

ETUDE DYNAMIQUE D'UN ECOSYSTEME PERTURBE
PAR DES REJETS POLLUANTS
IMPACT DES ACTIVITÉS HUMAINES SUR LES PEUPEMENTS
MACROBENTHIQUES DE LA RADE DE BREST

PAR MONIQUE GUILLOU
ET CHRISTIAN HILY

INSTITUT D'ETUDES MARINES
Laboratoire d'Océanographie Biologique
29283 - BREST -

CONTRAT C.N.E.X.O./ U.B.O./ C.O.B. N° 79/5812

INTRODUCTION

Le présent travail est la troisième partie de l'étude entreprise en Rade de BREST sur l'impact des activités humaines sur les peuplements macrobenthiques des fonds meubles.

- La première partie a recensé les fonds soumis aux perturbations et le type de dégradation provoqué par les activités humaines.

- Dans la seconde partie, nous avons étudié les différents aspects présentés par un peuplement de vases sableuses sur un gradient de matière organique depuis la source de la pollution jusqu'aux fonds propres. Nous avons pu définir une échelle écologique de la pollution en la replaçant dans un contexte plus général.

- La troisième partie mettra en évidence l'importance qualitative et quantitative des variations temporelles dans ces peuplements stressés, le parallélisme entre les modifications physicochimiques du milieu et la colonisation temporaire des espèces opportunistes à cycle court, la nécessité d'un suivi écologique suffisamment long (3 ans) pour comprendre les phénomènes de succession et la dynamique évolutive des populations installées sur les fonds perturbés.

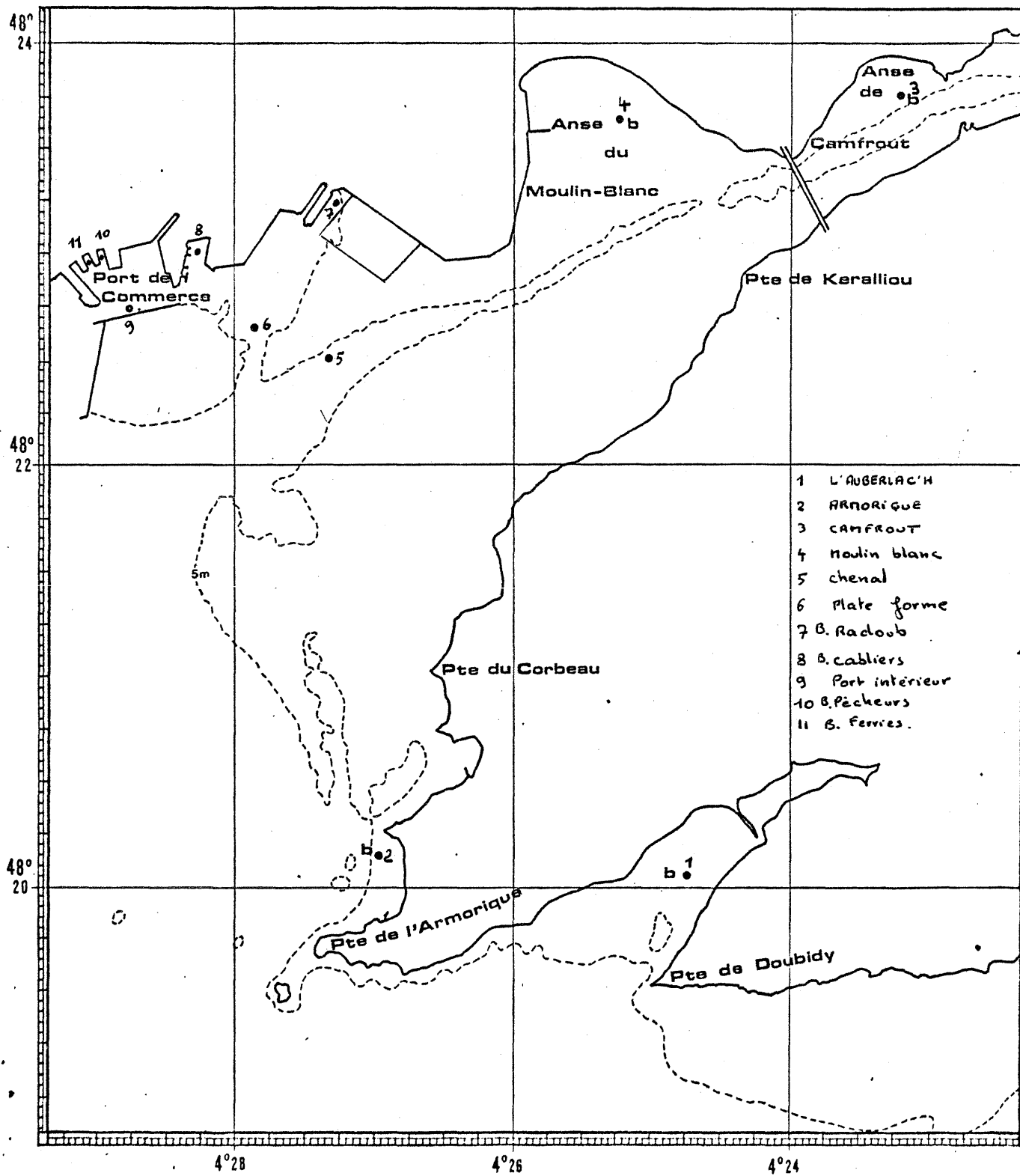


FIG. 1 - CARTE DES STATIONS

METHODES & MODALITES DU SUIVI ECOLOGIQUE

Nous rappelons ici, sans reprendre les résultats déjà obtenus les modalités définies pour le suivi écologique.

De Mai 1978 à Janvier 1979, 6 stations ont été suivies mensuellement à chaque station, 8 prélèvements de 0,1 m² sont effectués avec une benne Smith Mac Intyre.

<u>Localisation des stations</u>	<u>Nom synthétique de la station</u>
A : Intérieur du port de commerce	Port intérieur
B : Extérieur " "	Plate forme
C : Bordure du chenal de l'Elorn face au port	Chenal
D : Anse de l'Armorique	Armorique
E : Anse du Moulin Blanc	Moulin Blanc
F : Anse de Camfrout	Camfrout

Depuis Janvier 1979, 4 stations supplémentaires sont suivies mensuellement :

g : Bassin n° 2	Bassin Ferry
h : " 3	Bassin Pêcheur
i : " 5	Bassin Cabliers
j : " 6	Bassin Radoub

- Carte des Stations : Fig. 1

La modulation du programme d'échantillonnage en Janvier 1979 nous est apparue nécessaire, à l'analyse des échantillons prélevés lors d'une reconnaissance générale des fonds du port, chaque bassin apparaissant comme un cas particulier (cf. rapport 1978, p. 16-17)

Il faut rappeler ici une fois de plus les difficultés entraînées par le temps nécessaire au tri des échantillons, puis à la détermination fine des espèces dans ces sédiments perturbés. Cela peut atteindre 20 heures par prélèvements de 0,1 m². Sur ces fonds vaseux et riches en matière organique, les espèces de petite taille prolifèrent. Le tri et la détermination doivent donc être très minutieux, c'est ce travail que nous avons présenté en Mai 1978. Pour 80 prélèvements réalisés chaque mois, il n'est matériellement pas possible d'effectuer systématiquement cette démarche, nous l'avons donc adaptée en choisissant un certain nombre d'espèces caractéristiques, sur la base des résultats acquis précédemment.

Ces espèces doivent être suffisamment abondantes et caractéristiques de leur milieu pour que les variations spatio-temporelles aient une réelle signification écologique. L'ensemble des spectres de répartition de ces espèces doit pouvoir décrire tout l'espace étudié, et mettre en évidence les différentes modalités ou faciès existant sur le gradient de pollution.

L'application de la méthode multivariable de l'analyse en composantes principales (+) réalisée avec les espèces sélectionnées sur 30 stations du mois de Mai 1978, nous a, entre autre, permis de contrôler le choix des espèces ; ces espèces sont en effet suffisantes d'une part pour individualiser les stations et d'autre part assez distantes les unes des autres pour caractériser les différentes conditions du milieu (voir Fig.

Le suivi parallèle des conditions physicochimiques du milieu nous permet d'interpréter les variations observées au niveau des peuplements.

EVOLUTION DES CONDITIONS HYDROLOGIQUES

Fig. 2 - 3 - 4 - 5

Ces figures présentent les variations de T et de S°/‰ de Novembre 1978 à Avril 1980. Les données de S°/‰ et T sont prises dans la tranche d'eau à l'interface eau-sédiment. Les prélèvements sont effectués à marée haute ± 1 heure.

Discussion

+ Evolution temporelle dans l'ensemble des 4 stations

- En 1978 : refroidissement automnal plus tardif qu'en 1979
- Hiver 78-79 plus froid que 79-80
- Pluviosité plus forte en hiver 79-80 , entraînant de faibles salinités

+ Variations spatiales

- Seule la station de Camfrout est soumise à des conditions estuariennes . La salinité varie de 35 à 27,5°/‰. Les prélèvements étant effectués à marée haute ; en fin de marée descendante, ces salinités peuvent descendre à 20 °/‰ en hiver.

- Les stations du "chenal" et "Armorique" sont plus marines. Les salinités variant de 35.6 à 32 °/‰, elles sont caractéristiques des eaux moyennes de la Rade de BREST.

