

Les enseignements d'une étude sur dix ans (1976-1986) des peuplements de substrats meubles au large d'un émissaire d'eaux usées : Marseille-Cortiou.

Gérard Bellan et Michel Bourcier

C.O.M. Station marine d'Endoume, 13007 Marseille

Résumé : Les communautés benthiques au large de l'émissaire d'eaux usées de la Ville de Marseille ont été régulièrement étudiées depuis le début des années 1960. Les effets étaient, alors, relativement modérés. Une succession d'épisodes catastrophiques, liés aux modifications de la nature et du volume des rejets avait conduit, au début des années 1970, à une destruction plus ou moins marquée des communautés sur plus de 30 km². Une étude détaillée de ces communautés, et de leurs relations avec les caractéristiques chimiques des sédiments et des eaux interstitielles, a été réalisée en 1976. Parmi les 40 stations prospectées alors, six ont été choisies et étudiées, à nouveau, en 1980 et 1986. Sur une période de 10 années, on constate que :

1°) l'ensemble des peuplements est référable à la "zone subnormale" définie par Bellan en 1967 ;

2°) une évolution régressive de ces peuplements a eu lieu ;

3°) la station H3, la plus proche de l'émissaire, a un peuplement bien distinct des autres ;

4°) pour les autres stations, on a observé une évolution progressive, entre 1976 et 1986, des peuplements attestant leur nette dégradation et, surtout, leur monotonisation croissante. Ceci apparaît clairement dans l'ensemble des études statistiques et, tout spécialement, des A.F.C.

Ces recherches ont contribué à l'établissement du plan de charge de la station d'épuration de Marseille et à la mise au point de procédures pour une meilleure gestion des rejets urbains, notamment par l'élimination quasi totale, avant rejet, des éléments fins, perturbateurs de la granulométrie et transporteurs de polluants.

Abstract : Since the beginning of the sixties, benthic assemblages established on soft substrates in the vicinity, in the Cortiou cove of the big sewer of the City of Marseilles, have been studied. The noxious effects of the sewer were not longer considerable. In the seventies, a succession of catastrophic episodes linked with modifications in the nature and volume of discharged waters have conducted to the more or less marked destruction of the original assemblages in an area of more than 30 square kilometers. The biological studies (and their relations with the chemistry of sediments and interstitial waters) have been conducted in 1976. Among the 40 prospected stations, six have been chosen and studied one more time in 1980 and 1986. Along this period of ten years, we can point out that :

1°) the whole benthic assemblages refer to the "subnormal zone" defined by Bellan (1967) ;

2°) a regressive evolution of assemblages took place ;

3°) the population of the H3 station, the nearest to the sewer sea-exit, is distinct from the other ;

4°) considering these other stations, we can point out a progressive evolution from a "1976 state" to a "1986 state" with the testimony of an heavy degradation leading to a monotonisation of the present communities. This clearly appears in the whole statistical data, and very specially in the Factorial Analysis of Correspondences.

This research has contributed to the design of the large depurator plant of the City of Marseilles and to various subsequent processes to control the effects of refuse.

INTRODUCTION

Depuis plusieurs décennies, l'observation des peuplements benthiques dans des zones soumises à de fortes perturbations, quelle qu'en soit la nature, a tenu une place de choix dans l'ensemble des études environnementales. Ces investigations ont été réalisées dans les secteurs marins pollués tant par des effluents domestiques ou industriels, en mer ouverte,

que par des rejets plus diffus mais à faible dispersion comme ceux des milieux portuaires (Reish, 1959). En dépit des difficultés méthodologiques sur le terrain et de l'étude au laboratoire, ces recherches qui exigent un effort de pluridisciplinarité certain, continuent à être utilisées tant en Europe (Elmgren, 1978, Pearson, 1982) qu'aux États-Unis (Dorsey and *al*, 1983, Reish and *al*, 1980). Tout récemment, dans cet ordre d'idées, Bilyard (1987) a beaucoup argumenté sur le fait "that it would be a serious mistake to delete benthic fauna from most marine programmes".

Nous nous proposons de mettre en évidence l'évolution dans l'espace et dans le temps du peuplement d'un certain nombre de stations représentatives de l'ensemble des fonds meubles au large de l'émissaire de Marseille.

Les peuplements benthiques établis sur substrats meubles au large du débouché en mer de l'émissaire d'eaux usées de Marseille, ont été étudiés dans le détail à quatre reprises entre 1966 et 1986. Nous rappellerons que Bellan (1967) avait proposé un schéma d'évolution de ces peuplements basé sur la distinction de quatre zones concentriques, centrées sur le débouché de l'émissaire : "*zone de pollution maximale*", azoïque en terme de macrobenthos, "*zone polluée*" paucispécifique, "*zone subnormale*" où le peuplement est plus ou moins dégradé et enfin, "*zone normale*". Les quatre campagnes principales (1966, 1976, 1980 et 1986) ont été complétées par d'autres à caractère soit plus extensif (Bellan *et al.* 1975, Bourcier 1976, Picard 1978) ou au contraire, plus intensif (Romano, 1986). Elles ont servi à la mise en place de toute une série de projets municipaux pour l'agglomération marseillaise lesquels ont aboutit à la mise en service, en 1987, d'une station d'épuration souterraine en pleine Ville de Marseille, station parmi les plus grandes du monde compte tenu de la technique choisie (traitement physico-chimique).

Les différentes études conduites dans le secteur de Cortiou, notamment celles sur les peuplements benthiques (Arnoux *et al.*, 1987, Bellan *et al.*, 1987) avaient amené les pouvoirs publics, tant locaux que nationaux, au début des années 1970, à se pencher sur les multiples problèmes consécutifs à l'accélération de la dégradation des fonds et, plus généralement, du milieu marin. C'est ainsi qu'"à partir des constats effectués, des objectifs d'amélioration ont été arrêtés et des actions d'épuration envisagées" (Lavergne *et al.*, 1987). La présente contribution a pour objectif de faire le point des recherches conduites sur les peuplements benthiques de substrats meubles en insistant plus particulièrement sur l'état en 1986, un an avant la mise en service de la station d'épuration de la Ville de Marseille. Cependant, il restera admis que le "point de référence" sera l'état 1965-1966 alors que l'influence de l'émissaire ne se faisait guère sentir au-delà d'une distance de 1 km de son débouché en mer.

ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LE MILIEU

Données générales

L'ensemble du secteur de Cortiou est protégé des vents de nord-ouest par les collines de Marseilleveyre. En revanche, il est très ouvert aux vents et tempêtes de secteur est à sud.

Bellan et Bourcier (1984) ont fourni une synthèse détaillée des données sédimentologiques et géochimiques des fonds au large de l'émissaire pour les prélèvements effectués en juin 1976, juin 1980 et janvier 1981. Ces données sont, pour l'essentiel, extraites des travaux de Arnoux *et al.* (1973, 1980, 1987). Les conditions de milieu n'ont guère évolué depuis 1981, l'envasement et la charge polluante associée augmentant de manière régulière. Dans la "zone polluée" les teneurs (exprimées en poids-sec de sédiment) de certains polluants évoluent pour le Carbone organique entre 2 et 15 g par 100 g, pour les hydrocarbures totaux de 100 à 1100 mg par 100 g, pour les PCB de 1000 à 16 000 ng/g⁻¹, pour le mercure de 2 à 21 µg/g⁻¹, à titre d'exemple. Dans la "zone subnormale", au sein de laquelle ont été effectués nos prélèvements, les teneurs sont notablement moins élevées : Carbone organique 1 à 2 g par 100 g, hydrocarbures totaux 20 à 100 mg par 100 g, PCB 50 à 500 ng/g⁻¹, mercure 0,5 à 1 µg/g⁻¹, la charge polluante diminuant de manière relativement régulière au fur et à mesure que l'on s'éloigne du débouché de l'émissaire, les sédiments de la station H3 renfermant, cependant, de 3 à 6 fois plus de polluants que les autres stations.

Choix des stations

En 1976, Jorajuria (1980) avait étudié le peuplement de 26 stations disposées selon un quadrillage régulier, au large de la calanque de Cortiou. En 1980, Bellan et Bourcier (1984) avaient choisi 6 des 26 stations de Jorajuria ; ces 6 stations leurs paraissaient particulièrement représentatives de la zone prospectée. Ce sont ces mêmes stations qui ont été échantillonnées le 23 septembre 1986. (Fig. 1).

Stations (en m)	distance à l'égout (en m)	profondeur
H3	900	51
F2	2500	68
E1	3400	70
E6	4700	85
D2	4200	86
B2	6400	90

Modalités de prélèvements

Les prélèvements réalisés en 1986 ont été effectués selon la même méthodologie que ceux de 1980 et de 1976. A chaque station, un nombre identique de "coups" de benne "Orange-peel" modifiée SME (Briba & Reys, 1966) a été exécuté, se répartissant ainsi :

- deux coups de benne ont été réservés, l'un pour la granulométrie et l'autre pour la géochimie du sédiment ;

- à la station H3, 4 coups de benne ont été effectués pour l'étude biologique, soit un volume très voisin de 20 dm³ (pour une superficie de 1/3 m²), ce qui représente, pour ce secteur, un volume et une surface minima très largement dépassés (Romano, 1979) ;

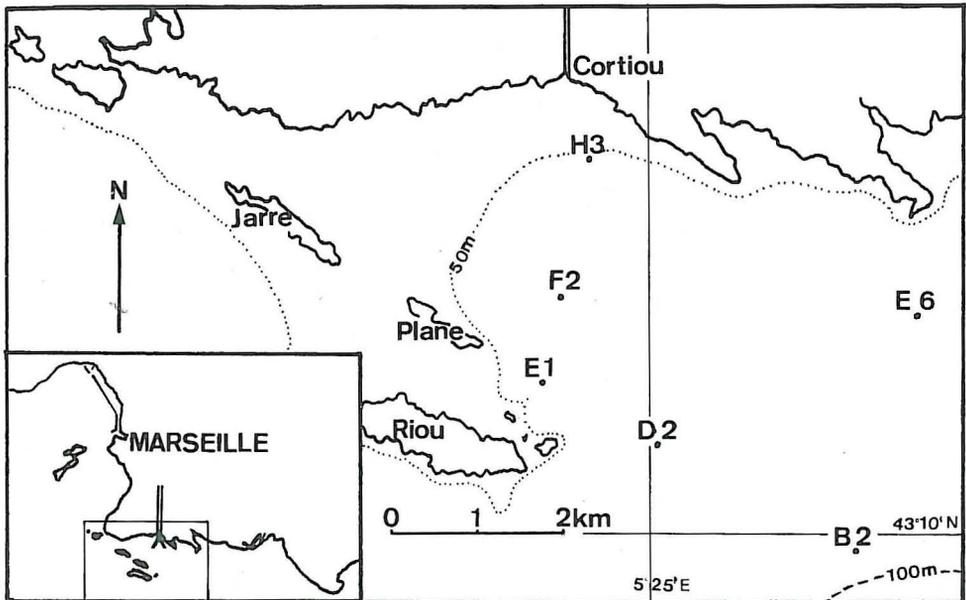


Fig. 1 : Localisation des stations fixes

- aux autres stations (F2, E1, E6, D2 et B2), 8 coups de benne ont été réalisés pour l'étude biologique, soit un volume de 40 dm³ (pour une superficie de 2/3 m²), le volume et la surface minima étant, dans ce cas aussi, largement atteints.

