition d'un milieu eutrophe, riche en matière particulaire. Le Haut-Fond de Gravelines se situe dans cette zone.

- une zone "intermédiaire" qui intéresse le Dyck et la Bassure de Baas pour certains paramètres. C'est une zone eutrophe, mais moins sensible vis-à-vis du continent (salinité supérieure, concentration en nutriments moindre...).

- une zone "du large" où l'influence continentale est très atténuée : salinité proche de $35^{\circ}/_{oo}$, pauvreté relative en sels nutritifs dissous, faible biomasse phytoplanctonique : le banc du Vergoyer présente ces caractéristiques.

CHAPITRE IV
ETUDE DE DIFFERENTS PEUPLEMENTS DE LA COMMUNAUTE A OPHELIA BOREALIS

IV.1. ETUDE FAUNISTIQUE

Les précisions, les densités et les biomasses moyennes ont été calulées sur une période de un an en ne tenant compte que des prélèvements effectués entre novembre 1984 et octobre 1985.

IV.1.1. Précision des mesures

IV.1.1.1. Méthode

Il est intéressant de connaître les précisions des densités et des biomasses liées à 10 prélèvements quantitatifs. Nous avons utilisé l'algorithme de ELLIOTT (1971) [(in ELLIOTT et DESCAMPS (1973)] de formule :

$$n = \frac{S^2}{D^2 \ \bar{x}^2}$$

n : nombre de prélèvements quantitatifs à effectuer

S^2 : Variance de la grandeur considérée

D : erreur standard ou précision (PLANTE et LE LOEUFF, 1983) exprimée en pourcentage.

$\bar{x}$: valeur moyenne de la variable.

IV.1.1.2. Résultats

IV.1.1.2.1. Données numériques

La précision globale moyenne est de 13,7% pour la Bassure de Baas, 14,1% pour le Vergoyer, 13,2% pour le Dyck et 14% pour Gravelines. Ces valeurs sont tout à fait satisfaisantes puisque la plupart des chercheurs se contentent d'une précision de l'ordre de 20 à 25% quand il s'agit d'étudier l'aspect global du peuplement (PLANTE et LE LOEUFF, 1983).

Cette précision est indépendante de la bathymétrie et de la saison de prélèvements (12%, 16%, 12% et 14% pour l'automne, l'hiver, le printemps et l'été.

Les annélides présentent la meilleure précision annuelle (16,2% et 13,8% sur la Bassure de Baas et le Vergoyer) suivis des amphipodes (32,1% et 35,6% sur ces mêmes bancs). Pour les autres groupes (mollusques, décapodes, échinodermes...), les précisions varient en fonction des effectifs et peuvent atteindre 60%.

IV.1.1.2.2. Données pondérales

Calculée sur les bancs de la Bassure de Baas et de Gravelines, la précision varie de 14,7 (été) à 32,5% (hiver) avec une moyenne annuelle d'environ 20%. Sensiblement égale pour les annélides (29%) et les amphipodes (31%), la précision augmente notablement chez les groupes où surviennent de rares mais gros individus.

IV.1.2. Généralités

L'ensemble des prélèvements effectués sur chaque banc et à chaque niveau bathymétrique a permis de recenser 133 taxons d'endofaune et d'épifaune vagile (annexe 2) répartis de la façon suivante :

Annélides : 47 espèces
- errantes : 23
- sédentaires : 24

Mollusques : 17 espèces
- Gastéropodes : 1
- Lamellibranches : 16

Crustacés : 60 espèces
- Mysidacés : 5
- Cumacés : 7
- Tanaidacés : 1
- Isopodes : 4
- Amphipodes : 26
- Décapodes : 17

Echinodermes : 8 espèces

Cordés : 1 espèce

Ce sont les crustacés (45% des espèces) et particulièrement les amphipodes (20% des espèces) qui, avec les annélides (35% des espèces) dominent la communauté à Ophelia borealis. Cette répartition est très proche de celles observées par VANOSMAEL et coll. (1982) sur cette même

communauté et par WITHERS et THORP (1978), RACHOR et GERLACH (1978) sur des communautés voisines.

Le Vergoyer présente la plus grande richesse spécifique. On y dénombre 89 espèces contre 80 sur la Bassure de Baas, 77 sur le Dyck et 46 sur Gravelines. La répartition des groupes faunistiques est sensiblement la même pour chacun des bancs excepté pour le Vergoyer qui présente une plus grande richesse spécifique en mollusques (tableau IV.1).

Tableau IV.1

Répartition des différents groupes faunistiques par banc

	Bassure de Baas	Vergoyer	Dyck	Gravelines
Annélides	30	33	31	17
errantes	15	18	15	9
sédentaires	15	15	16	8
Mollusques	6	15	8	8
Crustacés	35	36	33	18
Mysidacés	2	2	3	4
Cumacés	4	5	4	4
Isopodes	3	3	1	0
Amphipodes	15	19	17	10
Décapodes	11	7	8	7
Echinodermes	8	4	4	2
Cordés	1	1	1	1

Numériquement ce sont les annélides avec 65% des individus et les crustacés qui dominent la communauté. Cette co-dominance ainsi que la faible part prise par les mollusques s'expliquent selon WITHERS et THORP (1978) par les sévères conditions hydrodynamiques.

Les principales espèces sont données par ordre de densités annuelles décroissantes (tableau IV.2).

Elles constituent "le noyau de la communauté" au sens où l'entend GLEMAREC (1969) in DESSAINT (1987). Cette liste inclut les 11 espèces citées par DESSAINT (1987) auxquelles s'ajoutent Echinocardium cordatum, Chaetozone setosa, Urothoe brevicornis et Ophiura albida.

Tableau IV.2 :

Principales espèces de la communuté à Ophelia borealis par ordre de densités annuelles décroissantes

Rang	Espèce	d
1	Magelona papillicornis	90
2	Bathyporeia elegans	50
3	Nephtys cirrosa	47
4	Scoloplos armiger	38
5	Gastrosaccus spinifer	27
6	Bathyporeia guilliamsoniana	24
7	Echinocardium cordatum	17
8	Spiophanes bombyx	16
9	Chaetozone setosa	8
10	Spio filicornis	7
11	Ophelia borealis	7
12	Nerine bonnieri	4
13	Urothoe brevicornis	4
14	Ophiura albida	3,5
15	Pontocrates altamarinus	2

IV.1.3. Etude numérique

IV.1.3.1. Variations faunistiques inter-bancs

Les densités annuelles varient de 541 individus/m^2 sur Gravelines à 212 individus/m^2 sur la Bassure de Baas. Les densités sur le Dyck et le Vergoyer sont sensiblement égales (318 individus/m^2 et 341 individus/m^2).

Parmi les 15 premières espèces classées, 8 sont communes aux 4 bancs et font partie du "noyau de la communauté". Très proches, les cortèges ne diffèrent que par les rangs occupés par les espèces (tableau IV.3). Les amphipodes haustoridae en général et particulièrement Bathyporeia elegans et surtout Bathyporeia guillamsoniana (29 individus/m^2 et 65 individus/m^2 sur le Dyck et sur Gravelines) sont nettement mieux représentés en Mer du Nord qu'en Manche (< 1 individu/m^2 et 3 individus/m^2 sur la Bassure et le Vergoyer). Ce phénomène ne s'explique ni par la granulométrie (§ III.2) ni par les caractères hydrologiques (paragraphe III.5). Selon DESSAINT (1987), Bathyporeia guilliamsoniana serait associé à des niveaux de surcharge métallique qui caractérisent justement les bancs du Dyck et de Gravelines.

La situation est analogue pour les mollusques. Les deux principales espèces Spisula ovalis et Abra alba sont très rares en Manche (entre 0,1 et 0,2 individus/m^2) et beaucoup plus communes en Mer du Nord et

TABLEAU IV.3 : DENSITES ANNUELLES(d) ET MAXIMALES (dm) DES PRINCIPALES ESPECES PAR BANC

	Bassure de Baas			Vergoyer			Dyck			Gravelines		
Rang	Espèce	d	dm	Espèce	d	dm	Espèce	d	dm	Espèce	d	dm
1	G. spinifer	40	135	S. armiger	116	1178	M. papillicornis	100	928	M. papillicornis	246	931
2	N. cirrosa	39	77	N. cirrosa	47	105	N. cirrosa	48	94	B. elegans	137	238
3	E. cordatum	25	199	E. cordatum	33,5	226	B. elegans	34	149	B. guilliamsoniana	65	164
4	S. armiger	20	56	C. setosa	31	29	S. bombyx	31	73	N. cirrosa	55	55
5	B. elegans	16	51	G. spinifer	21	143	B. guilliamsoniana	29	150	G. spinifer	24	100
6	O. borealis	14	41	S. bombyx	16	65	G. spinifer	21	66	S. bombyx	14	31
7	S. filicornis	11	49	M. papillicornis	12	50	U. brevicornis	10	31	S. armiger	7	10
8	A. acutifrons	10	82	B. elegans	9	28	N. bonnieri	10	42	E. cordatum	5	11
9	S. bombyx	8	7	O. albida	6	37	O. borealis	9,5	35	P. altamarinus	5	13
10	O. albida	3	17	E. spinigera	4	24	S. armiger	9	29	N. bonnieri	4,5	8
11	M. papillicornis	3	13	S. filicornis	4	7	S. filicornis	9	24	S. filicornis	4,5	16
12	N. bonnieri	2	6	B. guilliamsoniana	3	9	E. cordatum	3	9	U. poseidonis	4	12
13	G. lapidum	1,5	5	M. agilis	2	10	O. albida	2	15	D. bradyi	3,5	10
14	E. spinigera	1,5	9	O. borealis	2	11	U. elegans	1,5	13	C. setosa	2	2
15	P. fulgens	1	9	M. obtusata	2	22	P. altamarinus	1	2	O. borealis	1	4

TABLEAU IV.4 : DENSITES ANNUELLES (d) ET MAXIMALES (dm)
DES PRINCIPALES ESPECES PAR NIVEAU BATHYMETRIQUE

	Sommet			Pente			Creux		
Rang	Espèce	d	dm	Espèce	d	dm	Espèce	d	dm
1	G. spinifer	28	201	N. cirrosa	54	66	S. armiger	115	1178
2	N. cirrosa	20	40	E. cordatum	43	226	M. papillicornis	85	928
3	O. borealis	11	35	M. papillicornis	26	208	N. cirrosa	54	105
4	S. filicornis	8	17	S. armiger	25	75	S. bombyx	30	73
5	E. cordatum	6	41	B. elegans	22	53	G. spinifer	29	143
6	S. bombyx	6	14	G. spinifer	21,5	226	C. setosa	27	229
7	B. elegans	4	149	S. bombyx	20	55	B. elegans	23	91
8	S. armiger	4	31	B. guilliamsoniana	18	150	E. cordatum	12	62
9	M. papillicornis	4	10	S. filicornis	10	49	B. guilliamsoniana	12	47
10	E. spinigera	3	24	O. borealis	8	41	A. acutifrons	10	82
11	N. bonnieri	2	5	U. brevicornis	7	31	O. albida	9	37
12	P. fulgens	15	4	N. bonnieri	7	42	O. borealis	7	29
13	N. longosetosa	1	3	C. setosa	3	14	U. brevicornis	5	22
14	P. altamarinus	1	2	M. agilis	3	9	S. filicornis	4,5	10
15	U. brevicornis	0,5	2	U. elegans	1	13	A. swammerdami	0,5	4

particulièrement sur Gravelines (3 individus/m^2 et 1 individus/m^2).

IV.1.3.2. Caractères généraux de la faune

Le nombre d'espèces recensées sur les sommets de bancs est peu élevé (39 en moyenne). Le cortège est constitué d'espèces particulièrement bien adaptées aux fortes conditions hydrodynamiques qui règnent à cette faible profondeur (tableau IV.4). Ainsi, les formes dominantes sont mobiles et fouisseuses (VANOSMAEL et coll., 1982).

Parmi les annélides, on trouve des nephtydae (Nephtys cirrosa et Nephtys longosetosa) dont l'activité fouisseuse a été bien étudiée (TREVOR, 1976 ; RETIERE, 1979). Nephtys cirrosa est une des espèces caractéristiques des environnements à haute énergie en Manche-Mer du Nord (HOLMES, 1949 ; HAMOND, 1966 ; LAGARDERE, 1971 ; MONBET, 1972 ; EAGLE, 1973 ; HILY, 1976 ; WARWICK et DAVIES, 1977 ; TYLER et SHACKLEY, 1980) et en Méditerrannée où sa présence est étroitement liée à la biocénose des sables et fins graviers sous influence des courants de fond (PICARD, 1965 ; MASSE, 1962).

De même, Ophelia borealis est caractéristique des milieux dunaires (HILY, 1976 ; VANOSMAEL et coll., 1982) comme tous les membres de la famille des ophelidae (HOLMES, 1949 ; MAC INTYRE, 1958 ; MASSE, 1962 ; BELLAN, 1964 ; RETIERE, 1972 ; AMOUROUX, 1974b ; WITHERS et THORP, 1978 ; RIVAIN, 1983)

Les autres annélides classés sont des sédentaires. Scoloplos armiger et Magelona papillicornis ne possèdent pas de tube et sont d'excellents fouisseurs bien adaptés à la vie dans les sables (HARTMANN-SCHRODER, 1971) de même que Paraonis fulgens (RODER, 1971 in FAUCHALD et JUMARS, 1979). Enfin les spionidés Spio filicornis, Spiophanes bombyx et Nerine bonnieri vivent enfouis dans le sédiment et peuvent quitter leur tube pour effectuer de petits déplacements, ne remontant à la surface que pour se nourrir. Ces 5 dernières espèces sont en effet des "surface deposit feeder" (RASMUSSEN, 1973 ; FAUCHALD et JUMARS, 1979 ; DAUER et coll., 1981). Cette mobilité explique pourquoi ces espèces sont dominantes alors qu'on attend généralement les "surface deposit feeder" sur vases ou vases sableuses (PEARSON, 1970 ; RHOADS et YOUNG, 1970).

Les haustoridés (Bathyporeia spp., Urothoe spp.) sont également bien adaptés à ce type de milieu (MASSE, 1972a ; MONBET, 1972 ; HILY, 1976 ; GUILLOU, 1980). Aptes aux déplacements par toutes conditions (AMOUROUX,

1974b), ces petits crustacés sont capables de s'enfouir rapidement (WITHERS et THORP, 1978) en moins d'une seconde (NICOLAISEN et KANNEWORFF, 1969) de même que Gastrosaccus spinifer. Ce mysidacé est lui aussi très commun dans des zones de fort hydrodynamisme (GLEMAREC, 1969 ; LAGARDERE, 1971 ; MONBET, 1972) et passe même plus de temps dans le sable que les espèces du genre Bathyporeia (RASMUSSEN, 1973). Signalons enfin que l'isopode Eurydice spinigera et le cumacé Diastylis bradyi sont eux aussi parfaitemet adaptés (AMOUROUX, 1974b ; HILY, 1976).

IV.1.3.3. Variations bathymétriques

En règle générale, la densité augmente avec la bathymétrie (tableau IV.5). Plusieurs raisons peuvent être invoquées.

Tableau IV.5 :

Richesse spécifique et densité par banc et par niveau bathymétrique

	Bassure de Baas			Vergoyer			Dyck			Gravelines
Richesse spécifique	80			89			77			
	St	P	Cr	St	P	Cr	St	P	Cr	46
	34	41	58	32	47	67	50	51	65	
Densité	212			341			318			541
	87	273	274	125	250	646	171	357	500	

IV.1.3.3.1. Augmentation du nombre d'espèces avec la bathymétrie

Le nombre d'espèces augmente avec la bathymétrie (tableau IV.5) grâce à la diminution de l'hydrodynamisme et au faible enrichissement en particules fines et en sables grossiers et fins graviers (§ III.2). On relève ainsi suivant la classification de GLEMAREC (1969) des espèces sabulicoles sales (Lumbrineris gracilis, Poecilochaetus serpens) sabulicoles tolérantes (Lanice conchilega, Nephtys hombergii, Ampelisca spinipes, Lagis koreni) sabulicoles vasicoles (Acrocnida brachiata), mais aussi des espèces sabulicoles gravellicoles comme Nephtys caeca, Glycinde nordmanni, Lumbrineris fragilis, Spisula ovalis, Glycera lapidum, Glycera gigantea (MASSE, 1962 ; BELLAN, 1964 ; GLEMAREC, 1969, 1971 ; GUILLE, 1971b) ou gravellicoles telle Eteone longa (GLEMAREC, 1969) et enfin

ubiquistes (Ophiura albida, Abra alba).

IV.1.3.3.2. Augmentation de la densité des espèces des sommets

Certaines espèces occupent préférentiellement les sommets. Avec l'augmentation de la profondeur, leur présence devient sporadique et leur densité diminue (Ophelia borealis, Eurydice spinigera, Nephtys longosetosa). D'autres ont une répartition indépendante de la profondeur comme Echinocardium cordatum, Gastrosaccus spinifer ainsi que les haustoridae. Seul Bathyporeia guilliamsoniana semble quelque peu préférer les creux. Selon FINCHAM (1971), cette espèce affectionne des sédiments plus grossiers que ceux occupés par Bathyporeia elegans et tolère beaucoup mieux une augmentation du taux de pélites (FINCHAM, 1973).

Mais la plupart des espèces voient leur densité augmenter avec la bathymétrie. Ceci est particulièrement vrai pour Scoloplos armiger (4, 25,125) (Densités correspondant aux sommets, pentes et creux), Chaetozone setosa (< 0,5, 3, 27), Magelona papillicornis (4, 26, 85), Spiophanes bombyx (6, 20, 30), Nephtys cirrosa (20, 54, 54). Les densités annuelles sont d'autant plus fortes pour certaines d'entre elles que de fortes concentrations ont été observées après recrutement (Tableau IV.6).

Tableau IV.6 :

Densités de quelques espèces après recrutement

Espèce (juvéniles)	Site et Date	Densité (st. pente, creux)
Magelona papillicornis	Dyck 11/9/85	(1, 208, 928)
	Gravelines 11/9/85	931
	Gravelines 18/10/85	509
Chaetozone setosa	Vergoyer 15/6/85	(1, 14, 299)
Scoloplos armiger	Vergoyer 15/6/85	(1, 75, 1178)
Ampharete acutifrons	Bassure 19/11/84	(0, 0, 82)
	Bassure 17/10/85	(0, 0, 32)
Nephtys cirrosa	Bassure 15/6/85	(0, 20, 30)
	Vergoyer 15/6/85	(2, 2, 89)

IV.1.3.3.3. Existence de "nuages"

Les Amphipodes Bathyporeia guilliamsoniana et Bathyporeia elegans en Mer du Nord et Gastrosaccus spinifer sur chaque banc, peuvent former des

nuages de 250 individus/m^2 indépendemment de la bathymétrie.

Ces formations ont déjà été signalées par MONBET (1972) et HILY (1976) et peuvent apparaître en toute saison à l'exception de Gastrosaccus spinifer dont les nuages n'ont été observés qu'en été. Un nuage d'Atylus swammerdami (2074 individus/m^2) a été observé sur le creux du Dyck le 28/8/84. Selon AMOUROUX (1974b), ces nuages plus ou moins difficiles à localiser sont liés à l'éthologie alimentaire de cette espèce qui se nourrit de cadavres.

Echinocardium cordatum constitue un cas particulier. Cette espèce présente souvent des densités voisines de 10 individus/m^2. On peut cependant la trouver en tâches d'individus de même taile (20 mm environ) mais uniquement sur les pentes.

	Sommet	Pente	Creux
Vergoyer 17/10/85	2	226	32
Bassure 17/10/85	9	199	62

Le problème de l'échantillonnage d'Echinocardium cordatum a déjà été soulevé (MASSE, 1972a). La profondeur d'enfouissement dépend à la fois du type de sédiment et de la taille des individus (BUCHAMAN, 1966 ; PEQUIGNAT, 1970 in BIANCHI et MASSE, 1975).

Si les juvéniles se situent de préférence sur les pentes, les adultes sont présents à tous les niveaux et leur densité augmente avec la bathymétrie. On estime à 100%, 15%, 80% les pourcentages d'adultes sur les sommets, les pentes et les creux. Il semble que ces animaux forment des groupes de classe d'âge unique. On peut émettre l'hypothèse suivante : les adultes ont tendance à s'enfouir à une quinzaine de cm dans les sables bien drainés (BUCHAMAN, 1966). Ceci expliquerait pourquoi les individus capturés sur les sommets sont rares et souvent brisés. Avec la profondeur, l'intensité de l'hydrodynamisme diminue, les Echinocardium peuvent remonter à la surface du sédiment : ils sont à portée des mâchoires de la benne d'où l'augmentation de densité observée. Les juvéniles sont, quant à eux, tenus de se trouver près de la surface pour s'alimenter. Ne pouvant supporter les conditions trop rigoureuses des sommets, ils se réfugient plus bas, principalement sur les pentes.

Il semble donc que les résultats observés soient dus à l'éthologie de cette espèce. C'est pourquoi URSIN (1960) et PEQUIGNAT in MASSE (1962)

émettent des réserves sur son échantillonnage sur les bancs sableux et sur les dunes hydrauliques.

IV.1.3.4. Diagrammes rangs-fréquences

La signification des abréviations des espèces est donnée en annexe 3.

L'indice de diversité et l'équitabilité varient de H' = 1,13 et E = 0,39 à H' = 3,83 et E = 0,89 et ne montrent aucune relation avec le banc ou la bathymétrie.

Les effectifs variables, la présence de nuages de petits crustacés, les fortes densités d'espèces ayant subi un recrutement n'affectent que rarement l'allure des diagrammes rangs-fréquences qui présentent des allures typiques de systèmes matures (Fig. IV.1). Seules les fortes densités consécutives aux recrutements de Magelona papillicornis (Fig. IV.2a) et aux recrutements simultanés de Scoloplos armiger, Chaetozone setosa et Nephtys cirrosa (Fig. IV.2b) rapprochent les courbes du type 1 ou juvénile de FRONTIER.

