

Impact d'une pollution urbaine sur la partie zooplanctonique d'un système neritique (Marseille – Cortiou)

Robert Arfi & Gilbert Patrifi

Centre d'Océanologie de Marseille, U.A. 41, Faculté des Sciences de Luminy, 13288 Marseille Cedex 9

Keywords: Zooplancton, pollution urbaine, diversité, Marseille-Cortiou

Abstract

Sewage of Marseilles' main outfall permanently pollutes a large coastal area centered around Cortiou, south of the city. In order to study the impact of that urban pollution on the zooplankton, more than 200 samples were collected between 1977 and 1981, according to several sampling strategies.

Quantitatively, the study area showed a rather poor zooplankton. The more important populations were encountered near Cortiou, the non-perturbated reference point with lowest abundance of organisms. Sampling sites located near the outfall are sometimes azoic. Qualitatively, the observed communities are not characteristic of a heavily polluted environment, but correspond to an impoverished neritic community. In the more polluted area, the community is organized around the copepods *Clausocalanus* sp., *Paracalanus* sp. and *Oithona helgolandica*, and a group of less important species (*Oithona nana* and the cladoceran *Evadne spinifera*). Centropagidae, Coryceidae, Onceidae, but also Chaetognathians, Fritilliarins and the meroplanktonic larvae are more frequently encountered in 'clean' water. Community structure is higher during the cold months than summer. The latter period frequently shows a disorganized zooplankton. In most situations, the copepod *Acartia clausi* plays a minor role in the structural definition of the communities.

The variations observed seem largely independent of the parameters reflecting pollution intensity. Stress integration, in relation with the anterior community 'history' (intensity of contact with polluted water, trophic potential of the area) seem to be the main regulator factors.

Introduction

Le grand émissaire de la ville de Marseille, doublé depuis 1979 d'une conduite de détournement des eaux d'une rivière côtière, l'Huveaune, débouche dans la calanque de Cortiou au niveau de la mer. Par sa nature (rejets domestiques à dominante organique, rejets industriels plus ou moins épurés) provenant d'une aire urbaine développée (plus d'un million d'habitants en 1981) et son importance (débit moyen de 4 à 6 m³ s⁻¹ selon l'heure et le jour, auxquels s'ajoutent les 2 à 3 m³ s⁻¹ de l'Huveaune, en dehors des crues), cette arrivée d'eaux usées va profondément perturber le milieu marin: à l'heure actuelle, comme depuis près d'un siècle, les effluents sont rejetés en mer sans le moindre traitement.

La partie pélagique, de l'écosystème littoral va être la première concernée par ce stress. On peut supposer, d'un point de vue écologique, que l'on se trouve dans le cas d'un système planctonique doté d'une structure et d'un fonctionnement évoluant naturellement au cours du temps, confronté à un mélange avec une masse d'eau aux qualités fondamentalement différentes. Le système de base que nous qualifierons peut être abusivement de 'liguro-provençal' et sa composante planctonique, en contact plus ou moins intime avec l'entité enrichissante/polluante, vont donc se transformer, tant structurellement que d'un point de vue fonctionnel. De l'intensité du choc subi, et de la stabilité hydrodynamique de milieu sous l'influence des

conditions météorologiques dépendra l'état ultérieur du système. Ces fluctuations, réversibles ou non selon l'importance de l'altération induite, dureront plus ou moins longtemps et concerneront un volume d'eau plus ou moins grand en fonction de la rapidité du mélange eau douce-eau de mer, elle-même sous la dépendance de l'hydrodynamisme local. A ce sujet, la topographie du secteur de Cortiou (tant littoral: le massif de Marseilleveyre protège assez efficacement des vents de secteur NW, que sous-marine: l'archipel de Riou et la forme semi-conique des fonds de la cuvette orientent de façon privilégiée l'écoulement de la nappe d'épandage) constitue un élément dominant dans les processus affectant la dispersion de la masse polluée et perturbée.

Les premiers travaux se rapportant à l'hydrologie et aux conséquences de la pollution urbaine sur le plancton sont récents (Benon *et al.*, 1977; Arfi, 1978; groupe Epopem, 1978a et b), mais ils ont rapidement été complétés par des études concernant plus particulièrement l'enrichissement du milieu en sels nutritifs (François-Schusselin, 1979; David, 1980), une description des populations phytoplanctoniques (Maurer, 1978) et zooplanctoniques (groupe Epopem, 1979b; Arfi *et al.*, 1981; Champalbert et Patrity, 1982). Enfin, un essai de synthèse écologique (Calmet, 1980; Arfi, 1983) permettait une première étude des populations planctoniques évoluant dans ce secteur perturbé, au moyen de diverses stratégies d'échantillonnage (Arfi *et al.*, 1982 et 1983).

Une partie de ces travaux portait sur les populations zooplanctoniques. La présente contribution concerne l'étude d'un cycle annuel réalisé dans le secteur de Cortiou en 1980 et 1981 (programme 'Ecosystème'), et décrit l'abondance, la composition et la diversité du zooplancton en cinq points plus ou moins concernés par la nappe de dilution issue du grand émissaire. L'impact de cette perturbation sur ces populations est ensuite abordé.

Matériel et méthodes

Entre le 22 mai 1980 et le 31 mars 1981, cinq stations réparties dans le secteur de Cortiou (Fig. 1) ont été échantillonnées mensuellement en surface, et à mi-profondeur (120 prélèvements). Les stations 1 et 6 sont en permanence concernées par les eaux

usées issues de l'émissaire; même en cas de pollution maximale, la station 5, située au sud de l'île Riou, peut être considérée comme point de référence. Les autres stations sont alternativement intéressées par la nappe de dilution, l'une par régime de vent calme ou de vent d'Est (station 2) l'autre par vent de Nord-Ouest (station 4).

Les prélèvements réalisés au cours des différentes missions concernent l'hydrologie, le phytoplancton et le zooplancton. Le zooplancton a été récolté à la station fixe au moyen d'une pompe non immergée d'un débit de 40 m³/heure, la filtration étant effectuée sur un filet de vide de maille de 200 µm, terminé par un collecteur permettant de recueillir les échantillons (Fig. 2). En général les volumes d'eau filtrés étaient compris entre 6,6 m³ et 9,9 m³ selon le temps de pompage (10 à 15 min).

Les échantillonnages, formolés à bord, ont été dénombrés après sous-échantillonnage (rapport de 1/127 à 1/21 selon la densité des organismes) soit 52 à 317 litres triés par la méthode de Bourdillon, 1963).

