Marine Biology 89, 293–302 (1985)

Marine Biology
International Journal on Life in Oceans and Coastal Waters
© Springer-Verlag 1985

Distribution quantitative de la méiofaune dans l'aire d'épandage de l'égout de Marseille

M. Keller

Laboratoire de Biologie des Invertébrés Marins, Faculté des Sciences de Luminy; 70, route Léon Lachamp, F-13288 Marseille Cédex 9, France

Abstract

Quantitative distribution of the meiofauna in the vicinity of Marseilles' sewage outfall

A quantitative analysis of meiofauna was carried out at ten sample stations distributed along a transect off Marseilles' (France) sewage outfall in November, 1981. The meiofauna was counted and average and total biomass of nematodes and copepods were calculated for each station. Comparison of data between stations or groups of stations was made using statistical tests. The results revealed three sectors in which effects of pollution on meiofauna differed: (1) A heavily polluted coastal zone (at a distance of 30 to 150 m from the outfall), relatively poor in meiofauna, which, however, was not completely absent – as were macrobenthic organisms; the meiofauna was composed mainly of nematodes and copepods, but acarians and naupliar larvae (probably copepods) were also numerous; the copepods were uncommonly large in size, and alone constituted most of the total benthic biomass in this zone. (2) An intermediate zone (400 to 1 150 m away from the coast), also polluted and much richer in meiofauna than the coastal zone; the meiofauna groups were more diversified, annelids (mainly polychaetes) increasing in number, while acarians became scarce and copepods decreased in size; at 400 m away from the outfall, where the sediment is strongly polluted, the nematode population consisted of large individuals which contributed greatly to the biomass; at 400 and 800 m, the distribution of both meiofauna and macrobenthos was heterogeneous; at 1 150 m away from the outfall, maximal meiofaunal densities were recorded, due primarily to an increase in nematode numbers; here, unlike all the stations nearer to the coast, total nematode biomass was greater than copepod biomass. (3) An off-shore zone (1.8 to 4 km distant from the coast), slightly polluted, where meiofauna densities were reduced and individuals decreased in size with increasing depth. Generally, an enrichment in the meiofauna was evident from the coastal to the intermediate zone. Enrichments induced by urban pollution have been recorded previously, but not, as in the present study, at a distance of 1 km away from the outfall, succeeding to a highly impoverished coastal zone. Thus, by supplying organic matter and nutrients, Marseilles' sewage can enrich sediments, but only to a certain distance away from the outfall, where the deleterious effects of pollutants are attenuated.

Introduction

Les eaux usées de l'agglomération de Marseille (un million et demi équivalents habitants) sont rejetées à la mer, depuis 1896, dans l'Anse de Cortiou, après, pour toute épuration, un simple dégrillage. L'émissaire principal a été doublé, en 1979, d'un second collecteur dans lequel sont détournées les eaux de l'Huveaune, petit fleuve côtier, lui même fortement pollué par des décharges domestiques et industrielles.

Ces rejets sont à l'origine d'une forte pollution du milieu marin. Dans le domaine benthique, les travaux de Bellan et de ses collaborateurs (Bellan, 1967; Bellan *et al.*, 1975, 1980; Romano, 1979) ont permis de distinguer trois zones d'altération progressive des peuplements macrobenthiques et de mettre en évidence l'intensification de la dégradation des fonds, au fil des ans, liée au volume croissant des rejets.

Jusqu'à présent le méiobenthos n'avait pas été pris en considération. Il est vrai que ce n'est qu'assez récemment qu'un certain intérêt s'est manifesté pour l'étude des peuplements méiofaunistiques de fonds pollués par des rejets domestiques (Marcotte et Coull, 1974; Tietjen, 1977, 1980; Vidaković, 1983).

Matériels et méthodes

Afin d'évaluer l'impact de cette importante pollution sur le méiobenthos, dix stations de prélévement ont été prospec-

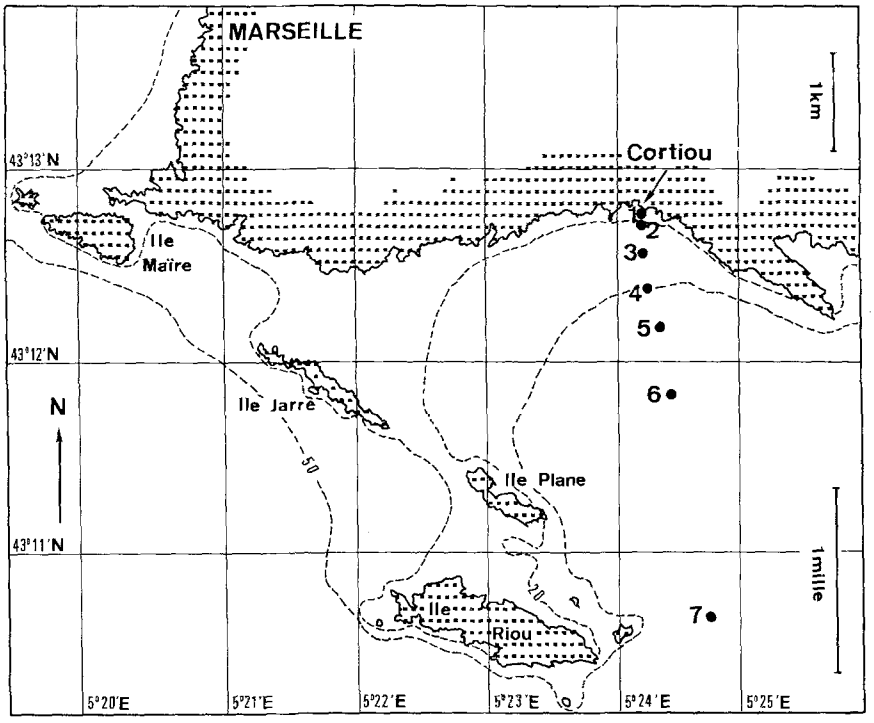

Fig. 1. Localisation des stations prospectées au large de l'émissaire de Marseille-Cortiou. Les stations A, B et C, les plus proches de la côte, n'ont pu être représentées à cette échelle