Le sédiment recueilli a été tamisé sur maille de 1,5 mm à bord du bateau, le refus de tamis renfermant la macrofaune étant immédiatement fixé au formol. Le tri a été effectué au laboratoire après légère coloration au rose bengale. Tous les individus de la macrofaune ont été extraits du sédiment. La détermination de la macrofaune a été conduite jusqu'au niveau de l'espèce chaque fois que l'état des individus, et aussi l'état d'avancement de la systématique, le permettait. Tous les individus ont été dénombrés. Auparavant, Bellan (1967) et Romano (1979) avaient utilisé une benne "Orange-peel" simple (Reish, 1959) et une méthodologie d'étude identique.

Reconnaissance de groupes écologiques

Pour chaque prélèvement, nous avons réalisé une étude systématique de l'ensemble de la faune présente ainsi que le décompte, taxon par taxon, de tous les individus récoltés. Ceci nous a permis de :

- dénombrer les espèces dites de pollution (ou de perturbation maximale) (Bellan, 1967) dont six ont été retrouvées (*Capitella capitata*, *Malacoceros* (= *Scolelepis*) *fuliginosus*, *Nereis caudata*, *Staurocephalus rudolphii*, *Audouinia tentaculata*, *Parvicardium exiguum*) et qui, dans le cas de l'émissaire de Cortiou, sont liées à l'afflux de polluants urbains ;

- dénombrer, de même, les cinq espèces considérées, ici, comme particulièrement représentatives de la "zone subnormale" (Bellan & Bourcier, 1984) (*Paralacydonia paradoxa*, *Dorvillea kefersteini*, *Corbula gibba*, *Thyasira flexuosa* et *Myrtea spinifera*), espèces que nous désignerons comme étant des espèces indicatrices au (sens strict) de la "zone subnormale".

A ces espèces, nous avons adjoint un certain nombre d'autres espèces appartenant à diverses catégories bionomiques bien individualisées : espèces à large répartition écologique (sur substrats meubles), ou vasicoles tolérantes. Ce lot d'espèces n'est nullement caractéristique de la "zone subnormale", mais leur abondance et, plus encore, leur dominance par rapport à l'ensemble du peuplement, sont particulièrement représentatives des conditions dominantes du milieu et de la transformation par les facteurs abiotiques de cette "zone subnormale". Le facteur principal reste l'envasement accéléré par dépôt rapide de "particules fines". L'ensemble de ces espèces forme un cortège faunistique de 51 espèces qui peuvent, globalement, être considérées comme "indicatrices" (au sens large) des conditions générales de la "zone subnormale" (Bellan, 1985, Bellan & Bourcier, 1984) ;

- dénombrer les espèces caractéristiques de biocénoses bien définies (Picard, 1965), c'est-à-dire, en l'occurrence, de peuplements présents au large de Cortiou avant que les effets de la pollution urbaine ne s'y manifestent de manière aussi désastreuse. Nous en avons retenu 29 qui sont, pour l'essentiel, caractéristiques des biocénoses circalittorales du Détritique Côtier, du Détritique Envasé, du Détritique du Large et de la Vase Terrigène Côtière.

Ceci pour :

- estimer la richesse qualitative et quantitative du peuplement de chaque station et l'évolution, tant spatiale que temporelle, de cette richesse ;

- effectuer, pour la série de prélèvements de 1986, une analyse analogue à celles réalisées en 1976 et en 1980, en fonction, notamment, du gradient d'éloignement de l'émissaire. Les paramètres retenus étant : le nombre d'espèces, le nombre d'individus (abondance), les indices de diversité et les indices (ou coefficients) de similitude qualitative et quantitative, entre les différentes stations et les différents prélèvements ;

- comparer ces éléments de nos analyses de 1986 avec ceux obtenus en 1976 et 1980.

Différents types d'indices choisis

Ont été retenus, pour l'ensemble des prélèvements :

- l'indice de diversité de Shannon ;

- l'équitabilité correspondante ;

- l'indice (ou coefficient) de Sørensen, prenant en compte les espèces communes aux prélèvements comparés deux à deux et l'indice (ou coefficient) de Whittaker (équivalent à celui de Sanders, antérieurement utilisé), basé sur la notion de dominance des espèces communes à deux prélèvements et intégrant l'abondance respective des espèces.

- la somme des dominances des espèces particulièrement fréquentes.

La structure du peuplement de chaque prélèvement a été appréciée par le biais de la méthode des diagrammes rang-fréquence (Frontier, 1986). Enfin, une analyse factorielle de correspondances a été réalisée, en intégrant l'ensemble des données acquises au cours des

trois campagnes estivales : 1976, 1980, 1986. Cette analyse, dans une première étape, a été conduite sur la totalité de la faune dénombrée, puis, dans une deuxième étape, en supprimant les espèces dont la contribution à la formation des axes apparaissait faible.

RÉSULTATS DES MESURES EN 1986

Les résultats par point de prélèvement ne prennent toute leur signification que comparés aux prélèvements antérieurs d'une part, et en suivant un gradient d'éloignement du foyer de pollution, d'autre part. Nous ne ferons donc figurer dans ce chapitre que les données brutes et les commentaires indispensables, l'essentiel des remarques et conclusions figurant dans les chapitres suivants.

Données par point de prélèvement (Tabl. I)

Station H3

Cette station, la plus proche de l'émissaire, est située à la limite de la zone polluée. 43 espèces et 970 individus ont été dénombrés. On remarquera l'abondance de certaines espèces indicatrices (au sens strict) de la "zone subnormale" (*Dorvillea kefersteini*, *Corbula gibba*, *Myrtea spinifera*, *Thyasira flexuosa*) représentant 25,15 % de l'ensemble des individus ou à large répartition écologiques *sensu lato* (*Aponuphis* (= *Hyalinoecia*) *bilineata*, *Lumbrineris latreilli*, *Tharyx* spp., *Chaetozone setosa*, *Mediomastus* sp.), l'ensemble regroupant plus de 86 % des individus présents. Les polychètes sont largement dominantes tant en espèces qu'en individus, mais il s'agit là d'une quasi-constante des milieux perturbés notamment par les rejets urbains. Les espèces de la "zone polluée" sont mal représentées (4 espèces et 6 individus) et aucune espèce caractéristique de biocénose n'a été récoltée.

Cette station H3 se distingue des autres stations par plusieurs traits : relative faiblesse des coefficients de similitudes de Sorensen, somme des dominances des espèces présentes dans les 2/3 ou la moitié de l'ensemble des prélèvements relativement faible (55,66 %), ce qui se retrouve lors des AFC.

Station F2

48 espèces et 444 individus ont été dénombrés. L'indice de Shannon et l'équitabilité sont les plus élevés de la série de prélèvements 1986. On remarquera l'abondance relative de *Thyasira flexuosa* et *Myrtea spinifera*, celle de *Chaetozone setosa*, *Aponuphis bilineata*, *Lumbrineris latreilli*, *Notomastus latericeus*. Si les espèces indicatrices *sensu stricto* ne rassemblent plus que 13,73 % des individus, l'ensemble des espèces indicatrices des conditions générales de la zone subnormale regroupe presque 87 % des individus alors que les espèces de la zone polluée et celles caractéristiques de biocénoses ne regroupent respectivement que 0,45 et 1,55 % des individus. Les similitudes (Sørensen et Whittaker) avec les autres prélèvements 1986 sont relativement élevées.

TABLEAU I

Données générales pour les stations de la campagne 1986

	3H3	3F2	3E1	3E6	3D2	3B2
Ab.	970	444	423	268	281	121
Nsp.	43	48	45	45	45	32
Shn.	3,69	4,31	3,70	4,17	3,89	3,52
Équ.	.679	.772	.673	.759	.708	.477
66 %	52,16	60,81	72,58	55,60	71,17	70,25
50 %	55,77	74,32	81,09	64,55	74,33	80,13
Pol.	0,62	0,45	1,65	0	0	0
Sss.	25,15	13,73	7,33	8,21	2,85	3,31
Ssl.	86,29	86,94	95,27	79,85	82,21	84,30
ScB.	0	1,35	1,18	1,49	1,07	7,43

Légende : Ab. : Abondance. Nsp. : Nombre d'espèces. Shn. : Indice de diversité de Shannon-Wieser. Équ. : Équitabilité. 66 % : Somme des dominances des espèces présentes dans au moins 66 % des prélèvements pour l'ensemble des trois campagnes. 50 % : Somme des dominances des espèces présentes dans au moins la moitié des prélèvements. Pol. : Somme des dominances des espèces "indicatrices de pollution" (ou de perturbation maximale). Sss. : Somme des dominances des espèces "indicatrices" (au sens strict) de la "zone subnormale". Ssl. : Somme des dominances des espèces indicatrices (au sens large) des conditions générales de la "zone subnormale". ScB. : Somme des dominances des espèces indicatrices de biocénoses.

Station E1

Cette station a fourni, en 1986, 45 espèces et 423 individus. Les indices de diversité et d'équitabilité sont relativement faibles. On remarquera l'abondance de certaines espèces, en particulier d'*Aponuphis bilineata*, la diminution de *Corbula gibba*, *Thyasira flexuosa* et l'apparition de *Paralacydonia paradoxa*. *Ophiopsila guineensis* est présente dans cette station et c'est la seule signalisation de la campagne 1986. Les espèces indicatrices *sensu stricto* de la "zone subnormale" ne regroupent guère plus de 7 % des individus, mais l'ensemble des espèces indicatrices des conditions générales de la "zone subnormale" en regroupent, elles, plus de 95 %. Les espèces caractéristiques de la "zone polluée" accusent une certaine poussée (1,65 % des individus) tandis que les espèces caractéristiques de biocénoses ne regroupent que 1,18 % des individus. Les espèces les plus fréquentes sont très bien représentées (81 % des individus). Les similitudes avec les autres peuplements sont plutôt bonnes, tant au niveau qualitatif que quantitatif.