IV.1.3.5. Dispersion spatiale

IV.1.3.5.1. Méthode

Plusieurs méthodes d'étude de la distribution spatiale existent (GAGE et GEEKIE, 1973 ; HEIP, 1975 ; REISE, 1979). Nous avons choisi celle d'ELLIOTT et DECAMPS (1973).

Une tendance vers un mode de distribution peut être évaluée au moyen de l'indice de dispersion (ou coefficient de surdispersion de FISHER (FISHER, 1954 in FRONTIER, 1973)

$$I = \frac{S^2}{\bar{x}}$$

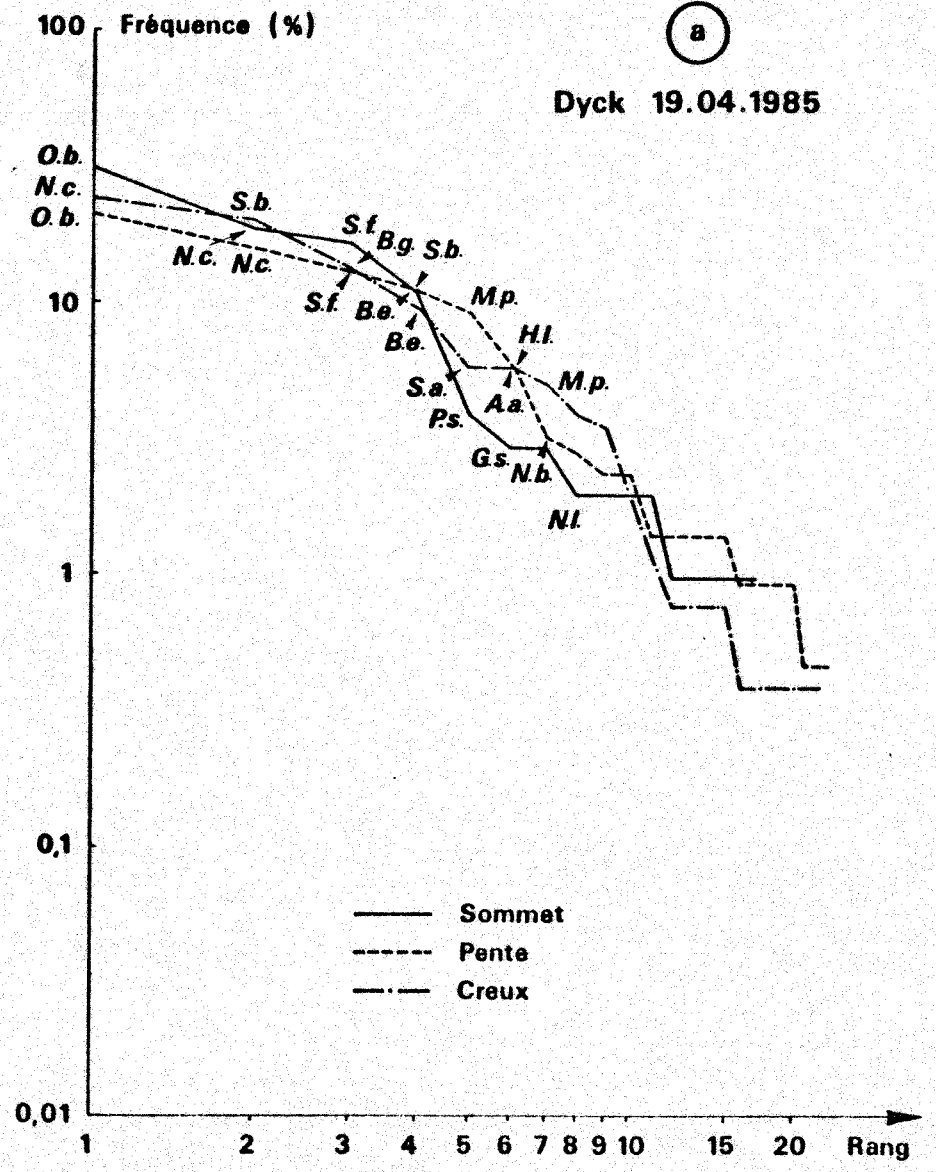
où S^2 et $\bar{x}$ sont les variance et moyenne de l'échantillon.

La répartition des individus se fait au hasard quand I tend vers 1. Elle est régulière quand $S^2 < \bar{x}$ et contagieuse quand $s^2 > \bar{x}$.

La signification des écarts à l'unité peut être testée par 2 méthodes :

- 1° - Méthode d'ANDREAWARTHA et BIRCH (1954) in DAUVIN (1979)

Fig. IV.1 : Diagrammes Rangs-Fréquences des abondances numériques



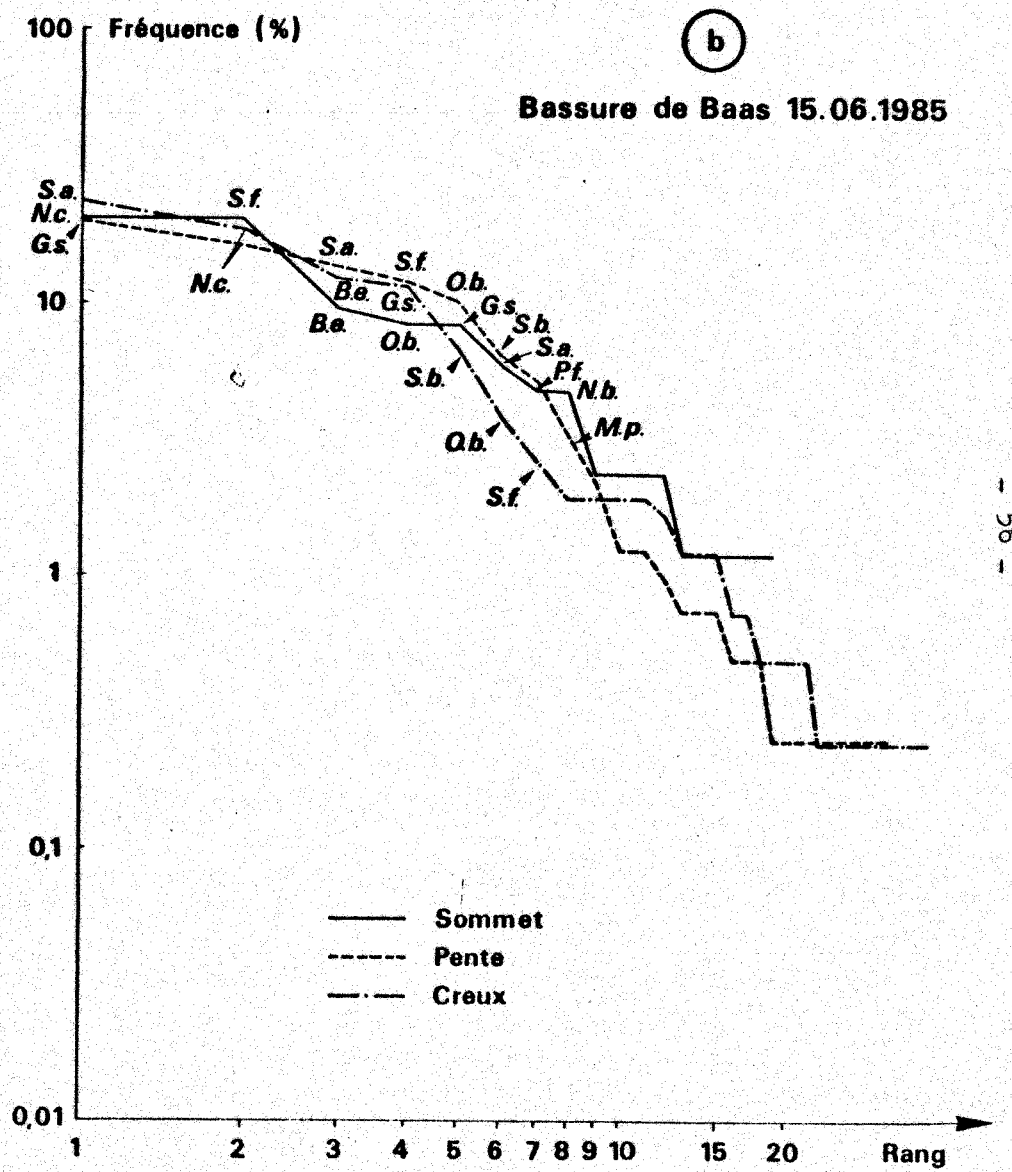
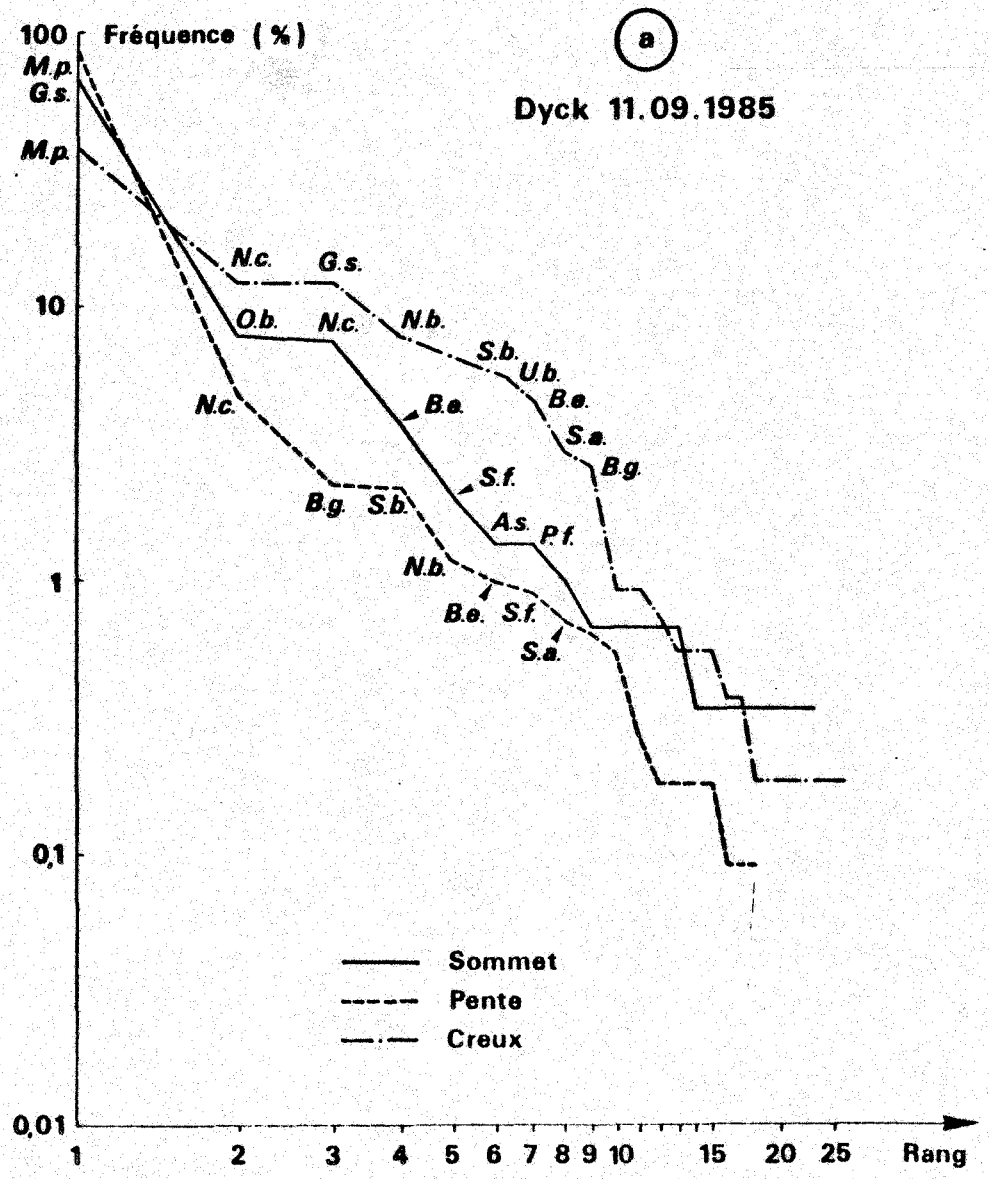
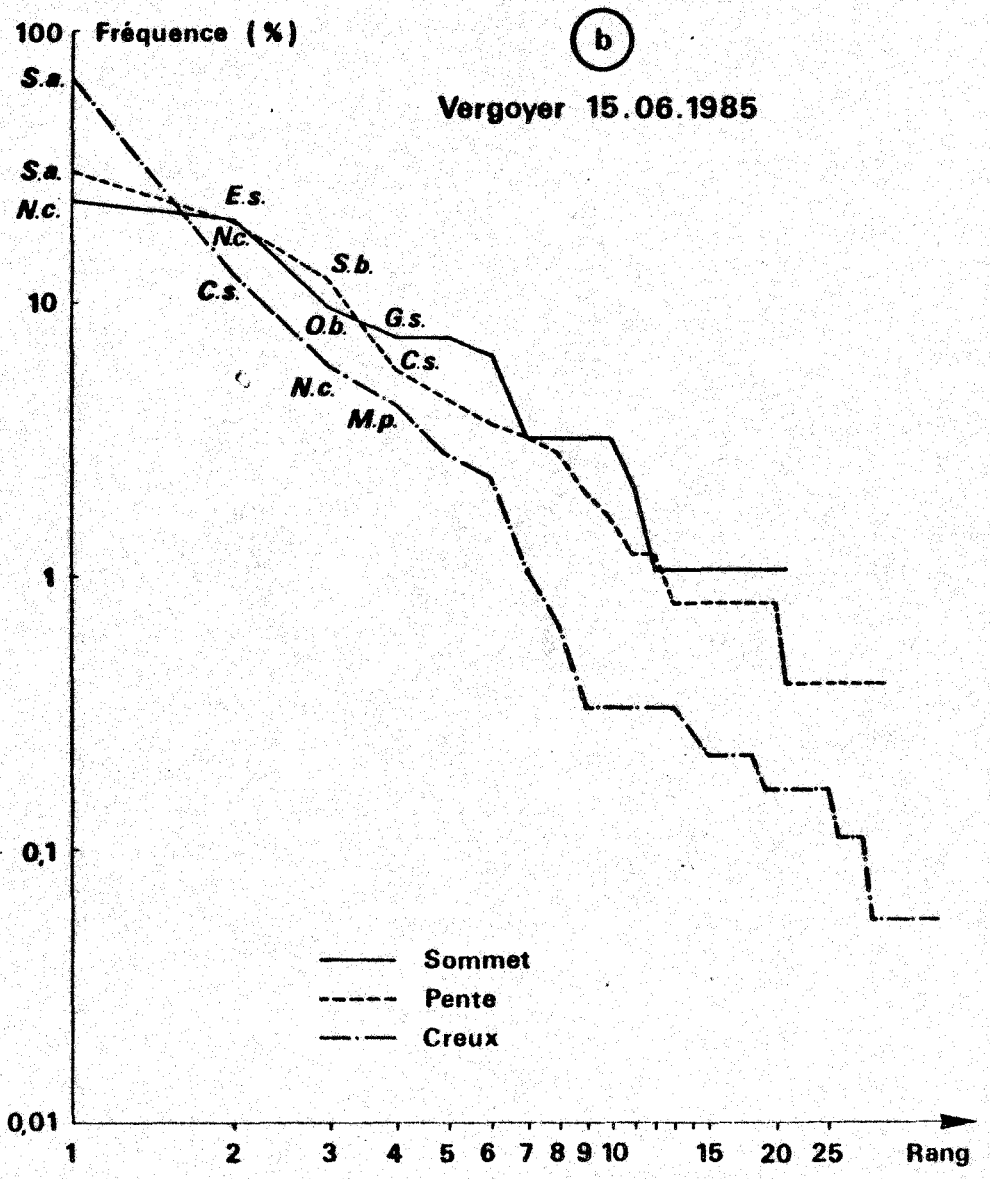


Fig. IV . 2 : Diagrammes Rangs-Fréquences des abondances numériques





$$J = 2\sqrt{\frac{2n}{(n-1)^2}}$$

l'écart sera significatif au risque P = 5% quand (I - 1) > J.

- 2° - Conformité avec une loi de Poisson (ELLIOTT et DECAMPS, 1973).

$$\chi^2 = S^2(n-1)/\bar{x} = I\,(n-1)$$

La conformité avec une loi de Poisson est acceptée au risque de 5% si la valeur du χ^2 est comprise entre les seuils appropriés de signification à 5% pour V = n - 1 degrés de liberté.

Si n est > 31, on calcule :

$$d = \sqrt{2\chi^2} - \sqrt{2v-1}$$

dont la conformité avec une loi de Poisson est acceptée à 5% de risque si |d|< 1,96. Bien que le premier test soit fréquemment employé (HOLMES, 1950 ; BUCHAMAN, 1966 ; ANGEL et ANGEL, 1967), BATEMAN (1950) in GAGE et GEEKE, 1973 émet des réserves pour son utilisation si le nombre d'individus par unité de prélèvement est inférieur à 5 alors que le second test donne d'excellents résultats pour $\bar{x} \geq 5$ et des résultats encore satisfaisants pour $\bar{x} < 5$.

Notons qu'une conformité avec une loi de Poisson n'implique pas une distribution au hasard. Elle indique que celle-ci n'est pas contredite ou encore que la surdispersion est trop faible pour être affirmée (FRONTIER, 1973).

IV.1.3.5.2. Résultats

Nous avons formulé l'hypothèse, pour les espèces étudiées, que leur distribution spatiale était la même pour une même période de prélèvement quels que soient le site et la bathymétrie. La totalité des résultats est donnée dans le tableau IV.7

Les distributions régulières sont rares chez les animaux marins (REISE, 1979) et aucun cas n'a été décelé dans cette étude. Spio filicornis, Spiophanes bombyx, Chaetozone setosa, Scoloplos armiger, Ampharete acutifrons montrent une répartition contagieuse qui confirme les résultats de ROSENBERG (1974), DAUVIN (1979) et REISE (1979). La distribution contagieuse est également mise en évidence pour Magelona papillicornis, Ophelia borealis et pour les petits crustacés que l'on

TABLEAU IV,7 : REPARTITION SPATIALE DE QUELQUES ESPECES (COMMUNAUTE A OPHELIA BOREALIS)

A : AGGREGATION - P : DISTRIBUTION AU HASARD

	Automne				Hiver				Printemps				Eté			
Espèces	I	$\bar{X}$	n	D	I	$\bar{X}$	n	D	I	$\bar{X}$	n	D	I	$\bar{X}$	n	D
Nephtys cirrosa	1,48	5,31	110	A	1,19	4,3	50	P	1,89	6,5	120	A	1,27	4,48	90	P
Nerine bonnieri	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,84	4,2	10	P
Spio filicornis	-	-	-	-	-	-	-	-	3,17	4,4	20	A	3,35	3,9	30	A
Spiophanes bombyx	9,16	5,35	20	A	4,18	6,8	10	A	2,67	5,14	50	A	92,57	13,6	10	A
Magelona papillicornis	21,28	50,9	10	A	-	-	-	-	2,13	5	10	A	64,74	68,87	30	A
Chaetozone setosa	-	-	-	-	-	-	-	-	12,88	22,9	10	A	-	-	-	-
Scoloplos armiger	-	-	-	-	-	-	-	-	80,65	35,18	40	A	1,86	3,35	20	A
Ophelia borealis	-	-	-	-	-	-	-	-	3,68	3,06	40	A	-	-	-	-
Ampharete acutifrons	7,28	8,2	10	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastrosaccus spinifer	14,33	13,63	30	A	-	-	-	-	6,73	6,92	20	A	19,92	9,28	90	A
Urothoe brevicornis	-	-	-	-	-	-	-	-	2,47	4,65	20	A	-	-	-	-
Bathyporeia elegans	14,89	9,72	60	A	9,08	9,32	50	A	5,99	6,31	70	A	25,51	13,43	60	A
Bathyporeia guilliamsoniana	9,36	8,37	30	A	8,12	10,6	20	A	1,19	2,95	20	P	13,25	16,4	10	A
Ophiura albida	-	-	-	-	-	-	-	-	1,11	4,1	10	P	-	-	-	-
Echinocardium cordatum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10,35	9,77	30	A

trouve en nuages plus ou moins denses. Ceci est en contradiction avec les données de CLARKE et MILNE (1955) qui décrivent pour Scoloplos armiger, Spiophanes bombyx, Bathyporeia elegans et Urothoe brevicornis des distributions au hasard.

La surdispersion est trop faible pour être décelable chez Nerine bonnieri et Ophiura albida. De même pour Nepthys cirrosa en hiver et en été et Bathyporeia guilliamsoniana au printemps.

Le type de distribution peut varier au cours de l'année en fonction de facteurs éthologiques ou reproductifs (PLANTE et LE LOEUFF, 1983). BUCHAMAN (1966) décrit des populations d'Echinocardium cordatum en larges tâches à l'intérieur desquelles la densité décroît du centre vers la périphérie. Si la répartition se fait au hasard à l'intérieur de celles-ci durant la majeure partie de l'année, elle est de type contagieuse pendant la période de reproduction durant les mois de juin, juillet-août, que les individus soient mâtures ou non. Ce phénomène se trouve confirmé par le type de distributon observé ici en été pour de jeunes individus.

L'agrégation est un mode de répartition très répandu en milieu marin (REYS, 1971 ; GAGE et GEEKIE, 1973 ; REISE, 1979).

Les résultats doivent cependant être considérés avec réserve. Différentes distributions peuvent se superposer ou varier dans le temps (PLANTE et LE LOEUFF, 1983). De plus, l'agrégation semble corrélée avec l'abondance (CLARKE et MILNE, 1955 ; ROSENBERG, 1972) et la loi de Poisson est souvent vérifiée pour les petits effectifs (FRONTIER, 1973) qui sont en général caractéristiques des communautés de sables fins.