Tableau 1. Caractéristiques des stations de prélèvement au large de l'émissaire de Marseille-Cortiou débouchant à 43°12'48"N; 5°24'11'E

Stations	Latitude N	Longitude E	Profondeur (m)	Distance à l'égout (m)
A	43°12'48"	5°24'9"	6	30
B	43°12'47"	5°24'11"	10	35
C	43°12'46"	5°24'11"	16	50
1	43°12'46"	5°24'12"	20	60
2	43°12'43"	5°24'13"	25	150
3	43°12'34"	5°24'15"	36	400
4	43°12'22"	5°24'18"	50	800
5	43°12'12"	5°24'20"	60	1 150
6	43°11'49"	5°24'28"	74	1 850
7	43°10'39"	5°24'46"	86	4 000

tées en novembre 1981, selon une radiale égout-large, matérialisant un gradient de pollution (Fig. 1).

Les trois stations les plus proches de la côte (A, B et C; Tableau 1) situées à faible profondeur, ont été échantillonnées par carottage en plongée autonome à l'aide de tubes de Plexiglass de 10 cm^2 de section.

Les sept autres stations (1 à 7; Tableau 1) ont été échantillonnées à partir d'une embarcation à l'aide d'un carottier à section quadrangulaire permettant de prélever, sans le perturber ni le léssiver, un volume important de sédiment. Les échantillons sont alors collectés dans le sédiment prélevé par le carottier à l'aide des tubes de Plexiglass.

Les prélèvements sont fractionnés en horizons de 5 cm de hauteur (horizons 0 à 5 cm, 5 à 10 cm, etc.) à partir de l'extrémité inférieure de la carotte (Vitiello et Dinet, 1979), l'eau sus-jacente ayant été préalablement siphonée pour être ensuite ajoutée à l'horizon superficiel (0 à 5 cm).

Les sous-échantillons sont fixés au formol à 4% neutralisé puis colorés au rose bengale 24 h avant leur traitement.

La présence d'une très grande quantité de particules légères (fibres végétales, détritus divers) dans les sédiments ne permettant pas une extraction aisée de la méiofaune par la méthode de décantation (Vitiello et Dinet, 1979), il s'est avéré nécessaire de recourir à une méthode plus rapide et plus performante, basée sur une séquence de centrifugations dans des solutions de densité croissante (Heip, 1974; Heip *et al.*, 1974). L'emploi du ludox HS 40 (solution de silice colloidal de densité 1,30) (Coolen et D'Herde, 1977; De Jonge et Bouwman, 1977), sans effet osmotique, évite toute déformation des organismes qui en rendrait la détermination difficile ou impossible.

Des expériences effectuées sur plusieurs échantillons prélevés au large de Cortiou ont montré que la densité du ludox utilisé est le facteur influant le plus le rendement de l'extraction de la méiofaune, alors que vitesse de rotation et durée de centrifugation, au delà d'une certaine limite, n'interviennent plus. En effet, pour que l'extraction soit efficace, la solution de ludox doit avoir une densité plus élevée que celle des organismes à extraire et plus faible que celle des particules et des débris à éliminer. La densité de la méiofaune a été déterminée sur quelques échantillons en déposant les organismes à la surface de solutions de ludox de densités connues; elle s'est avérée proche de 1,075.

C'est donc à une densité de 1,08 que les centrifugations ont été réalisées à 7 000 tours min^{-1} pendant 7 min (accélération au fond des tubes: 6 000 × g).

Afin d'éviter toute contamination des échantillons par des organismes provenant de l'eau du robinet, celle-ci est préalablement filtrée sur un tamis de 40 μm. Le sédiment est soigneusement lavé avec cette eau sur deux tamis superposés dont le premier (1 mm de vide de maille) a pour rôle de retenir la macrofaune et les particules les plus grosses et le second (40 μm de vide de maille) d'éliminer la fraction fine. Le refus du second tamis, sédiment et méiofaune, est transféré dans des tubes à centrifuger de 100 ml dans lesquels sont ajoutées de l'eau filtrée et une cuillerée de kaolin destiné à renforcer la cohésion du culot de centrifugation.

Une première centrifugation permet d'éliminer l'eau et toute trace de formol du sédiment. Le culot est ensuite remis en suspension par agitation manuelle dans du ludox de densité 1,08.

Cinq centrifugations au ludox sont effectuées successivement. Les deux premières avec du ludox de densité 1,08 permettent d'extraire la plus grande partie de la méiofaune et très peu de particules. La troisième centrifugation à une densité de 1,09 extrait encore un certain nombre d'organismes. Les quatrième et cinquième centrifugations à une densité de 1,15 permettent d'extraire les individus les plus denses mais mêlés à de nombreuses particules.

Après chaque centrifugation la méiofaune en suspension dans le ludox est récupérée sur un tamis de 40 μm et soigneusement lavée à l'eau filtrée puis transférée dans une cuve de Dollfus. Le culot est remis en suspension. Le dénombrement se fait à la loupe binoculaire en observant toutes les cases successivement.

Après la dernière centrifugation le culot est récupéré sur un tamis de 40 μm, lavé à l'eau filtrée afin d'éliminer le kaolin et le ludox, et une partie en est observée à la loupe binoculaire afin de vérifier qu'il ne reste plus d'organismes.

Cette méthode d'extraction a un rendement très élevé; en effet l'analyse de trente et un échantillons a montré que les culots contiennent en moyenne 0,56% des organismes (entre 0 et 2,5%). Par ailleurs, pour ce type de sédiment riche en détritus, la durée des tris et les possibilités d'erreur de comptage sont considérablement réduites du fait que, pour les deux premières centrifugations qui extraient en moyenne 67% des individus (entre 44 et 93% selon les échantillons), les cuves ne sont pas encombrées par des particules.

Après numération des organismes de chaque échantillon, 200 nématodes et 200 copépodes prélevés au hasard sont transférés dans une solution de formol glycériné à 5% qui est soumise à évaporation lente; ils sont ensuite montés dans la glycérine pure et leurs dimensions sont déterminées à partir de schémas effectués à l'aide d'un tube à dessin équipant le microscope.