(+) Programme H.P. mis au point par PH. GROS

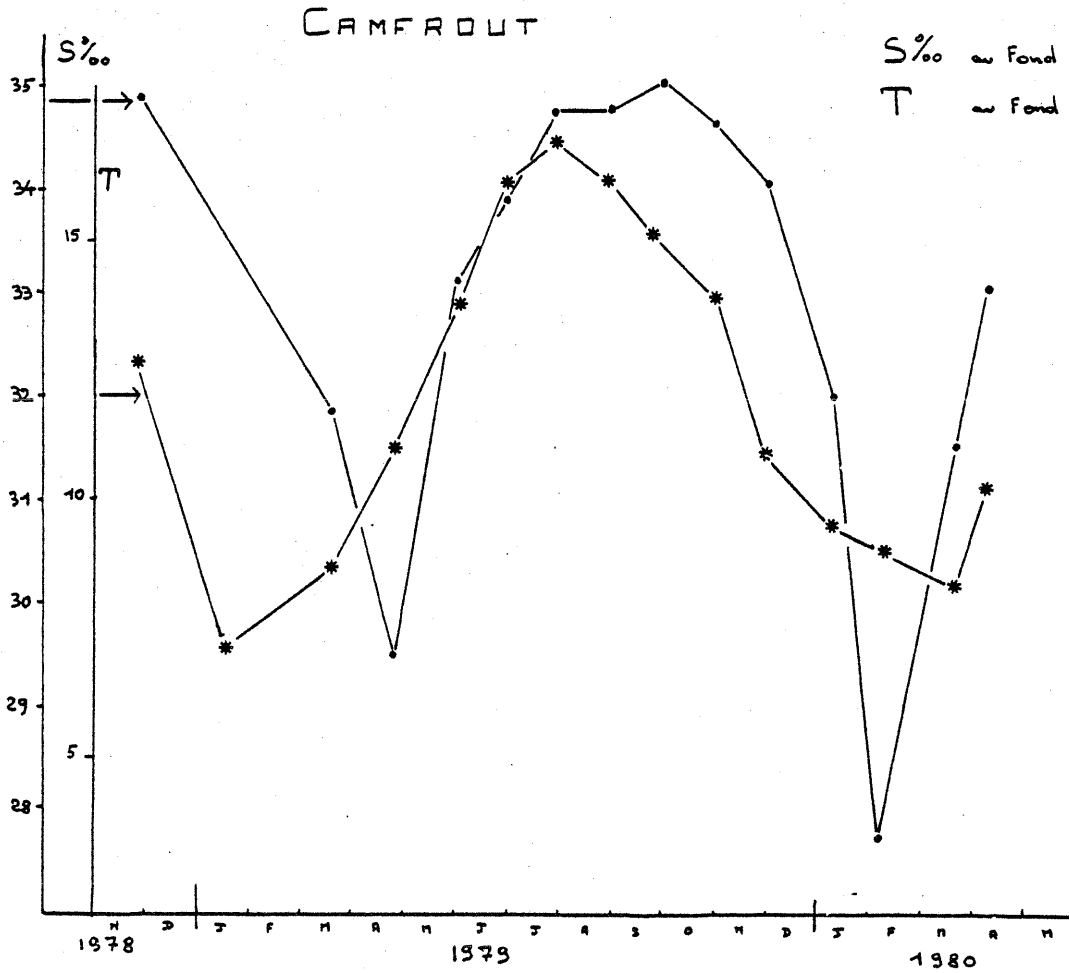


FIG. 2

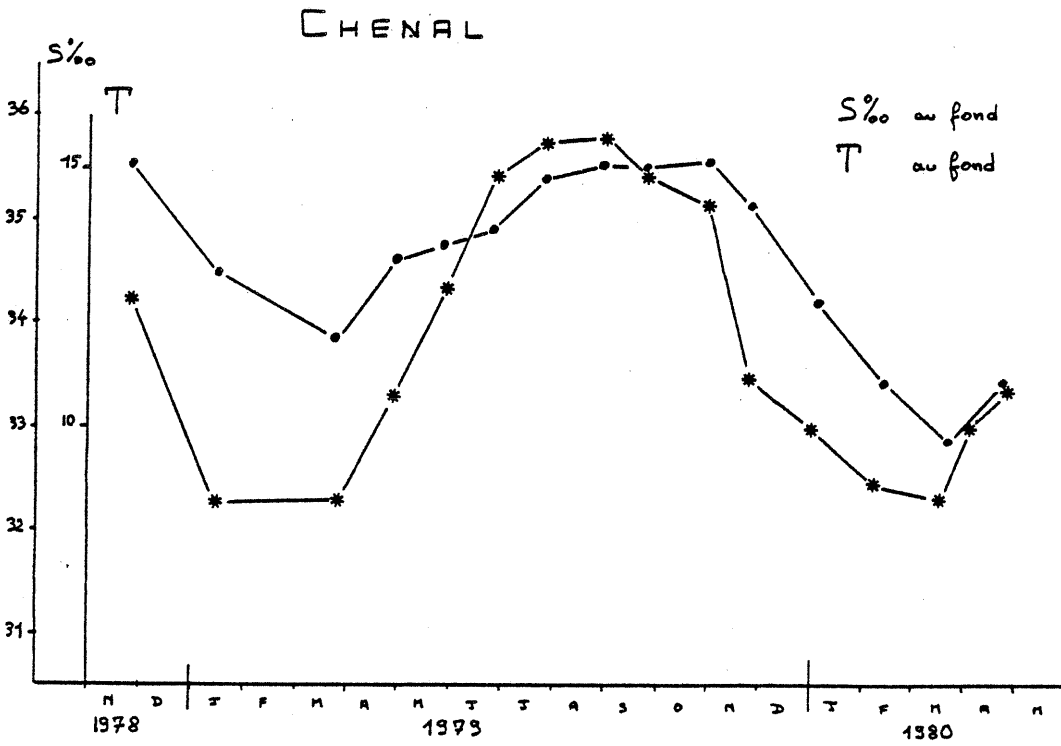


FIG. 3

PORT INTERIEUR

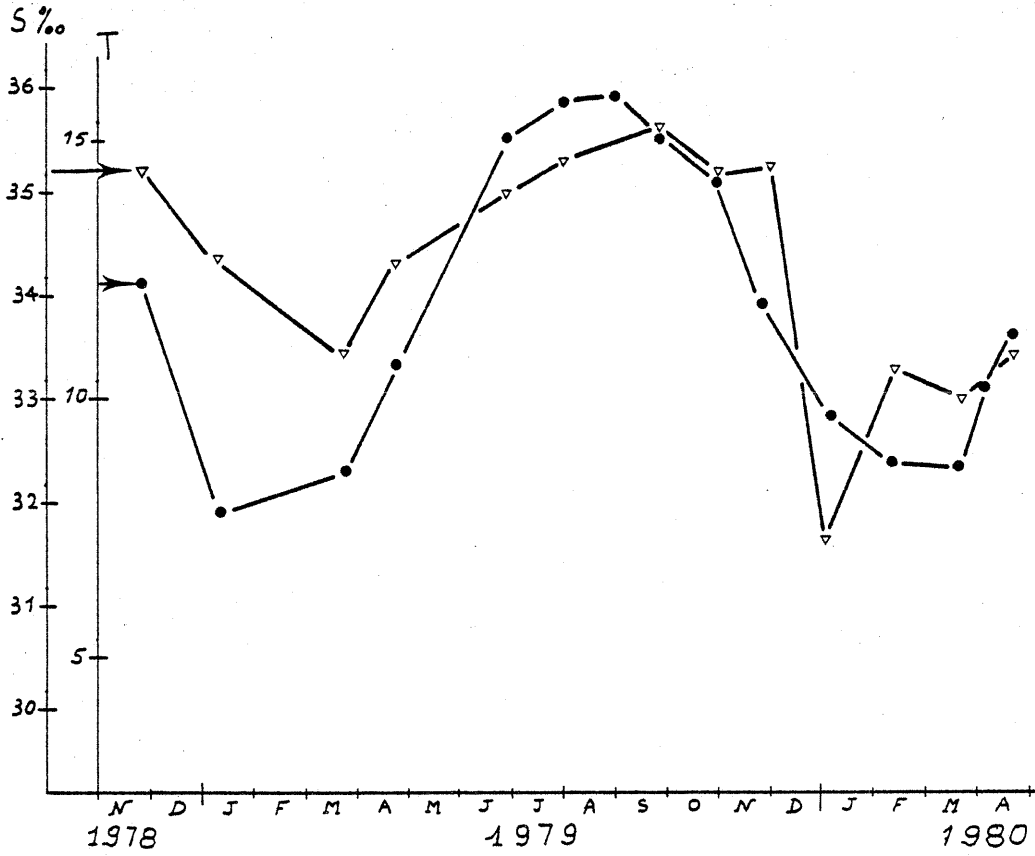


FIG. 4

ARMORIQUE

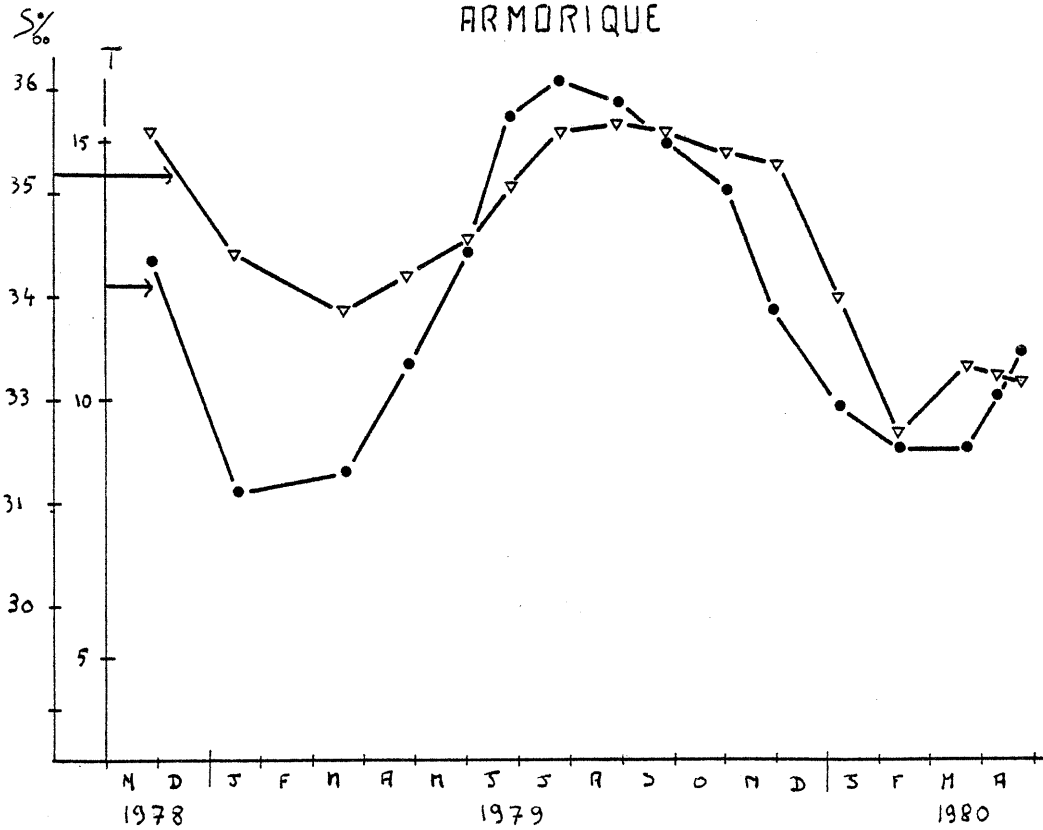


FIG. 5

- Les eaux du port intérieur subissent nettement l'influence des apports d'eau douce des effluents urbains bien que cette station soit soumise au courant de marée circulant entre les passes Est et Ouest du port. En période de pluies, la salinité peut descendre en dessous de 32 ‰.

- Les températures de la vase suivent fidèlement les températures observées au-dessus du fond, avec un temps de latence relativement faible ; les écarts entre la tranche d'eau à l'interface et le sédiment à 3-4 cm de profondeur ne dépassent pas 2-3 dixièmes de degrés.

Les variations de T et S ‰ entre surface et fond sont importantes aux stations de Camfrout et du Moulin Blanc, ainsi que dans les bassins où l'arrivée d'eau douce en surface est très nette.

ETUDE DU POTENTIEL D'OXYDO-REDUCTION

L'activité bactérienne liée à la dégradation de la matière organique piégée dans le sédiment est un bon révélateur de la charge en matière organique du sédiment. Cette activité bactérienne est mise en évidence par la mesure du potentiel d'oxydo-réduction du sédiment, la dégradation peut se réaliser de manière aérobie ou anaérobie. Dans le premier cas, la différence de potentiel (en mV) entre l'eau à l'interface et le sédiment sera positive ; dans le cas contraire, il sera négatif. L'oxygène du sédiment a tendance à monter vers la surface, les produits réduits restant en profondeur où ne subsistent que les bactéries anaérobies. Il y a alors formation d'hydrogène sulfuré. La zone réduite est généralement visible directement au niveau du sédiment car le sable ou la vase deviennent noirs.

Les mesures sont effectuées à bord, à partir d'une carotte prélevée au moyen d'un carottier Rouvillois. L'avantage de cet engin est de prélever des carottes conservant, sans la troubler, la couche d'eau à l'interface. A chaque station, deux profils d'oxydoréduction sont réalisés sur deux échantillons. La valeur obtenue est la différence de potentiel entre une électrode de référence située dans l'eau à 3-4 cm au-dessus du sédiment et une électrode de platine située à la surface du sédiment, puis dans le sédiment. Une mesure est faite tous les cms. Les lectures sont effectuées après une stabilisation du potentiel. Dans les premiers centimètres, le temps est d'environ 1 mm (au niveau de la discontinuité); au-delà la stabilisation est quasi immédiate.

La Figure 6 représente à un moment donné (24 Juillet 1979) les profils d'oxydo-réduction dans le sédiment à 4 stations de la Rade de BREST. Un certain nombre de remarques s'imposent :

- Dans les 4 stations, le potentiel est négatif dès 3 cm de profondeur. A cette date, les sédiments vaseux en Rade de BREST sont peu oxygénés, la station de l'Armorique étant une vase sableuse moyenne de la Rade de BREST.

- A partir de 4 cm de profondeur, les profils de l'Armorique du Chenal et du port intérieur sont semblables

- Dans ces 3 stations, le potentiel est positif dans l'eau surnageante et à la surface du sédiment.