IV.1.4. Etude pondérale

Les biomasses annuelles varient de 0,9 g/m^2 sur la Bassure à 1,61 g/m^2 sur Gravelines. Elles sont pratiquement égales sur le Vergoyer et le Dyck (1,45 g/m^2 et 1,55 g/m^2). La biomasse augmente avec la bathymétrie parallèlement aux nombres d'espèces et d'individus.

IV.1.4.1. Etude pondérale par groupe faunistique

L'ensemble des données pondérales est résumé dans le tableau IV.8. Le groupe "divers" (nématodes et némertes) ne présente que peu d'intérêt. Sa contribution à la biomasse (0,2 à 0,4%) est surtout due aux némertes du genre Cerebratulus.

TABLEAU IV.8 : REPARTITION ANNUELLE MOYENNE DE LA BIOMASSE PAR BANC ET PAR NIVEAU BATHYMETRIQUE

	Bassure de Baas			Vergoyer			Dyck			Gravelines
	St	Pente	Creux	St	Pente	Creux	St	Pente	Creux	
	896,43			1447,24			1546,97			1606,81
Biomasse annuelle Moyenne $\bar{Bm}$ mg/m^2	426,17	973,32	1289,79	860,20	1137,67	2343,86	612,76	1753,44	2274,70	
Divers	31,13	22,68	2,50	58,08	45,75	56,79	6,49	70,38	21,08	19,96
Annélides	249,98	593	550,06	309,99	475,62	500,50	484,16	620,30	796,70	479,81
Mollusques	0	2,3	150,50	0,55	167,87	47,00	3,73	43,10	106,06	178,54
Crustacés	42,25	198,31	191,32	338,29	192,86	350,65	118,35	121,23	165,80	186,64
Mysidacés	36,37	24,72	30,42	22,56	17,08	68,50	80,53	21,10	2,94	18,23
Cumacés	0,003	0,03	0,86	0,31	1,89	0,04	0,23	0,71	0,48	2,07
Isopodes	0,84	0,96	0,24	23,50	1,73	1,58	0,07	0,41	0	0
Amphipodes	2,27	9,88	20,04	3,03	14,41	9,87	13,83	83,99	102,46	93,45
Décapodes	2,77	162,72	139,76	288,89	157,75	270,66	23,69	15,02	59,92	72,89
Echinodermes	102,81	157,03	395,47	153,29	255,57	1388,22	0,03	898,43	1185,06	741,86

Certains groupes sont peu importants au regard de la biomasse. La part des cumacés est négligeable (de 0,0007% à 0,07% maximum) et provient en grande partie de Diastylis bradyi et accessoirement de Pseudocuma longicornis et Bodotria scorpioïdes. De même les isopodes, avec une seule espèce Eurydice spinigera, participent généralement pour moins de 0,2% à la biomasse totale mais peuvent atteindre 2,73% sur le sommet du Vergoyer (19 individus/m^2 pour 59,35 mg/m^2 soit 17,9% de la biomasse totale du prélèvement le 15/6/85).

La contribution à la biomasse des mysidacés est de 3,20% pour l'ensemble de la communauté. Elle varie de 0,13% à 13,14% (creux et sommet du Dyck) ; elle est due pour 0,10% et 10,53% à Gastrosaccus spinifer (occasionnellement Gastrosaccus normani, Paramysis helleri, Shistomysis spiritus). La biomasse de cette espèce est avant tout liée à l'existence de nuages qui n'apparaissent qu'en été. La biomasse maximale a été relevée sur le sommet de la Bassure le 17/10/85 : 109,49 mg soit 30,28% de la biomasse du prélèvement.

Les crustacés décapodes et les mollusques constituent des groupes d'un type particulier. Leur contribution à la biomasse totale est généralement faible mais peut devenir importante par la présence d'un ou plusieurs individus de grosse taille. Les espèces du genre Liocarcinus (L. holsatus, L. pusillus, L. depurator), Pagurus bernhardus, Corystes cassivelaunus peuvent avec un seul représentant totaliser jusqu'à 59% de la biomasse totale d'un prélèvement. Pinnotheres pisum joue un rôle négligeable ; il est dans cette communauté associé à Spisula ovalis. Ce lamellibranche est le principal représentant des Mollusques, en particulier sur Gravelines. Il y est présent à chaque prélèvement (1 à 6 individus/m^2) et totalise 94% de la biomasse des mollusques eux mêmes responsables de 11% de la biomasse totale. Les autres représentants les plus courants sont Abra alba ainsi que Montacuta ferruginosa que l'on retrouve associée à des adultes d'Echinocardium cordatum.

Les Mollusques peuvent être absents (sommet de la Bassure de Baas). Leur biomasse est très variable (0,06% à 14,76%) ; elle est fonction, comme pour les décapodes, de la présence de gros individus (Ensis arcuatus, Natica alderi et plusieurs espèces des genres Tellina [(T. tenuis, T. fabula) et Angulus (A. pygmaeus, A. donacinus)]. Elle peut atteindre avec Ensis arcuatus 29,2% de la biomasse totale sur la pente du Vergoyer le 6/2/86.

Bien que présentant des densités parfois importantes, les Amphipodes ne jouent qu'un rôle secondaire. Leur biomasse augmente avec la profondeur mais reste avant tout liée à la présence de nuages tout comme pour les Mysidacés. De 2,27 mg/m^2 (0,53%) sur le sommet de la Bassure de Baas, elle est de 102,46 mg/m^2 (4,50%) sur le creux du Dyck mais peut constituer 20% de la biomasse du prélèvement (2074 Atylus swammerdami/m^2 soit 340,21 mg le 28/8/84 sur le creux du Dyck). Elle est nettement supérieure en zone Nord. Ce sont les haustoridés avec Bathyporeia guilliamsoniana, Bathyporeia elegans et Urothoe brevicornis (accessoirement Urothoe elegans et sur Gravelines Urothoe poseidonis) qui sont les principales espèces en constituant 11,24% à 88,66% de la biomasse des Amphipodes.

Les échinodermes forment un groupe dont la biomasse, à une exception près (0,005% sur le sommet du Dyck) est toujours importante, constituant de 24,1% à 59,2% de la biomasse totale. Si Ophiura albida peut jouer un rôle sur les creux (37 individus/m^2 pour 57,1 mg soit 10,92% des Echinodermes et 5,7% de la biomasse totale le 6/2/85 sur le creux du Vergoyer), c'est Echinocardium cordatum qui est responsable de la presque totalité de la biomasse. Celle-ci augmente avec la bathymétrie parallèlement à la densité des adultes dont le poids à l'unité peut atteindre 1196,90 mg.

Les Annélides, enfin, constituent le groupe qui apporte la majeure contribution à la biomasse (tableau IV.8). De 21,4% sur le creux du Vergoyer à 71,9% sur le sommet du Dyck, la contribution moyenne est d'environ 41%, ce qui rejoint les observations de MAC INTYRE et ELEFTHERIOU (1968), BUCHAMAN et WARWICK (1974) et KIRKEGAARD (1978b) qui soulignent l'importance pondérale des annélides en milieu sablo-vaseux. Bien que leur biomasse augmente avec la profondeur, leur contribution diminue. (Tableau IV.9).

Tableau IV.9

Contribution moyenne à la biomasse des annélides par niveau bathymétrique (%)

	Bassure de Baas	Vergoyer	Dyck	Gravelines
Sommet	58,7	36	79,0	29,9
Pente	60,9	41,8	35,4	
Creux	42,7	21,4	35,0	

Ce sont les nephtydae avec Nephtys cirrosa, Nephtys longosetosa, Nephtys caeca et Nephtys hombergii qui contribuent le plus à la biomasse des Annélides. On peut exceptionnellement les retrouver associés dans un seul prélèvement (creux de la Bassure de Baas le 19/11/84) où elles totalisent 47% de la biomasse totale. Les nephtydae totalisent de 3,17% (N. cirrosa, sommet du Vergoyer le 6/2/85) à 91,4% (N. cirrosa ; N. longosetosa ; N. caeca à Gravelines le 19/4/84). C'est cependant N. cirrosa qui demeure la principale espèce (6,7 à 25,4%), les autres n'apparaissent qu'à 1 ou 3 exemplaires maximum.

Parmi les autres annélides, on peut citer Ophelia borealis (6,8 à 45,2% de la biomasse sur les sommets), Nerine bonnieri, Spiophanes bombyx et Spio filicornis. Magelona papillicornis (22,5% ; Gravelines le 11/9/85) et Scoloplos armiger (34,8% ; pente du Vergoyer le 15/6/85) peuvent constituer une part importante de la biomasse à la suite de recrutements.

Enfin, des individus de forte taille (Anaitides groenlandica, Eteone longa, Glycera gigantea, Lumbrineris fragilis et Travisia forbesi) peuvent également intervenir pour une part non négligeable (5%).

IV.1.4.2. Diagrammes rangs-fréquences

La diversité varie de H' = 1,11 à H' = 3,39 et l'équitabilité de E = 0,30 à E = 0,69. Comme pour les données numériques, il n'existe aucune relation avec le banc ou la profondeur.

La biomasse est dominée par les annélides, en particulier Nephtys cirrosa, Nephtys longosetosa et Ophelia borealis qui partagent les premiers rangs avec Echinocardium cordatum, Gastrosaccus spinifer, Bathyporeia guilliamsoniana et Bathyporeia elegans. Malgré quelques espèces rares mais très contributives, l'allure des diagrammes rangs-fréquences reste celle de systèmes matures (Fig. IV.3). Il n'existe qu'un seul exemple de courbe "juvénile" (Fig. IV.4) et celui-ci n'est pas lié à des recrutements occasionnels comme c'était le cas lors de l'étude numérique.

IV.1.5. Peuplements homologues et analogues

Selon la terminologie de GENTIL (1976) reprise par RETIERE (1979), on distingue les peuplements homologues établis dans des biotopes aux caractéristiques identiques ou voisines ayant en commun les mêmes espèces

Fig. IV . 3 : Diagrammes Rangs - Fréquences des abondances pondérales

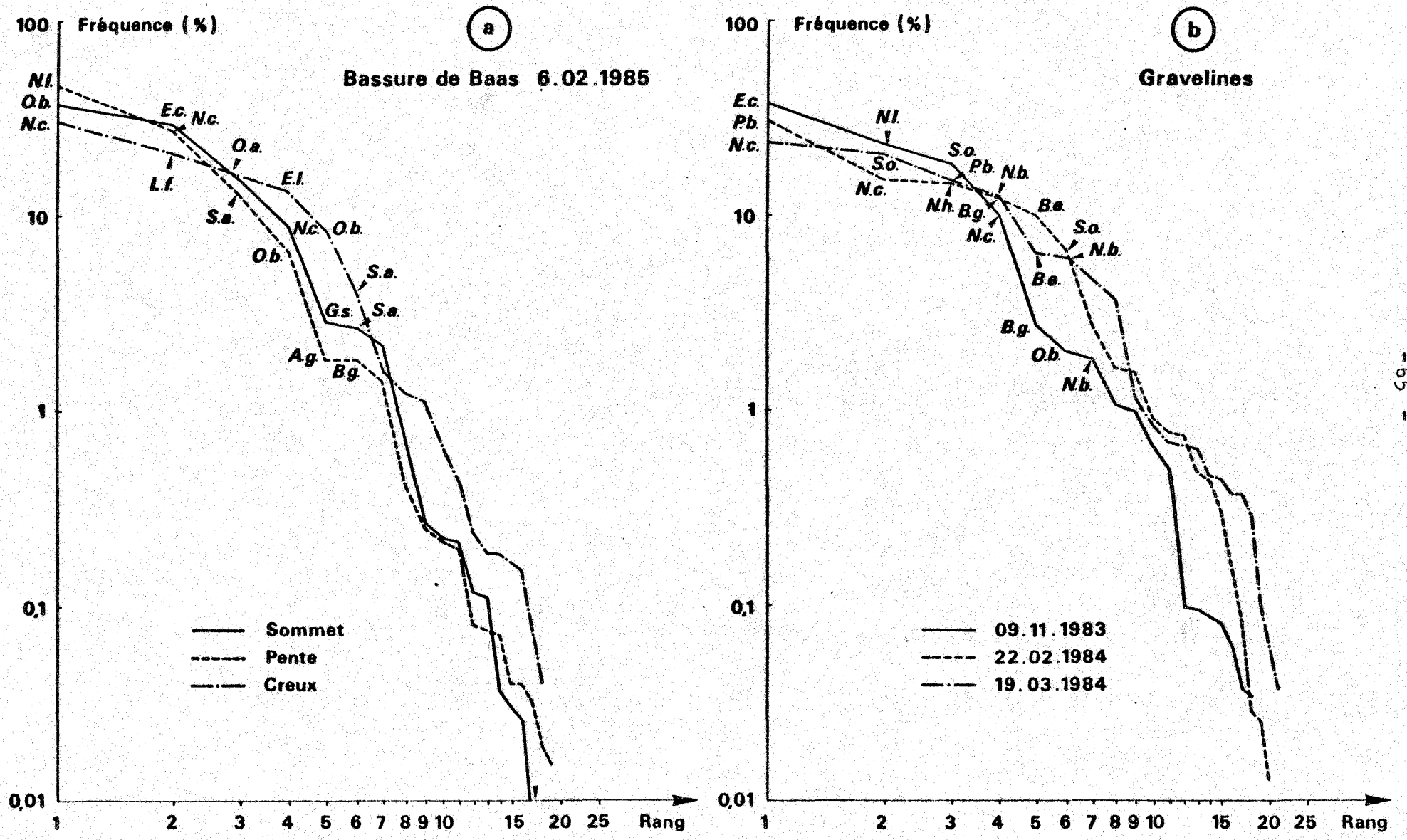
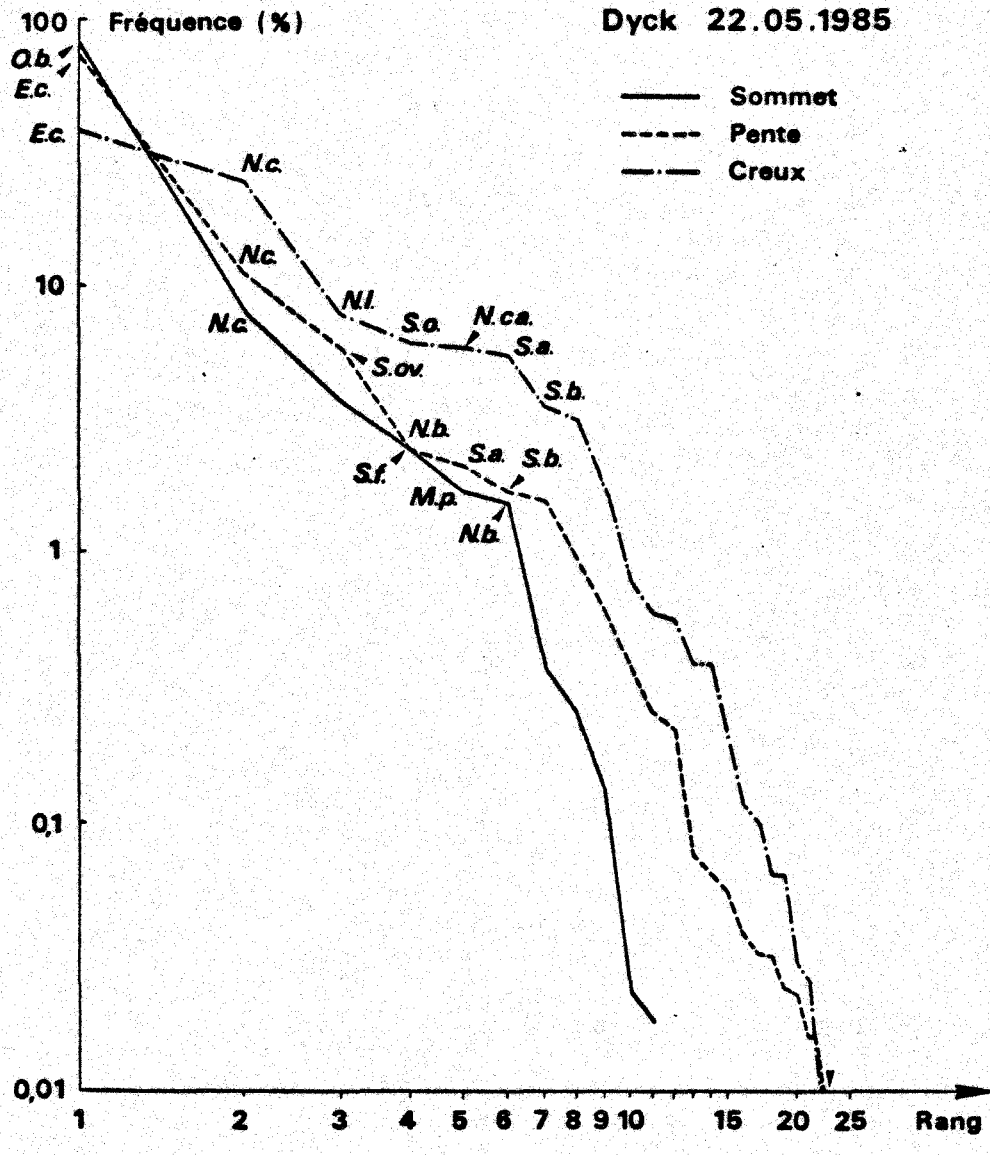


Fig. IV.4 : Diagrammes Rangs-Fréquences des abondances pondérales



pilotes et les peuplements analogues dont les espèces "leaders" diffèrent.

IV.1.5.1. Peuplements homologues

Les peuplements étudiés dans ce travail ont déjà fait l'objet de descriptions (CABIOCH et GLACON, 1975 ; SOUPLET et DEWARUMEZ, 1980 ; SOUPLET et coll., 1980 ; PRYGIEL, 1983 ; BOURGAIN, 1984 ; DESSAINT, 1987). La limite nord de ce peuplement semble se situer le long des côtes écossaises. MAC INTYRE (1958) décrit sur le "Smith Bank" un peuplement à Echinocyamus pusillus, Tellina pygmea, Ophelia borealis et Travisia rorbesi. VERMEULEN et GOVAERE (1983) et KIRKEGAARD (1978b) décrivent dans la partie euryhaline de l'Escaut et sur le "Dogger Bank" un peuplement à Ophelia borealis et Nephtys cirrosa. Plus au sud, CABIOCH et GLACON (1977) face à la Baie de Somme, et GENTIL (1976) en Baie de Seine décrivent également un peuplement très semblable. On ne le retrouve ensuite qu'au sud de la Bretagne (GLEMAREC, 1969, 1973), dans le Pertuis charentais au large des côtes d'Oléron (LAGARDERE, 1971 ; HILY, 1976) et au large des côtes d'Aquitaine (MONBET, 1972).

IV.1.5.2. Peuplements analogues

Ils conservent certaines espèces des peuplements précédents (Nepthys cirrosa, Spisula ovalis...) mais Armandia polyophthalma remplace Ophelia borealis. Ce peuplement apparaît dès que l'on passe le Cotentin et remplace le peuplement à Ophelia borealis. RETIERE (1979) et RIVAIN (1983) le décrivent dans le golfe Normano-breton. CABIOCH (1968) et TOULEMOND (1972) le retrouvent respectivement au nord de la Bretagne et en Baie d'Audierne et de Douarnenez. GLEMAREC enfin (in RETIERE, 1979) le décrit au sud de la Bretagne.

IV.1.5.3. Autres peuplements

Certains peuplements présentent des associations faunistiques proches de celles décrites dans ce travail (MAC INTYRE et ELEFTHERIOU, 1968 ; EAGLE, 1973 ; DORJES, 1977, WARWICK et DAVIES, 1977) mais diffèrent par un biotope constitué de sables fins propres soumis à un fort hydrodynamisme mais non disposés en formations dunaires.

Signalons enfin que les sables à Amphioxus (biocenose des sables et fins graviers sous influence des courants de fond) décrits en

Méditerranée par MASSE (1962), et PICARD (1965), bien que de granulométrie nettement supérieure, présentent une faune comportant des espèces appartenant aux peuplements décrits ci-dessus (Ophelia limacina, Armandia polyophthalma, Nephtys cirrosa, Glycera gigantea, Bathyporia guillliamsoniana, Urothoe brevicornis...).

IV.1.6. Conclusion et discussion

Les études numériques et pondérales montrent que la communauté des sables fins à moyens propres à Ophelia borealis est pauvre. 133 espèces dont 47 annélides et 60 crustacés ont été recensées. La richesse spécifique, la densité et la biomasse augmentent avec la bathymétrie. On relève en moyenne 353 individus/m^2 et 1,37 g/m^2 pour une vingtaine d'espèces/m^2.

Ce sont les annélides qui constituent le principal groupe de cette communauté avec 65% des individus et 41% de la biomasse. Les petits crustacés (amphipodes, mysidacés) peuvent présenter de fortes densités mais sont de moindre importance pondérale. Les échinodermes, les décapodes et les mollusques ne sont généralement représentés que par quelques individus mais contribuent souvent à une part importante de la biomasse. Densité et biomasse sont en fait des critères qui donnent une estimation plus ou moins erronée de la richesse d'un peuplement en privilégiant soit des espèces abondantes de faible biomasse soit des espèces rares pondéralement importantes. Aussi est-il difficile d'établir un classement de richesse des bancs. Celui-ci change avec le critère retenu. On obtient ainsi Vergoyer, Bassure, Dyck et Gravelines d'après la richesse spécifique tandis que c'est Gravelines qui devient le banc le plus riche si l'on considère la densité et la biomasse.

Il n'existe que peu de données bibliographiques quantitatives sur les formations dunaires subtidales. HILY (1976) trouve 29 espèces pour 3271 individus/m^2 et 0,38 g (tamis 1,5 mm) tandis que MAC INTYRE (1958) donne pour le "Smith Bank" une biomasse de 3,37 g/m^2 (1,3 mm).