La structure des peuplements échantillonnés a été approchée au moyen d'indices de diversité (Margalef, 1956; d'après Shannon, 1948), de dominance (Hulburt, 1963; Travers, 1971) et de diagrammes rangs-fréquences (Travers, 1971; Frontier, 1976):

— indice de diversité de SHANNON:

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

— dominance de l'espèce principale:

$$\delta_1 = \frac{n_1}{N} \times 100$$

— dominance des 2 espèces principales:

$$\delta_2 = \frac{n_1 + n_2}{N} \times 100$$

avec S	nombre d'espèces dans l'échantillon
N	effectif total de l'échantillon
n ₁ à n _s	effectif de l'espèce la plus abondante à l'espèce la moins abondante
P ₁ = n ₁ /N	
n ₁	effectif de l'espèce la plus abondante
n ₂	effectif de la deuxième espèce la plus abondante
n _i	nombre d'individus de la ième espèce.

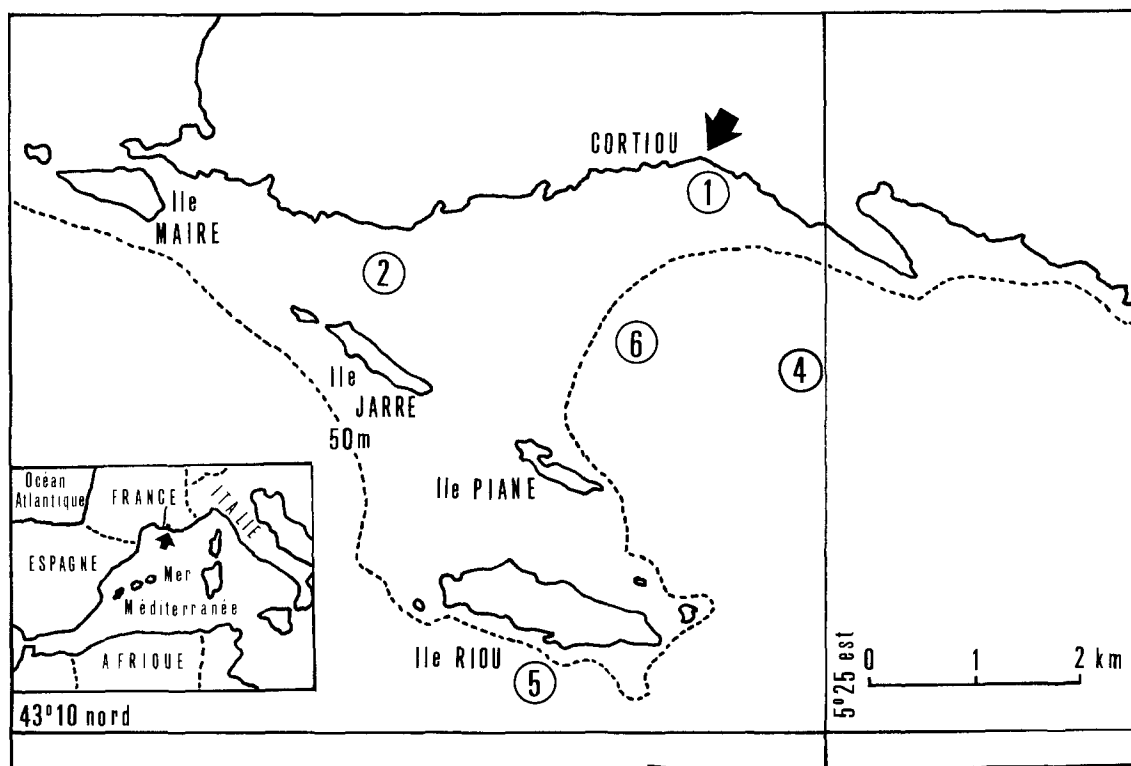


Fig. 1. Stations de prélèvement de la campagne 'Ecosystème'.

Resultats

A l'échelle spatio-temporelle adoptée lors des différentes campagnes de prélèvement (surface

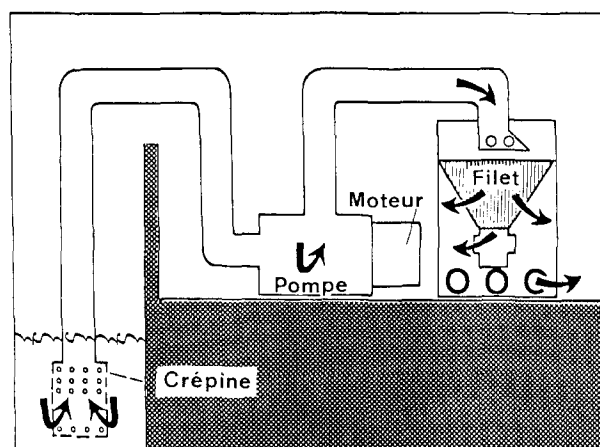


Fig. 2. Appareil de prélèvement du zooplancton par pompe centrifuge.

échantillonnée de l'ordre de 20 km²; durée de la sortie de l'ordre de la demi-journée), on peut considérer la situation locale avant perturbation comme homogène et les éventuelles différences (tant qualitatives que quantitatives) entre le point théoriquement non concerné par la nappe issue de l'émissaire, et les points soumis à la perturbation, comme découlant de cette dernière.

Il apparaît ainsi nettement qu'en aire non perturbée (station 5, au sud de l'île de Riou), le zooplancton du secteur de Cortiou est essentiellement constitué d'espèces pélagiques (Tableau 1). Les copépodes sont principalement représentés par *Clausocalanus* sp., *Oithona helgolandica* et *Paracalanus parvus*. *Euterpina acutifrons*, plus rare, est surtout rencontrée en profondeur pendant la période froide. *Centropages typicus* présente de très forts effectifs; cette dernière espèce est régulièrement présente tout au long de l'année. *Acartia clausi*, d'abondance moyenne est surtout retrouvé en mars et avril. *Temora stylifera* n'apparaît qu'en période chaude, et rarement en surface. Les cirripè-

Tableau 1. Effectifs en ind. m⁻³, des principaux taxons à la station 5, en surface (S) et en profondeur (P), durant les 12 missions 'Ecosystème'.