- A 1 cm de profondeur, seul le sédiment de l'Armorique est encore oxygéné. Dans le Chenal, le potentiel est légèrement négatif et très négatif dans le port intérieur qui correspond à une zone polluée au niveau des peuplements.

- Le profil du bassin des câblers est très distant des trois autres. L'eau à 1 cm au-dessus du sédiment est déjà dépourvue d'oxygène et à la surface du sédiment, le potentiel est de (-400 mV). Nous verrons plus loin qu'à cette date, aucune macrofaune n'était présente dans le sédiment. Ce profil correspond donc à une station très polluée, les stations du chenal et du port intérieur ayant dès le 1er cm un sédiment réduit, seules les espèces tolérant de faibles taux d'oxygénation survivent ; cependant l'eau étant bien oxygénée, les espèces tubicoles, en exploitant la couche d'eau épibenthique (filtreurs) ou la surface du sédiment (dépositivores) se maintiennent bien, même si leur tube descend dans la zone réduite.

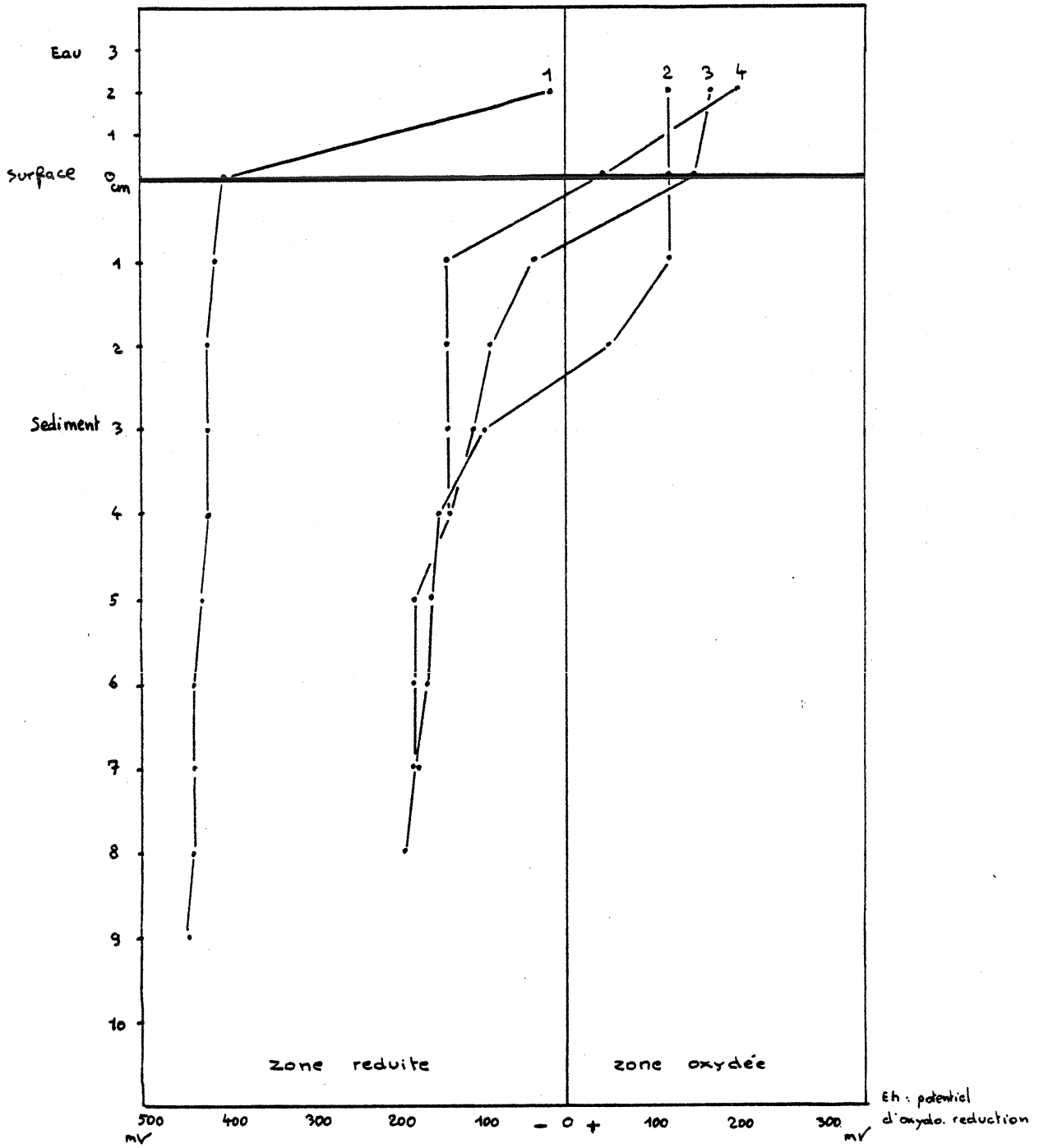
La Figure 7 représente l'évolution de la profondeur de la zone réduite pendant une année dans 5 stations

- chaque point correspond à la profondeur à laquelle la différence de potentiel est nulle.

On peut observer que : - les conditions physicochimiques du sédiment subissent une évolution annuelle dans toutes les stations.

- la descente en profondeur de la zone réduite pendant l'hiver met en évidence la meilleure oxygénation du sédiment à cette saison due au brassage plus important et à la température faible.

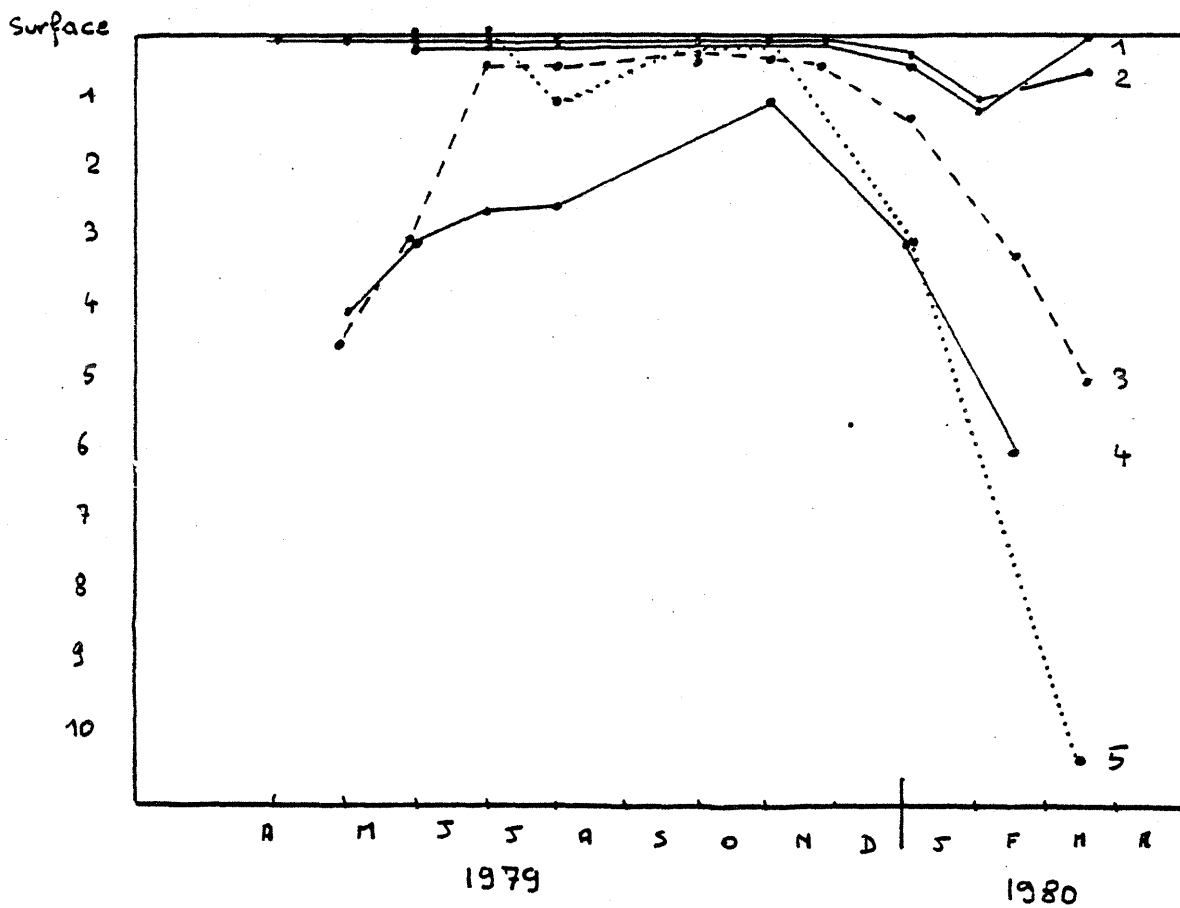
- l'évolution n'est pas saisonnière dans toutes les stations. Les valeurs d'Avril 79 et 80 ne correspondent, qu'à l'Armorique et dans le port Intérieur.



Profils d'oxydo-reduction dans la colonne de sediment
le 24 juillet 1979 : 1. Bassin cabrier . 2 Armorique 3 chenal
4. Port intérieur

FIG. 6

Evolution temporelle de la zone de potentiel
d'oxydo-réduction nul dans 5 stations de la
Rade de Brest



-nb : Au dessus de cette zone : le sediment est oxyde (Potentiel > 0)
Au dessous de cette zone : le sediment est reduit (Potentiel < 0)

- 1 - Bassin radoub
- 2 - Bassin cablier
- 3 - Port interieur
- 4 - Armorique
- 5 - chenal

FIG. 7

Les bassins Radoub, Cabliers, Chenal montrent une amélioration des conditions d'oxygénation en hiver 1979 par rapport à l'hiver 1978, après une baisse normale en été. Les travaux du port (dragages - remblaiements) arrêtés en Août 1978 ne sont pas étrangers à cette évolution. Cette tendance se retrouve aussi au niveau de la macrofaune.

- Les bassins Radoub et Cabliers sont très pollués, la couche réduite affleure la surface toute l'année. La station du Port Intérieur est dans une zone stable, l'évolution du potentiel marque un cycle saisonnier bien net, caractéristique d'une zone polluée, la couche réduite atteint la surface en été et descend à 5 cm de profondeur en hiver.