Station E6

Comme dans la précédente station, 45 espèces ont été récoltées mais seulement 268 individus ont été dénombrés. On remarquera encore l'abondance relative d'*Aponuphis bilineata* (plus de 28 % des individus récoltés) et de *Paralacydonia paradoxa* ; en revanche, *Thyasira flexuosa* et *Myrtea spinifera* sont peu abondantes, tandis que *Corbula gibba* a disparu. Il n'y a plus d'espèces de la "zone polluée", mais les espèces indicatrices (au sens large) de la "zone subnormale" regroupent près de 80 % des individus. A l'exception de H3, les coefficients de similitude avec les autres stations sont élevés, notamment au niveau quantitatif (coefficient de Whittaker).

Station D2

45 espèces et 281 individus ont été recueillis. Les indices de diversité et l'équitabilité sont moyens. *Aponuphis bilineata* est l'espèce la plus abondante. *Lumbrineris latreilli*, *Chaetozone setosa* et *Notomastus latericeus* sont abondantes. En revanche, *Thyasira flexuosa* n'est représentée que par 1 individu, tandis que *Corbula gibba* et *Myrtea spinifera* ont disparu ; la profondeur joue dans ce dernier cas un rôle certain. Les espèces indicatrices (au sens large) de la "zone subnormale", sont toujours très abondantes et regroupent plus de 82 % des individus présents. En revanche, les espèces caractéristiques des biocénoses ne regroupent que 3 individus (1,07 % de l'ensemble). Les coefficients de similitude avec les autres stations sont relativement élevés.

Station B2

La station B2 est la plus au large, la plus éloignée de l'émissaire, la plus profonde. C'est la plus pauvre, tant en espèces (32) qu'en individus (121). Seule *Aponuphis bilineata* est abondante (41,32 %) ; *Lumbrineris latreilli* est assez commune (11 individus). On notera toutefois la présence de 3 individus de *Dentalium panormum*, espèce caractéristique des Fonds Détritiques du Large. Les espèces indicatrices *sensu lato*, de la "zone subnormale" dominant largement (84,30 %) et on a recueilli 9 individus d'espèces caractéristiques de biocénoses soit 7,43 % de l'ensemble des individus de la station B2. A l'exception de la station H3, les coefficients de similarité apparaissent relativement élevés avec les autres stations.

Comparaison synthétique des diverses stations

Richesse spécifique

Seule la station B2 apparaît sensiblement plus pauvre que les autres, avec seulement 32 espèces. Il y a en moyenne 43 espèces par station, mais cette moyenne n'a qu'un sens relatif. Trois stations (E1, E6 et D2) renferment 45 espèces.

Richesse quantitative

La station H3 apparaît très sensiblement plus riche que les autres puisque pour seulement 20 dm³ de sédiment 970 individus ont été dénombrés. La station la plus pauvre est la B2 et il semble exister un certain gradient de diminution de l'abondance au fur et à mesure que l'on s'éloigne du débouché de l'émissaire. L'effectif moyen par station est proche de 418 individus avec un écart type notable dû essentiellement aux stations H3 et B2.

Indices de diversité

Les indices de diversité de Shannon sont relativement faibles. Ils évoluent de 3,52 à 4,31. Ceux de Margalef évoluent de 6,11 à 7,87. Quant à l'équitabilité, elle est comprise entre 0,477 et 0,772.

On remarquera qu'il n'y a pas de relation simple entre la valeur de ces indices et l'éloignement de l'émissaire. Ils évoluent selon les stations à l'intérieur des marges observées, les plus faibles valeurs correspondant à la station B2, les plus fortes à la station F2. Ils ne peu-

vent, à ce niveau d'analyse, être considérés comme des éléments permettant de préjuger, sans équivoque, de l'état de l'évolution des peuplements par rapport à la source de pollution.

Rôle des espèces les plus fréquentes

9 espèces sont présentes, en 1986, dans les 2/3 des prélèvements réalisés au cours de l'ensemble des trois campagnes (1976, 1980, 1986) et 16 dans la moitié des prélèvements. Il paraît intéressant de rechercher le rôle de ces espèces les plus fréquemment rencontrées au large de Cortiou.

Auparavant, on remarquera que 6 espèces, *Glycera rouxii*, *Aponuphis bilineata*, *Lumbrineris latreilli*, *Drilonereis filum*, *Notomastus latericeus*, *Thyasira flexuosa* sont présentes (avec des abondances variées) dans tous les prélèvements de 1986. Selon les stations, ces espèces regroupent de 40,21 à 62,81 % recueillis dans la station considérée.

Les 9 espèces récoltées dans les 2/3 des prélèvements des 3 campagnes, regroupent, elles, de 52,16 à 72,58 % des individus, soit près de 64 % en moyenne. Les 16 espèces récoltées dans la moitié des prélèvements regroupent de 55,77 à 81,09 % des individus, soit près de 72 % en moyenne.

On voit, et c'est là une caractéristique majeure des peuplements de la "zone subnormale", qu'un petit nombre d'espèces colonise un maximum d'espace et que diminue très largement la richesse en espèces du peuplement du secteur.

Espèces indicatrices

Espèces indicatrices de pollution

Ces espèces sont très mal représentées ; quelques individus dans les stations H3, F2 et E1 les plus proches de l'émissaire. Elles ne jouent aucun rôle. Leur rareté démontre parfaitement qu'il n'y a pas de tendance visible d'une prochaine aggravation de l'état des fonds pour autant que les rejets de l'émissaire ne soient pas augmentés.

Espèces indicatrices de la "zone subnormale"

Si l'on se restreint aux seules espèces indicatrices au sens strict, on remarquera qu'elles ne sont abondantes que dans les stations H3 (25,15 %) et F2 (13,73 %). Elles ont tendance à se raréfier avec l'éloignement du débouché de l'émissaire.

Si l'on prend en compte l'ensemble des espèces pouvant être considérées comme indicatrices des conditions de la "zone subnormale", on remarquera qu'il en a été récolté 36 en 1986 et qu'elles dominent largement le peuplement puisqu'elles regroupent de 79,85 à 95,27 % des individus, selon les stations, avec une moyenne de 85,81 % caractérisée par un écart-type très faible 5,32. Ceci est la marque d'un déséquilibre généralisé des peuplements au large de Cortiou. Cette opinion est renforcée lorsqu'on remarque la dominance des espèces les plus communes.

Espèces caractéristiques des biocénoses.

Les 13 espèces considérées comme appartenant à cette catégorie et présentes dans les prélèvements de 1986, ne regroupent, selon les stations où elles ont été récoltées, que de

1,07 à 7,43 % des individus, soit, pour l'ensemble, une moyenne de 2,09 %. Aucune n'est présente à la station H3 et c'est à la station B2, la plus éloignée de l'émissaire, qu'elles sont les plus abondantes (7,43 % des individus). Plus intéressante encore est la disproportion flagrante entre cette catégorie d'espèces et la précédente : 13 espèces ne regroupent, en moyenne, que 2 % des individus alors que 36 en réunissent près de 86 %. Le rapport du nombre d'espèces de ces deux catégories est de 2,77 et celui des individus de 43. Enfin, il faut rappeler que ces espèces caractéristiques appartiennent à différents stocks biocénologiques : Détritique Côtier, Détritique Envasé, Détritique du Large, Vase Terrigène Côtière, Sables Fins Bien Calibrés.

Conclusions sur la campagne 1986

Le peuplement des stations de substrat meuble apparaît qualitativement appauvri par rapport à celui des stations bathymétriquement et sédimentologiquement homologues, situées dans un environnement non perturbé. Ces dernières renfermeraient approximativement deux fois plus d'espèces. Sur le plan quantitatif, la station la plus proche de l'émissaire est riche. L'abondance décroît ensuite, *grosso modo*, en fonction de l'éloignement de l'égout, ce qui est classique dans les milieux perturbés (Pearson & Rosenberg, 1978). Les indices de diversité sont faibles. Il en va de même de l'équitabilité. Cette médiocrité est largement liée à la dominance d'un petit nombre d'espèces. Quelques % d'espèces regroupent la moitié des individus ou davantage, témoignant de l'homogénéité des peuplements, de leur "monotonisation". Les espèces indicatrices de la "zone polluée" sont mal représentées, ce qui est un point positif. Ceci est malheureusement contrebalancé par la dominance absolue des espèces indicatrices de la "zone subnormale", et par la rareté tant qualitative que quantitative des espèces caractéristiques de biocénoses individualisées.