Missions taxons	1980												1981											
	Mai		Juin		Juillet		Aout		Septembre		Octobre		Novembre		Decembre		Janvier		Fevrier		Mars		Avril	
	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
CL	0	48	5	428	76	274	42	469	329	159	3	238	54	244	70	370	3	67	20	96	3	17	559	1942
PA	72	0	0	28	0	0	11	70	32	0	0	3	3	63	6	22	1	9	0	7	5	165	1	165
OH	333	24	5	200	5	0	8	32	6	0	5	114	3	31	26	156	1	98	2	185	1	106	1	355
ON	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	5	0	6	0	35
TS	9	0	0	0	5	0	11	38	19	12	0	38	0	6	13	19	0	3	1	0	0	0	0	0
CT	81	120	33	556	0	29	23	260	13	6	13	16	12	9	9	3	1	1	1	0	1	6	47	106
CO	18	54	9	71	0	17	0	32	19	12	3	9	6	18	22	38	0	9	1	6	1	2	0	0
ONC	0	120	5	114	0	13	4	0	0	0	0	24	0	8	3	41	0	4	0	0	0	0	0	0
EA	9	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	1	0	7	0	0	0	11
AC	0	12	24	0	5	13	0	0	0	6	1	0	9	0	38	0	2	1	2	1	14	99	2	153
PO	0	12	0	143	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	34
EV	63	0	81	0	368	0	113	0	165	19	23	52	0	2	0	0	0	0	0	0	1	6	0	0
ME	126	90	70	526	10	29	0	13	19	6	3	9	0	1	9	44	3	8	9	18	2	131	2	177
EO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	18	69	3	24	10	52	3	2	54	342
OI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	9	33	6	19	2	11	1	8	38	132	35	188

Légende: CL *Clausocalanus* spp.; PA *Paracalanus* spp.; OH *Oithona helgolandica*; ON *Oithona nana*; TS *Temora stylifera*; CT *Centropages typicus*; CO *Coryceidae*; ONC *Oncaeidae*; EA *Euterpina acutifrons*; AC *Acartia clausi*; PO *Podon* spp.; EV *Evadne spinifera*; ME Meroplanton; EO Espèces océaniques, mesopélagiques ou froides; OI *Oikopleura* spp.

des, peu diversifiés, apparaissent principalement en saison froide (en particulier *Balanus perforatus*, mais aussi *B. amphitrite*). Les cladocères sont bien représentés par *Evadne spinifera* (surtout en période chaude) et *Podon intermedius*. *P. polyphemoides* est plus rare, tandis qu'*Evadne tergestina* et *Penilia avirostris* font de brèves apparitions. Les cinidaires (méduses, siphonophores) sont rarement observés. Les appendiculaires apparaissent surtout de l'automne au printemps. Enfin, les chaetognathes sont peu représentés dans le secteur de Cortiou.

Les formes océaniques (*Pleuromamma gracilis*, *Lucicutia flavicornis*) sont également rares et leur apparition est peu fréquente. Elles ne constituent qu'un apport exogène limité, causé peut être par des remontées d'eau plus profonde ou des arrivées à la côte d'eau du large.

D'un point de vue général, les copépodes dominent largement les communautés zooplanctoniques qui se succèdent au cours de l'année. La composition spécifique varie de façon notable au cours du temps, avec cependant un noyau quasi-permanent: *Clausocalanus* spp., *Paracalanus* spp., *Centropages typicus* et *Oithona helgolandica*, formant 'l'ossa-

ture' du système quelle que soit la saison. *Oithona nana* et *Euterpina acutifrons* jouent un rôle plus secondaire.

Structurellement, les populations sont assez peu diversifiées (les plus forts indices de Shannon sont de l'ordre de 3,7 bit·ind⁻¹) mais les fluctuations sont importantes d'un mois sur l'autre (Tableau 2).

1 – Comparaison des effectifs zooplanctoniques

La couche superficielle principalement affectée par la perturbation (Epopem, 1978a; Arfi, 1983), présente généralement des effectifs plus faibles qu'en profondeur, sauf à la station 2 où les niveaux de pêches sont proches (−1 à −14 m) et les différences entre stations difficiles à apprécier (Fig. 3 à 7; Tableau 3). Si la perturbation est très intense et la nappe de dilution issue de l'égout particulièrement étendue, l'échantillon peut se révéler azoïque: cette situation est fréquente à la station 1 (25% des cas en surface), mais aussi aux stations 2 (8% des cas en surface et au niveau profond) et 6 (8% des cas en surface). L'azoïcité ne s'est jamais observée au point de référence 5; cependant, en moyenne annuelle, celui ci présente des abondances zoo-

Tableau 2. Diversité (chiffre supérieur) et nombre d'espèces (chiffre inférieur) aux 5 stations de prélèvement durant les 12 missions 'Ecosystème'.

	Station 1		Station 2		Station 4		Station 5		Station 6	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
Mai 1980	–	3,18	3,26	3,63	3,42	3,00	2,63	3,36	3,58	3,74
	0	15	13	14	13	15	12	19	15	20
Juin	3,17	3,28	3,58	3,45	0,186	2,05	3,20	3,70	1,65	2,58
	19	21	19	18	6	17	14	21	14	26
Juillet	2,39	2,43	–	2,65	2,15	1,10	1,30	2,14	2,32	1,50
	11	9	0	12	9	10	10	11	7	8
Aout	–	1,15	1,51	1,40	2,29	1,27	2,12	2,18	1,76	1,33
	0	4	7	5	9	8	8	10	8	7
Septembre	2,46	3,31	2,41	2,90	2,84	1,43	2,35	1,92	2,05	2,72
	8	16	12	13	13	6	11	10	11	15
Octobre	2,38	2,97	2,37	2,94	3,51	2,37	1,80	2,96	1,58	2,28
	7	23	19	21	35	16	14	27	19	21
Novembre	2,99	2,36	3,38	1,82	3,47	2,37	3,16	2,68	3,37	2,49
	12	18	14	16	17	19	16	22	18	15
Décembre	2,99	2,75	3,24	3,51	3,51	3,58	3,67	3,55	2,65	3,62
	10	9	15	23	16	25	22	32	10	23
Janvier 1981	2,52	2,47	2,72	–	3,72	2,86	3,03	3,24	3,15	3,02
	8	12	21	0	20	26	18	27	16	24
Février	–	2,25	2,82	3,46	2,93	3,08	3,29	2,67	2,77	3,08
	0	12	20	20	13	22	17	20	10	19
Mars	2,18	2,31	1,77	2,25	2,66	3,47	2,41	3,19	–	2,93
	13	14	12	17	20	26	17	17	0	25
Avril	3,07	3,04	2,50	3,02	2,22	3,00	1,81	2,84	2,84	3,15
	22	16	19	25	12	17	16	18	20	19

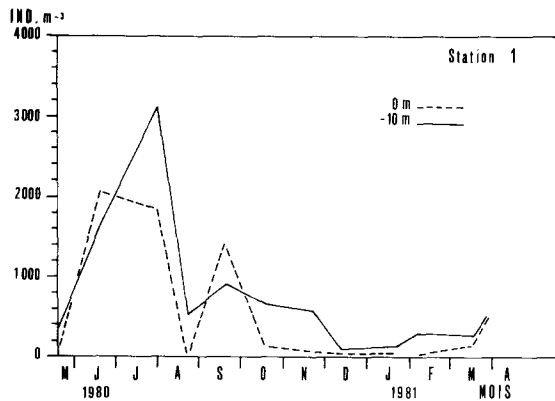


Fig. 3. Evolution saisonnière des effectifs zooplanctoniques à la station 1.