Sur des communautés de sables fins, HOLMES (1953) trouve 2,6 g/m^2 en Manche. Sur les côtes britanniques, MAC INTYRE et ELEFTHERIOU (1968) donnent 3055 individus/m^2 et 3,7 g/m^2 (0,5 mm), EAGLE (1973) 182 à 209 individus/m^2 (1 mm), BUCHAMAN et WARWICK (1974) 3,98 g/m^2 (0,5 mm) et WARWICK et coll. (1978) 2,58 g/m^2 (0,5 mm).

En Mer du Nord, STRIPP (1969) in VANOSMAEL et coll. (1982) trouve

690 individus/m^2 (1 mm), RACHOR (1972) 690 individus/m^2 et 16 g/m^2 et RACHOR et GERLACH (1978) 1400 individus/m^2. GUILLOU (1980) relève en Bretagne 50 à 370 individus/m^2 et 0,2 à 14,1 g/m^2. En Méditerrannée enfin, GUILLE (1971a) trouve 1010 individus/m^2 pour 1,12 g/m^2 (1 mm), MASSE (1972b) 1135 à 2042 individus/m^2 et 4,6 à 3,6 g/m^2 (1 mm) et AMOUROUX (1974b) 200 à 4000 individus/m^2 et 2,32 à 25,28 g/m^2

Les valeurs qui sont données ici ne sont que des sous estimations (cf. I.1.4). Celles-ci ne prennent pas en compte les espèces enfouies à plus de 8 à 10 cm. Ce sont en général des formes adultes d'annélides comme Nephtys, Ophelia, Magelona, Scoloplos (AMOUROUX, 1974a ; REISE, 1979 ; CLAVIER, 1981) ou de mollusques solenidés (HILY, 1976) qui bien que peu nombreuses, jouent un rôle important dans la biomasse. Enfin, la maille utilisée ne permet pas de capturer la macrofaune interstitielle dont l'optimum granulométrique qui est de 200 µm selon WIESER (1959) in VANOSMAEL et coll. (1982) et 230 µm selon MAC INTYRE et MURISSON (1973) est très proche de la médiane des sédiments de la communauté à Ophelia borealis (Paragraphe III.2). VANOSMAEL et coll. (1982) trouvent sur le "Kwinte Bank" avec un tamis de 250 µ des densités de 500 à 15330 individus/m^2 dues principalement aux annélides interstitielles et aux archiannélides qui deviennent abondantes au-dessus de 300 µm.

CHAPITRE V
CONTAMINATION DES ESPECES ENDOBENTHIQUES PAR QUELQUES POLLUANTS METALLIQUES

V.1. INTRODUCTION

Dans le cadre de cette recherche contractuelle, il était prévu d'étudier, au niveau des espèces benthiques composant ces communautés, l'impact des facteurs de l'environnement.

Dans ce but, afin de compléter l'analyse des facteurs physico-chimiques, nous avons réalisé des prélèvements des espèces principales des bancs de la Bassure de Baas, du Vergoyer (et du Dyck) à la même période (Octobre 85) et avons effectué des analyses des 6 métaux : Cuivre, Zinc, Cadmium, Manganèse, Plomb et Fer, pour apprécier l'éventuelle contamination des espèces.

Cette étude complétait les recherches engagées par C. DELVAL, J.M. DEWARUMEZ et A. RICHARD, au titre de cette même Convention IEREMER-REGION en 1984-85 "Contamination des espèces vivantes benthiques (vers - mollusques - poissons) par les polluants métalliques". Elle complète les travaux de Fabrice DESSAINT : "Etude par analyses statistiques multivariables de l'influence de la charge métallique des sédiments sur le peuplement benthique marin : Communauté à Ophelia borealis des bancs de sables sub-littoraux en Manche et en Mer du Nord" Thèse de 3ème Cycle USTLFA - 1987 - Contrat IFREMER-REGION).

V.2. MATERIEL ET TECHNIQUES

V.2.1. Travail à la mer

Nous avons effectué les prélèvements d'organismes benthiques lors des opérations de dragages à bord du N/O SEPIA II. Les stations échantillonnées sur les bancs sont situées sur le sommet, à mi-pente et en creux de bancs du Vergoyer, de la Bassure de Baas et du Dyck. Les sédiments tamisés sur tamis à maille circulaire de 1 mm ne donnent dans cette communauté à faible richesse que peu d'animaux. Or, on a la nécessité, pour effectuer des dosages d'éléments métalliques dans la matière vivante, de disposer d'une quantité à doser voisine du gramme de poids sec ! Nous avons donc dû nous limiter aux espèces principales les plus abondantes et nous n'avons pu comparer les différents bancs que pour un nombre encore plus limité d'espèces présentes au niveau des différents bancs.

V.2.2. Travail de préparation de l'échantillon biologique en vue de son analyse chimique

V.2.2.1. Travail à la mer

Les espèces récoltées par la drague sont présentes sur la table de tri. Elles sont alors triées par espèces et placées dans des récipients boîte ou boîte de pétri en polyéthylène ou en téflon pour éviter toute contamination par éléments métalliques extérieurs, les animaux sont débarassés du sédiment (en particulier pour les annélides qui agglomèrent avec le mucus les particules fines), rincés plusieurs fois avec de l'eau de mer prélevée sur le site, puis placés en boîte ou en cristallisoir en chambre froide au laboratoire pour décantation avant d'être congelés.

V.2.2.2. Préparation des échantillons au laboratoire

Les analyses ne portent que sur la teneur en métaux des organismes ; elles ne concernent donc que la chair et nécessitent l'élimination préalable des tubes (Annélides) et coquilles (Mollusques), carapace des Crustacés, test des Echinodermes.

Pour les Annélides, les tubes étaient enlevés dès le prélèvement, pour les carapaces de Crustacés et les tests des Echinodermes une attaque préalable au moyen d'HCl N/10 permettait d'obtenir la biomasse des animaux. Ces techniques d'usage courant pour la méthodologie bionomique, appliquées à la recherche des métaux peuvent amener à des valeurs

atténuées. Ce premier passage à l'acide chlorhydrique élimine les métaux complexés aux tests ou aux carapaces (carbonates) mais peut entraîner en solution un certain nombre d'éléments.

Les Lamellibranches étaient extraits de leur coquille après une cuisson légère effectuée dans de l'eau de mer filtrée sur filtre Gelman GF/C 0,45 µ, prélevée à la station en mer. La chair était alors rincée à l'eau de mer filtrée pour débarasser les organismes des particules qui auraient pu rester captées dans les valves, au niveau des branchies, puis séchée sur papier filtre.

Ensuite les différents échantillons de vers, mollusques, crustacés ou poissons étaient séchés sur papier filtre , puis placés pour dessication à 110°C pendant 12 H 00 dans des béchers en téflon prépesés.

V.2.2.3. Attaques acides

Les analyses en absorption atomique nécessitent une digestion préalable par attaques acides des organismes. La technique retenue est celles de BOUQUEGNEAU et MARTOJA (1983). On ajoute dans un bécher téflon contenant l'organisme (préalablement desséché et pesé) à analyser, 5 ml* d'acide chlorhydrique 12 N ultrapur, 5 ml* d'acide nitrique 14 N et 0,5 ml* d'acide perchlorique ultrapurs.

L'attaque débute à température ambiante pendant 12 heures environ. Elle est ensuite complétée à chaud (60°C) pendant 4 heures. Les "digestats" acides sont ensuite filtrés sur papier Whatman 2 V. Les filtrats sont ajustés ensuite à 25 ml par de l'eau ultra-pure et conservés au congélateur.

* Ces quantités correspondant à des attaques acides destinées à 1 g environ de matière sèche. Elles étaient diminuées lorsque les échantillons biologiques étaient de faible poids.

V.2.2.4. Analyse en absorption atomique

Les analyses ont été réalisées par absorption atomique flamme PERKIN-ELMER 2380 au laboratoire de chimie analytique du Professeur WARTEL (USTLFA - Villeneuve d'Ascq). Les valeurs exprimées en µl/litre de solution analysée permettent de calculer les concentrations en éléments métalliques qui seront exprimées en partie par million (ppm) de poids sec d'organisme. On tient compte dans chaque série d'un témoin d'analyse ou "bruit de fond", c'est-à-dire de la contamination éventuelle des acides en application la correction suivante :

$$\text{Teneur réelle en métaux (ppm/g Poids sec)} = \frac{(\text{Valeur mesurée} - \text{Valeur témoin}) \times 25}{\text{Poids sec de l'échantillon}}$$

Les analyses ont porté sur les 6 métaux suivants : Cuivre, Zinc, Cadmium, Manganèse, Plomb et Fer.

Les conditions d'utilisation du spectrophotomètre d'absorption atomique Perkin-Elmer 2380 en flamme air acétylène sont les suivantes :

	λ (nm)	Fente	Limite de détection (0,01 µg/ml)	Gamme de mesure* < Σ <	
Cuivre	324,7	0,7	0,01	0,077	0,38
Zinc	213,9	0,7	0,01	0,018	0,09
Cadmium	228,8	0,7	0,1	0,028	0,14
Manganèse	279,5	0,2	0,05	0,052	0,25
Plomb	217	0,7	0,5	0,19	0,95
Fer	248,3	0,2	0,003	0,1	0,50

* A partir de ces valeurs précision à 1%.

V.3. DISCUSSION DES RESULTATS DES TENEURS EN ELEMENTS METALLIQUES DES PRINCIPALES ESPECES DE L'ENDOBENTHOS

Les résultats sont exprimés dans le tableau. De nombreuses teneurs en éléments métalliques apparaissent comme "non détectables", c'est-à-dire que les valeurs en éléments métalliques sont inférieures au seuil de sensibilité de l'appareil utilisé (il n'était pas envisageable de traiter ces différents échantillons au four graphite !).

Cette absence de résultats peut dépendre de la faiblesse ou de

l'absence de contamination de l'organisme analysé. Elle peut également résulter directement de la dilution opérée par attaque acide lorsque la biomasse à analyser est trop faible ! Les valeurs en Cadmium et Plomb sont, hormis pour les échinodermes, en dessous du seuil de détection.

Les valeurs en Fer, Cuivre, Zinc, Manganèse relevées dans les organismes concordent avec ce que laissaient présager les analyses du R.N.O. (Eaux et sédiments) : ces métaux sont, en effet caractéristiques de notre littoral (rapport IPL - L'HOPITAULT, 1982).

On constate, lorsque les analyses ont pu être effectuées pour les mêmes espèces sur les différents sites, en différentes stations, une grande fluctuation selon la bathymétrie. Les teneurs relevées dans Echinocardium cordatum, par exemple pour le Fer varient de 405 à 1004 ppm à la Bassure de Baas et de 751 à 1518 ppm au Vergoyer ; et pour le Cuivre, de 2,3 à 15,5 ppm et de 3,6 à 11,2 pour ces mêmes bancs : la différence entre les bancs s'inscrit alors dans la même gamme de variabilité d'échantillonnage sur le même site !

Les chiffres relevés dans les Crustacés amphipodes montrent des taux légèrement plus élevés au Dyck et à Gravelines qu'au Vergoyer et à la Bassure de Baas, résultat que l'on retrouve également en comparant les teneurs des Annélides (autres espèces).

Il faut cependant relativiser cette appréciation puisque les résultats varient également selon le régime alimentaire de l'espèce analysée. Par exemple, Pagurus bernhardus, carnivore semble montrer des teneurs plus importantes au large (Vergoyer) qu'à la côte (Bassure de Baas).

Comme enfin, les teneurs varient pendant l'année (C. DELVAL, J.M. DEWARUMEZ, A. RICHARD : Contamination des espèces vivantes benthiques. Rapport : IFREMER-REGION, 1984), il paraît hasardeux de vouloir interpréter les quelques résultats. De trop nombreuses valeurs attestant d'une contamination par le formol ont dû être éliminées. Il paraît difficile de vouloir utiliser des prélèvements destinés essentiellement à apprécier la biomasse et la production de communautés benthiques, pour apprécier des contaminations métalliques.

F. DESSAINT (1987) a constaté que les valeurs métalliques des fractions fines des sédiments étaient en dispersion aléatoire, il est donc prudent d'éviter, avec si peu de résultats, de conclure sur une contamination des organismes des mêmes sites.

TENEURS EN ELEMENTS METALLIQUES DE QUELQUES ESPECES DE L'ENDOFAUNE

Espèces (ordre phylogénétique)	Lieux de récolte	Date de récolte	Eléments métalliques valeurs exprimées en ppm/g de poids sec					
			Cu	Zn	Cd	Mn	Pb	Fe
Annélides								
Nephtys longosetosa	Bassure de Baas	17.10.85	< 0	< 0	< 0	ε	< 0	< 0
	Vergoyer	17.10.85	10,2	4,8	< 0	0,7	< 0	268
Nephtys cirrosa	Bassure de Baas	17.10.85	F	F	F	F	F	F
	Vergoyer	17.10.85	F	F	F	F	F	F
Scoloplos armiger	Bassure de Baas	17.10.85	ε	0,7	ε	5	< 0	1203
	Vergoyer	17.10.85	11,4	5,8	< 0	8,4	< 0	1766
Annélides (autres espèces)	Bassure de Baas	17.10.85	3,4	2,1	< 0	2,7	ε	492
		17.10.85	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0
	Vergoyer	17.10.85	2,2	2,8	ε	6,5	ε	1062
		17.10.85	1,4	F	< 0	F	F	F
	Gravelines	18.10.85	8,9	106,2	ε	10,9	ε	1311
	Dyck	18.10.85	15	13,3	< 0	3,4	ε	381
Mollusques								
Tellina donacina	Bassure de Baas	17.10.85	F	181,9	< 0	61,7	< 0	3174
Spisula ovalis	Vergoyer	17.10.85	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0	615
Gastéropodes	Dyck	18.10.85	24,7	13,2	ε	4	< 0	181
Mollusques (autres espèces)	Vergoyer	17.10.85	5,9	4,9	ε	3,7	< 0	468
	Gravelines	18.10.85	< 0	15,2	< 0	7,4	< 0	504
	Dyck	18.10.85	6	< 0	< 0	5	< 0	260
Crustacés Amphipodes	Bassure de Baas	17.10.85	< 0	< 0	< 0	-	< 0	105
		17.10.85	F	F	< 0	< 0	< 0	F
	Vergoyer	17.10.85	F	F	< 0	F	< 0	122
		17.10.85	9,7	< 0	< 0	< 0	< 0	F
	Gravelines	18.10.85	15,9	< 0	< 0	ε	< 0	389
		18.10.85	12,9	< 0	< 0	4	< 0	712
	Dyck	18.10.85	36,2	< 0	< 0	< 0	< 0	155
Crangon crangon	Bassure de Baas	17.10.85	32,3	F	< 0	ε	-	157
Gastrosaccus spinifer	Bassure de Baas	17.10.85	2,3	2,8	< 0	1,7	ε	137
		17.10.85	F	F	< 0	ε	< 0	249
	Vergoyer	17.10.85	< 0	F	< 0	ε	-	251
		17.10.85	< 0	< 0	< 0	2,2	< 0	278
Pagurus bernhardus	Vergoyer	17.10.85	7,2	9,8	< 0	3	< 0	184
Décapodes (autres espèces)	Bassure de Baas	17.10.85	1,2	1,1	ε	2,9	ε	225
	Vergoyer	17.10.85	8,9	8,3	ε	1	< 0	249
	Gravelines	18.10.85	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0
Echinodermes								
Echinocardium cordatum	Bassure de Baas	17.10.85	15,5	16,5	ε	18,2	-	405
		17.10.85	2,3	3,9	0,8	15,9	ε	1004
	Vergoyer	17.10.85	3,6	8,9	0,8	21,4	ε	921
		17.10.85	3,8	8,7	ε	21,6	4,9	1518
		17.10.85	11,2	8,5	0,6	16,7	ε	751
Poissons								
Hyperoplus lanceolatus	Bassure de Baas	17.10.85	F	F	F	F	F	F
	Vergoyer	17.10.85	F	F	F	F	F	F

ε : à l'état de traces < 0 non détectable

F : erreur contamination

CHAPITRE VI

ETUDE COMPARATIVE DE LA PRODUCTION DE LA MACROFAUNE

VI.1. INTRODUCTION

"Le calcul des biomasses peut être très affecté par les techniques d'échantillonnage sur les grosses espèces. C'est pourquoi seules les mesures de production sont réellement suffisantes en théorie" (CHASSE et coll., 1979). Cette affirmation se justifie pleinement dans le cadre de cette étude où on a vu l'importance que peuvent revêtir certaines espèces rares comme Spisula ovalis, Ensis spp., Liocarcinus spp. etc... La biomasse peut être une mesure discutable de la richesse d'un peuplement. De plus, elle ne nous donne qu'une image instantanée. Comme le remarque HILY (1976), "la connaissance de la biomasse nous renseigne sur la quantité de matière organique disponible sur les fonds, mais le problème est de savoir dans quelle mesure cette richesse potentielle profite directement aux prédateurs". Il était donc souhaible de compléter l'étude des biomasses par une étude de la production.

VI.2. DEFINITION

La notion de production a fait l'objet de nombreuses définitions qui ne concordent pas toujours (MASSE, 1968). THORSON (1957) définit la production par la quantité de matière organique produite dans un volume ou sur une surface donnée pendant un temps donné. Cette définition rejoint celles de ALLEN (1971) et CRISP (1984). Cette production englobe l'augmentation de biomasse due à la croissance somatique ainsi que l'apport de matière par recrutement et la matière perdue par élimination (mortalité et migrations).

VI.3. METHODES

Il existe deux types de méthodes d'estimation de la production. Le premier regroupe les méthodes qui nécessitent une bonne connaissance du cycle biologique, en particulier la détermination et l'évolution des différentes classes d'âge et que l'on peut regrouper sous le terme de méthodes directes. Le deuxième comprend les méthodes basées sur l'existence d'une relation existant entre la production et d'autres paramètres tels que la biomasse ou la longévité. Ce sont les méthodes indirectes.

VI.3.1. Méthodes directes

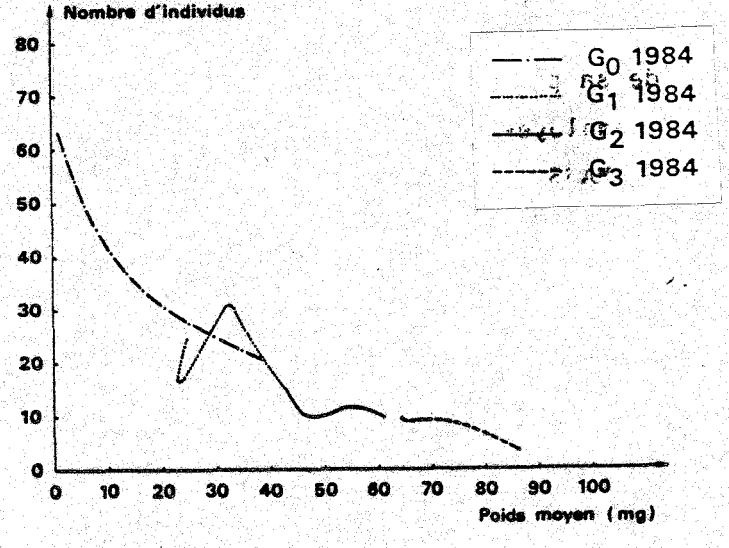
Elles sont nombreuses (MASSE, 1968 ; ALLEN, 1971 ; CRISP, 1984). Parmi celles-ci, nous avons choisi pour l'estimation de la production de l'annélide Nephtys cirrosa la méthode d'estimation de la production pour un stock avec recrutement et classes d'âge séparables (CRISP, 1984). Elle est en fait une expression mathématique de la méthode graphique d'ALLEN (1971) et est actuellement la plus utilisée tant pour les annélides (BUCHAMAN et WARWICK, 1974 ; WARWICK et PRICE, 1975 ; CURTIS, 1977 ; KIRKEGAARD, 1978b) que pour les mollusques (WOLFF et DE WOLF, 1977 ; BACHELET, 1982) ou les crustacés (KLEIN et coll., 1975 ; DAUVIN, 1979).

Cette méthode repose sur la somme des accroissements pondéraux résultant de la croissance individuelle.

Soit une classe d'âge i ; aux temps t et t + Δt les individus sont au nombre de N_t et $N_{t+\Delta t}$ et ont un poids individuel moyen de ω_t et $\omega_{t+\Delta t}$.

L'intégration algébrique de la courbe d'Allen (Fig.VI.1) donne :

Fig. VI.1 : Courbe d'Allen établie pour 4 générations d'une population de *Nephtys cirrosa* . Dyck



$$P_i = 1/2\ (N_t + N_{t+\Delta t})\ (\omega_{t+\Delta t} - \omega_t)$$

ou encore :

$$P_i : \bar{N}_i\ \Delta\omega_i$$

où Ni est le nombre moyen d'individus de la classe d'âge i et $\Delta\omega_i$ la variation du poids moyen individuel entre deux prélèvements successifs.

Chaque classe d'âge étant considérée comme une population isolée, la production d'une population constituée de n classes d'âge sera :

$$P_{tot} = \sum_{i=0}^{i=n} \sum_{t=0}^{t=1} \bar{N}_i \, \Delta\omega_i \quad .$$

VI.3.2. Méthodes indirectes

VI.3.2.1. Généralités

Il est classique de comparer la production P d'une population à la valeur moyenne de sa biomasse $\bar{B}m$ calculée sur une même période de temps, et de calculer le rapport $P/\bar{B}m$. Ce ratio dépend beaucoup de l'estimation de $\bar{B}m$ qui possède une dimension temporelle (MENESGUEN, 1980).

Il y a surestimation si les échantillons sont récoltés pendant une période favorable (période de reproduction par exemple) alors qu'il y a sous-estimation si la récolte est effectuée au cours des périodes défavorables (période hivernale par exemple). Il faut donc des échantillons régulièrement répartis dans le temps ou au moins des estimations de la biomasse à toutes les saisons (MASSE, 1968 ; MENESGUEN, 1980).