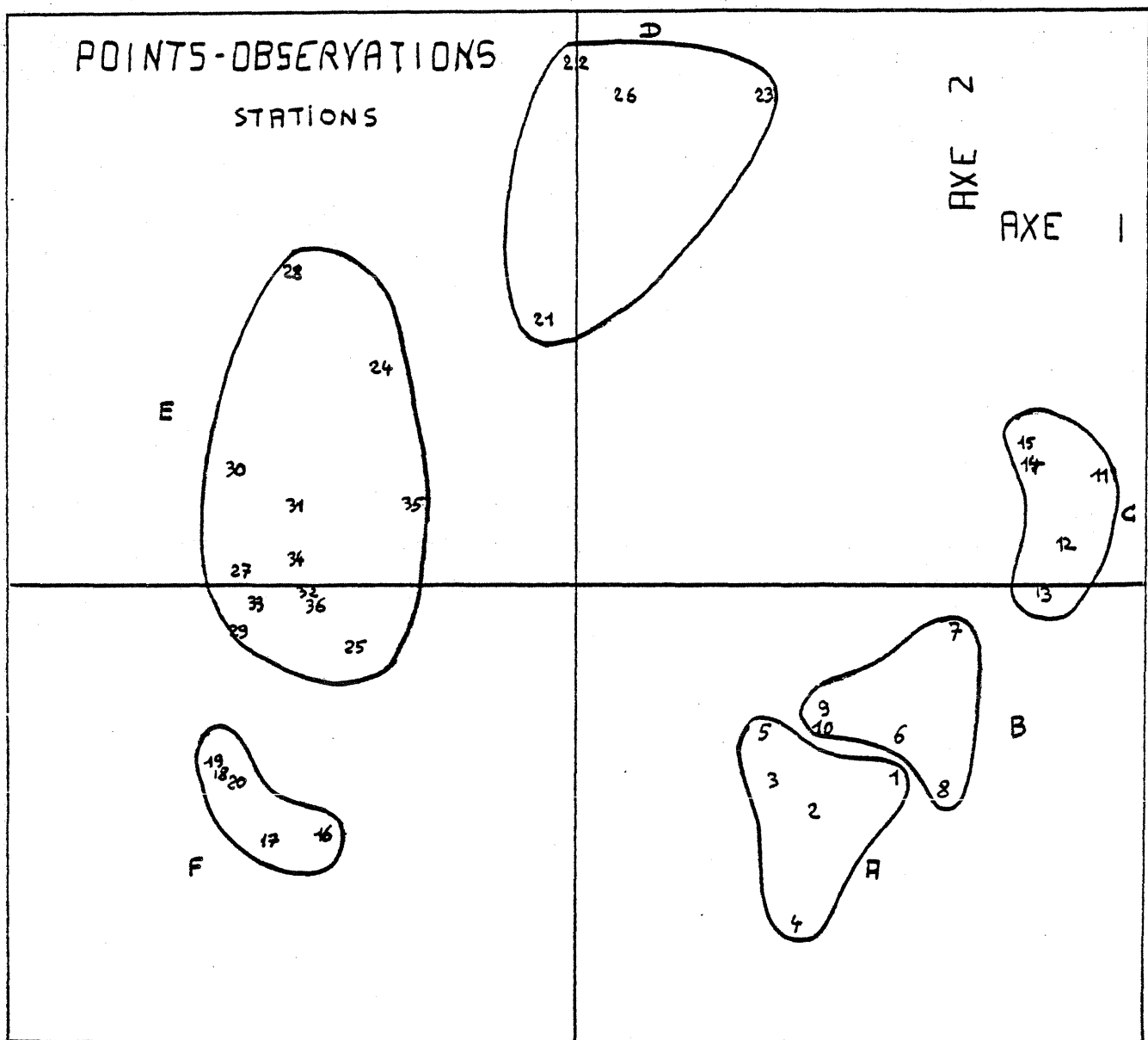
MISES EN EVIDENCE DE DISTANCES ENTRE LES DIFFERENTES STATIONS ET ENTRE LES ESPECES POUR L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES : FIG. 8-9

Cette analyse a été faite sur des prélèvements du mois de Mai 1978, les espèces retenues sont les espèces les plus communes dans l'ensemble des stations, et les espèces caractéristiques des milieux perturbés. Cependant, après une première analyse, deux espèces très caractéristiques de la pollution : *Scololepis fuliginosa* et *Cirriiformia tentaculata* ont été retiré de la matrice ; leur présence dans seulement une ou deux observations prenant une trop grande part de la variance et masquait donc trop les distances entre les autres espèces.

La projection des vecteurs variables (espèces) dans le plan des deux premières directions propres de la matrice des corrélations (spearman) inter-espèces isole nettement 4 groupes d'espèces: opportunistes - tolérantes a, b - normales. La projection des vecteurs observations (station) dans le plan des deux premières directions oppose les stations polluées du Port et de Camfrout aux stations du Chenal, Armorique et Moulin-Blanc. Les points observations réalisés dans la même station sont proches les uns des autres et distants de ceux réalisés aux autres stations.

La sélection des espèces est donc suffisante pour décrire les distances entre les stations suivies. Cette méthode nous conduit à une interprétation très voisine de celle obtenue par des méthodes différentes (courbes S.A.B. - Indice de raréfaction - Indice de diversité) et présentées lors du précédent rapport.

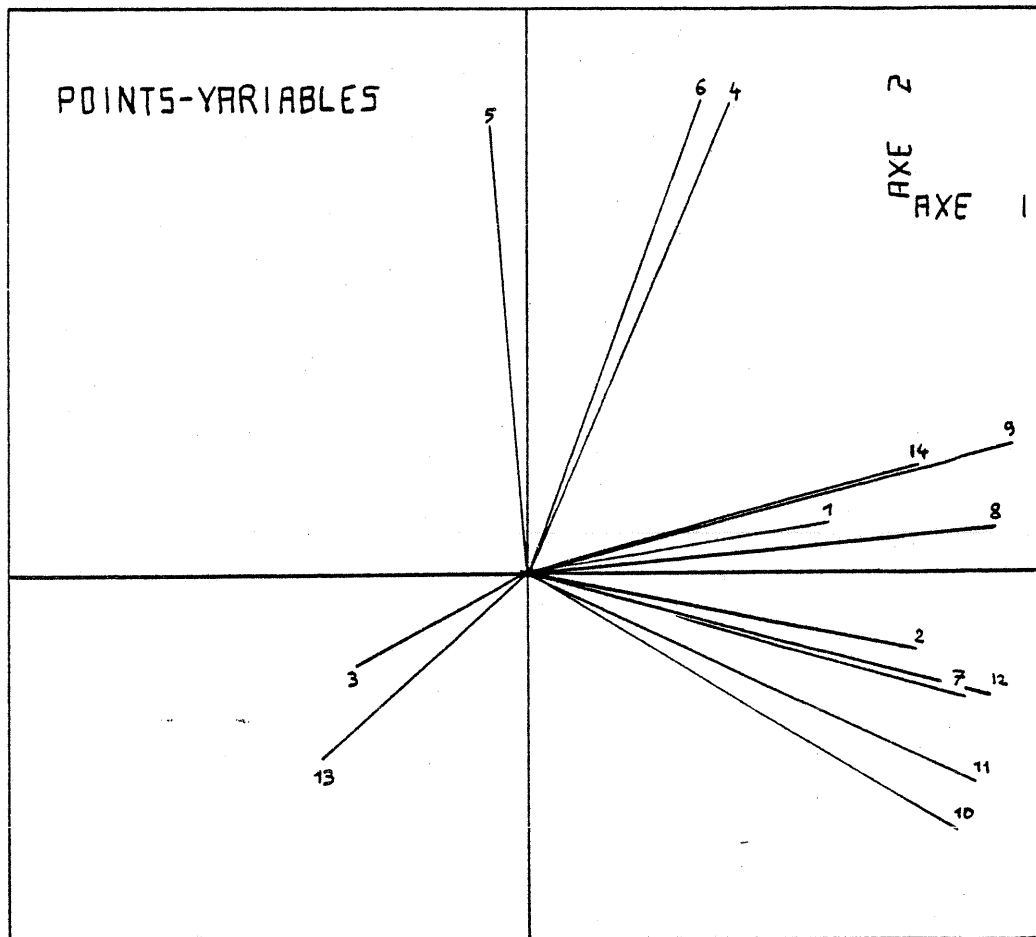
L'étude du suivi écologique des stations porte donc sur 16 espèces.



ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES
(Rangs Normalisés) MAI 78

1. 2. 3. 4. 5	Moulin blanc	A	} milieu peu perturbé
6. 7. 8. 9. 10	Chenal	B	
11. 12. 13. 14. 15	Armorique	C	
16. 17. 18. 19. 20	camproust	D	
22. 23. 26	Port interieur	E	
24 -> 36	Prelevements dispersés dans le port.	F	} milieu perturbé

FIG. 8



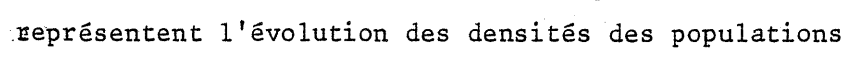
ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES
(Rangs Normalisés)

1. *Abra alba* 2. *Thyasira flexuosa* 3. *Nephtys hombergii* 4. *Polydora flava*
 5. *Capitella capitata* 6. *Chaetozone setosa* 7. *Melinna palmata* 8. *Ampharete grubei*
 9. *Notomastus latericus* 10. *Clymene oerstedii* 11. *Clymene modesta*
 12. *Nematonevris unicornis* 13. *Cucumaria elongata*

- | | | | |
|----------------------|------------|---------------|--|
| 5 - 6 - 4 | Groupe I | Opportunistes | |
| 3 - 13 | Groupe II | Tolérantes a | |
| 1 - 2 - 14 - 9 - 8 | Groupe III | Tolérantes b |] faiblement
Normal des vases sableuses |
| 2 - 7 - 12 - 11 - 10 | Groupe IV | Pautolérantes | |

FIG. 9

EVOLUTION TEMPORELLE DES POPULATIONS BENTHIQUES DANS LES STATIONS

- Armorique : C'est une station moyenne de la Rade, caractéristique d'un peuplement de vases sableuses peu ou pas soumises aux perturbations/ Les Figures  représentent l'évolution des densités des populations de quelques espèces dominantes du peuplement. Les écarts sont calculés par la méthode de transformation logarithmique et test t.

- *Ampharete grubei* (Fig.10d) présente une distribution aggroupée à la période semblant correspondre à la période de recrutement, elle est régulière ou dispersée ensuite. La période de recrutement se situe de Mai à Juillet. Les densités passent de 30 à 80 individus / m² à 150 - 200 / m² en période de recrutement.

- *Melinna palmata* (Fig.11a) présente une distribution aggroupée (variance très supérieure à la moyenne). La densité est toujours forte entre 1.000 et 2.000 / m² ; c'est l'espèce leader du peuplement. La densité moyenne de la population est relativement stable toute l'année, l'apport de jeunes ne se faisant pas massivement car la ponte est très étalée. L'étude de la dynamique de population de cette espèce est en cours (+), elle met en évidence les difficultés d'interprétation des courbes de densité. En effet, l'étude^{des} histogrammes de longueurs et de poids montre que le recrutement des jeunes ne se fait pas en Septembre, comme le suggérerait la courbe des densités, mais au contraire au moment où les densités apparaissent comme les plus faibles. On montre que la forte mortalité des adultes après la ponte est responsable de cette baisse des effectifs non compensée par le recrutement des jeunes qui est très étalé dans le temps.

- *Clymene modesta* et *Clymene oerstedii* (Fig.10 b et c). Ces deux espèces ont des évolutions parallèles avec un maximum (recrutement ?) à la fin de l'été et une forte mortalité à la fin de l'hiver. Remarquons que les individus des *Clymene oerstedii* sont tous de petite taille. La population n'est certainement pas équilibrée à cette profondeur dans cette station.

- *Notomastus latericeus* (Fig.10a) Dispersion au hasard. Un recrutement en automne 78 mais printanier en 1979. Il sera intéressant de vérifier si cette espèce est en extension dans cette zone.