La biomasse (poids frais) des nématodes et des copépodes est estimée à partir du volume et du poids spécifique. Pour les nématodes le volume (V)) est calculé à partir de la formule d'Andrassy (1956) considérant qu'un nématode peut être assimilé à un cylindre effilé aux deux extrémités:

$$V = \frac{d^2 \cdot L}{1{,}7},$$

où d est le diamètre maximal et L la longueur, flagelle non compris.

Le volume d'un copépode, en considérant qu'un copépode est formé de deux cylindres, l'un constitué par le céphalothorax, et l'autre par l'abdomen (Dinet, 1980), est donné par:

$$V = \pi \frac{dc^2 \cdot Lc}{4} + \pi \frac{da^2 \cdot La}{4},$$

où dc et Lc sont respectivement le diamètre et la longueur du céphalothorax, da et La, le diamètre et la longueur de l'abdomen, furca non comprise.

Le poids spécifique des animaux est proche de 1,075 aussi bien pour les nématodes que pour les copépodes, et cette valeur a été adoptée pour l'ensemble des calculs.

Les mensurations des 200 individus prélevés ont permis, pour chaque station, d'évaluer la biomasse individuelle moyenne d'un nématode et d'un copépode.

La biomasse totale ($\bar{B}$) des nématodes ou des copépodes à une station donnée est calculée par la formule:

$$\bar{B} = \bar{N} \cdot \bar{b},$$

où $\bar{N}$ est le nombre moyen de nématodes (ou de copépodes) à la station considérée et $\bar{b}$ la biomasse individuelle moyenne d'un nématode (ou d'un copépode) à cette station.

Une analyse statistique ne pouvait être réalisée sur les résultats bruts des comptages car le nombre d'échantillons par station était assez faible ($n = 2$ ou 3) alors qu'il est admis que la distribution de la méiofaune est de type agrégatif (Vitiello, 1968; Gray, 1971 b). Les données brutes ont donc subi une transformation du type $y = \log x$. Afin de comparer les effectifs des stations, ou de groupes de stations, deux à deux, le test t de comparaison de deux moyennes de Student a été appliqué sur les données transformées après avoir vérifié l'homogénéité des variances par le test F (Elliott, 1977).

Pour comparer les biomasses individuelles moyennes entre stations, les variances n'étant pas homogènes (test F), il a fallu recourir au test non paramétrique «U» de Mann-Whitney (Elliott, 1977).

En ce qui concerne la biomasse totale des nématodes et des copépodes, ne disposant que d'une valeur moyenne par station obtenue par le calcul, et non de valeurs individuelles, l'absence de degrés de liberté n'a pas permis d'effectuer de test statistique.

Résultats

Caractéristiques des stations

Les stations A, B et C sont situées dans une zone de dépôt des graviers et des sables; les courants créés par l'arrivée

Tableau 2. Comptages de la méiofaune au large de l'émissaire de Marseille-Cortiou dans les horizons superficiels (0–3 à 0–8,5 cm) des échantillons (a, b, c). St.: station; %: pourcentage que représente chaque groupe par rapport à l'ensemble de la méiofaune

Méiofaune	Echantillons																						Total	%
	St. A			St. B		St. C		St. 1		St. 2		St. 3		St. 4		St. 5		St. 6		St. 7				
	a 0–5	b 0–5	c 0–3	a 0–5	b 0–5,5	a 0–3	b 0–5	a 0–4,5	b 0–5,5	a 0–5	b 0–8,5	a 0–5	b 0–5	a 0–5	b 0–5	a 0–5	b 0–5	a 0–5	b 0–5	a 0–5	b 0–5		
Nématodes	18	86	199	116	104	193	286	27	25	6	2	376	949	1 050	228	2 754	4 218	2 022	2 521	688	863	16 731	69,65
Copépodes	8	15	7	20	14	142	133	188	208	33	18	133	420	383	56	301	372	111	205	27	37	2 831	11,79
Nauplii	2	28	12	34	33	108	140	288	42	60	4	64	386	30	3	121	297	117	145	54	39	2 007	8,36
Polychètes	0	21	4	0	0	2	2	0	1	0	0	153	71	590	78	259	306	143	140	7	9	1 786	7,43
Acariens	41	36	30	13	20	59	68	89	87	85	49	4	10	1	2	3	1	1	4	2	1	606	2,52
Tanaïdacés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	9	26	3	3	0	0	43	
Amphipodes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3	0	0	6	
Bivalves	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	4	0,25
Ostracodes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	3	
Tardigrades	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
Isopodes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
Total	69	186	252	183	171	505	629	593	363	184	73	730	1 836	2 055	372	3 447	5 224	2 399	3 021	779	949	24 021	

de l'Huveaune et de l'émissaire ne permettent pas la sédimentation des particules fines.

Les stations 1 et 2 situées à 60 et 150 m de l'égout sont très polluées, le sédiment y est acide (pH moyen sur une colonne de 4 cm: respectivement 6,35 et 6,53) et complètement réduit (Eh moyen sur 4 cm: −357 et −347 mV), il comporte d'importants dépôts de matières en décomposition et de détritus divers, dépôts très instables car régulièrement mis en suspension durant les périodes de mauvais temps. Ces stations se trouvent dans la zone I de pollution maximale définie par Bellan (1967), dépourvue de macrobenthos. On y relève des concentrations très élevées en bactéries (Keller *et al.*, 1983) ainsi qu'une certaine abondance du microphytobenthos (Keller, 1984).

La station 3 à 400 m du débouché correspond au niveau de pollution le plus élevé, les teneurs du sédiment en détergents anioniques, plomb, zinc, cuivre, nickel et cadmium sont très élevées (Keller, 1984), le substrat semble plus stable avec des dépôts organiques encore très importants. La présence de nombreux individus du macrobenthos dans les prélèvements indique une localisation dans la zone II polluée (Bellan, 1967). Les concentrations bactériennes sont encore élevées mais plus faibles qu'aux abords immédiats de l'émissaire (Keller *et al.*, 1983). La concentration en chlorophylle *a* est très faible (Keller, 1984).