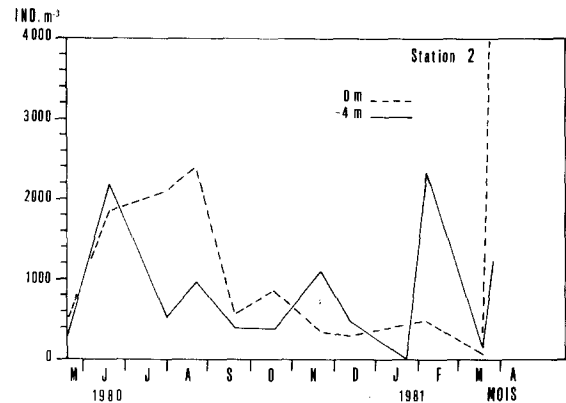


Fig. 4. Evolution saisonnière des effectifs zooplanctoniques à la station 2.

planctoniques souvent inférieures à ce qui est observé ailleurs, en surface comme en profondeur (Tableau 4).

Globalement, on peut considérer la surface pré-

valant à l'intérieur de la cuvette de Cortiou comme aussi favorable au zooplancton que la situation 'de référence'. En effet, si la zone située au dehors de la cuvette de Cortiou n'est jamais directement

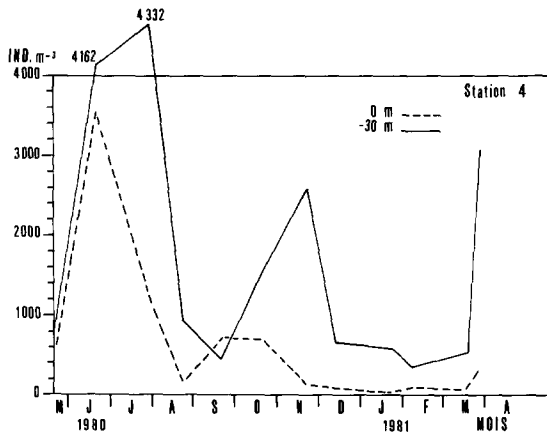


Fig. 5. Evolution saisonnière des effectifs zooplanctoniques à la station 4.

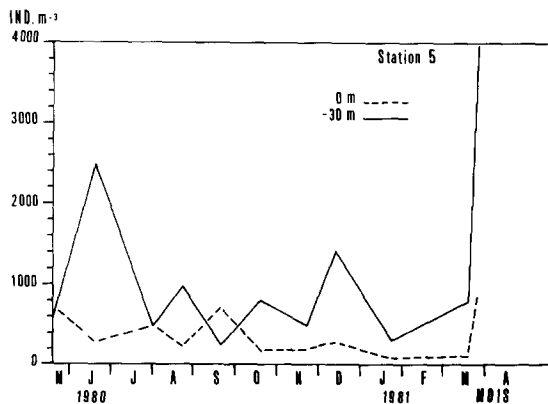


Fig. 6. Evolution saisonnière des effectifs zooplanctoniques à la station 5.

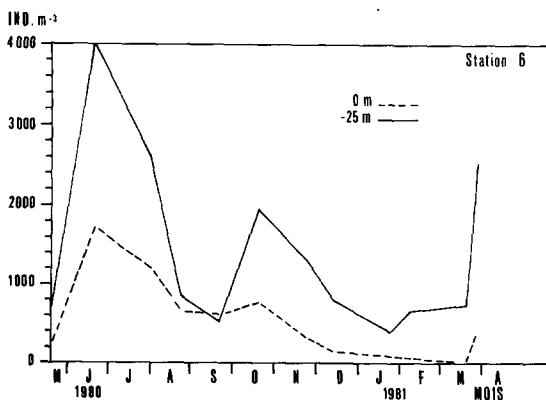


Fig. 7. Evolution saisonnière des effectifs zooplanctoniques à la station 6.

atteinte par la pollution, elle est concernée par un hydrodynamisme beaucoup plus intense (houles importantes engendrées par les vents dominants de NW auxquels elle est exposée). Inversement, l'archipel de Riou protège efficacement le secteur de Cortiou en cas de mistral, où de fortes turbulences ne sont observées qu'en cas de fort vent d'est. Il est également surprenant de remarquer qu'au point situé à proximité immédiate du débouché de l'émissaire, on observe parfois des effectifs zooplanctoniques non négligeables.

2 - Comparaison des cycles annuels

Trois périodes de développement (juin-juillet, octobre-novembre et mars), entrecoupées de périodes beaucoup plus pauvres, peuvent être différenciées. Cette alternance apparaît nettement aux stations 2, 4, et 6 et moins précisément au point 1 (en raison de l'azoïcité épisodique). (Fig. 3, 4, 5, 6, 7; Tableaux 1, 5, 6).

3 - Comparaison des spectres spécifiques (Tableaux 2 et 3)

Les populations zooplanctoniques sont relativement différentes durant les périodes chaudes et froides:

— De juin à novembre, la dominance des deux principales espèces (δ_2) est assurée à toutes les stations par seulement 5 taxons: *Clausocalanus spp.*, *Centropages typicus*, *Oithona helgolandica*, *Temora stylifera* et *Evadne spinifera*. Ces dominances sont souvent très importantes (plus de 80%). Aux stations 1 (la plus proche de l'émissaire) et 2 (la plus fréquemment concernée par la nappe de dilution), *Clausocalanus spp.*, *O. helgolandica*, *O. nana* et *E. spinifera* dominent très largement le zooplancton, constituant parfois à elles seules la totalité de la communauté. Aux stations moins perturbées, deux autres espèces (*Centropages typicus* et *Temora stylifera*) présentent également des abondances significatives. Enfin, et seulement à ces dernières stations, on observe la présence d'un cortège de taxons réputés moins tolérants (divers *Coryceidae*, *Calanus minor*, *Cavolinia inflexa*, les chaetognathes) et des larves de divers groupes zoologiques; leurs effectifs respectifs sont le plus souvent très réduits.

— Après cette période estivale, le spectre spéci-

Tableau 3. Abondance en ind. m⁻³ (chiffre supérieur) et dominance (δ_2) (chiffre inférieur) aux 5 stations de prélèvement durant les 12 missions 'Ecosystème'.