ARMORIQUE

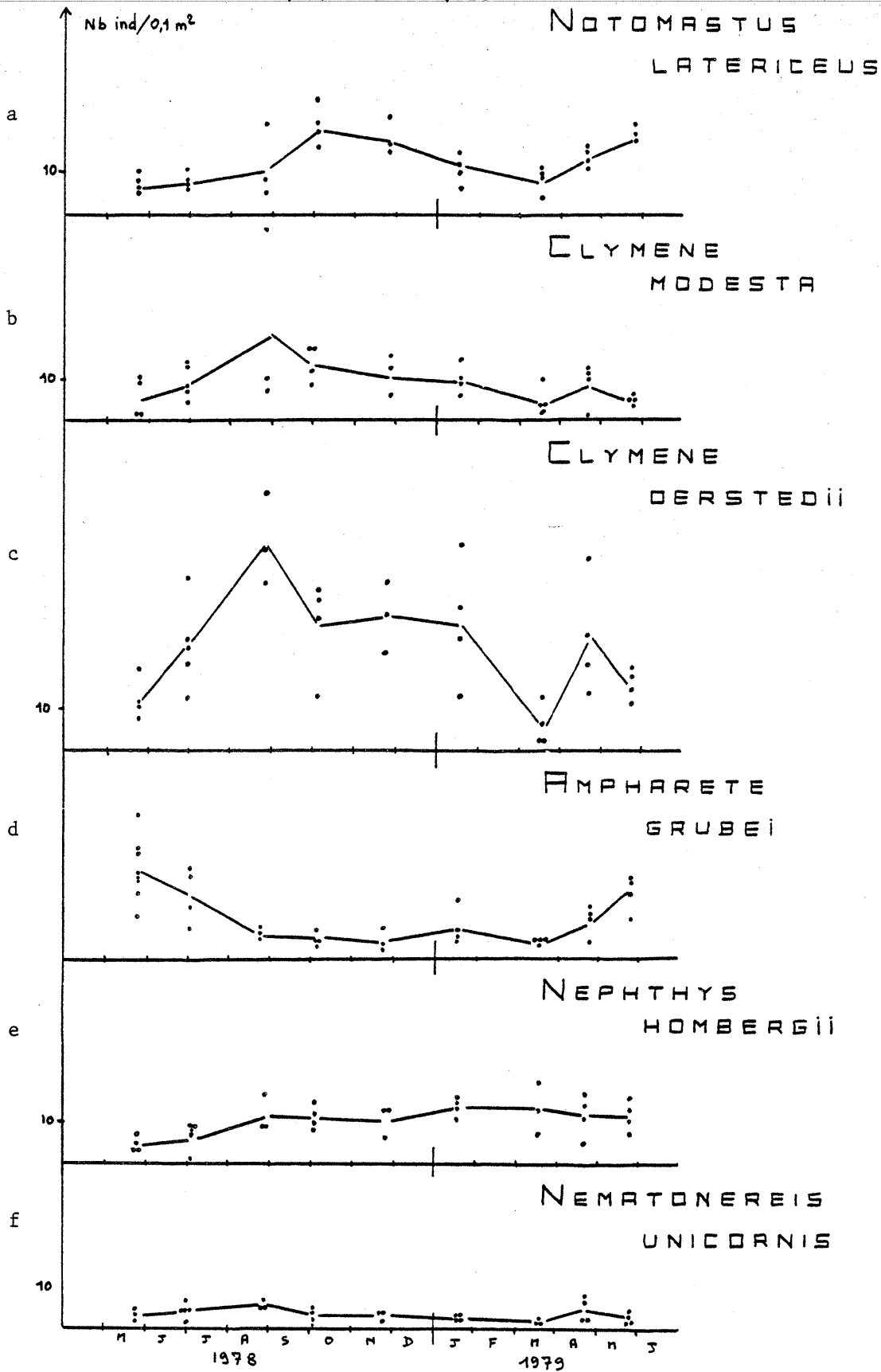


FIG. 10

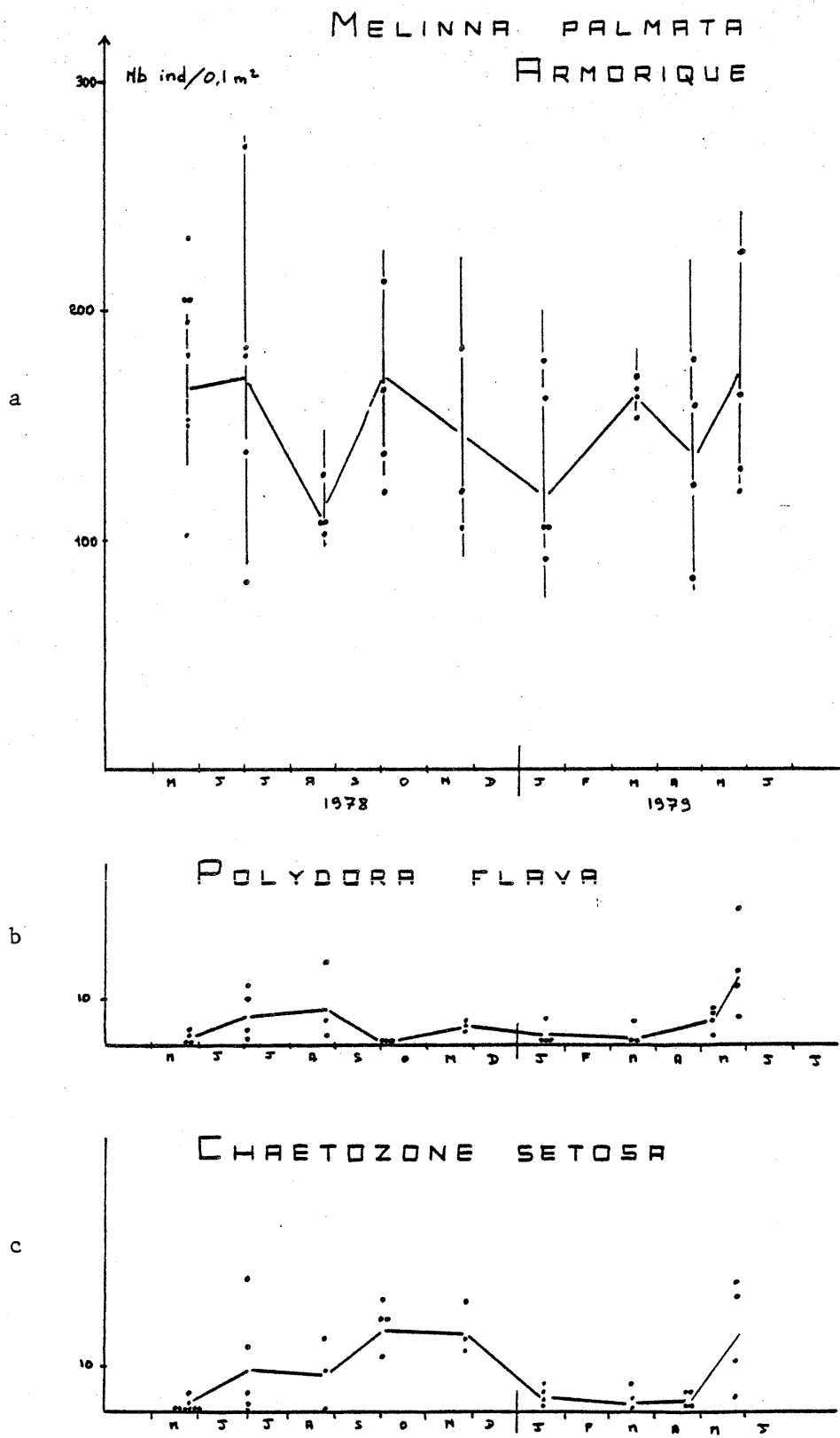


FIG. 11

- *Chaetozone setosa* (Fig.11c) Cette espèce opportuniste est présente à l'état de dormance dans le peuplement. En été et en automne, on note une nette augmentation des effectifs. Evolution importante sur un an entre mai 1978 et mai 1979. Les densités passent de 10 à 160 au mètre carré.

- *Polydora flava* (Fig.11b) Cette espèce a une évolution comparable à *Chaetozone* et présente également un recrutement en mai 1979.

- *Nephtys hombergii* (Fig. 10e) Population en faible densité, en légère augmentation tout au long de l'année.

- *Nematonereis unicornis* (Fig.10f) Population stable avec des effectifs faibles. Pour ces espèces à faible densité, l'échantillonnage est mal adapté et l'interprétation des courbes de densité sur un an est très délicate.

L'évolution des densités moyennes de ces 9 espèces sur un an ne permet pas de mettre en évidence une évolution de plus longue période que l'évolution saisonnière. En effet, la comparaison des moyennes des densités de mai 1978 à mai 1979 ne montre pas de différences significatives au seuil de 95 % à l'application de la loi du t de student.

- Station du Chenal :

- *Ampharete grubei* (Fig.13a) L'évolution de cette population est très caractéristique. Après des fluctuations faibles pendant un an où les densités restaient de l'ordre de 20 à 100 ind./m², un recrutement très important de jeunes a lieu fin août et septembre 1979, les densités passant à plus de 1 000 ind./m².

(Fig. 12a) - *Abra alba*. Recrutement très faible en été 1978, mais très important en mai 1979. Les densités varient alors beaucoup ($\sigma^2 \gg \bar{x}$) suivant les prélèvements mais restent toujours supérieures à celles de 1978.

(Fig. 14) - *Chaetozone setosa* Cycle annuel très net. Recrutement en juillet 1978 et fin de l'été 1979. Chute très nette des effectifs en hiver.

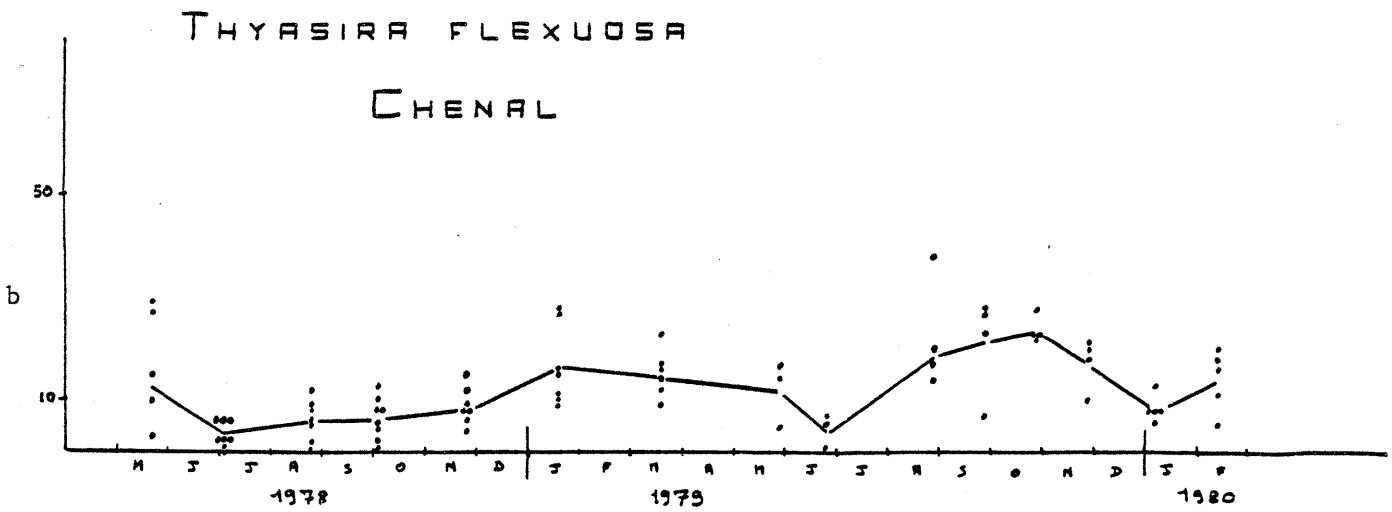
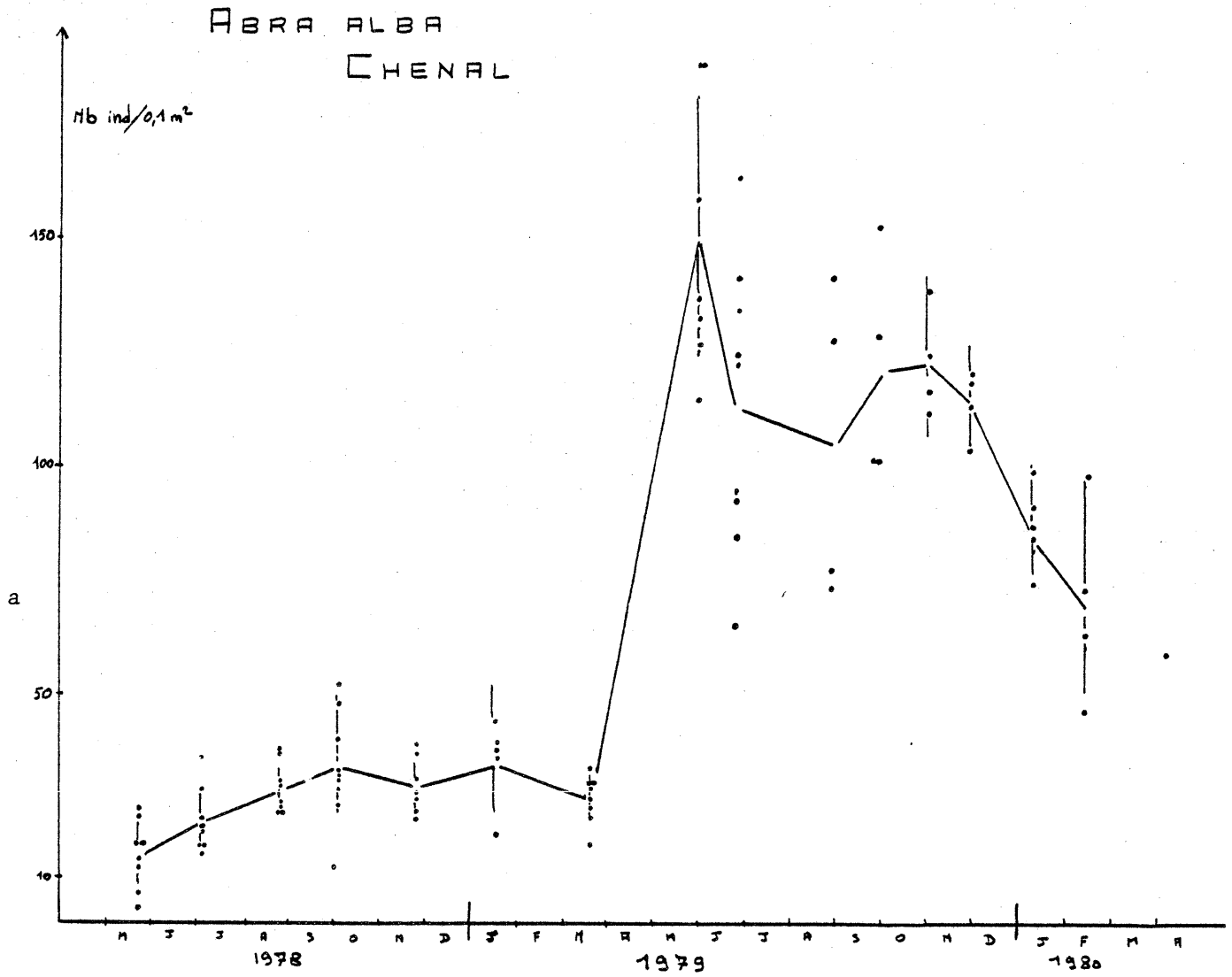