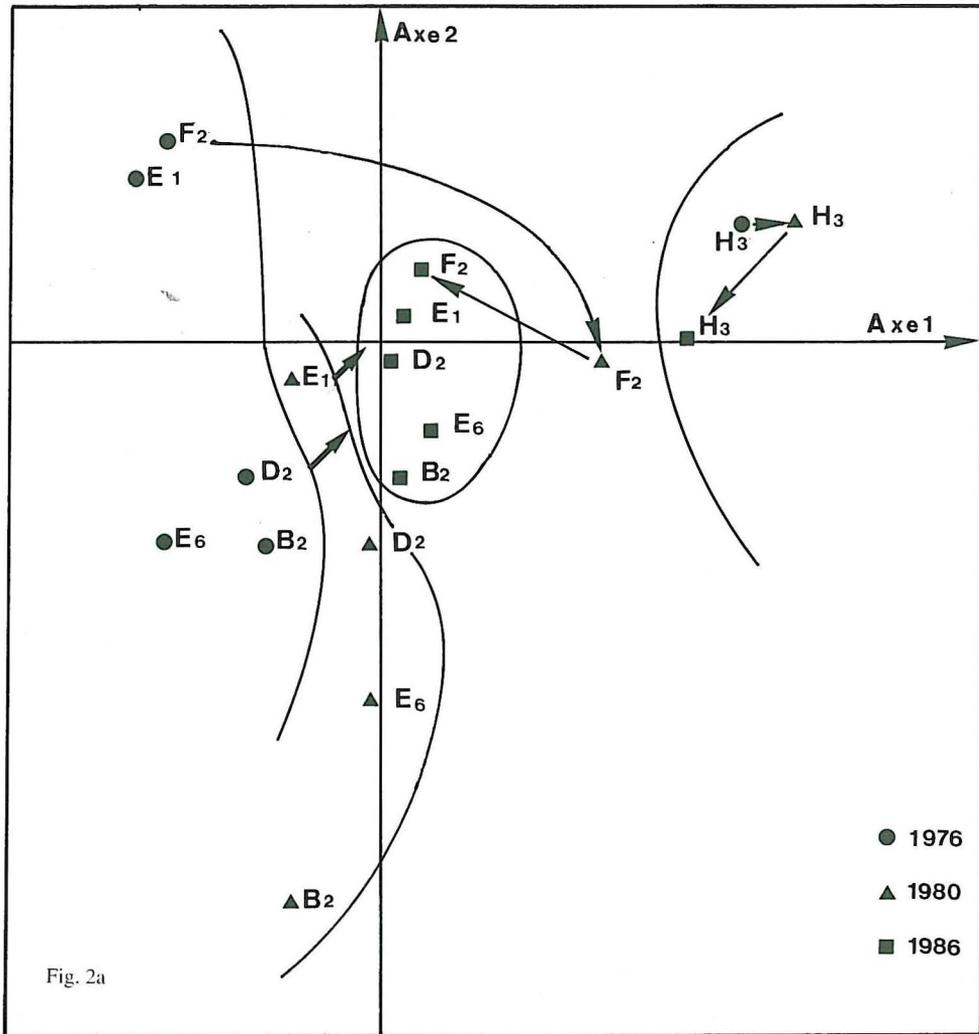
Le peuplement des sédiments meubles au large de Cortiou apparaît comme sévèrement perturbé, bien qu'il soit toujours référé à la "zone subnormale" définie par Bellan en 1967.

ÉVOLUTION DU PEUPEMENT AU COURS DES TROIS CAMPAGNES 1976, 1980, 1986

Analyse factorielle des correspondances (Fig. 2a et 2b)

Nous avons réalisé une analyse factorielle des correspondances (A.F.C.). Ce type d'analyse permet des regroupements de prélèvements en les affranchissant de l'association subjective prélèvement/station pour laquelle l'action synergique des facteurs ne correspond pas à une donnée permanente suivant un gradient de temps. La signification des axes et de leur évolution utilise, bien entendu, les connaissances préalablement acquises sur l'écologie des espèces qui les "créent".

Nous avons basé cette analyse sur 310 taxons. Une deuxième analyse basée sur 191 taxons, après élimination des espèces n'ayant qu'une faible contribution à la formation des axes, renforce les pourcentages des valeurs propres contribuant à cette formation, mais n'apporte pas de données nouvelles améliorant la finesse de l'interprétation. Nous avons préféré conserver l'analyse la plus complète.



Les trois premiers axes rendent compte respectivement de 16,31 %, 12,36 % et 10,70 % de l'inertie totale. La formation des trois axes est due, pour l'essentiel, tant en contribution absolue qu'en contribution relative, aux prélèvements en 1980 et 1986 de la station H3 et, dans une moindre mesure, aux prélèvements de 1976 des stations F2 et E1 (Tabl. V). Les prélèvements de 1980 et de 1986 de la station H3 ont, tant en terme de contribution absolue que relative, une importance décisive dans la création de l'axe 1. L'axe 2 est sous la "dominance" des prélèvements de 1976 des stations E6, F2 et E1 (et dans une moindre mesure, B2). Les prélèvements 1980 des stations H3, F2 et 1986 de la station H3 contribuent, une fois encore, à la création de l'axe 3. Les stations H3 et F2 sont les plus proches de l'émissai-

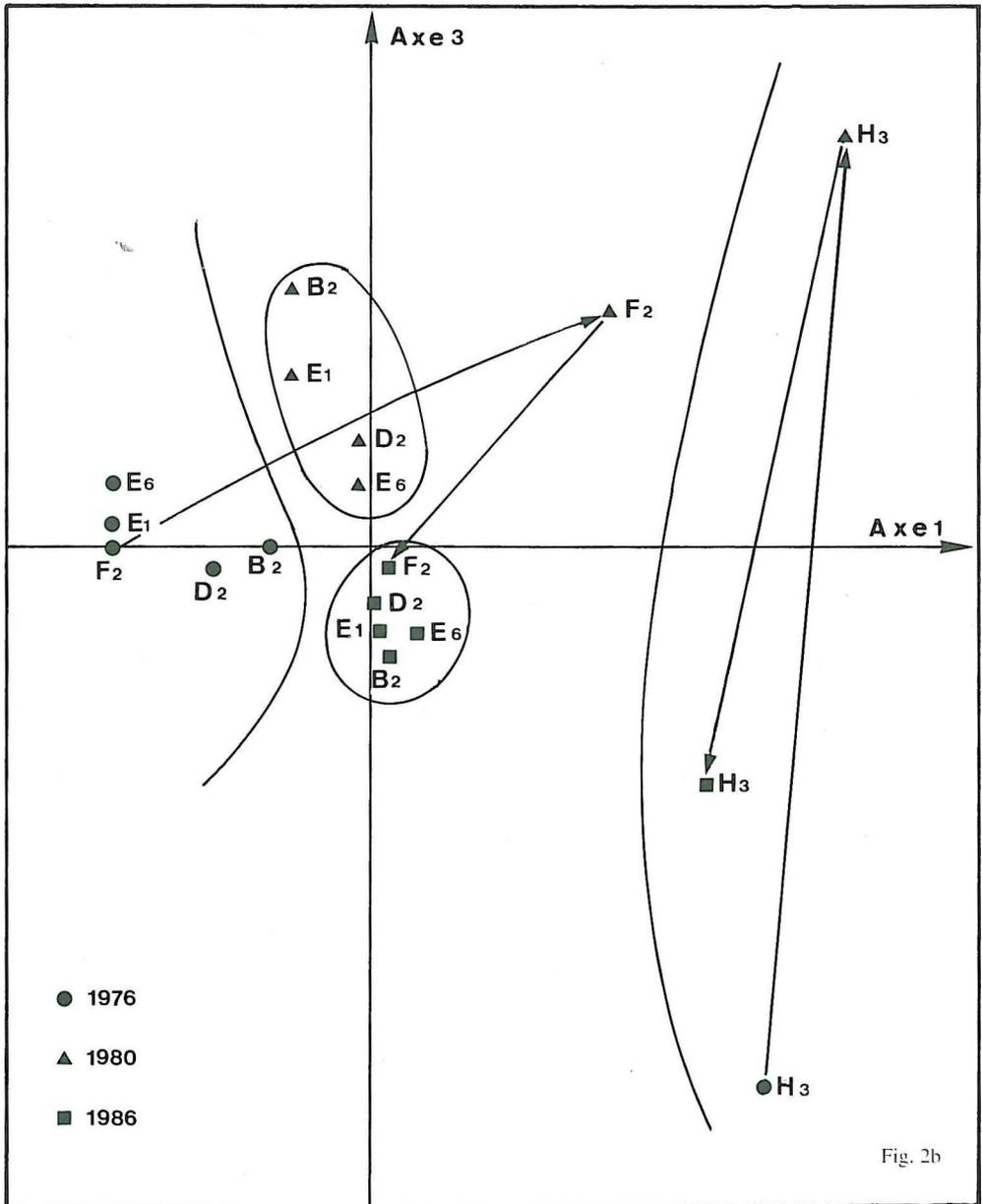


Fig. 2 : Analyse factorielle de correspondances :
 fig. 2a : A.F.C. dans le plan des axes 1 et 2
 fig. 2b : A.F.C. dans le plan des axes 1 et 3.

re et on peut se demander si l'analyse n'est pas pilotée par un ensemble complexe de facteurs interagissants (distance de l'émissaire, apports polluants organiques et minéraux, teneur en matières en suspension et sédimentant, etc.) qui génèreraient, en fait, "l'effet Cortiou". Cet "effet Cortiou" a d'ailleurs déjà été largement mis en évidence par des travaux sur la méiofaune tant des Foraminifères (Phillipe-Loeillet, 1983) que des Nématodes et des Copépodes Harpacticoïdes (Keller, 1986). Néanmoins, cette A.F.C. permet de préciser un certain nombre de points concernant l'évolution spatio-temporelle du peuplement des stations au large de l'émissaire, entre 1976 et 1986.

L'axe 1 peut être considéré comme l'axe essentiel de "pollution" ou de perturbation. Il discrimine (Fig. 2a) l'ensemble des prélèvements de la station H3 du côté positif et l'ensemble des prélèvements réalisés en 1976 (station H3 exclue) du côté négatif. Entre ces deux ensembles se regrouperaient les autres prélèvements de 1980 et 1986. L'axe 2, bien que formé par l'"effet Cortiou", pourrait exprimer la distance des stations par rapport à l'émissaire. Cela est relativement net en 1976, mais le devient moins en 1980 et 1986. Il y aurait en quelque sorte "concentration" progressive des prélèvements vers le barycentre, dans une échelle d'espace. Ce phénomène est particulièrement probant (Fig. 2b) si l'on considère l'ordination des prélèvements sur les axes 1 et 3. On peut se demander si l'axe 3 ne serait pas créé par des phénomènes d'instabilité temporelle du milieu. On constate que les prélèvements 1976 sont relativement bien groupés, que ceux de 1986 le sont parfaitement (même s'ils se développent dans d'autres plans de l'espace tels les axes 4 et suivants non explorés), tandis que les prélèvements 1980 sont relativement dispersés. Cela est peut-être dû à des phénomènes d'instabilité liés à la mise en service, en 1980, du deuxième émissaire et au détournement permanent de l'Huveaune (Bellan & Bourcier, 1984). Quant au fort regroupement des prélèvements 1986, il n'est, de toute évidence, que la traduction de l'homogénéisation des peuplements des différentes stations et de l'importance des quelques espèces qui, nous l'avons vu, tendent à monopoliser l'espace et les diverses ressources présentes.

Nous pouvons considérer que l'analyse factorielle des correspondances, effectuée aussi bien avec l'ensemble des éléments faunistiques qu'avec ceux réputés contribuant de manière privilégiée à la formation des axes, permet de mettre en évidence un certain nombre de phénomènes :

- a) une individualisation de la station H3 ;
- b) une évolution spatiale des peuplements en fonction de l'éloignement du débouché de l'émissaire ;
- c) une évolution temporelle progressive des peuplements des différentes stations, entre 1976 et 1986 et une évolution *in situ* pour chacune des stations prises individuellement ;

mais surtout :

- d) une évolution conduisant à une monotonisation du peuplement des stations (et pour l'ensemble de la zone concernée) qui culmine en 1986.