	Station 1		Station 2		Station 4		Station 5		Station 6	
	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond	Surface	Fond
Mai 1980	0	290	423	180	324	606	729	528	180	510
	0	49	34	23	31	49	57	45	33	33
Juin	2094	1641	1839	2180	3536	4162	270	2 + 80	1738	4034
	53	50	36	36	98	79	42	40	82	69
Juillet	1875	3116	0	525	1084	4332	488	468	1197	2583
	61	57	0	55	71	94	90	76	54	91
Aout	0	532	2394	963	153	931	216	964	669	849
	0	89	91	90	67	86	72	76	86	92
Septembre	1425	905	557	392	697	438	697	238	611	521
	60	44	66	58	46	88	71	75	77	62
Octobre	138	658	850	378	694	1504	174	790	777	1943
	57	56	67	54	51	69	80	58	85	73
Novembre	48	576	351	68	131	2579	174	476	339	1324
	50	75	32	86	37	65	55	64	42	68
Decembre	36	89	295	484	84	660	267	1404	148	794
	44	50	47	41	33	39	40	37	62	40
Janvier 1981	47	122	432	0	34	578	51	297	71	385
	55	65	68	0	29	66	57	55	49	64
Fevrier	0	290	490	2332	85	352	56	438	43	652
	0	68	63	48	46	50	48	64	47	46
Mars	145	267	62	148	70	528	74	763	0	730
	79	68	79	71	64	39	70	39	0	56
Avril	496	457	6633	1220	287	2998	843	4180	341	2462
	43	42	67	56	69	50	76	56	58	46

Tableau 4. Abondances zooplanctoniques moyennes en ind. m⁻³, écart-type, minimums et maximums aux différentes stations.

Stations	1 Surf.	1 Fond	2 Surf.	2 Fond	3 Surf.	3 Fond	4 Surf.	4 Fond	5 Surf.	5 Fond
Moyenne	525	745	1194	739	598	1639	337	1085	509	1399
Ecart-type	793	857	1855	793	982	1488	281	1154	527	1130
Minimums	0	89	0	0	34	352	51	238	0	385
Maximums	2094	3116	6633	2332	3536	4332	843	4180	1738	4034

que du zooplancton change quelque peu, même si les espèces dominantes sont issues du groupe précédent (*Clausocalanus spp.*, *Oithona nana*, *Temora stylifera* et *Evadne spinifera*). En effet, le cortège secondaire se diversifie, et ces espèces ont une importance quantitative plus marquée, tandis que l'indice de dominance δ_2 diminue progressivement. La station 1 présente toujours des effectifs réduits, mais son spectre spécifique diffère peu de celui des autres stations, au moins pour les espèces principales (*Acartia clausi*, *Clausocalanus spp.*, *Oithona helgolandica*, *O. dioica*). Les populations y sont

encore plus diversifiées qu'en période estivale et présentent des indices de dominance (δ_2) beaucoup moins élevés qu'en fin d'été. Il semble aussi que l'on assiste parfois à un mélange de deux peuplements l'un plus diversifié que l'autre. Ces mélanges précèdent souvent la destruction complète à toutes les stations.

Seules les stations 1 et 2 paraissent donc se différencier nettement de ce que l'on peut considérer comme un état de référence. L'impact de la perturbation se traduit par une élimination des espèces secondaires, indépendamment de leur tolérance

Tableau 5. Effectifs en ind. m⁻³, des principaux taxons à la station 1, en surface et en profondeur, durant les 12 missions 'Ecosystème'.

Missions taxons	1980												1981											
	Mai		Juin		Juillet		Aout		Septembre		Octobre		Novembre		Decembre		Janvier		Fevrier		Mars		Avril	
	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
CL	0	0	99	184	113	323	0	399	361	132	63	142	8	151	5	29	17	17	0	140	4	0	131	121
PA	0	18	71	0	959	1406	0	0	0	0	14	80	16	281	11	0	0	62	0	9	44	63	8	4
OH	0	80	42	71	189	114	0	76	95	85	16	33	0	21	3	13	4	9	0	57	6	33	73	58
ON	0	0	184	42	189	209	0	38	494	227	12	2	0	9	0	0	0	0	0	0	2	2	1	2
TS	0	0	0	0	0	19	0	0	57	132	0	10	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CT	0	63	680	595	123	361	0	0	38	28	0	16	1	3	0	0	2	2	0	0	0	4	3	14
CO	0	9	71	42	19	0	0	0	0	19	0	2	1	8	3	6	0	9	0	0	2	0	0	0
ONC	0	0	142	28	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5	0	6	2	0	0	0	0	0	1	0
EA	0	9	28	85	0	0	0	0	0	9	0	0	0	2	0	03	9	2	0	2	0	0	1	0
AC	0	0	425	0	66	285	0	0	95	85	11	8	1	12	3	10	0	9	0	50	71	118	82	71
PO	0	0	14	227	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2	1	2
EV	0	0	14	71	38	380	0	19	38	66	14	227	6	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ME	0	44	240	127	9	0	0	0	0	56	0	16	0	0	0	0	4	0	0	11	2	4	19	2
EO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	2	2	0	5	0	2	24	47
OI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	3	33	0	0	0	0	0	7	2	31	64	71

Légende: voir tableau 1.

Tableau 6. Effectifs en ind. m⁻³, des principaux taxons à la station 4, en surface et en profondeur, durant les 12 missions 'Ecosystème'.

Missions taxons	1980												1981											
	Mai		Juin		Juillet		Aout		Septembre		Octobre		Novembre		Decembre		Janvier		Fevrier		Mars		Avril	
	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F	S	F
CL	18	12	0	685	274	3420	72	741	256	159	71	798	14	1314	11	137	1	209	18	86	1	19	163	1136
PA	45	0	14	0	9	19	8	19	28	0	13	99	5	362	0	13	0	5	0	5	1	54	0	117
OH	27	42	0	57	0	76	4	19	9	0	13	116	0	76	10	121	1	171	1	90	3	97	1	142
ON	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0	4	1	8	0	23
TS	0	0	0	0	0	0	23	57	43	12	3	0	1	8	0	29	0	1	0	1	0	0	0	0
CT	45	198	3466	2624	104	646	4	0	60	6	14	47	7	264	3	19	2	1	5	2	0	6	20	48
CO	18	48	0	57	0	0	4	0	0	12	16	12	4	15	1	19	1	27	0	9	0	2	0	0
ONC	9	96	14	57	0	0	4	0	9	0	2	23	0	8	0	22	1	5	0	2	0	6	0	0
EA	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	2	0	0	8	0	6	0	2	0	1	1	2	0	11
AC	9	0	0	0	113	19	0	0	9	6	52	41	18	76	10	9	5	7	4	0	12	102	0	378
PO	9	6	0	43	0	38	0	0	0	0	2	0	0	15	0	0	0	0	0	0	2	6	5	106
EV	9	6	0	0	500	0	30	19	51	19	106	70	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ME	117	156	14	227	18	38	0	0	0	0	10	23	3	8	7	34	6	25	4	20	6	62	2	290
EO	0	0	0	14	0	0	0	0	0	6	10	0	2	15	0	9	2	24	19	37	0	2	0	0
OI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	26	332	3	3	3	9	1	3	33	102	35	331

Légende: voir tableau 1.

supposée à la pollution. Mais au point de vue quantitatif, la situation est très différente entre les deux stations: l'intensité de la perturbation maximale face à l'égout provoque une mortalité beaucoup plus importante, affectant aussi les espèces dominantes.