FIG. 12.

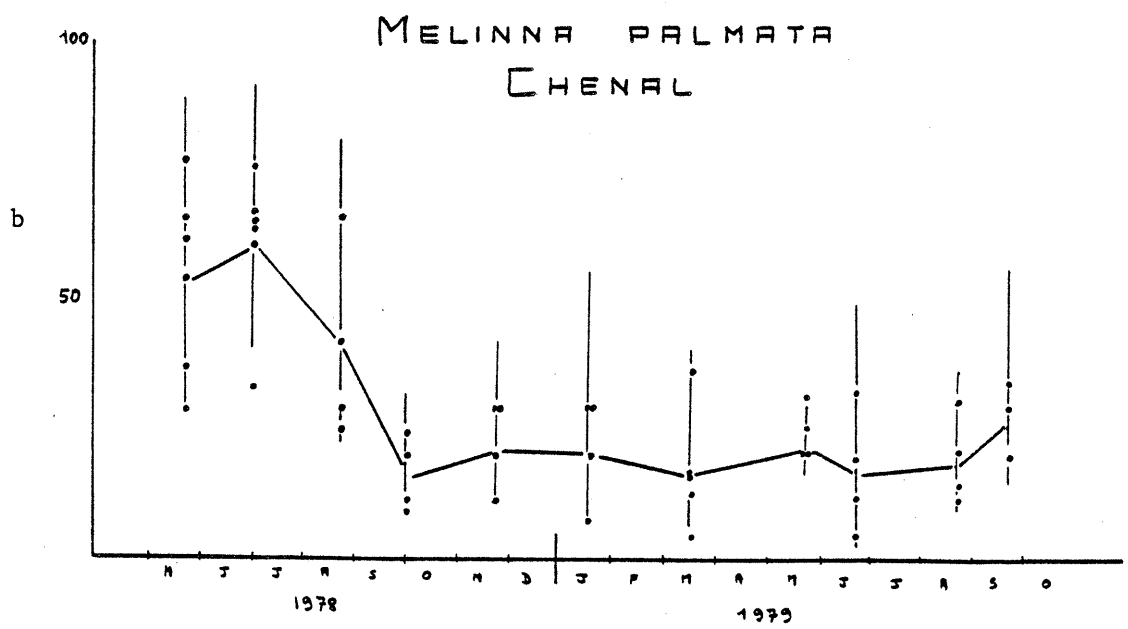
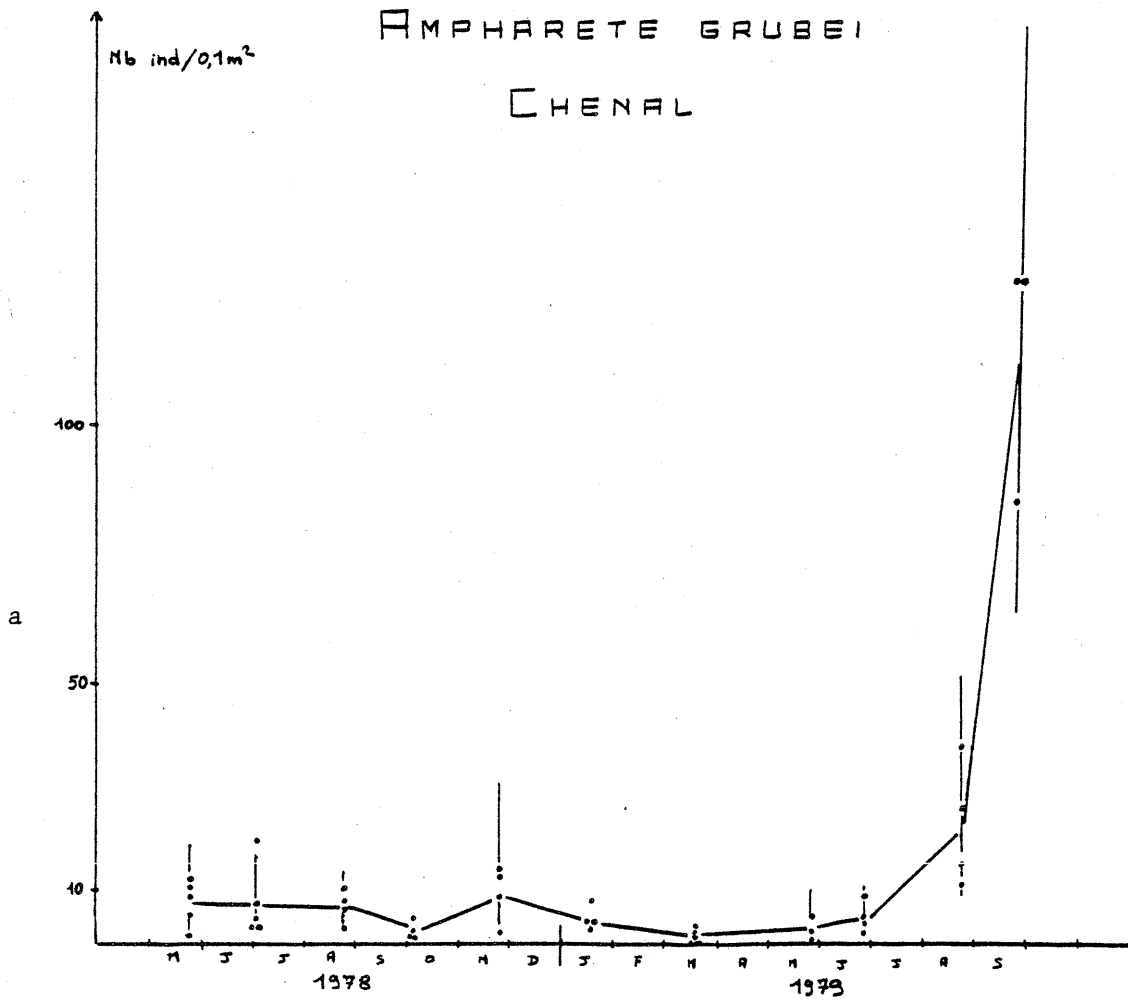


FIG. 13

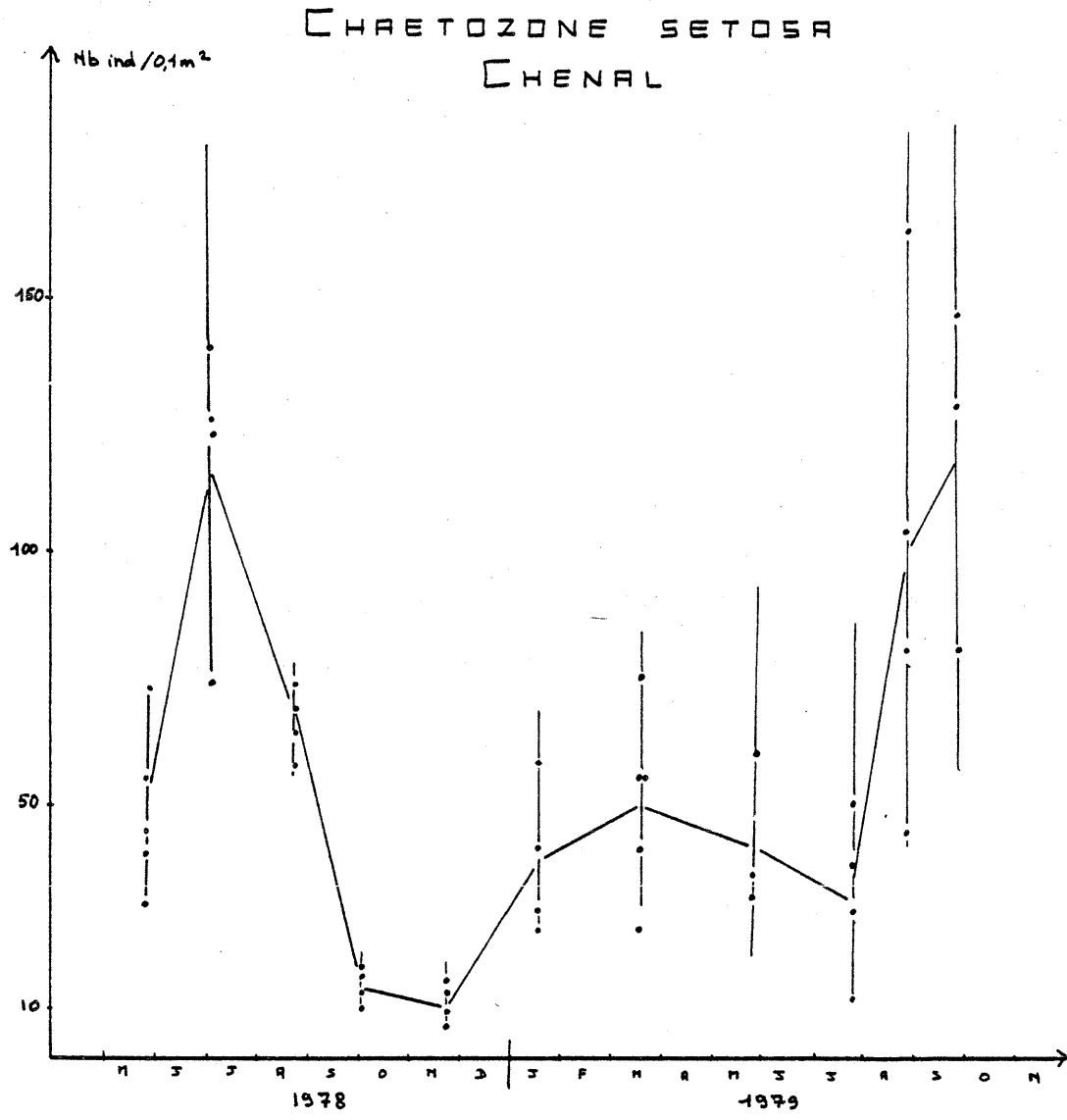


FIG. 14

(Fig. 12b) - *Thyasira flexuosa* Recrutement automnal d'où une forte densité en hiver et une chute des effectifs en été.