VI.3.2.2. Choix des valeurs de référence

La connaissance de $\bar{B}m$ et du rapport $P/\bar{B}m$ d'une espèce permettent une estimation rapide de sa production annuelle. C'est pourquoi cette méthode est très souvent employée soit en complément de méthodes directes (SANDERS, 1956 in MASSE, 1968 ; KIRKEGAARD, 1978b ; DAUVIN, 1984) soit seule (STEIMLE, 1985).

De nombreuses études de la production ont été menées dans les mers européennes (BUCHAMAN et WARWICK, 1974 , WARWICK et PRICE, 1975 ; WARWICK et coll., 1978 ; PRICE et WARWICK, 1980 ; GEORGE et WARWICK, 1985). Aussi dispose-t-on pour quelques unes des espèces de la communauté à Ophelia borealis d'une ou parfois de plusieurs valeurs de $P/\bar{B}m$. On choisit alors celle provenant de la zone d'étude la plus proche géographiquement (tableau VI.1).

Si aucun rapport $P/\bar{B}m$ n'est disponible, on utilise des estimations de $P/\bar{B}m$ établies à partir de nombreuses études pour chacune des classes faunistiques.

Tableau VI.1 : Valeur et origine des rapports P/$\bar{B}$m

Espèce	P/$\bar{B}$m	Autorité
Annélides		
Pholoe minuta	1,80	WARWICK et coll. (1978)
Harmothoe lunulata	2,00	WARWICK et coll. (1978)
Nephtys cirrosa	2,31	Cette étude
Nephtys hombergii	1,90	WARWICK et Price (1975)
Nephtys hombergii	1,90	WARWICK et coll. (1978)
Nephtys caeca	1,70	KIRKEGAARD (1978b)
Nephtys longosetosa	1,70	KIRKEGAARD (1978b)
Glycera lapidum	0,97	WARWICK et coll. (1978)
Lumbrineris fragilis	1,34	BUCHAMAN et WARWICK (1974)
Spiophanes bombyx	4,86	WARWICK et coll. (1978)
Magelona papillicornis	1,10	WARWICK et all. (1978)
Chaetozone setosa	1,28	BUCHAMAN et WARWICK (1974)
Lagis koreni	3,10	KIRKEGAARD (1978b)
Annélides vivant une année	3,00	BUCHAMAN et WARWICK (1974)
Annélides vivant plusieurs années	1,2	BUCHAMAN et WARWICK (1974)
Mollusques		
Spisula ovalis	0,92	HILY (1976)
Abra alba	1,59	ARNTZ (1971)
Tellina fabula	0,90	WARWICK et coll. (1978)
Mollusques en général	1,00	STEIMLE(1985)
Crustacés		
Gastrosaccus spinifer	2,00	ARNTZ (1971)
Crustacés en général	3,00	STEIMLE (1985)
Echinodermes		
Ophiura albida	0,80	ARNTZ (1971)
Echinodermes en général	1,20	STEIMLE (1985)

VI.4. RESULTATS

VI.4.1. Estimation de la production de Nephtys cirrosa

L'estimation de la production de Nephtys cirrosa par la méthode de CRISP n'a été réalisée que sur la population du Dyck. Seule celle-ci présentait en effet des effectifs réguliers, importants ainsi qu'une bonne représentation de chaque classe d'âge.

On estime la production annuelle de la population du Dyck à 1973,30 mg/m^2/an pour une biomasse moyenne annuelle de 854,72 mg/m^2. On calcule donc un rapport P/$\bar{B}$m de 2,31 (Tableau VI.2).

Cette valeur est élevée au regard d'autres P/$\bar{B}$m calculés pour divers représentants de la famille des nephtydae (Tableau VI.3), où les ratios sont bien souvent inférieurs à 1,9.

Tableau VI.2 : Calcul de la production annuelle P ($mg/m^2/an$) d'une population de Nephtys cirrosa sur le Dyck par la méthode de CRISP

		15/11/84	19/4/85	22/5/85	11/9/85	
Cl_0 84	ω	3	11	12	23	
	N	58	40	73	34,5	
	$\Delta\omega$	-	8	1	11	
	$\bar{N}$	-	49	56,5	53,75	
	P	-	392	56,5	591,25	P_0 = 1039,75
Cl_1 84	ω	24,5	23	31,5	43	
	N	24	16,5	30,75	14,5	
	$\Delta\omega$	-	- 1,5	8,5	11,5	
	$\bar{N}$	-	20,25	23,6	22,6	
	P	-	- 30,38	200,6	259,90	P_1 = 429,70
Cl_2 84	ω	43	46	54,5	60,5	
	N	14,5	9,5	11,5	10	
	$\Delta\omega$	-	3	8,5	6	
	$\bar{N}$	-	17	10,5	10,75	
	P	-	51	89,25	64,5	P_2 = 204,75
Cl_3 84	ω	64	66	73,5	85	
	N	9,5	9	8,75	4	
	$\Delta\omega$	-	2	7,5	11,5	
	$\bar{N}$	-	9,25	9	6,4	
	P	-	18,5	66,75	73,6	P_3 = 158,85
Cl_0 85	ω	-	-	-	8,5	
	N	-	-	-	33	$P_{0\ es}$ = 140,25

P = 1973,30 $\bar{B}m$ = 854,72 $P/\bar{B}m$ = 2,31

Ce rapport est également élevé au vu de la longévité minimale de 5 ans de Nephtys cirrosa. De nombreux auteurs (WATERS et CRAWFORD, 1973 ; LAMOTTE et MEYER, 1978 ; ROBERTSON, 1979) ont mis en évidence la relation existant entre le rapport $P/\bar{B}m$ et la longévité. WATERS (1969) prévoit des rapports inférieurs à 1 pour la plupart des espèces vivant plus d'un an. KIRKEGAARD (1978b) utilise un rapport de 1,3 pour les espèces dont la durée de vie est supérieure à 1 an et DAUVIN (1984) constate pour ces mêmes annélides un rapport compris entre 1 et 2.

Tableau VI.3 : Rapports P/$\bar{B}$m pour quelques espèces de nephtydae

Espèce	P/$\bar{B}$m	Site	Auteur
Nephtys hombergii	1,7	Isefjord (DK).	KIRKEGAARD (1978b)
"	1,9	Cornwall (GB)	WARWICK et PRICE (1975)
"	1,42 à 0,81	Cornwall (GB)	PRICE et WARWICK (1980)
"	1,9	Bristol Channel (GB)	WARWICK et coll. (1978)
"	1,2	Golfe normano-Breton (Fr)	RETIERE (1979)
"	1,6 à 2,9	Southampton (GB)	OYENEKAN (1986)
Nephtys incisa	2,16	Long Island Sound (E.U)	SANDERS (1956) in MASSE (1968)
Nephtys australiensis	0,4	Western port Bay (Austr.)	ROBERTSON (1979)
Nephtys cirrosa	2,31	Mer du Nord	Cette étude

La production est d'autant plus importante que la classe d'âge est jeune. Les classes d'âge Cl_0 1984, Cl_1 1985, Cl_2 1985 et Cl_3 1985, produisent respectivement 1039,75 ; 429,70 ; 204,75 et 158,85 mg/m^2/an, soit 52,7 ; 21,3 ; 10,4 et 8,0% de la production totale. Ce phénomène est bien connu chez diverses classes d'animaux macrobenthiques (CHAMBERS et MILNE, 1975 ; WARWICK, 1980 in GEORGE et WARWICK, 1985 ; BACHELET, 1982).

Hormis la classe Cl_0 1984, la production hivernale est faible ainsi que l'avaient déjà remarqué WARWICK et coll. (1978). La production est minimale entre les prélèvements du 15/11/84 et du 19/4/85. on peut même observer, comme pour la classe Cl_0 1984, des productions négatives(-30,38 mg/m^2/an). Ce cas de figure est rare mais existe dans la bibliographie (WOLFF et DE WOLF, 1977 WARWICK et coll., 1978). On peut l'expliquer de différentes façons :

- par une absence de recrutement entraînant un vieillissement de la population (WARWICK et coll., 1978)

- par un relâchement des gamètes ou une non-alimentation des individus mais surtout par un échantillon trop petit et/ou un échantillonnage pas assez fréquent (ROSENBERG, 1977) comme cela a été certainement le cas ici.

VI.4.2. Etude comparative de la production macrobenthique

Le rapport P/$\bar{B}$m de 2,31 calculé pour Nephtys cirrosa est appliqué pour chacune des populations des bancs étudiés. L'utilisation des différents rapports reportés dans le tableau VI.1 permet d'estimer la production par banc et par niveau bathymétrique (Tableau VI.4). Celle-ci est faible avec une moyenne de 1513,57 mg/m^2/an sur la Bassure de Baas, 2384,40 mg/m^2/an sur le Vergoyer ; 2089,76 mg/m^2/an sur le Dyck et 2522,98 mg/m^2/an sur le Haut Fond de Gravelines. Les productions peuvent varier du simple (663,50 mg/m^2/an pour le sommet de la Bassure de Baas) au quintuple (3357,98 mg/m^2/an pour le creux du Vergoyer). Même si on s'en tient aux valeurs les plus fortes, celles-ci demeurent faibles par rapport aux estimations réalisées pour diverses communautés des eaux nord-européennes où les productions avoisinent plutôt plusieurs dizaines de grammes par m^2 et par an (Tableau VI.5).

Seules sont comparables les estimations de 1,738 g/m^2/an (BUCHAMAN et WARWICK, 1974) pour la communauté à Brissopsis lyrifera/Amphiura chiajei et 5,2 et 3,42 g/m^2/an (DAUVIN, 1984 ; REES, 1983 in DAUVIN, 1984) pour deux communautés à Abra alba. Les données existant pour d'autres communautés extraeuropéennes confirment cette pauvreté.

De plus, à l'exception de quelques travaux portant sur la totalité de la macrofaune (SANDERS, 1956 in MASSE, 1968 ; DAUVIN, 1984 ; STEIMLE, 1985), la plupart des calculs ne tiennent compte que de la production des principales espèces annélidiennes (BUCHAMAN et WARWICK, 1974 ; KIRKEGAARD, 1978b).

Rapportées à leur biomasse, ces productions permettent le calcul du rapport P/$\bar{B}$m (Tableau VI.4). Celui-ci varie de 2,24 pour le sommet du Vergoyer à 1,46 pour le creux de ce même banc. Le rapport P/$\bar{B}$m moyen par banc est cependant de 1,60 à 1,73. Ces valeurs sont très proches de celles observées dans la plupart des peuplements marins et s'inscrivent dans l'intervalle des rapports connus dont les limites sont :

- 0,44 pour la communauté à Brissopsis lyrifera/Amphiura chiajei (BUCHAMAN et WARWICK, 1974) et 0,56 pour la communauté à Venus striatula (WARWICK et coll., 1978).

- 2,5 pour la communauté à Nephtys incisa/Yoldia limatula (SANDERS, 1956 in MASSE,1968) et 2,3 pour une communauté estuarienne suédoise (ROSENBERG, 1977).

D'une façon générale, la production augmente avec la bathymétrie de

TABLEAU VI.4. : TABLEAU SYNTHETIQUE DE LA PRODUCTION MACROBENTHIQUE ANNUELLE SUR QUATRE BANCS DE LA COMMUNAUTE A OPHELIA BOREALIS

	Bassure de Baas			Vergoyer			Dyck			Gravelines
Niveau bathymétrique	Sommet	Pente	Creux	Sommet	Pente	Creux	Sommet	Pente	Creux	
Production ($mg/m^2/an$)	663,50	1811,51	2065,69	1794,11	2001,13	3357,98	1045,31	2288,17	2935,79	
	1513,57			2384,40			2089,76			2522,98
Participation (%)	14,61	39,89	45,99	25,08	27,98	46,94	16,67	36,50	46,83	
Biomasse moyenne (mg/m^2)	394,94	949,22	1287,19	800,25	1080,86	2299,05	595,04	1400,82	1803,08	
	877,12			1393,39			1266,47			1588,84
P/$\bar{B}m$	1,68	1,91	1,60	2,24	1,85	1,46	1,76	1,63	1,63	
	1,73			1,71			1,65			1,60

TABLEAU VI.5 : ESTIMATION DE LA PRODUCTION SECONDAIRE DE LA MACROFAUNE BENTHIQUE DE DIFFERENTES COMMUNAUTES NORD-EUROPENNES

Communauté	P ($g/m^2/an$)	$\bar{B}m$ (g/an)	$P/\bar{B}m$	Auteur
Modiolus modiolus Bristol Channel (G.B.) (41 m)	34,1	25,4	1,4	GEORGE et WARWICK (1985)
Abra alba Bristol Channel (G.B.) (10 m)	14,2	11,1	1,3	WARWICK (1980) in GEORGE et WARWICK (1985)
Abra alba/Hyalinoecia bilineata Baie de Morlaix (Fr.) (20 m)	5,2 à 14,5	2,7 à 6,7	1,91à 2,16	DAUVIN (1984)
Abra alba/Venus striatula Côtes du Yorksire (G.B.) (10 m)	3,42 à 7,38	1,97 à 6,10	0,9 à 1,73	REES (1983) in DAUVIN (1984)
Venus striatula	25,8	45,8	0,56	WARWICK et coll. (1978)
Macoma baltica Tamar estuary (G.B.)	13,3	13,2	1	WARWICK et PRICE (1975)
Macoma baltica Estuaire suédois-Mer baltique (46 m)	6,8	4,3	1,6	CEDERWALL (1978) in DAUVIN (1984)
Estuaire de Grevelingen (Pays-Bas)	41,3	25,7	1,6	WOLFF ET DE WOLF (1977)
Sables fins propres et vaseux Dogger Bank - Mer du Nord	19	12,69	1,50	KIRKEGAARD (1978b)
Brissopsis lyrifera/Amphiura chiajei Northumberland coast (G.B.) (80 m)	1,74	3,98	0,44	BUCHAMAN et WARWICK (1974)
Ophelia borealis Mer du Nord (Fr.) 8 à 30 m	1,51 à 2,52	0,87 à 1,59	1,60à 1,73	Cette étude

la même façon que la richesse spécifique, le nombre d'individus et la biomasse (Chapitre IV). Dans chacun des cas, la production du creux constitue avec 46 à 47% près de la moitié de la production totale alors que la pente participe pour 28 à 40% et le sommet pour seulement 14,6 à 25%.

La participation à la production totale des différentes classes faunistiques est variable pour les bancs comme pour les niveaux bathymétriques (tableau VI.6). La production des mollusques représentés principalement par Spisula ovalis et Abra alba est nulle sur les sommets et minime (7,29% maximum) sur les creux. Grâce à une espèce unique, Echinocardium cordatum, les échinodermes peuvent atteindre des taux de 53% (creux du Vergoyer). Comme les mollusques, leur participation est maximale sur les creux. Les crustacés atteignent des taux de 11 à 55%. Les fortes valeurs sont dues à quelques individus de forte biomasse (Liocarcinus spp, Pagurus bernardus, Thia scutellata, Corystes cassivelaunus). Ce sont les amphipodes et les haustoridés en particulier qui contribuent le plus à la production. Leur participation décroît avec la profondeur. Les annélides enfin réalisent les plus forts pourcentages (de 17,32% à 68,21%) grâce à quelques espèces (Nephtys spp, Ophelia borealis, Scoloplos armiger, Spiophanes bombyx...).

Si l'on s'en tient aux seules espèces présentes dans au moins la moitié des prélèvements et à 4 ou 5 exemplaires minimum au mètre carré, on constate que les 15 premières espèces peuvent totaliser jusqu'à 96,9% (creux du Dyck) de la production totale (tableau VI.7).

Il ne semble pas exister de relation entre la bathymétrie et la production des 15 premières espèces. Le pourcentage va diminuant sur la Bassure de Baas, augmentant sur le Vergoyer et est identique quel que soit le niveau sur le Dyck. C'est sur ce dernier banc que la production est la plus mal répartie, puisque les deux premières espèces de chaque niveau (Nephtys cirrosa, Ophelia borealis, Echinocardium cordatum) totalisent plus de 63% de la production totale. C'est sur les sommets du Vergoyer ($H' = 2,87$; $E = 0,73$) et sur le creux de la Bassure de Baas ($H' = 2,82$; $E = 0,72$) que la répartition est la meilleure (tableau VI.8).

Des diagrammes rangs-fréquences ont été construits à partir des pourcentages de production. Seul le creux du Vergoyer (Fig. VI.2b) présente une allure de courbe proche du stade 1 de FRONTIER que l'on peut

TABLEAU VI.6 : PARTICIPATION DES CLASSES FAUNISTIQUES A LA PRODUCTION TOTALE PAR BANC ET PAR NIVEAU

	Bassure de Baas			Vergoyer			Dyck			Gravelines
	Sommet	Pente	Creux	Sommet	Pente	Creux	Sommet	Pente	Creux	
Annélides	68,04	58,22	44,09	34,58	38,33	17,32	68,21	49,49	44,79	36,29
Crustacés	13,35	31,37	26,30	55,14	28,36	26,56	31,79	11,07	13,51	20,84
Echinodermes	18,61	10,28	22,32	10,23	27,57	53,00	0	37,69	38,76	35,74
Mollusques	0	0,13	7,29	0,05	5,73	3,12	0	1,75	2,94	7,13

TABLEAU VI.7 : POURCENTAGE DE PRODUCTION DES 15 PREMIERES ESPECES ; H' et E par BANC ET PAR NIVEAU BATHYMETRIQUE

	Bassure de Baas			Vergoyer			Dyck			Gravelines
	Sommet	Pente	Creux	Sommet	Pente	Creux	Sommet	Pente	Creux	
Production totale ($mg/m^2/an$)	663,50	1811,51	2065,69	1794,11	2001,13	3357,98	1045,31	2288,17	2935,79	2522,98
Pr. 15 ($mg/m^2/an$)	585,03	1229,62	1240,57	918,78	1388,87	2737,34	996,26	2208,39	2844,70	2209,02
%	88,18	67,87	60,03	51,7	69,4	81,5	95,3	96,49	96,9	87,56
H'	2,31	2,62	2,82	2,87	2,63	2,07	2,27	2,56	2,69	2,62
E	0,59	0,67	0,72	0,73	0,67	0,53	0,58	0,66	0,69	0,67

Fig. VI . 2 : Diagrammes Rangs-Fréquences des productions des espèces principales

Fig. VI . 2 a : Diagrammes Rangs-Fréquences des productions des espèces principales : Bassure de Baas

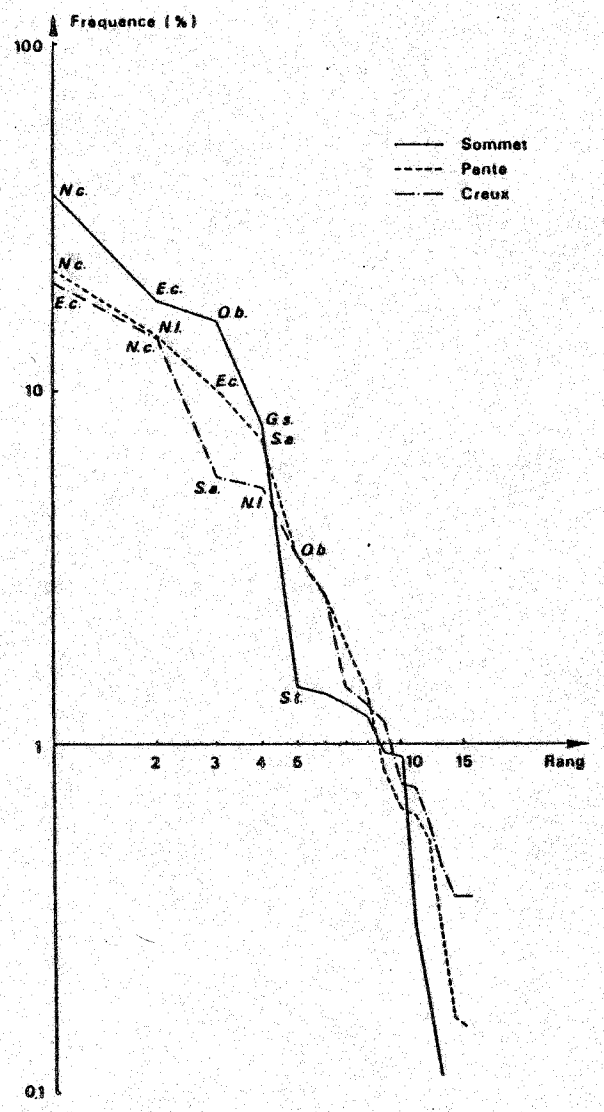


Fig. VI . 2 b : Diagrammes Rangs-Fréquences des productions des espèces principales : Vergoyer