Les stations 4 et 5, respectivement à 800 et 1 150 m de l'émissaire, ont un niveau de pollution nettement moindre que les stations précédentes, la quantité de chlorophylle *a* dans le sédiment est très faible alors que des concentrations élevées en phéophytines traduisent des phénomènes de dégradation de la chlorophylle (Keller, 1984). L'activité bactérienne est encore importante (Keller *et al.*, 1983). Le sédiment est encore réduit dans la station 4 (Eh moyen sur une colonne de 4 cm de sédiment: −290 mV) qui se situe comme la précédente dans la zone II polluée. La station 5 semble être à la limite entre la zone II et la zone III subnormale.

Les stations 6 et 7, respectivement à 1,8 et 4 km de la côte, se situent dans la zone III définie comme subnormale (Bellan, 1967). Le sédiment est constitué d'un sable fin à très fin (taille moyenne des grains: $Tm = 0{,}271$ et 0,236 mm), non envasé, riche en éléments détritiques, réferable à la biocénose du détritique côtier. Malgré la profondeur déjà importante (74 et 86 m), une augmentation du taux de chlorophylle *a* s'observe (Keller, 1984), probablement en liaison avec l'atténuation de la pollution mais aussi avec un meilleur éclairement au niveau du fond dû à la réduction de la turbidité de l'eau.

Abondance de la méiofaune

Les deux groupes des nématodes et des copépodes qui représentent en effectif 82% de la méiofaune totale (70% pour les nématodes et 12% pour les copépodes) (Tableau 2) ont été étudiés plus spécialement. Seuls les 5 cm superficiels de sédiment (horizons 0 à 5 cm) ont été pris en

Tableau 3. Analyse quantitative de la méiofaune au large de l'égout de Cortiou (horizons 0 à 5 cm). $\bar{x}$: valeur moyenne; (ve): valeurs extrêmes

	Stations et distance à l'égout				
	A, B, C, 1, 2	3 et 4	5	6	7
	30–150 m	400–800 m	1 150 m	1 850 m	4 000 m
Abondance (no. d'individus 10 cm^{-2})					
Méiofaune totale					
$\bar{x}$	128–576	1 213–1 283	4 335	2 710	864
(ve)	(69–629)	(372–2 055)	(3 447–5 224)	(2 399–3 021)	(779–949)
Nématodes					
$\bar{x}$	4–239	639– 662	3 486	2 271	775
(ve)	(2–286)	(228–1 050)	(2 754–4 218)	(2 022–2 521)	(688–863)
Copépodes					
$\bar{x}$	10–198	219–276	336	158	32
(ve)	(7–208)	(56–420)	(301–372)	(111–205)	(27–37)
Biomasse (poids frais; mg m^{-2})					
Nématodes					
$\bar{x}$	1,1–190	605–3 778	2 457	2 164	577
Copépodes					
$\bar{x}$	424–8 261	727–4 316	996	559	63

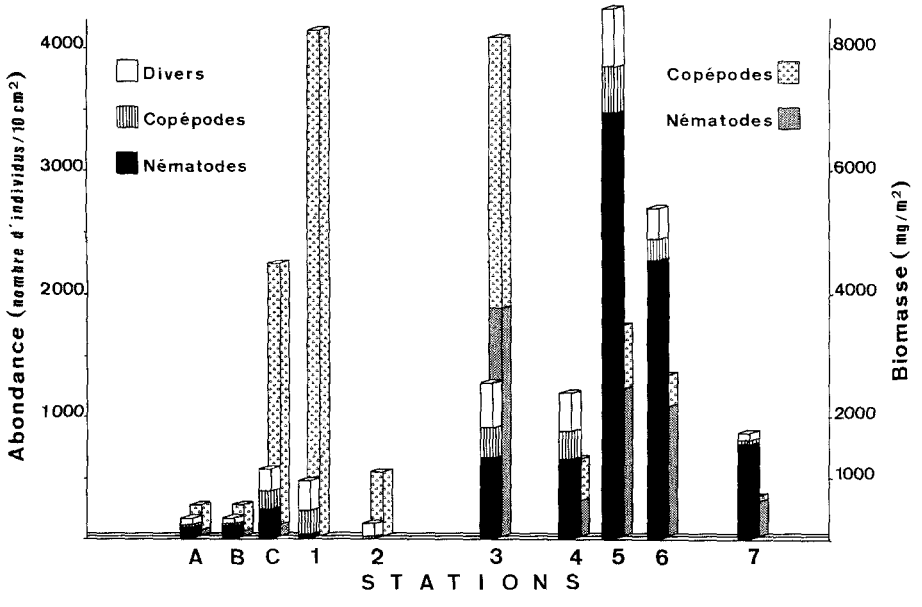

Fig. 2. Abondance et biomasse de la méiofaune au large de l'égout de Cortiou. Les histogrammes placés à l'avant-plan représentent l'abondance, ceux de l'arrière-plan, la biomasse. Les stations sont placées par rapport à l'origine de l'axe horizontal selon le logarithme de la distance qui les sépare du point de rejet

compte, les couches plus profondes ayant montré un appauvrissement très marqué de la méiofaune (Keller, 1984).

La comparaison des effectifs de méiofaune entre stations considérées deux à deux permet d'évaluer une éventuelle progression de l'impact de la pollution depuis le débouché de l'égout vers le large.

Si l'on considère les effectifs totaux de méiofaune, les stations 5 et 6 (respectivement à 1 150 et 1 850 m de l'égout), les plus riches (Tableaux 2 et 3, Fig. 2), se distinguent de façon significative des stations côtières (A, B, C, 1 et 2), les plus pauvres (Tableau 4). La station la plus au large (station 7) montre une forte réduction des effectifs par rapport aux stations 5 et 6 mais se distingue cependant des stations les plus pauvres (stations A et B; Tableau 4).