(Fig. 13b) - *Melinna palmata* Les densités importantes de l'été 1978 chutent considérablement et demeurent stables sans qu'apparaisse nettement de recrutement. Notons comme à l'Armorique, la forte hétérogénéité spatiale chez cette espèce.

La comparaison des densités moyennes de ces 5 espèces sur un an met en évidence une évolution du peuplement. En effet, la comparaison des moyennes des densités de mai 1978 et mai 1979 montre une différence significative au seuil de 95 % à l'application de la loi du t de student. Il y aurait donc une phase de colonisation du milieu au niveau du chenal une maturation du peuplement due sans doute, à l'augmentation de la stabilité du milieu ; en effet, les perturbations mécaniques (dragages, déversement de sédiment) auxquelles étaient soumis les fonds proches pour l'aménagement du port, ont certainement perturbé le peuplement de la station du chenal en 1977 et 1978. Depuis l'arrêt des principaux travaux (août 1978) après une phase de latence, succède une phase de recolonisation du milieu par les espèces à cycle court, telles que les *Abra* et les *Ampharete*. La station de l'Armorique située en milieu stable ne montre pas une évolution nette sur un an. Les variations saisonnières sont trop importantes et difficilement interprétables sur un an de suivi.

- Bassin Radoub (Fig. 15)

C'est une station très polluée qui est un bon modèle des phénomènes de pollution. En effet, le bassin Radoub est ouvert sur la rade et ses eaux sont donc facilement renouvelées d'autant plus qu'il est ouvert au Sud-Ouest.

Au fond du bassin se déverse un égout important. Depuis le fond proche de l'égout jusqu'à la sortie du bassin, se déroule une véritable succession écologique. Dans un rayon de 100 m autour de l'effluent se trouve l'association *Scololepis fuliginosa*-*Capitella capitata* caractéristique des fonds très pollués. C'est le pic des opportunistes, dernières espèces de macrofaune, présentes dans l'échelle croissante de pollution.

Bassin Radoub . Mai 79

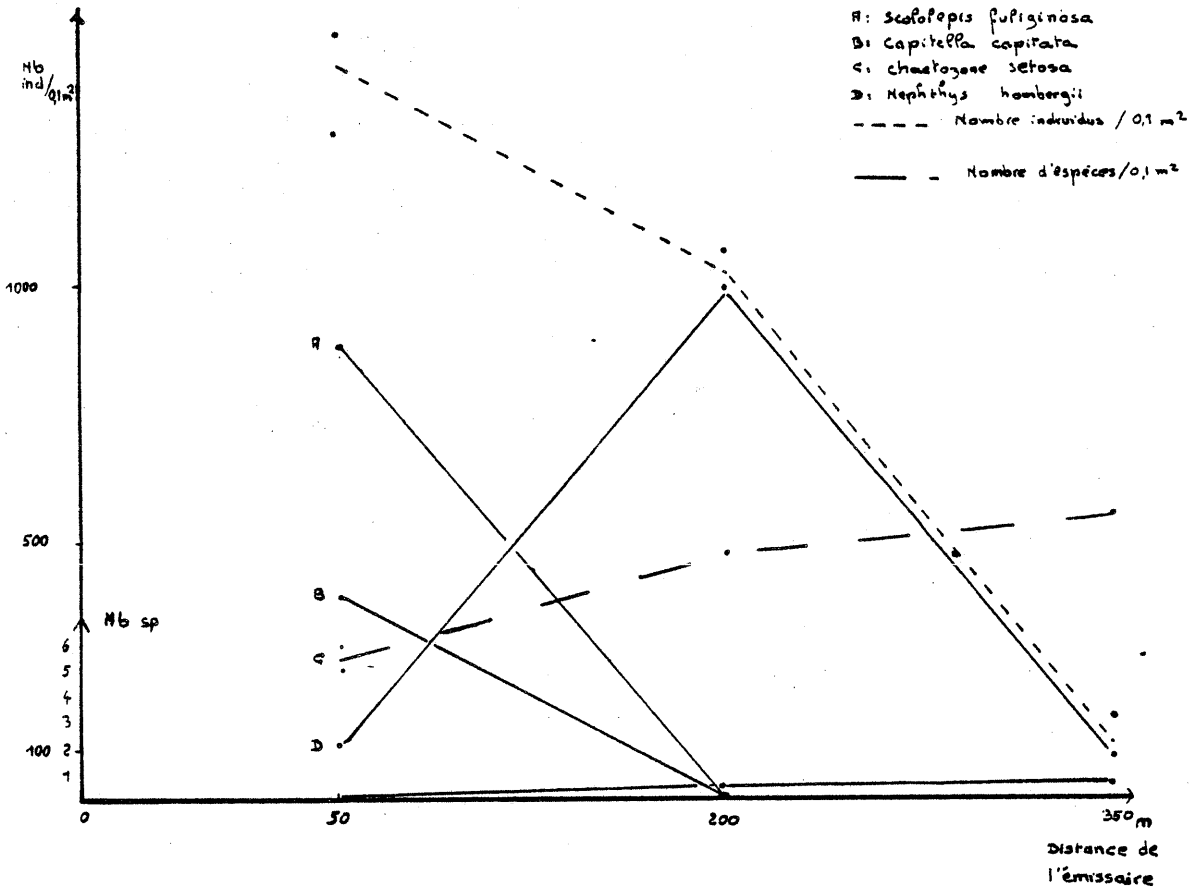


FIG. 15

Les densités sont très importantes puisqu'elles dépassent 10 000 ind./m². Au milieu du bassin soit environ 200 m après l'effluent, les espèces ont totalement disparu et sont remplacées par *Chaetozone setosa* qui forme un deuxième niveau d'opportunistes. Enfin, à la sortie du bassin, les densités chutent considérablement tandis que la diversité augmente.

La physionomie de ces fonds pollués varie considérablement au cours de l'année. Ces espèces opportunistes à cycle court colonisent en quelques mois le sédiment et peuvent disparaître tout aussi vite. En effet, les densités à cette station sont passées de 100 à 10 000 ind./m² entre le 15 mars et le 30 mai 1979.

Il n'est pas possible de déterminer si ce phénomène est dû à une recolonisation de milieu après les perturbations mécaniques (dragages) ou à un cycle saisonnier.

- Bassin cablier (Fig. 16)

Ce bassin est certainement la zone la plus polluée de la rade de Brest. Il est en effet dépourvu de vie macrofaunique pendant les mois d'été, ce qui correspond au maximum de pollution dans l'échelle que nous avons défini, les potentiels d'oxydoréduction montrent que pendant l'été, même l'eau à l'interface est dépourvue d'oxygène, ce qui entraîne l'asphyxie des espèces survivantes. En hiver 78-79, on pouvait noter quelques individus au m², *Capitella capitata* essentiellement. Entre la fin du mois d'août et novembre-décembre 1979, nous assistons à une invasion massive de *Capitella capitata* et *Scololepis fuliginosa* qui atteignent près de 20 000 individus au mètre carré. *Scololepis fuliginosa* semble coloniser le milieu quelque temps après *Capitella capitata*, comme nous le voyons à cette station, mais dans une seconde étape, *Scololepis* semble la supplanter, c'est ce qui apparaît au niveau du bassin de Radoub où la dominance de *Scololepis* sur *Capitella* se situe dans un prélèvement où sont déjà présentes (bien que peu denses) 4 autres espèces. Si cette hypothèse se confirme, nous devrions observer un rapport de dominance s'inverser au printemps 1980. Il faut encore noter dans le bassin du Cablier, le déséquilibre important entre l'hiver 1978 et l'hiver 1979, bien que le bassin n'ait pas été soumis à des dragages ou d'autres travaux portuaires.

Bassin cabliers

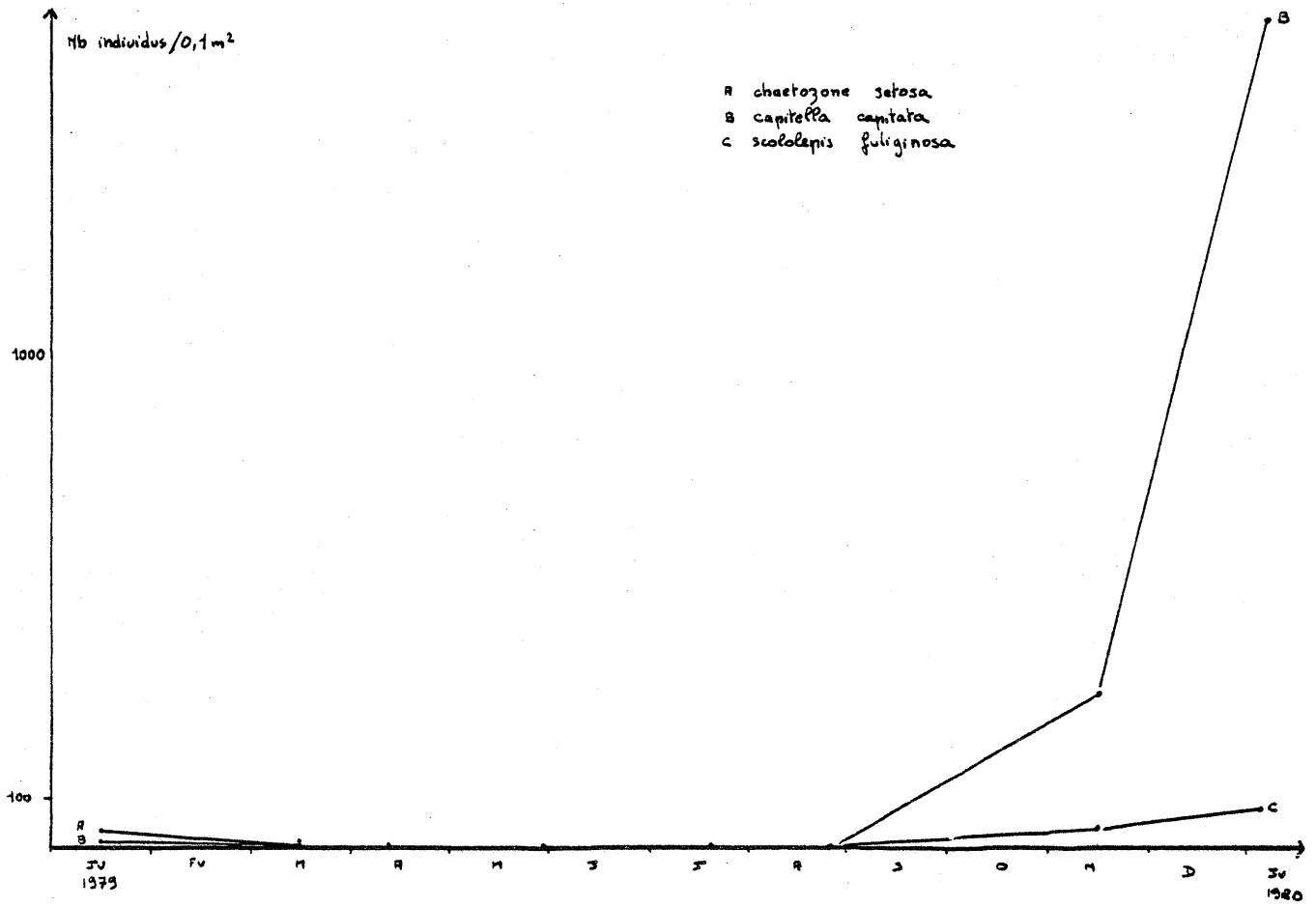
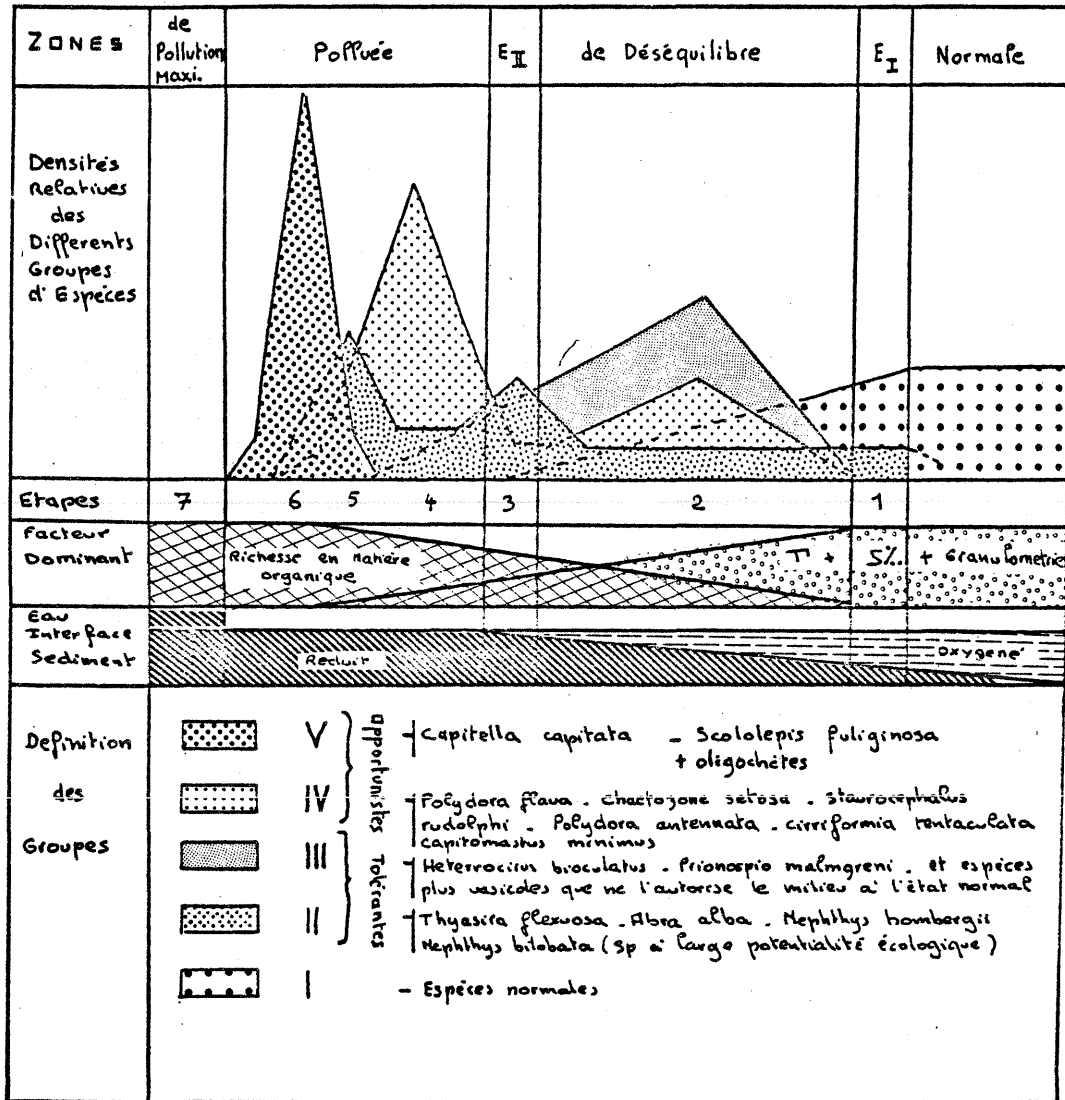