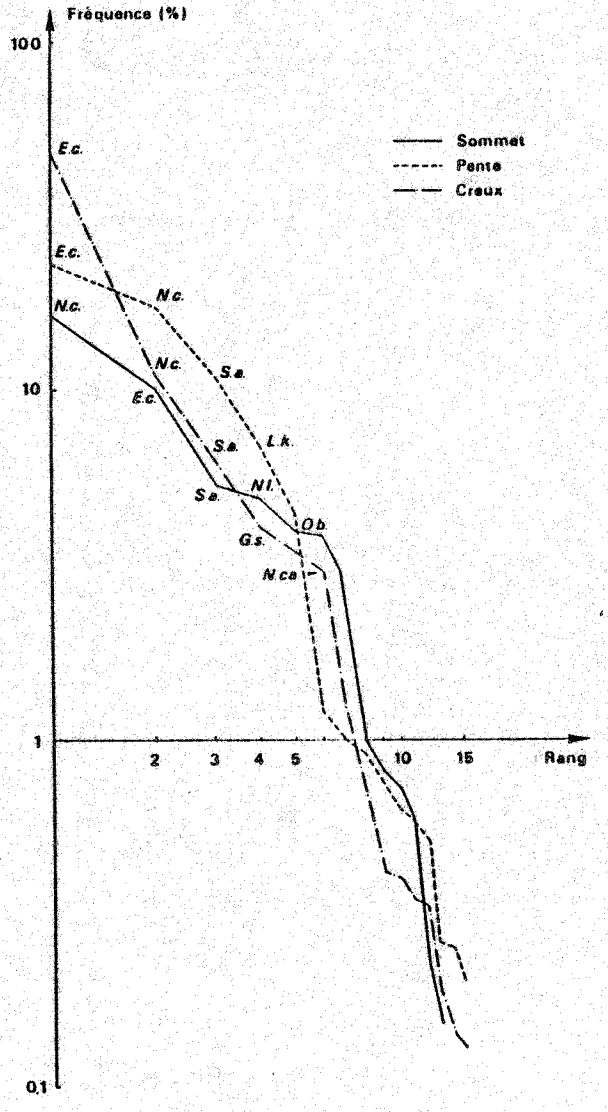


Fig. VI . 3 : Diagrammes Rangs-Fréquences des productions des espèces principales

Fig. VI . 3 a : Diagramme Rangs-Fréquences des productions des espèces principales : Haut-Fond de Gravelines

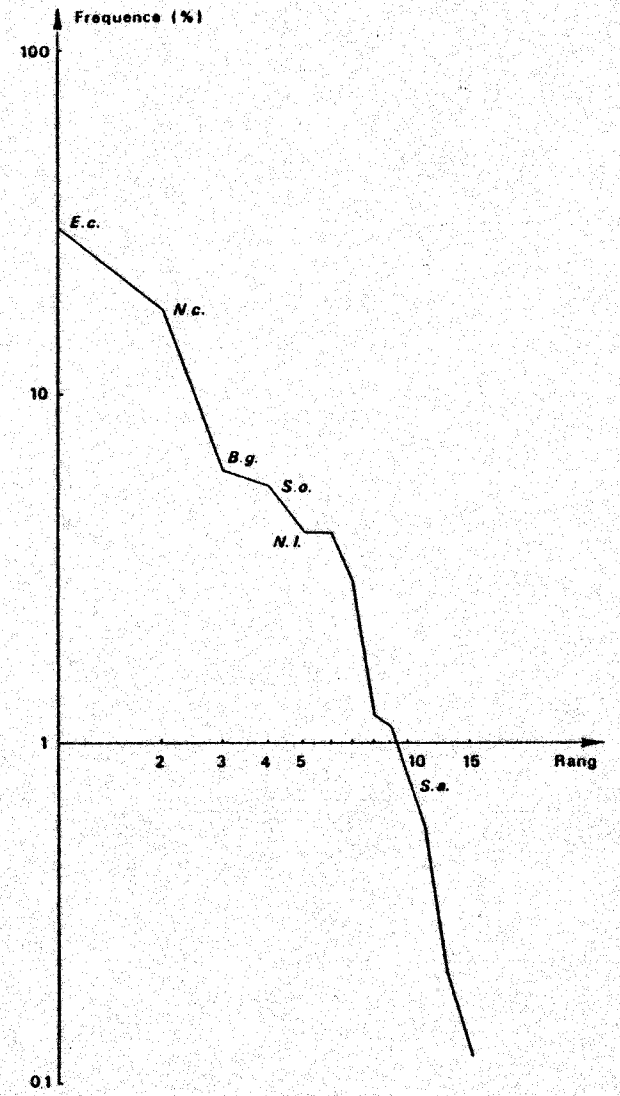
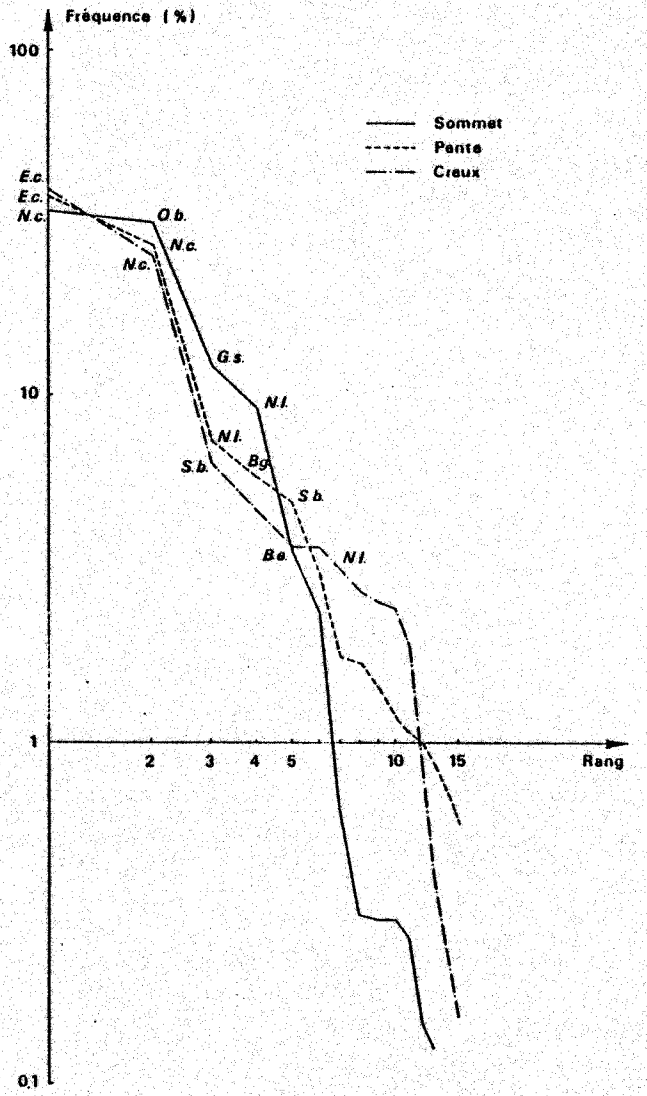


Fig. VI . 3 b : Diagrammes Rangs-Fréquences des productions des espèces principales : Dyck



attribuer à Echinocardium cordatum qui représente 49,4% de la production totale contre 10,9% pour la seconde espèce : Nephtys cirrosa.

Les autres diagrammes rangs-fréquences sont typiques de systèmes matures (Fig. VI.2a et 2b, Fig. VI.3a et 3b) et les courbes sont d'autant plus proches du stade 2 que la production spécifique est mieux répartie (sommet et pente de la Bassure de Baas, Fig. VI.2a ; sommet et pente du Vergoyer : Fig.IV.2b).

Ce sont les annélides qui contribuent le plus à la production. Nephtys cirrosa en particulier, partage les premier et deuxième rangs avec Echinocardium cordatum. Parmi les quinze premières espèces, on compte de 7 (Gravelines) à 12 espèces d'annélides (Sommet du Dyck) totalisant un pourcentage allant de 28,9% (Gravelines) à 72,3% (Sommet du Dyck). Ainsi que l'avait remarqué KIRKEGAARD (1978b), les nephtydae jouent un rôle important dans les peuplements sableux et Nephtys cirrosa peut contribuer jusqu'à 37,7% de la production (Sommet de la Bassure). Ophelia borealis participe à la production surtout sur les sommets où elle peut atteindre un taux de 16,33%. Tiennent également un rôle important dans cette production : Scoloplos armiger, Spiophanes bombyx, Spio filicornis.

Les crustacés ont une part relativement faible même si le mysidacé Gastrosaccus spinifer peut atteindre des taux de 12,34% (sommet du Dyck) à 7,95% (Sommet de la Bassure de Baas). Les mollusques ne sont que peu ou pas représentés sur les bancs de la Manche (0,03% maximum sur le sommet du Vergoyer) et ne dépassent guère 5,65% sur les bancs de la Mer du Nord (Gravelines).

VI. 5. Conclusion et discussion

L'estimation de la production annuelle par la méthode de CRISP (1984) a permis le calcul d'un rapport $P/\bar{B}m$ de 2,31 pour l'annélide Nephtys cirrosa. Ce rapport est élevé pour un annélide ayant une durée de vie de plusieurs années et pour un nephtydae. Grâce aux $P/\bar{B}m$ relevés dans la bibliographie, la production totale a pu être estimée sur chaque banc et à chaque niveau bathymétrique. Celle-ci est faible et de l'ordre d'un $g/m^2/an$ et permet le calcul d'un ratio $P/\bar{B}m$ voisin de 1,7 pour la communauté des sables fins à moyens à Ophelia borealis. 51 à 97% de la production totale sont assurés par quinze espèces parmi lesquelles l'échinoderme Echinocardium cordatum et l'annélide Nephtys cirrosa qui

peuvent totaliser jusqu'à 64,4%.

Les valeurs de production données dans ce travail ne sont que des estimations. CURTIS (1977) estime qu'une maille de 1,5 mm et plus entraîne une sous-estimation d'environ 50% tandis que BUCHAMAN et WARWICK (1974) estiment cette erreur à 25% dans le cas d'une maille de 0,5 mm. La sous-estimation vient du fait qu'une partie des juvéniles de la macrofaune et la totalité de la méiofaune sont ignorées.

L'importance de la méiofaune a été signalée par SANDERS (1960). Sa biomasse est faible au regard de celle de la macrofaune (WIGHLEY et MAC INTYRE, 1964). GERLACH (1972) estime que la méiofaune constitue environ 3% de la biomasse de la macrofaune mais que compte-tenu du grand nombre de générations et d'un métabolisme 5 fois plus élevé par unité de poids que celui de la macrofaune, elle peut avoir un $P/\bar{B}m$ de 26 soit dix fois plus élevé que le rapport moyen de la macrofaune. Son importance ne doit donc pas être négligée.

KIRKEGAARD (1978b) admet les risques d'erreurs dus à l'emploi des rapports $P/\bar{B}m$ empruntés à la bibliographie. En effet les productions dépendent également du choix du rapport $P/\bar{B}m$. Celui-ci est caractéristique d'une population (HILY, 1976). Il existe cependant de nombreux facteurs capables d'influencer ce ratio parmi lesquels le cannibalisme (WATERS, 1979), le taux de prédation, les basses températures (GRAY, 1981 ; ROBERTSON, 1979) et l'habitat (BACHELET, 1982). Le plus déterminant est néanmoins la structure de la population étudiée, c'est à dire le nombre de classes d'âge et l'importance relative de chaque cohorte (CHAMBERS et MILNE, 1975 ; WATERS, 1977 ; ROBERTSON, 1979 ; WARWICK, 1980 in GEORGE et WARWICK, 1985 ; BACHELET, 1982).

Le calcul de la production par l'utilisation de rapports $P/\bar{B}m$ constitue une méthode rapide qui ne demande ni comptage, ni mesure individuelle (LAPCHIN et NEVEU, 1980) mais qui suppose une connaissance minimale du cycle biologique des espèces (BACHELET, 1982).

Cette connaissance fait défaut pour la plupart des espèces concernées. Aussi est-il possible que la plupart des $P/\bar{B}m$ utilisés dans les estimations de production ne soient pas les plus représentatifs. Cela ne nuit néanmoins en rien à l'étude comparative qui fait l'objet de ce travail car les populations de chaque banc ont approximativement la même structure.

CONCLUSION

Les études de prospection de la partie française de la Mer du Nord et de la Manche Orientale montrent l'existence de cinq unités biosédimentaires.C'est parmi celles-ci que l'on identifie le peuplement des sables fins à moyens propres à Ophelia borealis. Ce peuplement est établi sur des bancs sableux parallèles à la côte et orientés SSO - NNE.

L'étude de quatre de ces bancs, choisis de façon à obtenir un double gradient nord - sud et côte - large, a permis de définir les principales caractéristiques de ce peuplement.

Ces bancs appartiennent à trois zones hydrologiques bien distinctes.Le Haut Fond de Gravelines est directement soumis à l'influence continentale.L'importance des divers rejets provoque l'apparition d'un milieu eutrophe.Les bancs du Dyck et de la Bassure de Baas sont situés dans une zone intermédiaire ou l'influence de la côte est moindre tandis que le Vergoyer est baigné par des eaux typiques du large.

Le sédiment est identique pour chacun de ces bancs.Ce sont des sables fins dont la médiane est comprise entre 190 et 260 µm.On note un très léger enrichissement en pélites ainsi qu'en sables grossiers-moyens et petits graviers avec la profondeur.

Les richesses spécifiques et les cortèges faunistiques sont comparables sur chaque banc pour un même niveau bathymétrique. L'adaptation des espèces à ces milieux instables se traduit par des diagrammes rangs-frequences caractéristiques de systèmes matures.

Les différents paramètres mesurés montrent que ces peuplements peuvent être considérés comme pauvres.Le nombre d'espèces au mètre carré est de l'ordre de 25.La densité varie de 87 à 541 ind./m^2et la biomasse de 0,4 à 2,3g/m^2.La production secondaire est de 0,7 à 3,4g/m^2/an pour un rapport $P/\bar{B}$ compris entre 1,60 et 1,90.En règle générale, on observe au sein de chaque banc une augmentation de ces paramètres avec la profondeur.

Il est intéressant de noter que les bancs les plus riches sont également ceux qui se situent dans la zone ou les apports nutritifs d'origine côtière sont les plus importants mais aussi dans la zone de plus forte pollution métallique.La recherche de métaux au sein d'organismes montrent que le fer, le cuivre et le manganèse sont bien caractéristiques du littoral Nord - Pas de Calais mais que le cadmium et le plomb sont à l'exeption des échinodermes,absents ou présents à des teneurs indétectables.La contamination de quelques échantillons par le formol, la difficulté d'obtenir des quantités de matière vivante suffisante mais aussi la variabilité spatiale et saisonnière des teneurs en éléments métalliques, ne permettent pas de conclure à une contamination des organismes analysés.

Les bancs du Haut Fond de Gravelines, du Dyck et de la Bassure de Baas sont les bancs les plus riches quoique les valeurs des différents paramètres mesurés soient du même ordre de grandeur, mais aussi ceux qui sont le plus touchés par les pollutions d'origine continentale. Le choix d'un banc proche de la côte aurait l'avantage de préserver de bouleversements préjudiciables, les quelques écosystèmes du large encore naturels.

Cependant, la mesure de la production de l'écosystème des sables à Ophelia borealis réalisée dans cette étude, ne renseigne pas sur la vitesse de régénération des peuplements à la suite d'une exploitation. La prévision d'impact d'une exploitation de sables et graviers marins doit tenir compte de la régénération potentielle qui reste encore à définir.

BIBLIOGRAPHIE

ALHEIT J., 1978a - Distribution of the polychaetes genus Nephtys : a stratified random sampling survey. Kieler Meeresforsch., 4, pp. 61-67.

ALHEIT J., 1978b - Long and short term population trends in the polychaete genus Nephtys in "Cyclic phenomena in marine plants and animals." Ed. by E. NAYLOR and R.G. HARNALL. Oxford-Pergamon Press, pp. 49-56.

ALLEN K.R., 1971 - Relation between production and biomass. J. Fish. Res. Bd. Canada, 28, pp. 1573-1581.

AMANIEU M., GUELORGET O., MICHEL P., 1977 - Richesse et diversité de la macrofaune benthique d'une lagune littorale méditerranéenne. Vie et Milieu, Vol. XXVII. Fasc. 1, sér. B, pp. 85-104.

AMOUREUX L., 1968 - Recherches écologiques sur les annélides polychètes du genre Nephtys. Arch. Zool. exp. gén., 109 (1), pp. 69-77.

AMOUROUX J.M., 1974a - Etude des peuplements infralittoraux de la côte du Roussillon.II. Faunistique et caractéristiques bionomiques. Vie et Milieu, Vol. XXIV, Fasc. 1, sér. B, pp. 209-222.

AMOUROUX J.M., 1974b - Etude des peuplements infralittoraux de la côte du Roussillon III. Variations spatiales et saisonnières. Vie et Milieu. Vol. XXIV, Fasc. 2, sér. B, pp. 321-354.

ANGEL H.H., ANGEL M.V., 1967 - Distribution pattern analysis in a marine benthic community. Helgoländer wiss. Meeresunters, 15, pp. 445-454.

ARNTZ W.E., 1971 - Biomasse und Produktion des Makrobenthos in den tieferen der Kieler Bucht im Jahr 1968. Kieler Meeresforsch, 27, pp. 36-72.

AUGRIS C., CLABAUT P., 1986 - Répartition des formations superficielles

au large de Boulogne sur mer (Cap Gris-Nez - Baie d'Authie). Etude intégrée du littoral Nord-Pas-de-Calais. Journée de travail du 19/9/86. IFREMER - Rég. Nord-Pas-de-Calais.

BACHELET G., 1979 - Dynamique de la macrofaune benthique et production des lamellibranches dans l'estuaire de la Gironde. Thèse de 3è Cycle, Paris VI, 163 p.

BACHELET G., 1982 - Quelques problèmes liés à l'estimation de la production secondaire. Cas des bivalves Macoma balthica et Scrobicularia plana. Oceanol. Acta, Vol. 5 (4), pp. 421-431.

BACHELET G., 1984 - Le recrutement des populations annélidiennes sur substrat meuble : aspects méthodologiques. Oceanis, Vol. 10, Fasc. 7, pp. 735-746.

BELLAN G., 1964 - Contribution à l'étude systématique, bionomique et écologique des annélides polychètes de la Méditerranée. Thèse doct. d'état. Univ. Aix-Marseille. Rec. Trav. Stn. Mar. Endoume, 49 (33), pp. 1-372.

BELLAN G., 1969 - Annélides polychètes recueillies dans l'Archipel de Madère au cours de la campagne scientifique du Navire Océanographique "Jean Charcot" (juillet 1966). Cah. Biol. Mar. X (1), pp. 35-57.

BENTLEY M.G., OLIVE P.J.W., GARWOOD P.R. et WRIGHT N.H., 1984 - The spawning and spawning mechanism of Nephtys caeca (Fabricius, 1780) and Nephtys hombergii Savigny, 1818 (Annelida, polychaeta) Sarsia, 69, pp. 63-68.

BHAUD M., 1982 - Relations entre stratégies de reproduction et aire de répartition chez les annélides polychètes. Oceanol. Acta, 5 (4), pp. 465-472.

BHAUD M., DUCHENE J.C., 1977 - Observations sur l'efficacité comparée de deux bennes. Vie et Milieu, 27 (1A), pp. 35-53.

BHAUD M., GRUET Y., 1984 - Variation saisonnière du nombre et de la taille des ovocytes chez Sabellaria alveolata (Linné) (Polychaeta, sabellariidae) et effets des paramètres climatiques. Proc. 1st Int. polyc. conf. Sydney. Pub. Lin. Soc. of New South Wales, pp. 450-460.

BIANCHI A., MASSE H., 1974 - Etude comparée des variations quantitatives de la teneur en matières organiques et de la macrofaune de quelques sédiments meubles infralittoraux de Méditerrannée Nord-occidentale. Thetys, 6 (4), pp. 657-666.

BLANC F., CHARDY P., LAUREC A., REYS J.P., 1976 - Choix des métriques qualitatives en analyse d'inertie. Implications en écologie marine benthique. Mar. Biol., 35, pp. 49-67.

BOUCHET J.M., BACHELET G., CORNET M. LISSALDE J.P., 1983 - Evolution des peuplements des fonds côtiers au large du Bassin d'Arcachon. Oceanol. Acta 17e Symp. Europ., Biol. Mar. Brest, pp. 39-43.

BOURGAIN J.L., 1984 - Effets des rejets de vases portuaires sur les peuplements benthiques au large de Boulogne-sur-mer.D.E.A. U.S.T.Lille, 59 p.

BOYDEN C.R., LITTLE C., 1973 - Faunal distributions in soft sediments of the Severn estuary. Estuarine Coastal Mar. Sci. 1, pp. 203-223.

BUCHAMAN J.B., 1966 - The biology of Echinodardium cordatum (Echinodermata, spatangoidea) from different habitats. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 46, pp. 97-114.

BUCHAMAN J.B., 1984 - Sediment analysis in "method for the study of marine benthos". 2è edit. Ed. by N.A. HOLMES and A.D. MAC INTYRE. IBP handbook 16.

BUCHAMAN J.B., WARWICK R.M., 1974 - An estimate of benthic macrofaunal production in the offshore mud of Northumberland coast. J. Mar Biol. Ass. U.K., 54, pp. 197-222.

CABIOCH L., 1968 - Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche occidentale. Cah. Biol. Mar., 9, pp. 493-720.

CABIOCH L., GENTIL F., 1975 - Distribution des peuplements benthiques dans la partie orientale de la Baie de Seine. C.R. Acad. Sc. Paris, 280 (D), pp. 571-574

CABIOCH L., GLACON R., 1975 - Distribution des peuplements benthiques en Manche occidentale, de la Baie de Somme au Pas-de-Calais. C.R. Acad. Sc. Paris, 280 (D), pp. 491-494.

CABIOCH L, GENTIL F., GLACON R., RETIERE C., 1977 - Le macrobenthos des fonds meubles de la Manche. Distribution générale et écologie. 11th europ. symp. Mar. Biol. Galway oct. 76. Perg. Press.

CABIOCH L., GLACON R., 1977 - Distribution des peuplements benthiques en Manche orientale. Du Cap d'Antifer à la baie de Somme. C.R. Acad. Sc. Paris 285 (D), pp. 209-211.

CHAMBERS M.R., MILNE H., 1975 - The production of Macoma balthica in the Ythan estuary. Estuarine coastal Mar. Sci., 3, pp. 443-455.

CHASSE C., GLEMAREC M., GUILLOU J., HILY C., 1979 - Répartition des biomasses de la macrofaune endogée des sédiments meubles du Golfe de Gascogne (Nord et centre). Jour. Rech. Oceanogr., 4 (2), pp. 3-9.

CLARK R.B., 1962 - Observation on the food of Nephtys. Limnol. Oceanogr. 7, pp. 380-385.