Lorsque les nématodes sont seuls considérés, deux groupes de stations s'individualisent nettement (Tableau 5). Celui des stations proches de l'égout (A, B, C, 1 et 2; entre 30 et 150 m de la côte) est très pauvre; les effectifs de nématodes des stations 1 et 2 sont significativement plus faibles (respectivement 26 et 4 individus 10 cm^{-2}) que ceux des autres stations. Le groupe des stations les plus éloignées (stations 5, 6 et 7) est nettement plus riche (Tableau 5); la station la plus au large (7) se distingue cependant des stations 5 et 6 par une importante réduction des effectifs. Les

stations 3 et 4, de localisation intermédiaire entre ces deux groupes, sont caractérisées par une importante hétérogénéité dans la distribution de la méiofaune (Tableau 2).

Si la distribution des nématodes suit approximativement celle de la méiofaune totale (Fig. 2), ce qui ne surprend pas puisqu'ils en constituent, sauf aux stations 1 et 2, l'élément prédominant, il n'en va pas de même pour la distribution des copépodes. En effet, pour ceux-ci, les stations C et surtout 1 se distinguent des autres stations du groupe côtier par des effectifs très élevés (respectivement 137 et 198 individus 10 cm^{-2} contre 10 à 25 individus 10 cm^{-2}). Vers le large, comme pour les nématodes, une forte diminution du nombre des copépodes s'observe à la station 7 par rapport aux stations 5 (la plus riche) et 6 (Tableau 5).

Si, dans l'ensemble, la comparaison des stations deux à deux ne permet pas de déceler un effet graduel de la pollution sur l'abondance de la méiofaune, il apparaît cependant deux groupes de stations bien distincts, l'un côtier (stations A, B, C, 1 et 2), fortement appauvri, et l'autre au large (stations 3 à 7), beaucoup plus riche. La comparaison de ces deux ensembles de stations à l'aide du test t confirme cette opposition pour les deux principales composantes faunistiques (Tableau 5); pour les nématodes la distinction entre ces deux groupes est significative au seuil de 1%; pour les copépodes, malgré la relative richesse de deux stations côtières (C et 1), cette différence est encore significative au seuil de 5%. Le test t n'a pu être appliqué aux effectifs de méiofaune totale, la condition d'homogénéité des variances (test F) n'étant pas remplie entre ces deux ensembles de stations.

Tableau 4. Test t de comparaison de deux moyennes de Student sur les effectifs de méiofaune totale entre stations considérées deux à deux (après transformation $y = \log x$). NS: non significatif au seuil de sécurité de 5%; * significatif au seuil de sécurité de 5%; ** significatif au seuil de sécurité de 1%

	Stations:								
	A	B	C	1	2	3	4	5	6
B	0,35 NS								
C	2,62 NS	9,87 *							
1	2,13 NS	3,87 NS	0,73 NS						
2	0,40 NS	0,91 NS	3,33 NS	2,65 NS					
3	3,37 *	4,05 NS	1,52 NS	1,75 NS	3,53 NS				
4	2,19 NS	1,87 NS	0,51 NS	0,71 NS	2,08 NS	0,29 NS			
5	6,35 **	14,79 **	8,54 *	6,87 *	7,09 *	2,56 NS	1,80 NS		
6	5,66 *	22,35 **	9,90 *	6,51 *	6,61 *	1,78 NS	1,31 NS	1,91 NS	
7	3,45 *	14,64 **	2,87 NS	2,34 NS	4,24 NS	0,63 NS	0,02 NS	6,88 *	7,56 *

Biomasse moyenne individuelle

La biomasse moyenne des individus varie d'une station à une autre (Fig. 3).

Nématodes

La biomasse moyenne d'un nématode à la station 3 est très significativement supérieure à celle des individus des autres stations (Fig. 3, Tableau 6); en effet, elle est de 5,70 μg alors qu'aux autres stations elle varie de 0,28 μg (station 2) à 0,97 μg (station B). Des différences significatives sont enregistrées entre les stations C, 1 et 5 dont la

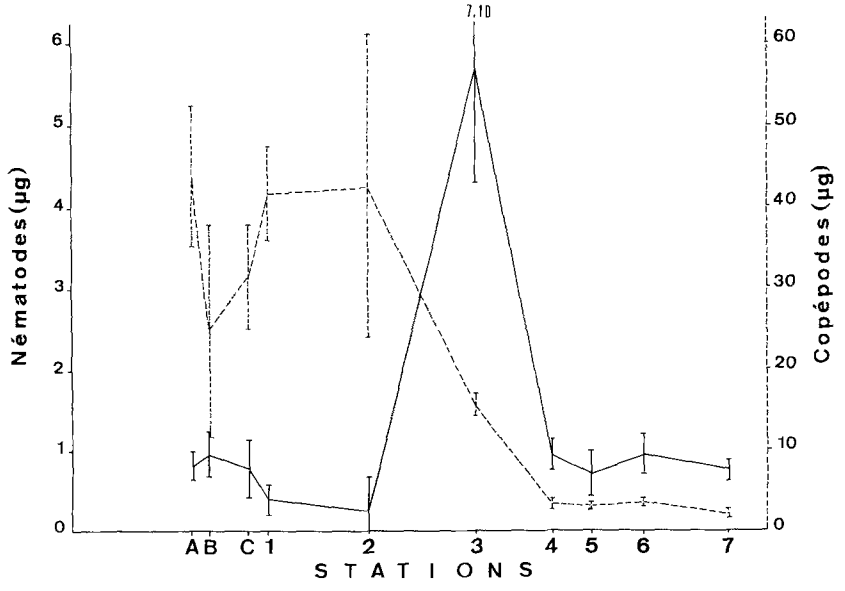

Fig. 3. Evolution des poids individuels de la méiofaune: nématodes (traits pleins) et copépodes (traits pointillés) avec l'éloignement du point de rejet. Les stations sont disposées comme dans la Fig. 2. (Limites de confiance de la moyenne au seuil de sécurité de 5%)