L'étude détaillée des différents descripteurs du peuplement nous permettra de préciser certains détails de notre A.F.C., parfois trop synthétiques et, ainsi, de la conforter.

Richesse spécifique (Tabl. I, II, III)

Le nombre d'espèces recueillies dans chaque station a sensiblement évolué dans le temps. Nous isolerons la station H3, la plus proche de l'égout. Pour ce qui est des autres prélèvements, on constate une forte diminution du nombre d'espèces récoltées en 1976 et 1980 ; ceci est tout à fait confirmé en 1986. En 1980, toutes les stations s'étaient appauvries par rapport à 1976. Globalement, on était passé, en prenant en compte l'ensemble des stations, d'une richesse spécifique moyenne de 76 espèces (et 88 si on élimine le prélèvement H3) à 42 espèces. L'état 1986 est surtout caractérisé par la grande homogénéisation de la composition spécifique dans l'ensemble de la zone. Pour un nombre moyen d'espèces quasi identique (42,33 en 1980 et 43 en 1986), l'écart-type est divisé par 2,5 en 1986 par rapport à 1980.

Abondance (Tabl. I, II, III)

Concernant le nombre d'individus de chaque prélèvement, on remarque une évolution plus nuancée. L'abondance moyenne est sensiblement la même en 1976 et en 1986, encore que l'on pourrait discerner un appauvrissement au niveau de chaque station à l'exception, notable, de la station H3. Au contraire, le peuplement apparaissait très appauvri en 1980, aussi bien par rapport à l'état de 1976 qu'à celui de 1986. A cette époque (1980), le second émissaire venait d'être mis en service et on peut considérer que les peuplements au large de Cortiou étaient soumis à des perturbations particulièrement fortes. Nous manquons de don-

TABLEAU II

Données générales sur les campagnes 1976 (1H3 à 1B2) et 1980 (2H3 à 2B2)

	1976						1980					
	1H3	1F2	1E1	1E6	1D2	1B2	2H3	2F2	2E1	2E6	2D2	2B2
Ab.	32	1019	629	715	330	261	506	206	75	170	176	45
Nsp.	12	96	87	108	86	63	42	41	28	59	58	26
Shn.	2,71	4,72	5,05	5,86	5,55	4,72	2,90	4,22	4,08	4,84	5,20	4,01
Équ.	.755	.716	.783	.827	.864	.789	.538	.787	.849	.822	.888	.860
66 %	0,06	34,46	27,50	19,72	32,42	36,78	75,49	53,40	21,33	27,06	42,05	13,33
50 %	0,06	39,05	34,50	42,52	41,91	57,51	79,75	65,05	26,67	50,59	59,66	46,67
Pol.	6,25	2,25	2,26	0	0,61	0	2,57	1,94	0	0	0	0
Sss.	46,88	6,08	3,66	3,50	3,94	0,77	59,88	33,50	5,33	1,76	10,80	2,22
Ssl.	68,75	69,09	58,66	50,21	51,21	65,52	84,89	67,48	68,00	61,18	68,18	48,89
ScB.	0	1,67	2,70	4,06	4,25	3,83	2,57	1,46	0	5,29	2,87	17,78

Légende : Ab. : Abondance. Nsp. : Nombre d'espèces. Shn. : Indice de diversité de Shannon-Wieser. Équ. : Équité. 66 % : Somme des dominances des espèces recueillies dans au moins 66 % des prélèvements pour l'ensemble des trois campagnes. 50 % : Somme des dominances des espèces recueillies dans au moins la moitié des prélèvements. Pol. : Somme des dominances des espèces "indicatrices de pollution" (ou de perturbation maximale). Sss. : Somme des dominances des espèces indicatrices au (sens strict) de la "zone subnormale". Ssl. : Somme des dominances des espèces indicatrices (au sens large) des conditions générales de la "zone subnormale". ScB. : Somme des dominances des espèces caractéristiques de biocénoses.

nées pour interpréter sans équivoque ce phénomène, mais nous remarquons que le peuplement des différentes stations avait eu tendance à s'enrichir quantitativement au début de l'hiver 1981 (Bellan et Bourcier, 1984). Il s'agissait peut-être d'un épisode lié au choc résultant de la mise en service six mois plus tôt (28 janvier 1980) du deuxième émissaire et, surtout, du détournement permanent, sans l'habituel répit hivernal, du petit fleuve côtier Huveaune, dans ce dernier.

Indices de diversité et équitabilité (Tabl. I, II, III)

Bien qu'il faille être prudent dans l'interprétation de ces indices, nous ne pouvons que constater leur diminution au cours du temps. Encore une fois, il faut mettre en évidence l'évolution 1976-1980.

TABLEAU III

Moyennes des données générales pour les trois campagnes

	1976	1980	1986
Ab. moy.	497,67 ± 357,00	196,33 ± 164,14	417,83±294,92
NSp. moy.	75,33 ± 34,37	42,33 ± 14,12	43,00±5,62
Shn. moy.	4,77 ± 1,11	4,21 ± 0,79	3,88±0,31
Équ. moy.	.789 ± .521	.791 ± .129	.678±.107
66 % moy.	25,16 ± 13,71	38,79 ± 23,07	63,76±8,77
50 % moy.	35,92 ± 19,20	54,61 ± 17,84	71,70±9,78
Pol. moy.	2,00 ± 2,450	1,42 ± 1,70	0,45±0,64
Sss. moy.	10,81 ± 17,75	18,92 ± 23,30	10,10±8,36
Ssl. moy.	60,54 ± 8,49	66,35 ± 11,53	85,81±5,32
ScB. moy.	2,75 ± 1,66	4,99 ± 6,50	2,09±2,67

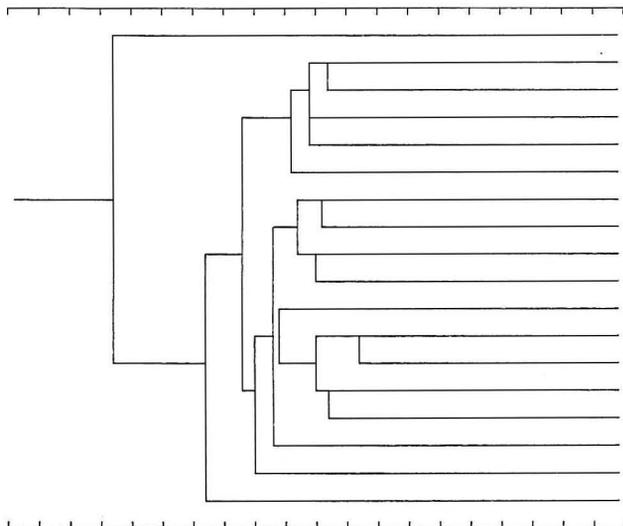
Comparaison de données synthétiques.

Rôle des espèces les plus fréquentes dans la structuration du peuplement (Tabl. I, II, III)

Il est particulièrement intéressant de mettre en évidence le comportement de ce paramètre qui évolue de manière inverse aux précédents. En effet, ces espèces (9 présentes dans les 2/3 des prélèvements et 16 dans la moitié) tendent à devenir de plus en plus dominantes, et à prendre une importance de plus en plus grande dans la structuration du peuplement.

En fait, la résultante de cette observation apparaît comme un élément défavorable quand on considère la stabilité du peuplement ; ce petit nombre d'espèces se développant sur de grandes surfaces conduit à rendre monotone le peuplement au large de Cortiou et il est probable que cette homogénéisation serait, si elle se perpétuait en s'aggravant, un facteur de déstabilisation ultérieure du peuplement benthique. Elles risquerait, sous l'effet d'un stress quelconque, naturel ou artificiel, de conduire à la reprise de l'extension de la "zone polluée", au moins dans le secteur géographique le plus proche de l'émissaire (H3, F2 et E1).