CLARK R.B., 1965 - Endocrinology and the reproductive biology of polychaetes. Oceanogr. Mar. Biol., 3, pp. 211-255.

CLARK R.B., MILNE A., 1955 - The sublittoral fauna of two sandy bays on the Isle of Cumbray, Firth of Clyde. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 34 (1), pp. 161-180.

CLARK R.B., HADERLIE E.C., 1960 - The distribution of Nephtys cirrosa and Nephtys hombergii on the south western coast of England and Wales. J. Anim. Ecol., 29, pp. 117-147.

CLARK R.B., ALDER J.R., MAC INTYRE A.D., 1962 - The distribution of Nephtys on the scottish coast. J. Anim. Ecol., 31, pp. 359-372.

CLAVIER J., 1981 - Ecologie descriptive et fonctionnelle du peuplement des sables fins vaseux dans le bassin maritime de la Rance. Thèse de 3è Cycle, Paris VI, 232 p.

CORNET M., LISSALDE J.P., BOUCHET J.M., SORBE, AMOUREUX L. 1983 - Données qualitatives sur le benthos et le suprabenthos d'un transect du plateau continental sud-Gascogne. Cah. Biol. Mar. XXIV (1), pp. 69-84.

CRISP D.J., 1984 - Energy flow measurements in "Methods for the study of Marine benthos". 2è edition. Ed. by N.A. HOLMES and A.D. MAC INTYRE. IBP handbook 16, pp. 284-372.

CUISINET H., MOGUEDET P., 1983 - Echantillonnage en milieu benthique littoral et sublittoral : étude des associations et de la diversité. D.E.A. U.S.T.Lille, 209 p.

CURTIS M.A., 1977. Life cycles and population dynamics of marine benthic polychaetes from Disco Bay area of west Greenland. Ophelia, 16 (1), pp. 9-58.

DAGET P., 1976 - Les modèles mathématiques en écologie. Coll. Ecologie. Masson, 172 p.

DAUER D.M., MAYBURY C.A., EWING R.M., 1981 - Feeding behavior and general ecology of several spionid polychaetes from the Chesapeake Bay. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. Vol. 54, pp. 21-38.

DAUVIN J.C., 1979 - Recherches quantitatives sur le peuplement des sables

fins de la Pierre Noire-Baie de Morlaix et sur la perturbation par les hydrocarbures de l'Amoco Cadiz. Thèse doct. de 3è Cycle. Paris VI, 251 p.

DAUVIN J.C., 1984 - Dynamique d'écosystèmes macrobenthiques des fonds sédimentaires de la Baie de Morlaix et leurs perturbations par les hydrocarbures de l'Amoco Cadiz. Thèse d'Etat. Paris VI.

DAVANT P., SALVAT B., 1961 - Recherches écologiques sur la macrofaune intercotidale du Bassin d'Arcachon. I. Le milieu physique. Vie et Milieu XII (3), pp. 405-471.

DAVOULT D., 1983 - Etude du benthos intertidal entre Calais et l'Aa. D.E.A. UST Lille, 36 p.

DAVOULT D., RICHARD A., 1986 - Analyse du benthos au large du site des Caps. Contrat U.S.T.L.F.A.-Région Nord Pas-de-Calais, 40 p.

DAVOULT D., RICHARD A., 1987 - Les Ridens, haut-fond rocheux isolé du Pas-de-Calais : un peuplement remarquable. (En soumission).

DESBRUYERES D., 1977 - Bionomie benthique du plateau continental des iles Kerguelen. Macrofaune 6 : Evolution des populations de 3 espèces d'annélides polychètes en milieu sub-antarctique. C.N.F.R.A., 42, pp. 135-174.

DESBRUYERES D., GUILLE A., RAMOS J., 1972 - Bionomie benthique de la côte catalane espagnole. Vie et Milieu XXIII, Fasc. 2, série B, pp. 335-363.

DESPREZ M., BRULARD J.F., DUPONT J.P., SIMON S., SYVAND P., DUVAL P., 1983 - Etude des biofaciès intertidaux de l'estuaire de la Seine. C.R. Acad. Sc. Paris, 296, sér. III, pp. 521-526.

DESSAINT F., 1987 - Etudes par analyses statistiques multivariables de l'influence de la charge métallique des sédiments sur le peuplement benthique marin (Communauté à Ophelia borealis des bancs de sables

sublittoraux en Manche orientale et en Mer du Nord). Thèse 3è Cycle, UST Lille Flandres Artois, 130 p.

DEWARUMEZ J.M., 1979 - Etude biologique d'Abra alba Wood (mollusque lamellibranche) du littoral de la Mer du Nord. thèse de 3è Cycle UST Lille, 139 p.

DEWARUMEZ J.M., QUISTHOUDT C., RICHARD A., 1986 - Suivi pluriannuel du peuplement à Abra alba dans la partie méridionale de la Mer du Nord (Région de Dunkerque, France). Hydrobiologia, 142, pp. 187-197.

DORJES J., 1977 - Uber die Makrofauna des Borkum Riffgrundes (Nordsee). Senckenbergiana marit. 1/2, pp. 1-17.

DRAGO N., ALBERTELLI G., 1978 - Etude faunistique et bionomique du littoral de Cogoleto (Golfe de Gênes). Thetys, vol. 8 (2), pp. 203-212.

DUCHENE J.C., 1976 - Recherches sur les fonds meubles circalittoraux au large de Banyuls-sur-mer. Thèse de 3è Cycle, Paris VI, 176 p.

DUCHENE J.C., 1977 - Observations sur la biologie de Terebellides stroemi (annélide polychète) au large de Banyuls-sur-mer. J. Rech. Oceanogr. Vol. II (2), pp. 29-32.

EAGLE R.A., 1973 - Benthic studies in the south east of Liverpool Bay. Estuarine Coastal Mar. Sci., 1, pp. 285-299.

ELEFTHERIOU A., NICHOLSON M.D., 1975 - Effects of exposure on beach fauna. Cah. Biol. Mar. XVI, pp. 695-710.

ELKAIM B., 1976 - Bionomie et écologie des peuplements des substrats meubles d'un estuaire atlantique marocain. L'estuaire du Bou Regreg. 1. Unités indicatrices infralittorales. Vie et Milieu, Vol. XXVI, Fasc. 1, ser. B, pp. 107-169.

ELLIOTT J.M., DESCAMPS H., 1973 - Guide pour l'analyse statistique des

échantillons d'invertébrés benthiques. Annales de Limnologie, 9 (2), pp. 79-120.

ESTCOURT I.N., 1975 - Population structure of Aglaophamus verrilli (Polychaeta, nephtydae) from Tasmany Bay. N.Z.O.I. Records 13 (2), pp. 149-154.

FAUCHALD K., 1963 - Nephtydae (polychaeta) from norwegian waters. Sarsia, 13, pp. 1-32.

FAUCHALD K., JUMARS P.A., 1979 - The diet of worms : a study of polychaete feeding guilds. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. Vol. 17, pp. 193-284.

FINCHAM A.A., 1971 - Ecology and population studies of some intertidal and sublittoral sand dwelling amphipods. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 51, pp. 471-488.

FINCHAM A.A., 1973 - The association of amphipods in the shallow water sand habitat of Strangford Lough. Co. Down. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 53, pp. 119-185.

FORET-MONTARDO P., 1969 - Etude systématique et écologique des nephtydae (polychètes errantes) des parages de Marseille. Thetys, 1 (3), pp. 807-832.

FRANK P.G., 1982 - Some technics for narcotizing and preserving invertebrate animals, exept insects. Mus. Nat. Sc. Nat. du Canada. Ottawa, 29 p.

FRONTIER S., 1973 - Etude statistique de la dispersion du zooplancton. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., Vol. 12, pp. 229-262.

FRONTIER S., 1976 - Utilisation des diagrammes rangs-fréquences dans l'analyse des écosystèmes. J. Rech. Oceanogr., Vol. I (3), pp. 35-48.

FRONTIER S., 1983 - L'échantillonnage de la diversité spécifique. In "Stratégies d'échantillonnage en écologie". Frontier S. éd., Masson, Paris et PUL, pp. 417-436.

FRONTIER S., 1985 - Diversity and structure in aquatic ecosystems. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 23, pp. 253-312.

GAGE J., GEEKIE A.D., 1973 - Community structure of the benthos in scottish sealochs. II. Spatial pattern. Mar. Biol. 19 (1), pp. 41-54.

GENIS M.I., 1973 - Contribucion al estudio ecologico de los anelidos poliquetos de la peninsula iberica. Thesis doctoral. Fac. ciencias Madrid.

GENTIL F., 1976 - Distribution des peuplements benthiques en Baie de Seine. Thèse 3ème Cycle. Paris VI, 79 p.

GEORGE C.L., WARWICK R.M., 1985 - Annual macrofauna production in a hard bottom reef-community. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 65 (3), pp. 713-737.

GERLACH S.A., 1972 - Die Produktionsleitung des Benthos in der Helgoländer Bucht : Productivity of benthos in Helgoland bight. Verh. d. Dtsch. Zool. Ges. 65, pp. 1-12.

GIBBS P.E., 1969 - A quantitative study of the polychaete fauna of certain fine deposits in Plymouth Sound. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 49 (2), pp. 311-326.

GLACON R., 1984 - Faune et Flore du littoral du Pas de Calais et de la Manche Orientale. Ed. de la St. Mar. Wimereux.

GLEMAREC M., 1968 - Distinction de 2 mactridae des côtes atlantiques européennes Spisula solida (Linné) et Spisula ovalis (Sowerby). Cah. Biol. Mar. IX, pp. 167-174.

GLEMAREC M., 1969 - Les peuplements benthiques du plateau continental

nord-Gascogne. Thèse doct. d'état Fac. Sc. Paris, 169 p.

GLEMAREC M., 1973 - The benthic communities of european north atlantic continental shelf. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 11, pp. 263-289.

GOVAERE J.C.R., VAN DAMME D., HEIP C., DE COMINCK A.P., 1980 - Benthic communities in the southern Bight of the north sea and their use in ecological monitoring. Helgoland Meeresunt., 33, pp. 507-521.

GRAY J.S., 1981 - The ecology of marine sediments. Ed. by Cambridge University Press, 178 p.

GREGOIRE A., 1976 - Etude de la macrofaune intertidale de la région de Gravelines (Nord). D.E.A., U.S.T.Lille, 111 p.

GRUET Y., 1974 - Macrofaune des substrats meubles intertidaux entre le pont d'Yeu et Sion sur l'Océan (Vendée). Bull. Soc. Sci. Nat. Ouest Fr LXXII, pp. 11-27.

GUILLE A., 1970 - Bionomie benthique du plateau continental de la côte catalane française. II. Les communautés de la macrofaune. Vie et Milieu, 21 (1B), pp. 149-280.

GUILLE A., 1971a - Bionomie benthique du plateau continental de la côte catalane française. IV. Densités, biomasses et variations saisonnières de la macrofaune. Vie et Milieu XXII, fasc. 1 (B), pp. 93-158.

GUILLE A., 1971b - Bionomie benthique du plateau continental de la côte catalane française. VI. Données autécologiques (macrofaune). Vie et Milieu XXII, fasc. 3 (B), pp. 469-527.

GUILLOU J., 1980 - Les peuplements de sables fins du littoral Nord-Gascogne. Thèse 3ème Cycle. Univ. Bret. Occid, 209 p.

HAMOND R., 1966 - The polychaeta of the coast of Norfolk. Cah. Biol. Mar. 7, pp. 383-436.

HARDING J.P., 1949 - The use of probability paper for the graphical analysis of polymodal frequency distribution. J. Mar. Biol., Ass., U.K., 28, pp. 141-153.

HEIP C., 1975 - On the significance of aggregation in some benthic marine invertebrates. Proc. 9th Europ. mar. biol. Symp., pp. 527-538.

HELIEZ A., 1984 - Contribution à la connaissance de la biologie de populations de Nephtys cirrosa (Ehlers, 1868) dans le golfe Normano-breton. D.E.A., Univ. Rennes, 43 p.

HILY C., 1976 - Ecologie benthique des pertuis charentais. Thèse 3ème Cycle. Univ. Bret. Occid., 235 p.

HILY C., 1984 - Variabilité de la macrofaune benthique dans les milieux hypertrophiques de la rade de Brest. Thèse doct. d'état. Univ. Bretagne, 360 p.

HOLMES N.A., 1949 - The fauna of sand and mud sand banks near the mouth of the Exe estuary. J. Mar. Biol. Ass. U.K. XXVIII, pp. 189-237.

HOLMES N.A., 1953 - The biomass of the bottom fauna in the English Channel off Plymouth. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 32, pp. 1-49.

KIRKEGAARD J.B., 1970 - Age determination of Nephtys (Polychaeta : nephtydae). Ophelia 7, pp. 277-282.

KIRKEGAARD J.B., 1978a - Settling, growth and life span of some common polychaetes of Danish waters. Medd. Danm. Fisk. Havundersog., 7, pp. 447-496.

KIRKEGAARD J.B., 1978b - Production by polychaetes on the Dogger bank in the North Sea. Medd. Danm. Fisk. Havundersog., 7, pp. 497-509.

KLEIN G., RACHOR E., GERLACH S.A., 1975 - Dynamics and productivity of the benthic tube dwelling amphipods Ampelisca brevicornis (Costa) in

Helgoland bight. Ophelia, 14, pp. 139-159.

LAGARDERE F., 1971 - Les fonds de pêche de la côte ouest de l'ile d'Oléron. Cartographie bionomique. III. Les peuplements benthiques. Thetys, 3 (3), pp. 507-538.

LAMOTTE M., BOURLIERE F., 1971 - Problèmes d'écologie : l'échantillonnage des peuplements animaux des milieux aquatiques. Publ. Comité Français du progr. biol. intern. Masson, 294 p.

LAMOTTE M., MEYER J.A., 1978 - Utilisation des taux de renouvellement $P/\bar{B}$ dans l'analyse du fonctionnement énergétique des écosystèmes. C.R. Acad. Sc. Paris, 286 (D), pp. 1387-1389.

LAPCHIN L., NEVEU A., 1980 - The production of benthic invertebrates ; comparison of different methods. I. Theorical populations. Acta oecologia, Oecol. gener., 1 (3), pp. 287-322.

LARSONNEUR C., 1977 - La cartographie des dépôts meubles sur le plateau continental français. Méthode mise au point et utilisée en Manche. J. Rech. Oceanogr. II (2), pp. 33-39.

LEGENDRE L., LEGENDRE P., 1984 - Ecologie numérique.
T.1 Le traitement multiple des données écologiques.
T.2 La structure des données écologiques. Coll. écologie 2ème édition, n° 12 et 13. Masson 260 et 235 p.

LOPEZ-COTELO I., VIEITEZ J.M., DIAZ-PINEDA F., 1982 - Tipos de communidades bentonicas de la Playa del Puntal (Bahia de Santander). Cah. Biol. Mar. XXIII (1), pp. 53-69.

MAC INTYRE A.D., 1958 - The ecology of scottish inshore fishing grounds. I. The bottom fauna of east coast grounds. Mar. Res., 1, pp. 1-24.

MAC INTYRE A.D., ELEFTHERIOU A., 1968 - The bottom fauna of a flat fish nursery ground. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 48 (1), pp. 113-142.

MAC INTYRE A.D., MURISSON D.J., 1973 - The meiofaune of a flatfish nursery ground J. Mar. Biol. Ass. U.K., 53, pp. 93-118.

MARE M., 1942 - A study of a marine benthic community with special reference to the microorganisms. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 25 (3), pp. 517-554.

MASSE H., 1962 - Cartographie bionomique de quelques fonds meubles de la partie sud orientale du golfe de Marseille. Rec. Trav. Stn. Mar. Endoume. Bull 27 (42), pp. 221-259.

MASSE H., 1968 - Sur la productivité des peuplements marins benthiques. Cah. Biol. Mar. XI (4), pp. 363-372.

MASSE H., 1972a - Contribution à l'étude de la macrofaune des sables fins infralittoraux des côtes de Provence. VI. Données sur la biologie des espèces Thetys, 4 (1), pp. 63-84.

MASSE H., 1972b - Contribution à l'étude de la macrofaune des sables fins infralittoraux des côtes de Provence. VII. Discussion-comparaison et interprétation des données quantitatives. Thetys, 4 (2), pp. 397-422.

MATHIVAT M.H., CAZAUX C., 1985 - Recrutement benthique de l'annélide polychète Nephtys hombergii. J. Rech. Oceanogr., 10 (4), pp. 142-145.

MENESGUEN A., 1980 - La macrofaune benthique de la Baie de Concarneau. Peuplements, dynamique des populations, prédation exercée par les poissons. Thèse 3è Cycle. Univ. Bret. Occid., 127 p.

MONBET Y., 1972 - Etude bionomique du plateau continental au large d'Arcachon. Application de l'analyse factorielle. Thèse 3è Cycle. Univ. Aix-Marseille, 99 p.

NICOLAISEN W., KANNEWORFF E., 1983 - Annual variation in vertical distribution and density of Bathyporeia pilosa Lindström and

Bathyporeia sarsi Watkin at Jukbaek North Sealand, Denmark. Ophelia 22 (2), pp. 237-251.

OLIVE P.J.W., 1977 - The life history and population structure of the polychaetes Nephtys caeca and Nephtys hombergii with special reference to the growth ring in the teeth. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 57 (1), pp. 133-150.

OLIVE P.J.W., 1978 - Reproduction and annual gametogenic cycle in Nephtys hombergii and Nephtys caeca (Polychaeta, nephtydae). Mar. Biol., 46, pp. 83-90.

OLIVE P.J.W., 1980 - Preparation of polychaete jaws for growth line examination in "Skeletal growth of aquatic organisms". Edited by D.C. Rhoads and R.A. Lutz, Plenum N.Y., pp. 625-626.

OLIVE P.J.W., 1984 - Environmental control of reproduction in polychaeta. Polychaete reproduction. Verlag ed. pp. 17-38.

OLIVE P.J.W., BENTLEY M.G., 1980 - Hormonal control of oogenesis, ovulation and spawning in the annual reproductive cycle of the polychaete Nepthys hombergii. Savigny (Nephtydae). Int. J. Invertebrate Reprod. 2, pp. 205-221.

OLIVE P.J.W., GARWOOD P.R., BENTLEY M.G., WRIGHT N.H., 1981a - Reproductive succes, relative abundance and population structure of two species of Nephtys in an estuarine beach. Mar. Biol., 63, pp. 189-196.

OLIVE P.J.W., GARWOOD P.R., BENTLEY M.G., 1981b - Reproductive failure and oosorption in polychaeta in relation to their reproductive strategies. Bull. Soc. Zool. Fr., 106 (3), pp. 263-268.

OLIVE P.J.W., MORGAN P.J., 1983 - A survey of the age structure of beach population of Nephtys spp. in the british isles. The basis of population fluctuations. Oceanol. Acta 17e Symp. Europ. Biol. Mar., pp. 141-145.

OLIVE P.J.W., BENTLEY M.G., WRIGHT N.H., MORGAN P.J., 1985 - Reproductive energetics, endocrinology and population dynamics of Nephtys caeca and Nephtys hombergii. Mar. Biol., 88, pp. 235-246.

OYENEKAN J.A., 1986 - Population dynamics and secondary production on an estuarine population of Nephtys hombergii (Polychaeta, nephtydae). Mar. Biol., 93, pp. 217-223.

PAXTON H., 1980 - Jaw growth and replacement in polychaete. J. Nat. Hist., 14 (4).

PEARSON T.H., 1970 - Studies on the ecology of the macrobenthos fauna of Lochs Linnhe and Eil ; West coast Scotland. II. Analysis of the macrofauna by comparison of feeding groups. Vie et Milieu, suppl. (22), pp. 53-91.

PEARSON T.H., ELEFTHERIOU A., 1981 - The benthic ecology of Sullom Voe. Proc. Roy. Soc. Edinburgh, 80B,pp. 241-269.

PETERSEN G.H., 1977 - The density, biomass and origin of the bivalves of the central North Sea. Meddl. Danm. Fisk. Havundersog., 7, pp. 221-273.

PICARD J., 1965 - Recherches qualitatives sur les biocenoses marines des substrats meubles dragables de la région marseillaise. Rec. Trav. Stn. Mar. Endoume, 36 (52), pp. 1-160.

PLANTE R., LELOEUFF P., 1983 - Le benthos marin et les statistiques d'échantillonnage. In "Stratégies d'échantillonnage en écologie". Frontier ed., Masson, Paris PUL, pp. 325-340.

PRICE R., WARWICK R.M., 1980 - Temporal variations in annual production and biomass in estuarine populations of two polychaetes Nephtys hombergii and Ampharete acutifrons. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 60, pp. 481-487.

PROBERT P.K., 1975 - The bottom fauna of China clay waste deposits in Mevagissey Bay. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 55, pp. 19-44.

PRYGIEL J., 1983 - Benthos de la Bassure de Baas. Etude comparative de la communauté à Ophelia borealis. DEA, UST Lille, 30 p.

QUISTHOUDT C., 1983 - Hydrologie du détroit du Pas-de-Calais. Carbone-Azote-Chlorophylle. DEA UST Lille, 38 p.

RACHOR E., GERLACH S.A., 1978 - Changes of macrobenthos in a sublittoral sand area of the german bight. Rapports et procès-verbaux des réunions. Cons. perm. intern. exploit. Mer. 172, pp. 418-431.

RAINER S.F., 1984 - Nephtys pente sp. nov. (Polychaeta : nephtydae) and a key to Nephtys from northern Europe. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 64,pp. 899-907.

RASMUSSEN E., 1973 - Systematics and ecology of the Isefjord marine fauna (Denmark). Ophelia, 11, pp. 1-495.

REISE K., 1979 - Spatial configurations generated by motile benthic polychaetes. Helgoländ. Meeresunt. 32, pp. 55-72.