Tableau 5. Test t de comparaison de deux moyennes de Student sur les effectifs de nématodes (à droite de la diagonale) et de copépodes (à gauche de la diagonale) entre stations ou groupes de stations après transformation $y=\log x$. (Mêmes symboles comme pour le Tableau 4.) Le test F n'ayant pas montré l'homogénéité des variances entre les stations C et 4 pour les copépodes; le test t n'a pu être appliqué. L'encadrement visualise la séparation entre les deux groupes de stations

	Stations ou groupes de stations											
	A, B, C, 1, 2	3, 4, 5 6, 7	A	B	C	1	2	3	4	5	6	7
A, B, C, 1, 2		5,60 **										
3, 4, 5, 6, 7	2,70 *											
A				0,53 NS	1,35 NS	1,05 NS	2,98 NS	2,24 NS	1,85 NS	4,25 *	3,84 *	2,67 NS
B			1,73 NS		3,73 NS	21,47 **	6,26 *	3,63 NS	1,96 NS	15,64 **	24,59 **	15,58 **
C			8,80 **	11,61 **		10,97 **	7,23 *	1,86 NS	0,93 NS	9,23 *	10,03 **	5,24 *
1			9,95 **	13,30 **	5,97 *		3,66 NS	6,75 *	3,84 NS	22,51 **	38,03 **	28,33 **
2			2,51 NS	1,07 NS	5,68 *	6,81 *		7,17 *	5,26 *	11,70 **	11,57 **	9,64 *
3			6,13 **	4,40 *	0,94 NS	0,31 NS	3,50 NS		0,22 NS	3,42 NS	2,79 NS	0,53 NS
4			3,52 *	2,22 NS	– –	0,31 NS	1,78 NS	0,43 NS		2,45 NS	1,98 NS	0,59 NS
5			11,39 **	14,46 **	8,06 *	4,48 *	8,17 *	0,59 NS	0,85 NS		1,72 NS	6,17 *
6			7,30 **	6,20 *	0,30 NS	0,87 NS	4,23 NS	0,69 NS	0,03 NS	2,45 NS		6,81 *
7			3,71 *	2,67 NS	9,12 *	11,04 **	0,76 NS	3,37 NS	1,57 NS	12,43 **	4,53 *	

biomasse individuelle est la plus faible (0,40 à 0,79 μg), et les stations A, B et 4 dont les nématodes ont une biomasse moyenne plus élevée (0,83 à 0,97 μg).

Pour l'ensemble des stations étudiées, sauf la station 3, la proportion d'individus ayant un poids supérieur à 2 μg dépasse rarement 15%, la majorité des nématodes ayant des poids individuels inférieurs à 0,5 μg. Par contre à la station 3, 51% des nématodes pèsent plus de 2 μg (Keller, 1984). Les données pondérales individuelles déjà connues (Wieser, 1960; Guille et Soyer, 1968; Juario, 1975; Dinet, 1980), en considérant que le poids frais est égal à quatre fois le poids sec (Wieser, 1960), dépassent rarement 2 μg (poids frais) pour les individus les plus gros. Ces valeurs élevées indiquent que les espèces représentées à la station 3 sont beaucoup plus grandes que celles qui constituent habituellement les nématocénoses.

Copépodes

La biomasse moyenne d'un copépode (Fig. 3, Tableau 6) est très élevée aux stations proches de l'égout (A, B, C, 1 et 2) puisqu'elle y varie de 24,94 à 43,94 μg. Les copépodes de la station 1 (41,72 μg) ont une biomasse individuelle significativement plus élevée que ceux des stations B et C (24,94 et 31,59 μg). Vers le large, la taille moyenne des individus décroît très fortement. A la station 3 (15,61 μg) elle est intermédiaire entre celles très élevées des stations plus côtières et celles beaucoup plus faibles des stations du large. Les stations 4, 5 et 6 semblent avoir des copépodes de même taille (2,96 à 3,54 μg) tandis qu'à la station 7 ils sont nettement plus petits (1,98 μg).

Le groupe des stations les plus côtières (A, B, C, 1 et 2), dont la biomasse moyenne est élevée, montre une répartition des classes de taille assez homogène. La proportion de copépodes dépassant 100 μg est très faible. Le groupe des stations 4 à 7 a également une distribution très homogène des classes de taille entre 0,2 et 3 μg. La proportion d'individus de plus de 10 μg atteint rarement 5%. A la station 7, seulement 25% des individus pèsent plus de 2 μg. Dans la station 3, intermédiaire entre ces deux groupes, les copépodes se répartissent dans les classes de taille comprises entre 1 et 28 μg (Keller, 1984). Parmi les données bibliographiques existantes, les biomasses individuelles les

Tableau 6. Test non paramétrique "U" sur la biomasse individuelle moyenne des nématodes (à droite de la diagonale) et des copépodes (à gauche de la diagonale) (horizons 0 à 5 cm). *** Significatif au seuil de sécurité de 0,1%; autres symboles comme pour le Tableau 4. Le test "U" n'a pu être appliqué avec les nématodes de la station 2 en raison du faible nombre d'individus mesurés

	Stations									
	A	B	C	1	2	3	4	5	6	7
A		0,65 NS	2,52 *	2,71 **	– –	8,94 ***	0,83 NS	2,67 **	1,18 NS	1,55 NS
B	1,44 NS		2,93 **	2,96 **	– –	7,27 ***	0,01 NS	3,13 **	1,82 NS	2,17 *
C	1,09 NS	1,48 NS		0,76 NS	– –	9,44 ***	3,83 ***	0,63 NS	1,46 NS	1,00 NS
1	0,02 NS	2,71 **	2,17 *		– –	7,20 ***	3,48 ***	1,19 NS	1,81 NS	1,48 NS
2	0,02 NS	1,76 NS	0,86 NS	0,40 NS		– –	– –	– –	– –	– –
3	2,92 **	0,29 NS	2,21 *	5,43 ***	2,17 *		9,12 ***	10,98 ***	9,66 ***	9,94 ***
4	3,76 ***	3,08 **	9,45 ***	12,25 ***	5,95 ***	11,39 ***		4,35 ***	2,59 **	3,08 **
5	3,83 ***	3,10 **	9,63 ***	12,44 ***	6,01 ***	11,82 ***	0,45 NS		1,07 NS	0,41 NS
6	3,73 ***	2,73 **	8,79 ***	11,18 ***	5,59 ***	10,89 ***	0,94 NS	1,31 NS		0,54 NS
7	3,71 ***	3,59 ***	7,08 ***	8,29 ***	5,41 ***	8,19 ***	2,68 **	2,34 *	3,03 **	