4 – Comparaison des indices de diversité (Tableau 2)

Sur l'ensemble des stations la diversité est globalement faible en été (surtout au mois d'août), nettement plus élevée au printemps et en hiver. Les stations 5, 2 et 4 présentent les indices les plus élevés, tandis que les stations 6 et 1 sont celles où la diversité est la plus basse. L'influence de rejet joue donc principalement sur la sélection des espèces tolérant une situation perturbée au sein de la communauté néritique. Les fluctuations sont importantes, mais ne traduisent pas de situation très particulière, sinon une pauvreté généralisée tant qualitative que quantitative, découlant de l'appauvrissement d'une population mieux diversifiée.

5 – Etude des diagrammes rang-fréquence

Les diagrammes rang-fréquence rendent compte de différences essentielles dans l'espace et dans le temps. En général les différences les plus évidentes sont celles qui existent entre niveaux, les populations de surface étant souvent moins diversifiées (Fig. 8), tandis qu'en profondeur, la structuration des populations zooplanctoniques est plus élevée.

Entre stations la différence peut aussi être très importante à un même niveau, certaines stations étant mieux structurées que d'autres. A ce propos on peut constater que la station la plus perturbée n'est pas toujours la stations 1, que l'on considère comme étant la plus polluée (Fig. 8, 9).

Evidemment une homogénéité relative avec une bonne structuration à toutes les stations peut également être observée (Fig. 11), plus particulièrement en période froide (par exemple le 25.11.1985 en surface où la structuration de la station 1 ne se différencie pas de celle des autres stations). Par ailleurs on constate que dans le cas d'une identité de structure à toutes les stations, il arrive fréquemment que la station 1 se distingue par l'allure tronquée à droite du graphe rang-fréquence, traduisant un nombre d'espèces plus réduit (Fig. 10) et ce, même

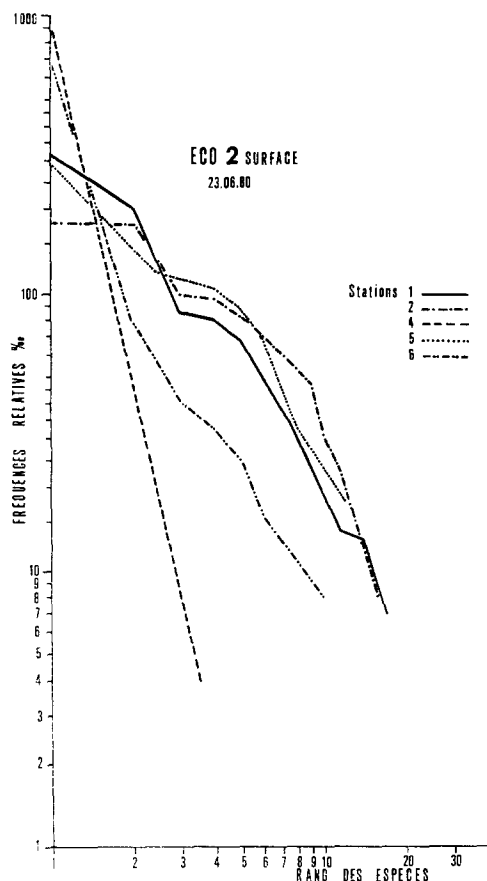


Fig. 8. Diagrammes rang-fréquence aux stations 1, 2, 4, 5 et 6; Eco 2, le 23.06.80 (surface).

si l'allure du début de sa courbe est la même que celle des autres stations. Enfin il faut noter que les graphes rang-fréquence traduisent bien la destruction des communautés en périodes chaudes (Fig. 9). Cette transformation des peuplements, habituelle en saison chaude, peut ici, avoir été facilitée par la plus grande stabilité hydrodynamique estivale, qui limite le renouvellement des eaux et accentue le caractère pollué de la cuvette de Cortiou. Le débit de l'émissaire varie en effet assez peu dans le temps (Arfi, 1983) et ne peut donc affecter, par ses fluctuations, les caractéristiques des peuplements.

Aux stations davantage soumises à l'influence du rejet urbain, l'examen des courbes rang-fréquence rend essentiellement compte d'une forte diminution du nombre d'espèces, surtout par disparition des

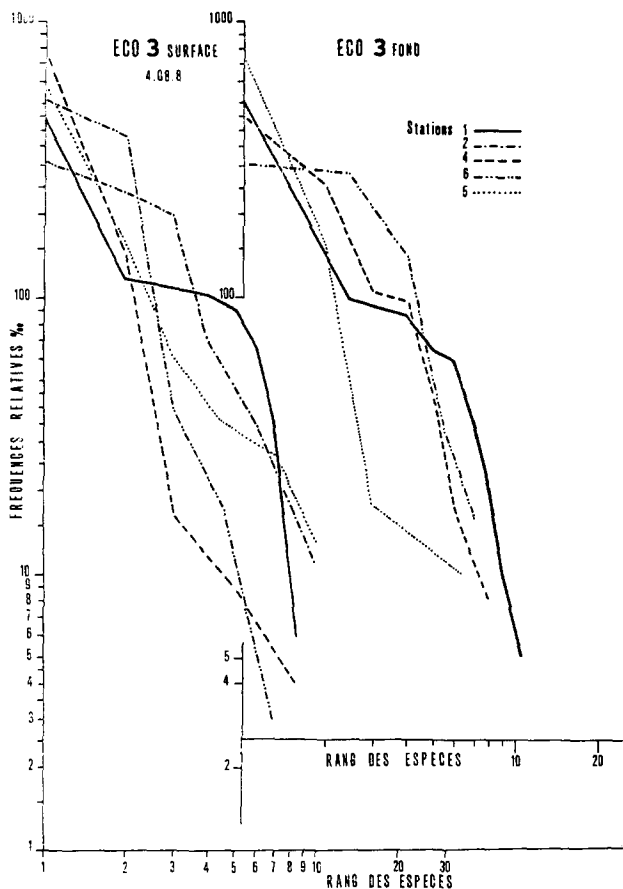


Fig. 9. Diagrammes rang-fréquence aux stations 1, 2, 4, 5 et 6; Eco 3, le 04.08.80 (surface et profondeur).