REISH D.J., 1959 - A discussion of the importance of the screen size in washing quantitative marine bottom samples. Ecology, 40, pp. 307-309.

RETIERE C., 1972 - Structure et dynamique d'une population de Travisia forbesii Johnston 1840 (Ophelidae) dans la région de Dinard. C.R. Acad. Sc. Paris, 275 (D), pp. 1543-1546.

RETIERE C., 1976 - Determination des classes d'age des populations de Nephtys hombergii (annélide polychète) par lecture des mâchoires en microscopie électronique à balayage. Structure des populations en Rance maritime. C.R. Acad. Sc. Paris, 282 (D), pp. 1553-1556.

RETIERE C., 1979 - Contribution à la connaissance des peuplements

benthiques du golfe normano-breton. Thèse d'état Univ. Rennes, 370 p.

REYS J.P., 1971 - Analyse statistique de la microdistribution des espèces benthiques de la région de Marseille. Thétys 3, pp. 381-403.

RHOADS D.C. YOUNG D.K., 1970 - The influence of deposit feeding organisms on sediment stability and community trophic structure. Jour. Mar. Res., 28 (2), pp. 150-177.

RIVAIN V., 1983 - Contribution à l'étude dynamique et fonctionnelle des peuplements de sables fins du golfe normano-breton. Thèse de 3ème Cycle . Univ. Paris VI, 150 p.

ROBERTSON, 1979 - The relationship between annual production. Biomass ratios and lifespans for marine macrobenthos. Oecologia, 38, pp. 193-202.

RODRIGUEZ V., IBANEZ M., RODRIGUEZ J., 1980 - Ecologie des annélides polychètes de quelques plages de la baie d'Algeciras (Espagne). Vie et Milieu 30 (2), pp. 131-138.

ROSENBERG R., 1972 - Benthic faunal recovery in a swedish fjord following the dosure of a sulphite pulp mill. Oikos, Vol. 23, pp. 93-108.

ROSENBERG R., 1974 - Spatial dispersion of an estuarine benthic faunal community. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., Vol. 15, pp. 69-80.

ROSENBERG R., 1977 - Benthic macrofaunal dynamics, production and dispersion in an oxygen-deficient estuary of west Sweden. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 26, pp. 107-133.

SANDERS H.L., 1960 - Benthic studies in Buzzards Bay. III. The structure of the soft bottom community. Limnol. Oceanogr. 5 (2), pp. 138-153.

SCHEIBEL W., 1981 - Zur Nahrung von Nephtys ciliata (O.F. Müller, 1776) (Polychaeta nephtydae) aus der westlichen Ost See (Kieler Bucht).

Zool. Anz., 206, 3-4, pp. 171-177.

SMITH W., MAC INTYRE A.D., 1954 - A spring-loaded bottom sampler. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 33, pp. 257-264.

SOUPLET A., DEWARUMEZ J.M., 1980 - Les peuplements benthiques du littoral de la région de Dunkerque. Cah. Biol. Mar. XXI, pp. 23-39.

SOUPLET A., GLACON R., DEWARUMEZ J.M., SMIGIELSKI F., 1980 - Distribution des peuplements benthiques littoraux en Mer du Nord du Cap Blanc-Nez à la frontière belge. C.R. Acad. Sc. Paris, 290 (D), pp. 627-630.

SOUTHWARD E.C., 1957 - The distribution of polychaete in offshore deposits in the Irish Sea. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 36 (1), pp. 49-77.

STEIMLE F.W.Jr., 1985 - Biomass and estimated productivity of the benthic macrofauna in the New York Bight. A stressed coastal area. Estuarine coastal, Mar. Sci., 21, pp. 539-554.

THORSON G., 1946 - Reproduction and larval developpment of danish marine bottom invertebrates with special reference to the planktonic larvae in the sound (Oresund). Meddl. Danm. Fisk. Havundersog ser. plankton Bind 4 NR 1.

THORSON G., 1957 - Bottom communities (sublittoral of shallow shelf). Geol. Soc. Am. Mem. 67 (1), pp. 461-534.

THORSON G., 1966 - Some factors influencing the recruitment and establishment of marine benthic communities. Neth. J. Sea Res., 3 (2), pp. 267-293.

TOULEMOND A., 1972 - Influence de la nature granulométrique des sédiments sur les structures benthiques (Baies de Douarnenez et d'Audierne - Ouest Finistère). Cah. Biol. Mar. XIII (1), pp. 91-136.

TREVOR J.H., 1976 - The burrowing activity of Nephtys cirrosa Ehlers

(Annelida :polychaeta). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 24 (3), pp. 307-319.

TYLER P.A., SHACKLEY S.E., 1980 - The benthic ecology of linear sand banks : a modified Spisula sub-community : a case study of Swansea bay. Ind. embrayments and their environmental problems. Ed. by M.B. Collins et coll. Pergamon Press, pp. 539-554.

VERMEULEN Y.M., GOVAERE J.C.R., 1983 - Distribution of benthic macrofauna in the western Scheldt estuary (the Nederlands). Cah. Biol. Mar. XXIV (3), pp. 297-309.

VANOSMAEL C., WILLEMS K.A., CLAEYS D., VINCX M., HEIP C., 1982 - Macrobenthos of a sublittoral sandbank in the southern bight of the North Sea. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 62, pp. 521-534.

WARWICK R.M., PRICE R., 1975 - Macrofauna production in an estuarine mud flat. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 55, pp. 1-18.

WARWICK R.M., DAVIES J.R., 1977 - The distribution of sublittoral macrofauna comunities in the Bristol Channel in relation to the substrate. Estuarine Coastal, Mar. Sci., 5, pp. 267-288.

WARWICK R.M., GEORGE C.L., DAVIES J.R., 1978 - Annual macrofauna production in a Venus community. Estuarine Coastal, Mar. Sci. 7 (3), pp. 215-241.

WATERS T.F., 1969 - The turnover ratio in production ecology of freshwater invertebrates. Am. Nat., 103 (930), pp. 173-185.

WATERS T.F., 1979 - Influence of benthos life history upon the estimation of secundary production. J. Fish Res. Bound Can., 36 (12), pp. 1425-1430.

WATERS T.F., CRAWFORD C.W., 1973 - Annual production of a stream mayfly population : a comparison of methods. Limnol. Oceanogr. 18 (2), pp. 286-296.

WIEDERHOLM T., ERIKSSON L., 1977 - Effets of alkohol preservation on the weight of some benthic invertebrates. Zoon 5 (1), pp. 29-31.

WIGHLEY R.L., MAC INTYRE A.D., 1964 - Some quantitative comparisons of offshore meiobenthos and macrobenthos south of Martha's Vineyard. Limnol. Oceanogr. 9 (4), pp. 485-494.

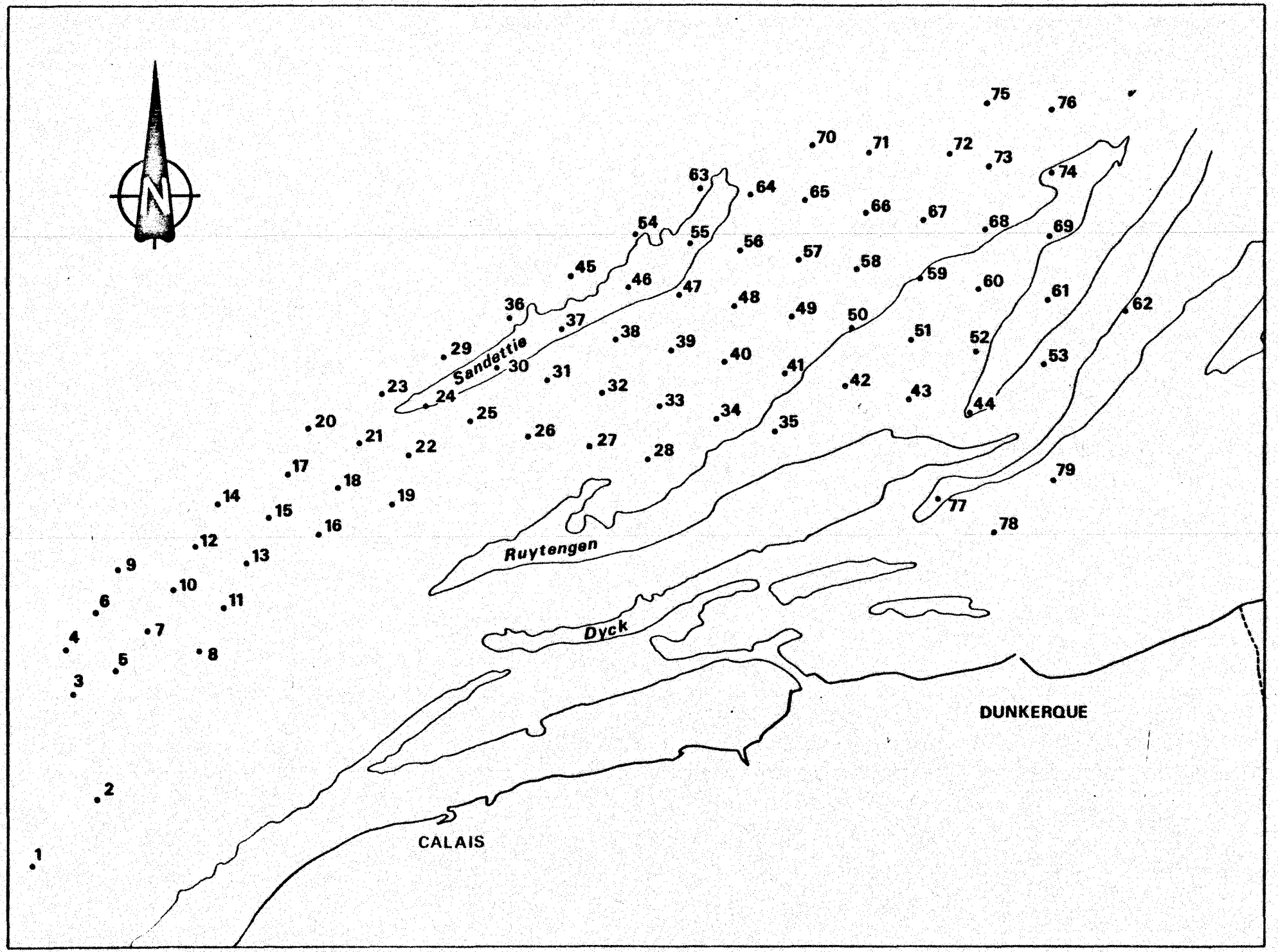
WILLEMS K.A., VINCX M., CLAEYS D., VANOSMAEL C., HEIP C., 1982 - Meiobenthos of a sublittoral sandbank in the southern bight of the North Sea. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 62, pp. 535-548.

WITHERS R.G., 1977 - Soft shore macrobenthos along the south west coast of Wales. Estuarine Coastal Mar. Sci., 5, pp. 467-484.

WITHERS R.G., THORP G.M., 1978 - The macrobenthos in habiting sandbanks in Langstone Harbour, Hampshire. J. Nat. Hist., 12, pp. 445-455.

WOLFF W.J., 1971 - Distribution of 4 species of Nephtys (Polychaeta) in the estuarine area of the rivers Rhine, Meuse and Sheldt. Vie et Milieu, T.S.E.B.M., suppl. 22, pp. 677-699.

WOLFF W.J., WOLF L. DE, 1977 - Biomass and production of zoobenthos in the Grevelingen Estuary, the Netherlands. Estuarine Coastal Mar. Sci., 5, pp. 1-24.



Annexe 1 - Etude bionomique : Stations de dragages

Station	Repérage DECCA	Station	Repérage DECCA	Station	Repérage DECCA
1	E 6,30 H 42,55	30	F 12,00 G 42	59	G 0,00 G 34,00
2	E 4,50 H 42,15	31	F 6,00 G 40,00	60	G 2,00 G 34,00
3	E 5,70 H 39,5	32	F 8,00 G 40,00	61	G 4,00 G 34,00
4	E 6,00 H 38,00	33	F 10,00 G 40,00	62	G 6,00 G 34,00
5	E 8,00 H 38,00	34	F 12,00 G 40,00	63	G 8,00 G 34,00
6	E 8,00 H 36,00	35	F 14,00 G 40,00	64	G 10,00 G 34,00
7	E 10,00 H 36,00	36	F 16,00 G 40,00	65	G 22,00 G 32,00
8	E 12,00 H 36,00	37	F 18,00 G 40,00	66	G 0,00 G 32,00
9	E 10,00 H 34,00	38	F 10,00 G 38,00	67	G 2,00 G 32,00
10	E 12,00 H 34,00	39	F 12,00 G 38,00	68	G 4,00 G 32,00
11	E 14,00 H 34,00	40	F 14,00 G 38,00	69	G 6,00 G 32,00
12	E 14,00 H 32,00	41	F 16,00 G 38,00	70	G 18,00 G 32,00
13	E 16,00 H 32,00	42	F 18,00 G 38,00	71	G 10,00 G 32,00
14	E 16,00 H 30,00	43	F 20,00 G 38,00	72	G 4,00 G 36,00
15	E 18,00 H 30,00	44	F 22,00 G 38,00	73	G 6,00 G 30,00
16	E 20,00 H 30,00	45	G 0,00 G 38,00	74	G 8,00 G 30,00
17	E 20,00 G 46,00	46	G 2,00 G 38,00	75	G 10,00 G 30,00
18	E 22,00 G 46,00	47	F 14,00 G 36,00	76	G 12,00 G 30,00
19	F 0,00 G 46,00	48	F 16,00 G 36,00	77	G 12,00 F 46,00
20	E 22,00 G 44,00	49	F 18,00 G 36,00	78	G 14,00 F 46,00
21	F 0,00 G 44,00	50	F 20,00 G 36,00	79	F 22,32 G 41,68
22	F 2,00 G 44,00	51	F 22,00 G 36,00	80	G 0,22 G 40,68
23	F 4,00 G 44,00	52	G 0,00 G 36,00	81	G 2,81 G 39,63
24	F 6,00 G 44,00	53	G 2,00 G 36,00	82	F 23,58 G 41,37
25	F 2,00 G 42,00	54	G 4,00 G 36,00		
26	F 4,00 G 42,00	55	G 6,00 G 36,00		
27	F 6,00 G 42,00	56	F 18,00 G 34,00		
28	F 8,00 G 42,00	57	F 20,00 G 34,00		
29	F 10,00 G 42,00	58	F 22,00 G 34,00		

ANNEXE 2

LISTE DES ESPECES RECENSEES SUR LA COMMUNAUTE A OPHELIA BOREALIS

Cl. POLYCHAETA

Scoloplos armiger (O.F. Müller,1776)
Paraonis fulgens (Levinsen,1883)
Aracidea cerrutii (Laubier, 1966)
Nerine foliosa (Aud. et Edw.,1834)
Nerine bonnieri Mesnil,1896
Spio filicornis (O.F. Müller,1776)
Spiophanes bombyx (Clarapède,1870)
Aonides oxycephala (M. Sars,1862)
Polydora ciliata (Johnston,1838)
Polydora pulchra (Carazzi,1895)
Magelona papillicornis O.F. Müller,1858
Poecilochaetus serpens Allen,1904
Cirratulus cirratus (O.F. Müller,1776)
Chaetozone setosa Malmgren,1867
Caulleriella alatus (Southern,1914)
Notomastus latericeus Sars,1850
Arenicola marina (Linné,1758)
Euclymene oerstedii Clarapède,1863
Micromaldane ornithochaeta Mesnil,1897
Travisia forbesii Johnston,1840
Ophelia borealis Quatrefages,1845
Anaitides mucosa Oersted,1843
Anaitides groenlandica Oersted,1843
Eulalia viridis (Linné,1767)
Eumida sanguinea (Oersted,1843)
Eteone longa (Fabricius,1780)
Eteone foliosa Quatrefages,1865
Mysta picta (Quatrefages,1865)
Mystides limbata Saint-Joseph,1888
Harmothoe impar (Johnston,1839)
Harmothoe longisetis (Grube,1863)

Harmothoe lunulata (Delle Chiaje,1841)
Sthenelais limicola (Ehlers,1864)
Pholoe minuta (Fabricius,1780)
Pisione remota Southern,1914
Kefersteinia cirrata (Keferstein,1862)
Nereis zonata Malmgren,1867
Glycera gigantea Quatrefages,1865
Glycera lapidum Quatrefages
Glycinde nordmanni (Malmgren,1865)
Nephtys longosetosa Oersted,1843
Nephtys caeca (Fabricius,1780)
Nephtys cirrosa (Ehlers,1868)
Nephtys hombergii Savigny,1818
Lumbrineris fragilis (O.F. Müller,1776)
Lumbrineris gracilis Ehlers,1868
Owenia fusiformis Delle Chiaje,1841
Lagis koreni Malmgren,1866
Ampharete acutifrons (Grube,1860)
Lanice conchilega (Pallas,1776)

MOLLUSCA

Gastropoda

Natica alderi (Forbes,1838)

Bivalvia

Nucula hanleyi Winckworth,1931
Nucula nucleus (Linné,1758)
Modiolus modiolus (Linné,1758)
Montacuta ferruginosa (Montagu,1808)
Mysella bidentata (Montagu,1803)
Spisula elliptica (Brown,1827)
Spisula ovalis (Sowerby,1817)
Macoma balthica (Linné,1758)
Tellina tenuis Da Costa,1778
Tellina fabula Gmelin,1791
Angulus pygmaeus (Loven,1846)
Angulus donacinus (Linné,1758)

Abra alba (W. Wood,1802)

Abra prismatica (Montagu,1803)

Ensis arcuatus (Jeffreys,1865)

Mya truncata Linné,1758

CRUSTACEA

Amphipoda

Hippomedon denticulatus (Bate,1857)

Lepidepecrum longicorne (Bate et Westwood,1861)

Orchomene nana (Kroyer,1846)

Tryphosella sarsi Bonnier,1893

Ampelisca spinipes Boeck,1851

Leucothoe incisa Robertson,1892

Sthenotoe marina (Bate,1856)

Melita gladiosa Bate,1862

Melita obtusata (Montagu,1813)

Bathyporeia elegans Watkin,1938

Bathyporeia guilliamsoniana (Bate,1856)

Bathyporeia pelagica (Bate,1856)

Urothoe brevicornis Bate,1862

Urothoe elegans (Bate,1856)

Urothoe poseidonis Reibisch,1905

Perioculodes longimanus (Bate et Westwood,1868)

Pontocrates altamarinus (Bate et Westwood,1862)

Megaluropus agilis Hoeck,1889

Atylus falcatus Metzger,1871

Atylus swammerdami (Milne-Edwards,1830)

Gammaropsis maculata (Johnston,1828)

Gammaropsis nitida (Stimpson,1853)

Corophium sextonae Crawford,1937

Jassa falcata (Montagu,1808)

Caprella linearis (Linné,1758)

Isopoda

Paragnathia formica Hesse,1864

Eurydice pulchra Leach,1815

Eurydice spinigera Hansen,1890

Idotea linearis (Linné,1763)

Tanaidacea

Tanais cavolini Milne Edwards,1829

Cumacea

Bodotria scorpioides (Montagu,1804)

Iphinoe trispinosa (Goodsir,1843)

Pseudocuma similis Sars,1900

Pseudocuma longicornis (Bate,1858)

Diastylis lucifera (Kroyer,1841)

Diastylis bradyi Norman,1879

Diastylis rathkei (Kroyer,1841)

Mysidacea

Gastrosaccus normani Sars,1877

Gastrosaccus spinifer (Goes,1864)

Paramysis helleri (Sars,1877)

Shistomysis spiritus (Norman,1860)

Mesopodopsis sabbleri (Van Beneden,1861)

Decapoda

Processa canaliculata Leach,1815

Processa edulis crassipes Nouvel et Holthuis,1957

Crangon crangon (Linné,1758)

Pontophilus trispinosus Hailstone,1835

Upogebia deltaura (Leach,1815)

Galathea intermedia Liljeborg,1851

Pisidia longicornis (Linné,1767)

Pagurus bernhardus (Linné,1758)

Ebalia tuberosa (Pennant,1777)

Corystes cassivelaunus (Pennant,1777)

Thia scutellata (Fabricius,1793)

Liocarcinus pusillus (Leach,1815)

Liocarcinus depurator (Linné,1758)

Liocarcinus marmoreus (Leach,1816)

Liocarcinus holsatus (Fabricius,1798)

Pinnotheres pisum (Linné,1767)

ECHINODERMATA

Ophiothrix fragilis (Abilgaard)

Amphipholis squamata (Delle Chiaje,1829)

Acrocnida brachiata (Montagu)

Ophiura albida Forbes

Ophiura affinis Lütken

Psammechinus miliaris (Gmelin)

Echinocyamus pusillus (O.F. Müller)

Echinocardium cordatum (Pennant,1777)

CHORDATA

Ammodytes tobianus

ANNEXE 3

LISTE DES ABREVIATIONS D'ESPECES UTILISEES
DANS LES DIAGRAMMES RANGS-FREQUENCES

A.a. Abra alba
A.g. Anaitides groenlandica
A.sw Atylus swammerdami
B.e. Bathyporeia elegans
B.g. Bathyporeia guilliamsoniana
C.s. Chaetozone setosa
E.c. Echinocardium cordatum
E.l. Eteone longa
E.s. Eurydice spinigera
G.s. Gastrosaccus spinifer
L.f. Lumbrineris fragilis
L.k. Lagis koreni
M.p. Magelona papillicornis
N.b. Nerine bonnieri
N.c. Nephtys cirrosa
N.ca Nephtys caeca
N.h. Nephtys hombergii
N.l. Nephtys longosetosa
O.a. Ophiura albida
O.b. Ophelia borealis
P.b. Pagurus bernhardus
P.f. Paraonis fulgens
P.s. Poecilochaetus serpens
S.a. Scoloplos armiger
S.b. Spiophanes bombyx
S.f. Spio filicornis
S.o. Spisula ovalis
U.b. Urothoe brevicornis