plus élevées rencontrées sont de 15 μg (poids frais) pour les grands copépodes (Guille et Soyer, 1968) alors que la plupart des valeurs sont situées entre 1 et 7 μg (Wieser, 1960; Guille et Soyer, 1968; Stripp, 1969; Dinet, 1980). C'est le cas ici pour les stations du large (4 à 7) par contre la biomasse individuelle des copépodes aux stations côtières est très supérieure aux valeurs maximales observées. Une telle concentration de copépodes d'aussi grande taille n'a encore jamais été signalée; elle semble être une caractéristique de ce secteur pollué, le plus important de Méditerranée.

Biomasse de la méiofaune

La biomasse totale du méiobenthos est difficile à évaluer car certains groupes peu abondants, en raison de la grande taille de leurs représentants, peuvent constituer une part importante de la biomasse totale; c'est le cas des acariens près de l'égout et des annélides polychètes dans les stations 3 à 6 (Tableau 2) qui représentent certainement l'essentiel de la biomasse de la méiofaune. Pour ce dernier groupe, un échantillonnage représentatif aurait dû porter sur des volumes de sédiment beaucoup plus grands que ceux considérés dans la présente étude et adaptés plus spécialement à l'analyse des taxons dominants; de plus, les polychètes font généralement partie de la méiofaune transitoire (larves et juvéniles de la macrofaune). Pour ces raisons ces groupes ont été écartés de cette étude de biomasse qui n'a porté que sur le méiobenthos vrai constitué essentiellement des nématodes et des copépodes.

Nématodes

La biomasse des nématodes (Tableau 3, Fig. 2) est très faible près de l'égout (stations A, B, C, 1 et 2) atteignant un maximum de 190 mg m^{-2} à la station C. A la station 3, elle atteint des valeurs très élevées (3 778 mg m^{-2}) du fait de la très grande taille des nématodes. La biomasse des nématodes reste importante dans les stations 5 et 6 car leur densité y est élevée puis se réduit sensiblement au niveau de la station 7 (577 mg m^{-2}).

Copépodes

Près de l'égout, dans les stations A, B et 2, les biomasses des copépodes sont comprises entre 424 et 1 088 mg m^{-2} tandis que dans les stations C et 1, les plus riches, elles sont nettement plus élevées (respectivement 4 344 et 8 261 mg m^{-2}). Au niveau de la station 3, la biomasse des copépodes est encore très élevée (4 316 mg m^{-2}) puis elle décroît vers le large. Elle n'est plus que de 63,4 mg m^{-2} à la station 7.

Discussion et conclusion

L'analyse quantitative de la méiofaune au large de l'émissaire conduisant en mer les eaux usées de la ville de Marseille, réalisée à partir d'un transect comportant dix

points de prélèvement, a permis de distinguer plusieurs secteurs.

Dans la zone littorale, jusqu'à 150 m de la côte, qui correspond à la zone de pollution maximale totalement dépourvue de macrobenthos (Bellan, 1967), il existe une faune de nématodes relativement bien développée aux stations les plus proches de l'égout (A, B et C) et une faune de copépodes de très grande taille importante aux stations C et 1; la station 2, à 150 m de l'égout, dont le sédiment est très fluide, acide et réduit, est la plus pauvre. Nématodes et copépodes sont les deux taxons de la méiofaune les mieux représentés dans ce secteur. Il s'y rencontre également des acariens et des larves nauplii, probablement de copépodes, en grand nombre. Si, en effectifs, ce sont généralement les nématodes qui constituent le groupe dominant (sauf aux stations 1 et 2), les copépodes, en raison de leur abondance et surtout de leur taille très supérieure à celles généralement observées, sont à l'origine d'une biomasse très élevée.

A 400 et 800 m de l'égout, dans la zone polluée caractérisée par un peuplement macrobenthique à *Capitella capitata* et *Scolelepis fuliginosa* (annélides polychètes) (Bellan, 1967), le sédiment n'est plus acide mais encore réduit, la méiofaune est plus riche mais montre de grandes variations d'abondance (stations 3 et 4). Une telle hétérogénéité dans la répartition des organismes de cette zone a été également constatée pour le macrobenthos (Romano, 1979). La biomasse individuelle des copépodes diminue par rapport aux stations plus côtières tandis que la nématofaune de la station 3 est constituée en majorité d'individus de très grande taille.

A 1 150 m de l'émissaire, la station 5, située à la limite entre zone polluée et zone subnormale, est la plus riche. Les nématodes y sont particulièrement abondants, leur biomasse devenant supérieure à celle des copépodes.

Vers le large (stations 6 et 7), la méiofaune s'appauvrit, ce qui est le cas général lorsque la profondeur augmente (Guille et Soyer, 1968; Soyer, 1971).

Dans l'ensemble, depuis la côte vers le large, on observe un enrichissement de la méiofaune jusqu'à une certaine distance, puis ensuite un appauvrissement vers le large. Pour le macrobenthos, des densités importantes sont relevées dans la zone polluée (Bellan, 1967; Romano, 1979) tandis qu'aux limites interne et externe de ce secteur l'abondance est faible; dans la zone subnormale les peuplements redeviennent denses puis s'appauvrissent vers le large.

Le phénomène d'enrichissement de la méiofaune en présence d'une source polluante d'origine essentiellement domestique a été plusieurs fois signalé (Gray, 1971a; Tietjen, 1977, 1980; Vidaković, 1983). La comparaison de ces différents travaux est délicate en raison des caractéristiques propres à chaque région considérée (profondeur, granulométrie, importance de la pollution). Cependant les fortes densités observées à Cortiou au niveau de la station 5 sont du même ordre de grandeur que celles de Vidaković (1983) (2 250 à 5 800 individus 10 cm^{-2} en hiver), les plus élevées pour une zone de pollution urbaine.