FIG. 16

DISCUSSION

Il apparaît évident que le suivi de plusieurs espèces et plusieurs stations sur un an ne permet pas de tirer des conclusions cohérentes sur une année. Cependant, les processus régissant l'écologie de ces milieux perturbés apparaissent peu à peu, et tout d'abord la grande complexité des phénomènes observés et la diversité des réponses suivant les variations même "minimes" de l'environnement. Dans un deuxième temps, il apparaît une cohérence de comportement des espèces caractéristiques. Il est nécessaire dans les milieux riches en matière organique de ne pas raisonner au niveau d'un peuplement mais de groupes d'espèces proches écologiquement. Dans une échelle de pollution, telle que nous l'avons précédemment définie, nous ne garderons que 4 zones essentielles : la zone de pollution maximum - la zone polluée - la zone de déséquilibre - la zone normale. Entourant la zone de déséquilibre, deux "facies" de transition soit Ecotone I et Ecotone II. Face à un milieu hypertrophique, les espèces vont se répartir dans 5 grands groupes selon leur potentialité de réponse au stress. Ce seront, tout d'abord, deux groupes d'opportunistes : espèces très bien adaptées à la pollution, Polychètes sédentaires de petite taille ou Oligochètes à cycle court à développement larvaire rapide. (Observons par exemple que le 30 août 1979 aucun *Capitella* n'était observé dans le bassin des Cabliers. A la fin novembre, de nombreux individus étaient déjà entourés d'un manchon d'oeuf, prêts à être libérés.) Le premier groupe d'opportunistes est constitué de *Capitella capitata*, *Scololepis fuliginosa* et d'Oligochètes (indéterminés) qui semblent présents dans les cas où à la pollution est associée une importante dessalure.

Un deuxième groupe d'espèces opportunistes est constitué de *Chaetozone setosa*, *Polydora flava*, *Heterocirrus bioculatus*, *Cirriformia tentaculata*. Toutes ces espèces sont susceptibles de développer des explosions démographiques suivant les conditions propres du milieu. On trouvera généralement dans un premier stade, *Capitella* + *Scololepis* puis l'association de deux ou trois espèces opportunistes de second ordre. En rade de Brest ce sera *Chaetozone* + *Polydora*. A ces espèces présentant localement et saisonnièrement des pics de forte densité, sont associées des espèces d'un 3ème groupe que nous définirons comme tolérantes a.



SCHEMA DE REPARTITION DES ESPECES BENTHIQUES DANS LES MILIEUX HYPERTROPHIQUES ARMORICAIN

FIG. 17

COMMENTAIRE DE LA FIG. 17

1. Le peuplement est encore bien en place, mais appauvri ; les espèces témoin d'un déséquilibre sont absentes ou accidentelles.

Zone de déséquilibre :

Ecotone I -

2. Apparition de nombreuses espèces allochtones. Certaines sont des espèces à large potentialité écologique II, ou plus vasicoles qu'elles ne le sont à l'état normal III. D'autres espèces sont dites opportunistes IV. Le développement important de ces nombreuses espèces traduit donc l'enrichissement général de ce milieu en matière organique sans que les problèmes d'oxygénation viennent freiner le développement de ces groupes, tandis que l'oxygène a pu être un facteur limitant pour les espèces normales disparues.

Ecotone II -

3. Une étape frontière peut être définie par la chute des effectifs des groupes III et IV, ce qui met à profit le développement du groupe II. Seul le première centimètre, en moyenne, est oxygéné, et le sédiment renferme rarement de l'hydrogène sulfuré. L'eau à l'interface est bien oxygénée.

Zone polluée :

4. Les espèces opportunistes du groupe IV explosent et dominent largement les espèces du groupe II qui indifférentes à la pollution, peuvent être bien représentées sur des surfaces
5. peu occupées par les opportunistes. Puis apparaissent deux ou trois espèces opportunistes qui définissent le groupe V et sont responsables
6. de densités très importantes ($10\ 000/m^2$). Le sédiment contient de l'hydrogène sulfuré, l'oxygène y est absent sauf raisonnablement en surface sur les tous premiers millimètres. L'interface eau-sédiment reste oxygénée.

Zone de pollution maximale :

7. La macrofaune est absente. La matière organique en excès définit un milieu anoxique tant dans le sédiment qu'à l'interface eau-sédiment.

L'espèce typique de ce 3ème groupe en rade de Brest est *Nephtys hombergii* qui se rencontre jusque dans les endroits les plus pollués. Sa densité reste cependant assez faible (c'est une espèce prédatrice). On remarque toutefois que les densités maxima dans les zones polluées se rencontrent lorsque les pics de haute densité des espèces opportunistes sont absents. Ces espèces semblent indifférentes à la pollution et si elles n'atteignent pas de fortes densités, leur fréquence est grande.

Il est important de ne pas confondre les espèces véritablement tolérantes avec des espèces dont les larves pélagiques amenées par les courants sur des fonds pollués, se fixent et se développent quelque temps avant de disparaître. Il en est ainsi par exemple de *Melinna palmata*, espèce que l'on rencontre assez fréquemment sur les fonds pollués mais dont les individus sont toujours de très petite taille par rapport aux populations dont elles sont issues. Cette espèce ayant deux périodes de ponte assez étalées (cf. rapport LE MILINAIRE) il sera possible de trouver des jeunes presque toute l'année vivant temporairement sur ces fonds.

De telles espèces vont se retrouver avec de nombreuses autres dans un groupe de tolérantes de 2ème ordre ; ce sont les espèces dominantes dans la zone de déséquilibre profitant de l'enrichissement du milieu avant que celui-ci ne devienne trop déficitaire en oxygène. Nous retrouvons dans ce groupe de nombreuses espèces à large potentialité écologique ou des ubiquistes dont on a déjà montré le bon développement dans des milieux mixtes et de conditions moyennes.

La zone de déséquilibre sera également mise en évidence par la présence d'espèces plus vasicoles que la granulométrie ne le suggérerait. Nous trouverons ainsi des espèces typiques de sables fins vaseux dans des sables fins propres, des espèces de vases sableuses dans des sables fins vaseux etc...

Enfin, dans cette zone de déséquilibre, se retrouvent aussi (mais sans marquer d'explosion démographique, ni être dominantes) les espèces opportunistes de 2ème ordre.

L'espèce dominante de ces zones de déséquilibre en rade de Brest est *Melinna palmata* qui se ^{développe} mieux que dans son milieu normal de vases sableuses non enrichies par des excès de matière organique.

Nous avons synthétisé dans la figure , la répartition et les rapports de dominances de ces différents groupes dans les grandes zones définissant l'échelle de pollution. Nous y avons figuré les principales étapes en plaçant en parallèle les conditions physicochimiques du sédiment sur le gradient de pollution.

Cette structure schématique est ainsi dynamique et de nombreuses combinaisons sont possibles. Dans le temps, une zone pourra traverser les différentes étapes. Nous avons mis en évidence que la structure dynamique devait de par sa complexité, reposer sur un suivi de 3 ans au minimum. Les résultats présentés ici ne se veulent encore que partiels.

CONCLUSION

Cette série de contrats d'études a permis de définir les grands traits de l'écologie des peuplements soumis aux perturbations d'origine humaine dans la rade de Brest. Nous avons mis en évidence, différentes étapes de la dégradation des peuplements dans la rade. Dans l'espace, les zones véritablement polluées sont limitées d'une part au port de Brest et d'autre part dans le reste de la rade, à proximité immédiate des égouts dans des rayons relativement faibles (quelques centaines de mètres) (cf. stations du Moulin Blanc et Camfrout). Par contre, toute la partie orientale de la rade depuis la sortie du port jusqu'à l'estuaire de l'Elorn, a des peuplements déséquilibrés par l'excès de matière organique. Enfin, les stations de références comme l'Anse de l'Armorique, montrent saisonnièrement (en été) des signes de déséquilibre qu'il serait bon d'approfondir, car elles révèlent les conditions moyennes de la rade. Seule l'exploitation d'un suivi sur 3 ans aurait permis de comprendre les processus

dynamiques internes aux populations soumis au stress ; nous avons montré par l'étude du suivi sur un an et demi, l'intérêt de ces phénomènes dynamiques et leur importance dans l'écosystème de la rade de Brest, mais aussi leur complexité. Il reste à déplorer que l'inter-
ruption des moyens limite pour une grande part, la portée de cette étude.