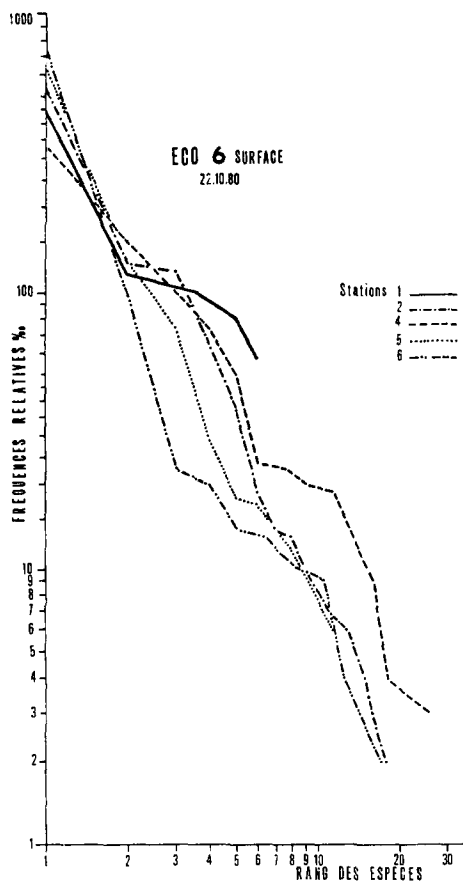


Fig. 10. Diagrammes rang-fréquence aux stations 1, 2, 4, 5 et 6; Eco 6, le 22.10.80 (surface).

espèces rares aux autres stations. Dans quelques cas particuliers, il est possible que cette diminution soit due aux difficultés de tri liées à l'importante quantité de déchets à ces stations.

Discussion

L'impact du rejet urbain de la ville de Marseille sur la faune pélagique néritique dans un milieu 'ouvert' comme celui de Cortiou semble se traduire essentiellement par un appauvrissement qualitatif et quantitatif des peuplements. L'évolution générale des communautés paraît, quant à elle, dépendre en grande partie de l'évolution saisonnière.

Ainsi, fortement diversifiés en période froide (hiver et printemps), les peuplements se désorgani-

sent progressivement au cours de l'été. Il semble que nous soyons en présence d'une seule et même communauté dont l'élément dominant, *Clausocalanus aculeicornis* forme (avec *Oithona helgolandica* et accessoirement *Evadne spinifera*, *Centropages typicus* et *Oikopleura* sp.) l'essentiel du peuplement pélagique néritique. On remarque moins fréquemment des effectifs importants d'*Oithona nana*, *Acartia clausi* et *Paracalanus parvus*. Certains corycéides, *Podon* spp. et quelques véligères de gastéropodes et pélécy-podes présentent parfois une relative abondance, notamment aux stations peu profondes. Plus rarement (formant la 'queue' des courbes rang-fréquence) on retrouve *Euterpina acutifrons*, *Oithona plumifera*, *Oncaea* sp., *Microsetella* sp., *Candacia armata*, *Sagitta setosa*, diverses larves d'échinides, de décapodes, de balanes, de polychè-

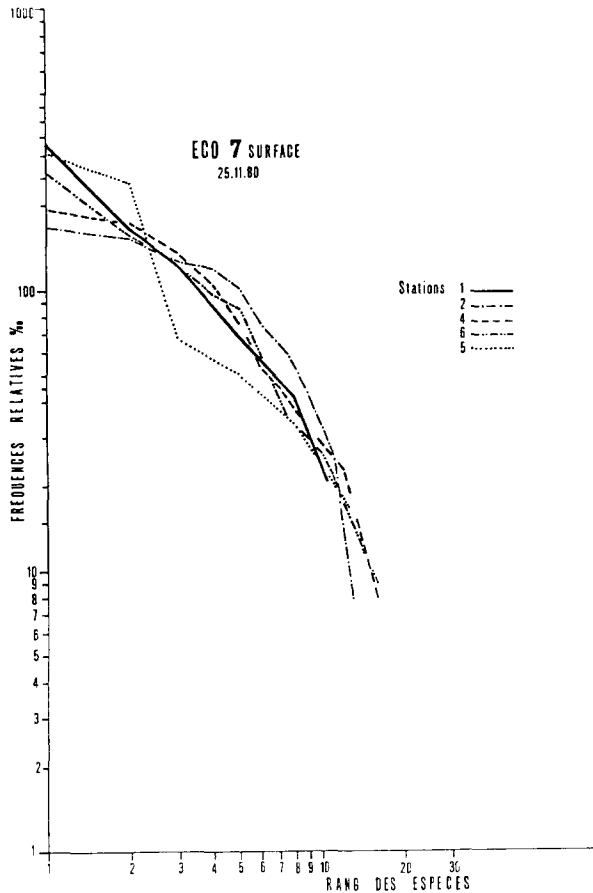


Fig. 11. Diagrammes rang-fréquence aux stations 1, 2, 4, 5 et 6; Eco 7, le 25.11.80 (surface).

tes, d'euphausiacées, plus quelques espèces rares (hivernales ou mésopélagiques) comme *Calocalanus pavo*, *Pleuromamma* sp., *Calanus minor*, *C. helgolandicus*, des ostracodes, fritillaires, acanthaires, radiolaires...

On constate d'autre part que le nombre total d'individus relevés aux stations les plus polluées est souvent assez bas et on y retrouve préférentiellement certaines espèces de copépodes *Oithona helgolandica*, *Paracalanus parvus*, *Oithona nana*, *Euterpina acutifrons*. Il ne semble pas que l'organisation de la communauté néritique soit très perturbée par l'impact de la pollution, car l'effet du contact des organismes avec les eaux polluées est atténué par la rapidité du mélange avec les eaux propres (Arfi, 1983). D'autre part, les grandes concentrations monospécifiques sont relativement

rares, à l'opposé de ce qui se produit, par exemple, dans les systèmes eutrophes en milieux fermés ou semi-fermés (Patrity, 1972). Sur une année de prélèvement, nous n'avons constaté qu'une seule valeur inférieure à 1 de l'indice de diversité (station 4, surface, $H' = 0,19$ par explosion de *Centropages typicus*, $\delta_1 = 98\%$, le 23.06.1980). Ceci confirme les résultats des observations précédentes où il n'avait pas été possible de mettre en évidence de zone eutrophe à proximité de l'émissaire.