L'égout de Marseille représente donc une source considérable de pollution puisque les abords immédiats du rejet correspondent à une zone azoïque en macrobenthos et relativement pauvre en méiobenthos; l'étendue de cette zone est fonction de la sensibilité des groupes considérés. La pollution d'origine domestique peut toutefois être une source d'enrichissement local du milieu marin; ce phénomène est observé à Marseille pour le domaine benthique mais il se trouve toujours décalé à une certaine distance du rejet; en effet, lorsque l'essentiel des polluants a été dispersé ou entrainé vers le fond, l'effluent induit, par apport de matières organiques et de nutriments, un certain enrichissement des fonds marins.

Remerciements. Ce travail a été effectué dans le cadre d'une thèse d'Océanologie soutenue le 9 mars 1984 à l'Université d'Aix-Marseille II et réalisée sous la direction du Professeur P. Vitiello que je tiens à remercier tout particulièrement. Je remercie également le Dr. A. Dinet pour son aide et ses conseils précieux.

Littérature citée

Andrassy, I.: Die Rauminhalts- und Gewichtbestimmung der Fadenwürmer (Nematoden). Acta zool. hung. *2*, 1–15 (1956)

Bellan, G.: Pollution et peuplements benthiques sur substrat meuble dans la région de Marseille. Première partie. Le secteur de Cortiou. Revue int. Océanogr. méd. *6–7*, 53–87 (1967)

Bellan, G., A. Jorajuria-Olivari et J. Picard: Le peuplement des substrats meubles dans le couloir d'écoulement des eaux usées de la ville de Marseille. Journées Étud. Pollut. mar. Méditerr., Cagliari *5*, 649–656 (1980). (Monaco, C.I.E.S.M.)

Bellan, G., R. A. Kaim-Malka et J. Picard: Evolution récente des différentes auréoles de pollution marine des substrats meubles liées au grand collecteur de Marseille-Cortiou. Bull. Écol. *6*, 57–66 (1975)

Coolen, W. A. et C. J. D'Herde: Extraction de *Longidorus* et *Xiphinema* spp. du sol par centrifugation en utilisant du silice colloidal. Nematologica mediterr. (Bari, Italy) *5*, 195–206 (1977)

De Jonge, V. N. and L. A. Bouwman: A simple density separation technique for quantitative isolation of meiobenthos using the colloidal silica Ludox-TM. Mar. Biol. *42*, 143–148 (1977)

Dinet, A.: Répartition quantitative et écologie du méiobenthos de la plaine abyssale atlantique, 576 pp. Thèse, Université Aix-Marseille II 1980

Elliott, J. M.: Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates. Scient. Publs Freshwat. biol. Ass. *25*, 1–160 (1977)

Gray, J. S.: The effects of pollution on sand meiofauna communities. Thalassia jugosl. *7*, 79–86 (1971a)

Gray, J. S.: Sample size and sample frequency in relation to the quantitative sampling of sand meiofauna. Smithson. Contr. Zool. *76*, 191–197 (1971b)

Guille, A. et J. Soyer: La faune benthique des substrats meubles de Banyuls-sur-mer. Premières données qualitatives et quantitatives. Vie Milieu *19* (2B), 323–360 (1968)

Heip, C.: A rapid method to evaluate nematode density. Nematologica *20*, 266–268 (1974)

Heip, C., N. Smol and W. Hautekiet: A rapid method of extracting meiobenthic nematodes and copepods from mud and detritus. Mar. Biol. *28*, 79–81 (1974)

Juario, J. V.: Nematode species composition and seasonal fluctuation of a sublittoral meiofauna community in the German bight. Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh. *15*, 283–337 (1975)

Keller, M.: Influence du rejet en mer de l'égout de Marseille sur les peuplements du méiobenthos, 131 pp. Thèse 3e cycle, Université Aix-Marseille II 1984

Keller, M., P. Vitiello et A. Dinet: Bactéries, microphytes et méiofaune de sédiments pollués par l'égout de Marseille. Journées Étud. Pollut. mar. Méditerr., Cannes *6,* 821–828 (1983). (Monaco, C.I.E.S.M.)

Marcotte, B. M. and B. C. Coull: Pollution, diversity and meiobenthic communities in the North Adriatic (Bay of Piran, Yugoslavia). Vie Milieu *24* (2 B), 281–300 (1974)

Romano, J. C.: Etude 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,* 113–121 (1979)

Soyer, J.: Bionomie benthique du plateau continental de la côte catalane française. V. Densités et biomasses du méiobenthos. Vie Milieu *22,* (2 B), 351–424 (1971)

Stripp, K.: Jahreszeitliche Fluktuationen von Makrofauna und Meiofauna in der Helgoländer Bucht. Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh. *12,* 65–94 (1969)

Tietjen, J. H.: Population distribution and structure of the free-living nematodes of Long Island Sound. Mar. Biol. *43,* 123–136 (1977)

Tietjen, J. H.: Population structure and species composition of the free-living nematodes inhabiting sands of the New York Bight apex. Estuar. cstl mar. Sci. *10,* 61–73 (1980)

Vidaković, J.: The influence of raw domestic sewage on density and distribution of meiofauna. Mar. Pollut. Bull. *14,* 84–88 (1983)

Vitiello, P.: Variations de la densité du microbenthos sur une aire restreinte. Recl Trav. Stn mar. Endoume *43,* 261–270 (1968)

Vitiello, P. et A. Dinet: Définition et échantillonnage du méiobenthos. Rapp. P.-v. Réun. Commn int. Explor. scient. Mer Méditerr. *25/26,* 279–283 (1979)

Wieser, W.: Benthic studies in Buzzards bay. II. The meiofauna. Limnol. Oceanogr. *5,* 121–137 (1960)

Date of final manuscript acceptance: July 5, 1985.
Communicated by J. M. Pérès, Marseille