0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

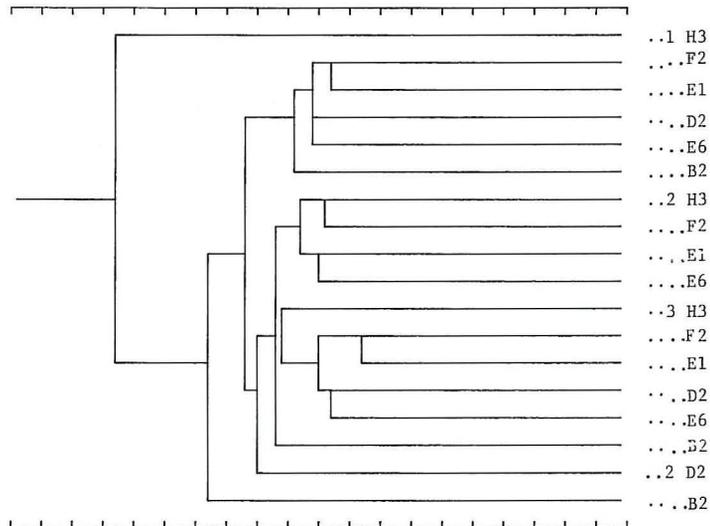


0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

fichier : sorensen.dist,

critère d'agrégation : diamètre des groupes,

0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%



0% 10% 20% 30% 40% 50% 60% 70% 80% 90% 100%

fichier : sorensen.dist,

critère d'agrégation : saut minimal ou liaison simple,

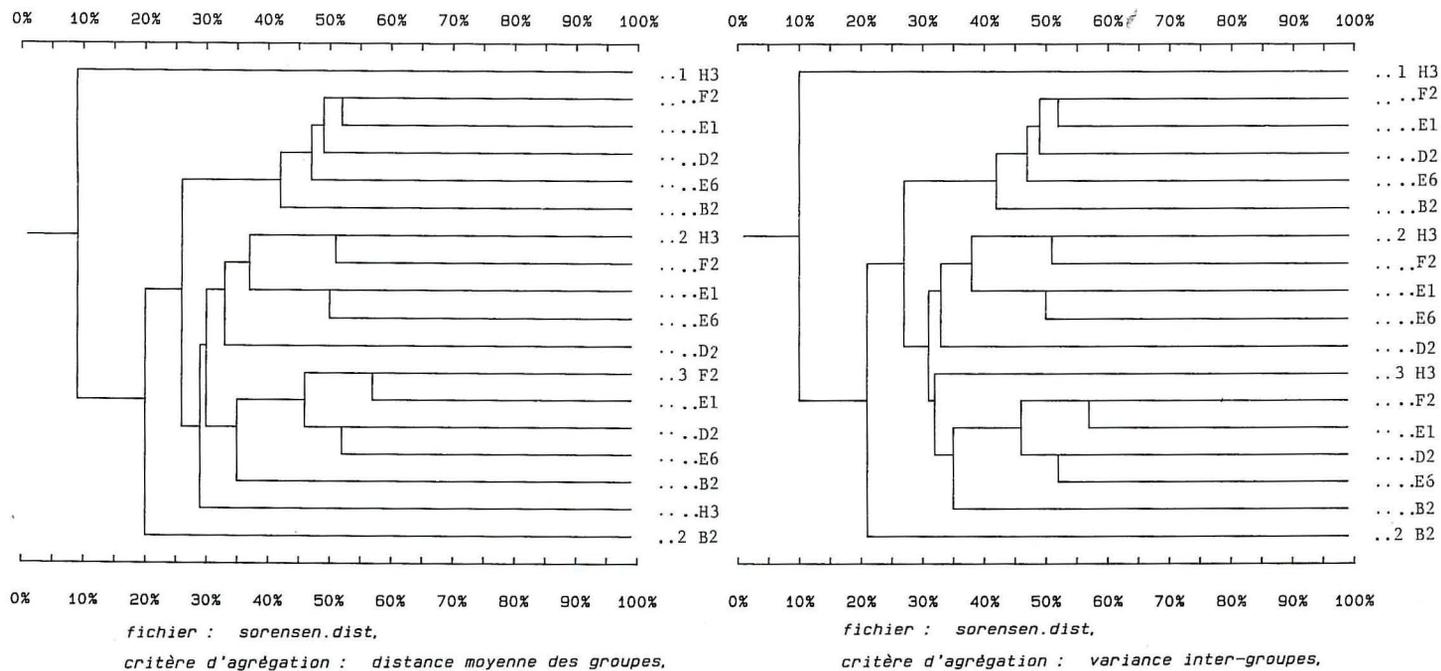


Fig. 3 : Coefficient de similitude de Sørensen (dendrogrammes selon quatre critères d'agrégation). Le chiffre précédant la désignation de la station correspond à l'année de prélèvement : 1 = 1976 ; 2 = 1980 ; 3 = 1986.

Coefficients de similitude (Tabl. IV et Fig. 3 et 4)

L'accroissement global des coefficients de similitude (tab. 4), en particulier en 1986, traduit en fait l'homogénéisation progressive du peuplement, telle que nous venons de le mettre en évidence dans le paragraphe précédent. Si l'on compare une série de prélèvements à une autre, on remarquera, en revanche, que ces coefficients sont relativement faibles.

Le coefficient de similarité (qualitatif) de Sørensen n'est supérieur à 40 % (quand on compare deux campagnes : 1976-1980, 1976-1986, 1980-1986) que dans 11 % des cas (doublés). Ce seuil de 40 % est un peu plus fréquent lorsqu'on prend en compte le nombre d'individus (coefficient quantitatif de Whittaker).

Par ailleurs, nous avons réalisé quatre séries de dendogrammes pour les coefficients de similitude de Sørensen (Fig. 3) et ceux de Whittaker (Fig. 4). Quatre critères d'agrégation ont été utilisés : distance moyenne des groupes, variance intergroupes, saut minimal et diamètre des groupes. Dans tous les cas de figures, le prélèvement 1976 de la station H3 est fortement isolé des autres. Ceci a été déjà amplement mis en évidence. A un degré moindre, le prélèvement 1980 de la station B2 est, de même, isolé. Dans les deux cas, la pauvreté en

TABLEAU IV

Indices de similitude de Sørensen et Whittaker
(moyenne pour les 6 stations)

	Sørensen	Whittaker
1976	34,92±18,59	29,19±18,69
1980	35,41±10,33	26,66±11,40
1986	40,28±10,90	50,14±9,27
1976-1980	22,53±8,23	19,17±10,63
1976-1986	26,05±8,98	28,76±12,73
1980-1986	28,53±9,03	26,33±10,69

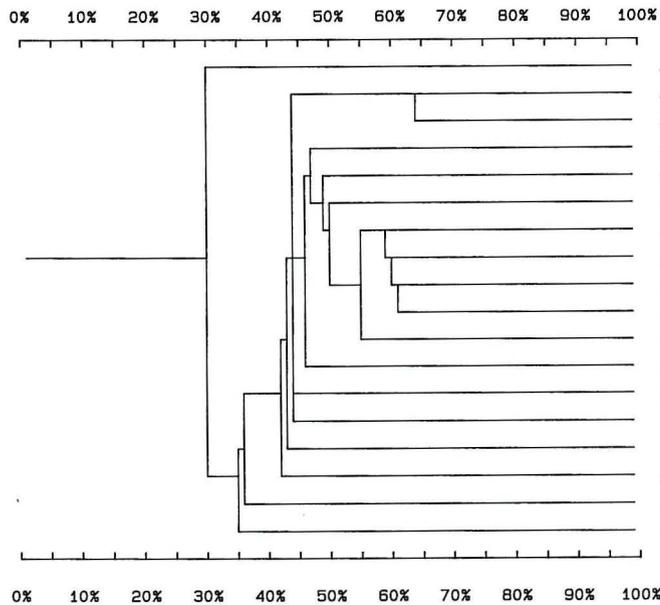
TABLEAU V

Analyse factorielle de correspondances : contributions liées aux variables

Stations	Axe 1		Axe 2		Axe 3	
	C. abs.	C. rel.	C. abs.	C. rel.	C abs.	C. rel.
1F2	.1491	.3297	.2765	.4526	.0104	.0147
1E1	.1175	.3284	.0873	.1786	.0002	.0004
1E6	.1136	.2150	.3150	.4413	.0639	.0776
1B2	.0069	.0436	.0617	.2877	.0002	.0007
2H3	.2704	.4288	.0612	.0718	.4630	.4711
2F2	.0244	.1687	.0003	.0013	.0465	.2061
3H3	.2932	.5121	.0095	.0123	.3234	.3625

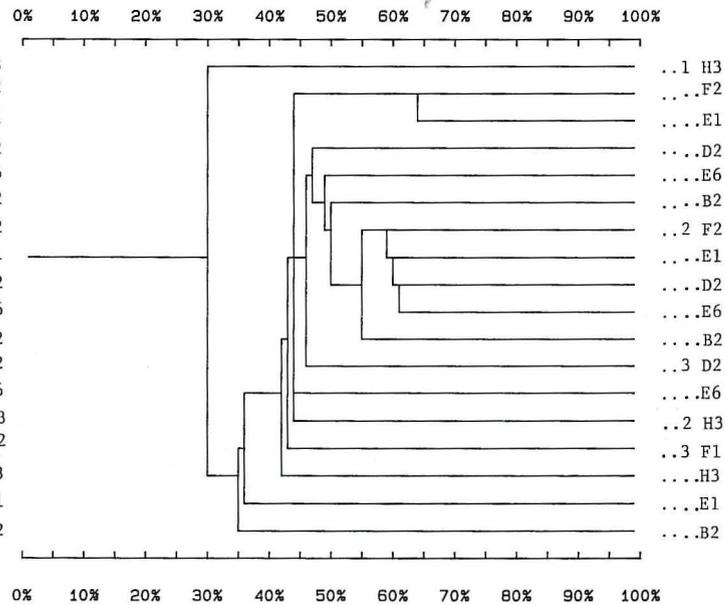
C. abs. : Contribution absolue. C. rel. : Contribution relative.

(n'ont été pris en considération que les prélèvements ayant des contributions significatives)



fichier : whitaker.dist,

critère d'agrégation : diametre des groupes,



fichier : whitaker.dist,

critère d'agrégation : saut minimal ou liaison simple,

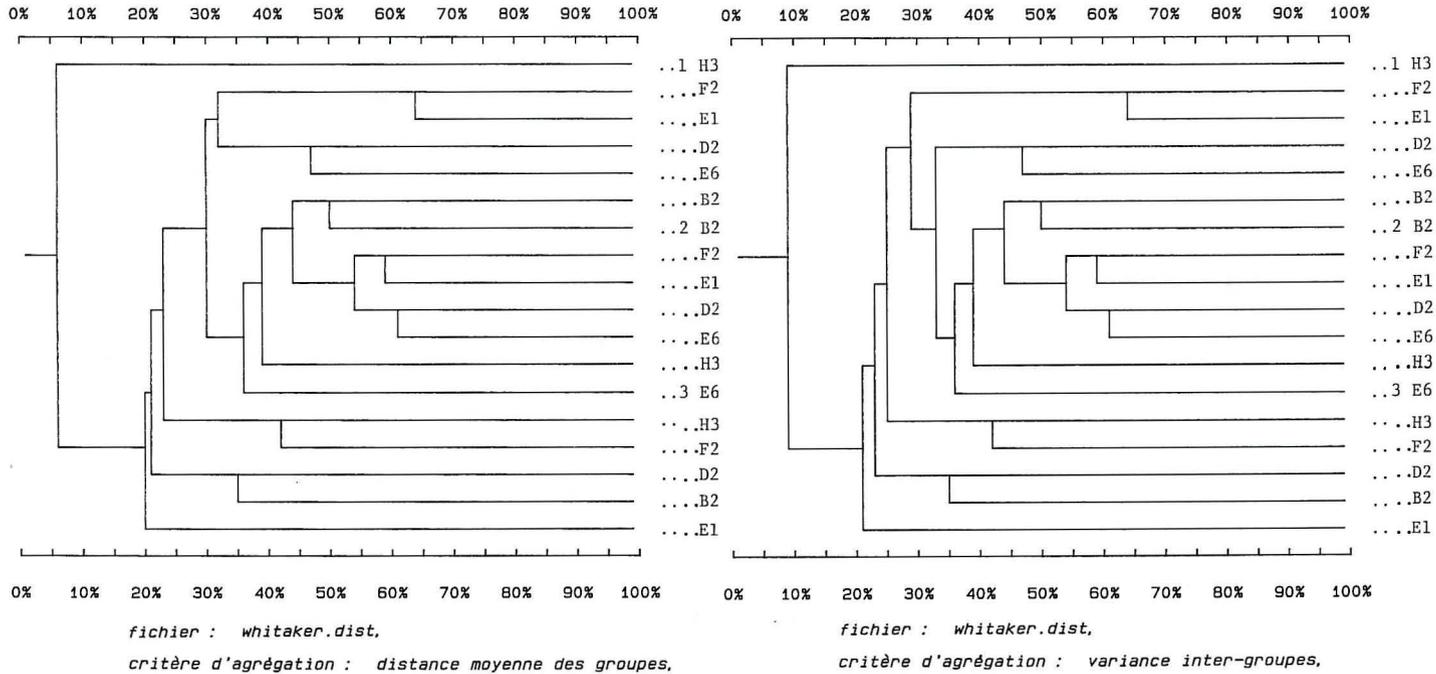


Fig. 4 : Coefficient de similitude de Whittaker (dendrogrammes selon quatre critères d'agrégation)

espèces et en individus de ces deux prélèvements en est la raison. Mais, bien entendu, les causes fondamentales sont radicalement différentes et ces deux prélèvements ne présentent qu'une similitude dérisoire. On remarquera, d'autre part, que les prélèvements 1976 sont toujours regroupés et clairement "hiérarchisés". Globalement, on peut aussi considérer que les prélèvements des deux autres campagnes sont eux aussi distincts, mais que les similitudes sont loin d'être négligeables, en particulier lorsqu'on utilise comme critère d'agrégation le saut minimal (ou liaison simple) et le diamètre des groupes.

Espèces indicatrices et Indices biotiques (Tabl. I, II, III)

Les espèces de la "*zone polluée*" (ou "*zone de perturbation maximale*") ne sont jamais nombreuses. Elles jouent un rôle marginal, bien connu, dans la "*zone subnormale*", et ne méritent pas de développement particulier.

Les espèces caractéristiques de biocénoses ne sont guère mieux représentées ; ceci est une particularité essentielle de la "*zone subnormale*". Leur accroissement serait un signe tangible de la "récupération" du milieu, de l'amélioration de sa qualité et, à ce titre, ces espèces doivent être étroitement surveillées.

Le groupe des espèces indicatrices (au sens strict) des conditions de "*zone subnormale*" avait fortement progressé en 1980, notamment dans les stations H3 et F2. Il retrouve en 1986 le niveau de 1976, ce qui pourrait être considéré comme un signe encourageant. Signe contrebalancé cependant, entre 1980 et 1986, par l'accroissement notable des espèces à larges potentialités écologiques et par celui des espèces vasicoles tolérantes. L'ensemble de ces espèces peut être considéré comme étant indicateur (au sens large) des conditions générales prévalant dans la "*zone subnormale*".

Diagrammes Rang-Fréquences (Fig. 5)

En 1977, Frontier a mis au point une méthode d'analyse de la structuration des communautés basées sur les "diagrammes Rang-Fréquence". Cette méthode consiste à porter sur un graphique, en abscisse, le rang des espèces classées par ordre d'abondance décroissante et, en ordonnée, la fréquence (ou dominance) des espèces dans l'échantillon, rang et fréquence étant exprimés en logarithmes. L'allure de la courbe renseigne sur la structure de l'échantillon et notamment sur l'évolution spatiale et/ou temporelle des échantillons que l'on veut comparer.

Ces diagrammes apparaissent particulièrement performants pour l'étude des milieux pollués et plus largement perturbés. Ils mettent en évidence le défaut de structuration des peuplements perturbés mais, surtout, ils permettent de comparer, dans le temps et dans l'espace, par la simple observation des courbes obtenues, l'involution structurelle du peuplement lorsque s'accroît la perturbation.

La Fig. 5 est particulièrement explicite à cet égard. Pour les prélèvements de 1986, tous les diagrammes obtenus démontrent une structuration médiocre du peuplement des six stations, peuplements référables au stade 1 ou au mieux à une transition vers le stade 2. La courbe de référence obtenue à partir d'un prélèvement dans un fond Détritique Envasé, effectué par Picard en 1963, dans le secteur de Cortiou (Picard, 1965) qui correspond à un peuplement mature de type "2" selon Frontier, permet de visualiser en quelque sorte la

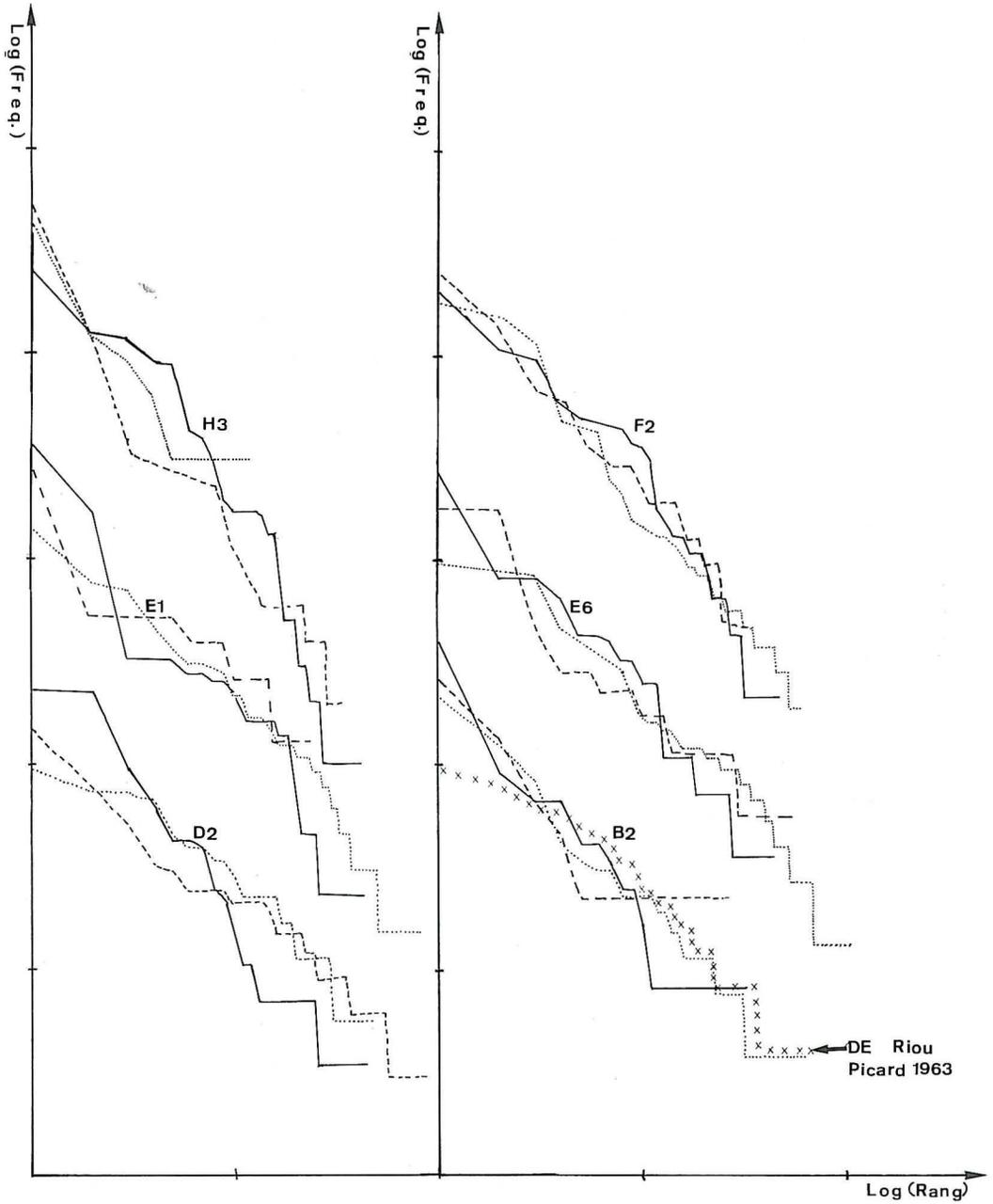


Fig. 5 : Diagrammes Rang-Fréquences des 6 stations fixes (et d'une station de référence, Riou, Picard, 1965).

LÉGENDE COMMUNE AUX SIX FIGURES

..... 1976 ; ----- 1980 ; ——— 1986.

dégradation généralisée du peuplement depuis cette époque (Bellan *et al.*, 1975). Apprécié dans le temps (1976-1986), pour chaque station (Fig. 5), on note une certaine tendance à la dégradation structurelle en 1986, ceci étant plus particulièrement net pour les stations E1 et D2. Il est, de même, assez remarquable que pour les stations E1, D2, E6 et B2, l'espèce la plus fréquente (*sensu* Frontier) accentue régulièrement, en 1976, puis en 1980 et enfin en 1986, la convexité du diagramme en s'élevant le long de l'ordonnée.

CONCLUSIONS

Sur une période de 10 années (1976-1986), on constate une évolution régressive du peuplement des stations de substrats meubles (à l'exception de l'épisode particulier de 1976 à la station H3). Cependant, on pourrait envisager, à titre d'hypothèse, qu'il y a eu un "état 1976" et, par la suite, un "état 1980-1986", départagés par le détournement permanent de l'Huveaune, en janvier 1980. Il faut néanmoins bien garder en mémoire que, de 1976 à 1986, la dégradation a été continue pour l'ensemble des paramètres pris en compte.

En résumé, nous sommes en droit d'avancer que, sur une période d'une dizaine d'années, les peuplements benthiques du secteur de Cortiou se sont sensiblement dégradés. Cette dégradation nous paraît essentiellement due à un apport constant de matériel fin. De par sa flottabilité, il est normal que ce matériel soit entraîné par la masse d'eau, et que son influence se fasse sentir plus rapidement et plus fortement sur les peuplements les moins profonds que sur les peuplements de plus grande profondeur. Ceci avait pu être constaté dans un contexte moins grave en 1965, notamment sur les peuplements du voisinage immédiat de la calanque de Cortiou qui semblent stabilisés depuis une douzaine d'années.

L'épisode réellement catastrophique des années 1972-1975 lié au détournement estival de plus en plus prolongé dans le temps du petit fleuve côtier Huveaune (Bellan *et al.*, 1975, Picard, 1978), ne s'est pas renouvelé. La zone polluée en particulier, n'a pas sensiblement évolué, comme nous l'avons précisé ; elle occupe, en 1986, les mêmes limites qu'en 1975. Le détournement permanent de l'Huveaune en janvier 1980 s'est traduit par une dégradation sensible des peuplements au-delà de cette zone polluée.

Tout ce qui peut contribuer à la réduction des rejets de matériaux fins par l'émissaire (et, accessoirement, la rétention d'un maximum de polluants par la station d'épuration) devrait donc avoir un impact positif direct sur la qualité du milieu et des peuplements. C'est dans cette optique que le "plan de charge" de la station d'épuration des eaux usées de Marseille avait été établi.

La phase de restauration de ces peuplements benthiques devrait débiter dès que la station d'épuration, mise en service en octobre 1987 et son complément, l'usine de traitement des boues, entreront en pleine efficacité de fonctionnement.

Sans se montrer trop résolument optimiste, on peut espérer observer des signes tangibles d'une amélioration du benthos dans quelques années (4 ou 5 ans, sans doute) et peut-être même avant. Ceci, bien entendu, est conditionné par le bon fonctionnement de la station d'épuration et de l'usine de traitement des boues.

Par ailleurs, en attendant une épuration à 100 % de l'émissaire, l'évacuation de tout ou partie des rejets par l'intermédiaire d'une conduite sous-marine serait certainement un "plus" facilitant la reconquête des fonds dans l'ensemble du secteur de la côte des calanques et de l'archipel de Riou. Reste, bien entendu, que l'on peut faire deux objections à ce vœu : les problèmes pratiques (et financiers) soulevés, et le risque, selon le choix du débouché de cet émissaire sous-marin, d'assister à un simple transfert topographique des dégâts. Cette seconde objection pourrait, probablement, être levée, après une étude des différents paramètres en présence, permettant un choix judicieux du lieu de débouché de cet émissaire sous-marin.

Ces considérations et ces propositions pour une meilleure "gestion" des rejets en mer de l'émissaire des eaux usées de la ville de Marseille tiennent, pour une large part, à la méthodologie utilisée et à la stratégie d'échantillonnage dans le temps et dans l'espace choisie. La méthodologie utilisée est classique. Elle a largement fait ses preuves en Méditerranée, quelles qu'en soient les variantes. Nous estimons que l'intérêt essentiel des recherches bionomiques entreprises au large de Cortiou tient à leur caractère répétitif. A partir d'une étude extensive réalisée en juin 1976 de plusieurs dizaines de stations placées sur un carroyage régulier dans l'espace, nous avons sélectionné six stations situées à des distances et à des profondeurs croissantes et nous les avons échantillonnées à trois reprises (juin 1980, janvier 1981 et juin 1986). C'est cet aspect répétitif, jugé trop souvent inutile, qui nous a permis de présenter un aspect dynamique et d'en tirer des leçons dans le domaine de l'écologie appliquée.

REMERCIEMENTS

Les auteurs sont particulièrement reconnaissants au Professeur A. Arnoux de la Faculté de Pharmacie de Marseille, qui a réalisé l'ensemble des analyses géochimiques qui ont permis une meilleure interprétation de nos données biologiques, à M. Cabioch, Directeur de recherche au C.N.R.S. et à l'arbitre anonyme pour leurs remarques aussi amicales que constructives, ainsi qu'à Messieurs J.C. Dauvin, Sous-Directeur au Muséum National d'Histoire Naturelle et C. Bernard, Technicien au C.N.R.S. pour leur aide lors du traitement informatique des données. Ces recherches ont été grandement facilitées grâce à différents contrats de la Ville de Marseille.

BIBLIOGRAPHIE

- ARNOUX, A., D. AUCLAIR et G. BELLAN (1973). Étude de la pollution chimique des sédiments du secteur de Cortiou (Marseille) : relation avec les peuplements benthiques. *Téthys*, 5(1) : 115-123.
- ARNOUX, A., G. BELLAN, D. BELLAN-SANTINI, M. BOURCIER, C. DIANA & J.L. MONOD (1987). Comparaison entre l'état chimique et l'évolution biologique des fonds dans le secteur affecté par l'émissaire de Cortiou. *Symp. intern. Pollut. urb.*, Marseille, novembre 1987 : 13 p.
- ARNOUX A., G. BELLAN, A. JORAJURIA-OLIVARI, J.L. MONOD & J. TATOSSIAN (1980). Relations entre les peuplements benthiques et les caractéristiques granulométriques et chimiques des dépôts au large de l'émissaire de Marseille-Cortiou. *V^e Journ. Et. Poll. Comm. intern. Explor. scient. Méditer.*, Cagliari, Italie : 649-656.

- BELLAN, G. (1967). Pollution et peuplements benthiques sur substrat meuble dans la région de Marseille. Première partie. Le secteur de Cortiou. *Rev. inter. Océanogr. méd.*, 6-7 : 53-87. Deuxième partie. L'ensemble portuaire marseillais. *Rev. intern. Océanogr. méd.*, 8 : 51-95.
- BELLAN, G. (1985). Effects of pollution and man-made modifications on marine benthic communities in the Mediterranean : a Review. in *Mediterranean Marine Ecosystems*, M. Moraitou-Apostolopoulou and V. Kiortsis, Ed. Plenum Publish. Corp. : 163-194.
- BELLAN, G., D. BELLAN-SANTINI, M. BOURCIER & A. ARNOUX (1987). Quelques réflexions sur le benthos des milieux pollués. *Symp. intern. Poll. urb.*, Marseille, novembre 1987 : 14 p.
- BELLAN, G. & M. BOURCIER (1984). Bilan écologique du détournement permanent d'un petit fleuve côtier dans l'émissaire d'eaux usées d'une grande ville. *Mar. Environ. Res.*, 12 : 83-111.
- BELLAN, G. et M. BOURCIER (1988). Étude à long terme (1976-1986) des peuplements de substrats meubles au large de l'émissaire de Marseille Cortiou. *Rap. P.V. Réun. Comm. intern. Explor. sc. Médit.* 31(2) : 168.
- BELLAN, G., A. JORAJURIA-OLIVARI & J. PICARD (1980). Le peuplement des substrats meubles dans le couloir d'écoulement des eaux usées de la ville de Marseille. *V^e Journ. Etud. Poll., Comm. intern. Explor. sc. Méditer*, Cagliari, Italie, octobre 1980.
- BELLAN, G., R. KAIM-MALKA & J. PICARD (1975). Évolution récente des différentes auréoles de pollution marine des substrats meubles liées au grand collecteur de Marseille-Cortiou. *Bull. Ecol.*, 6(2) : 57-66.
- BEDHOMME, P. (1987). Évolution saisonnière des peuplements méio et macrobenthiques dans une aire perturbée (Golfe de Fos). Analyse plus particulière des communautés de Nématodes. Doct. Univ. Aix-Marseille II (mention Océanologie), 19 novembre 1987 : 242 p.
- BILYARD, G.R. (1987). The value of benthic infauna in marine Pollution monitoring Studies. *Mar Poll. Bull.*, 18(11): 581-584.
- BOURCIER, M. (1976). Économie benthique d'une baie méditerranéenne largement ouverte et des régions voisines en fonction des influences naturelles et humaines. Thèse Doctorat es-Sciences, Univ. Aix-Marseille II : 1-161 + annexes : 1-50. A.O. C.N.R.S. n° 12.150.
- BRIBA, C. & J. P. REYS (1966). Modifications d'une Benne "Orange Peel" pour des prélèvements quantitatifs de benthos de substrats meubles. *Rec. Trav. St. mar. Endoume*, 41(57) : 117-121.
- DORSEY, J.H., K.D. GREEN & R.C. ROWE, (1983). Effects of sewage disposal on the polychaetous annelids at San Clemente Island, California : 209-233, in Soule and Walsh, ed. : *Waste disposal in the Ocean. Minimizing impact, maximising benefits*. Boulder Co., Westwood Press.
- ELMGREN, R. (1978). Structure and dynamics of Baltic benthos communities, with particular reference to the relationship between macro and meiofauna. *Kielermeeeresforsch.*, 4 : 1-22.
- FRONTIER, S. (1985). Diversity and structure in aquatic ecosystems *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 23 : 253-312.
- JORAJURIA-OLIVARI, A. (1980): Peuplements benthiques de substrat meuble dans le couloir d'eaux usées de la ville de Marseille. Relations polluants-peuplements. Thèse d'Univ., Océanologie, Université d'Aix-Marseille : 116 p + annexes.
- KELLER, M. (1986). Le méiobenthos en milieux perturbés : zone d'épandage de l'égout de Marseille et Étang de Berre. Thèse Doct. Univ. (mention Océanologie), Univ. Aix-Marseille II, 17 décembre 1986 : 255 p.
- LAVERGNE, G., B. HOYAUX & Y. d'ANDIGNE (1987). Des études du milieu marin au choix des procédés de traitement. *Symp. intern. Poll. urb.*, Marseille, octobre 1987 : 21 p.
- PEARSON, T.H. (1980). The Loch Eil project : assessment and synthesis with a discussion of certain biological questions arising from a study of the organic pollution of sediments. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 57 : 93-124.
- PEARSON, T.H. & R. ROSENBERG (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 16 : 229-311.
- PICARD, J. (1965). Recherches qualitatives sur les biocoenoses benthiques des substrats meubles dragables de la région marseillaise. *Rec. Trav. St. mar. Endoume*, 36(52) : 3-160.
- PICARD, J. (1978) Impacts sur le benthos marin de quelques grands types de nuisances liées à l'évolution des complexes urbains et industriels de la Provence occidentale. *Océanis*, 4 : 214-251.
- PHILLIPE-LOELLET, S. (1983). Contribution à l'étude des Foraminifères benthiques de zones soumises à la pollution urbaine (Émissaire des villes de Marseille et Toulon-ouest). Thèse de 3^e Cycle, Océanographie, Université d'Aix-Marseille, 20 septembre 1983 : 126 p. + annexes.
- REISH, D.J. (1959). An Ecological study of pollution in Los Angeles-Long Beach harbors, California. *Allan Hancock Found. Publ. Occas. Pap.* 22 : 117 p.
- REISH, D.J., D.F. SOULE & J.D. SOULE (1980). The benthic biological conditions of Los Angeles-Long Beach harbors. Results of 28 years of investigations and monitoring. *Helgol. Meeresunters.*, 34 : 193-205.
- ROMANO, J.C. (1979). Étude des peuplements benthiques de substrats meubles au large du débouché en mer du grand collecteur de Marseille. 1. Données générales sur le milieu et les peuplements. *Téthys*, 9(2) : 113-122.