L'appréciation de l'impact d'une perturbation comme celle du rejet de Cortiou peut se réaliser par rapport à un état de référence. Ce dernier peut être constitué par les connaissances accumulées sur un milieu adjacent non perturbé et bien connu, tel que la rade de Marseille. On se heurte alors à l'évaluation de la variabilité du milieu étudié, ainsi qu'à l'absence de données intégrant les fluctuations temporelles sur des séquences suffisamment longues. La définition de l'état de référence peut également s'aborder par l'observation d'un milieu suffisamment proche du milieu soumis à la perturbation, présentant les mêmes caractéristiques originelles avant contact avec la nappe polluée mais non directement concerné par elle. Dans ce cas et en dépit de la distribution en essaim du zooplancton, on suppose que la communauté devienne homogène à l'échelle retenue pour l'échantillonnage.

Un grand nombre de travaux se rapportant au zooplancton de la rade de Marseille ont été réalisés. Les plus importants (Deveze, 1959; Gaudy, 1971; Champalbert, 1975; Patrity, 1976) concernent principalement les copépodes qui constituent l'essentiel du zooplancton dans ce secteur. Il apparaît ainsi qu'un nombre limité d'espèces néritiques prédominent sur l'ensemble de l'année (*Acartia clausi*, *Centropages typicus*, *Clausocalanus acuticornis*, *Paracalanus parvus* et *Temora stylifera*), secondées par un cortège d'espèces variable selon la saison et l'année du prélèvement.

Les premiers travaux sur le zooplancton du secteur de Cortiou (Benon *et al.*, 1977; Arfi, 1978; groupe Epopem, 1978 a et b) mettaient l'accent sur l'importance des peuplements zooplanctoniques. Certaines espèces, considérées généralement comme plutôt 'opportunistes', paraissaient profiter des conditions particulières réalisées près de l'émissaire pour se développer (Champalbert et Patrity, 1982). En effet, la plupart des organismes zooplanctoniques recensés dans le secteur (appartenant

en grande majorité au groupe de copépodes) sont omnivores. Leur aptitude à se nourrir de matériel particulaire organique végétal (phytoplancton) ou détritique paraît être une des composantes de leur robustesse et de leur tolérance à la perturbation.

Or, la présente étude montre que les peuplements zooplanctoniques observés subissent d'importantes variations quantitatives, différenciant nettement l'automne et l'hiver du printemps et du début de l'été. À l'exception d'*Acartia clausi*, les compositions spécifiques des prélèvements de l'année 1977 et de la période 1980–81 (correspondant à la présente étude) sont très proches (Epopem, 1979b). Si la charge nutritive détritique peut être considérée comme comparable d'une période à l'autre, il n'en va pas de même pour la charge nutritive correspondant au phytoplancton. Une des principales caractéristiques écologiques du secteur de Cortiou au cours de la présente étude a été en effet l'extrême pauvreté de l'échelon primaire (Arfi, 1983). Si l'on ne peut établir avec certitude une relation de cause à effet, on peut cependant supposer que si la présence d'une charge particulaire permanente permet la persistance du zooplancton en dépit de la faiblesse de la biomasse microalgale, c'est avec le retour à des conditions trophiques plus régulières que l'on observe les plus forts développements zooplanctoniques.

Le site de Cortiou est un milieu ouvert: les $6 \text{ m}^3/\text{s}$ amenés par l'émissaire se déversent dans un volume d'eau de mer (la 'cuvette de Cortiou') estimé à $350 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Epopem, 1979a). Le débit aux passes entre les îles est estimé à $2300 \text{ m}^3/\text{s}$. Le rapport de dilution est donc proche de 0,0026, et le temps de renouvellement des eaux de la cuvette de 42 heures. En conséquence, le contact des peuplements zooplanctoniques avec la nappe de dilution se fera au cours d'un temps limité, et l'intensité de la perturbation causée à l'échelon secondaire ira décroissant avec l'augmentation de la dilution des eaux polluées dans le milieu marin. Selon l'intensité et le type de vent, la nappe polluée aura une importance variable et s'étendra dans des directions très différentes (Arfi, 1983). Ceci peut expliquer que globalement, l'influence saisonnière soit prépondérante sur l'organisation du zooplancton. L'effet de la perturbation, maximal au sein de la nappe de dilution superficielle, se traduit par une diminution du nombre d'espèces, les taxons secondaires disparaissant des eaux les plus polluées, tandis que les

espèces principales accentuent leur dominance, même si leurs effectifs diminuent sensiblement. On peut donc difficilement parler d'espèces mieux adaptées que d'autres à un milieu pollué par un rejet urbain, mais plutôt de la réduction quantitative de la communauté, avec persistance des espèces les mieux représentées auparavant. Il y aurait donc disparition d'une partie de la biomasse zooplanctonique indépendamment, semble-t-il, de la robustesse ou des tolérances écologiques des espèces. En dehors de la nappe de dilution, on retrouve un zooplancton non atteint par la pollution; si pendant le temps de résidence dans la cuvette, les deux communautés de même origine et dont l'une est le reflet amoindri de l'autre vont coexister, le mélange progressif des deux masses d'eau permettra le retour à une situation unique, en dehors de la zone d'influence de l'émissaire.

Resumé

Le rejet permanent du grand émissaire de Marseille ($5 \text{ m}^3, \text{sec}^{-1}$) perturbe considérablement, par son importance, le système néritique du secteur de Cortiou. Afin d'approcher l'impact de cette pollution sur la partie zooplanctonique du système, plus de 200 prélèvements, concernant l'hydrologie et le plancton, ont été réalisés entre 1977 et 1981, selon différentes stratégies d'échantillonnage (suivi de masse d'eau, radiales, réseaux).

Quantitativement on observe, sur l'ensemble de la zone étudiée, une abondance générale en zooplancton moyenne, voire faible. Les effectifs les plus importants se rencontrent cependant dans la cuvette de Cortiou, alors que le point de référence considéré comme non perturbé présente les effectifs les plus faibles. Les stations situées face à l'égout sont parfois azoïques.

Qualitativement les peuplements ne paraissent pas très caractéristiques d'un secteur pollué mais correspondent plutôt à un appauvrissement du peuplement néritique. Dans le secteur le plus pollué, la composition spécifique varie au cours du temps autour d'une communauté composée d'un groupe important avec *Clausocalanus* sp., *Paracalanus* sp., *Oithona helgolandica* et d'un groupe de taxons moins fréquents représentés par des larves méroplanctoniques, *Oithona nana* et *Evadne spinifera*, tandis que les corycéidés, oncéidés, *Centropa-*

ges typicus, chaetognathes et fritillaires se retrouvent plus fréquemment en eaux 'propres'. La structure des populations est plus importante en période froide qu'en période chaude, période durant laquelle la communauté planctonique est fortement désorganisée. Paradoxalement *Acartia clausi* joue un rôle assez secondaire dans la définition structurale de la communauté.

Les fluctuations observées paraissent cependant peu liées à des paramètres reflétant l'intensité de la pollution. L'intégration du stress, en relation avec l'histoire antérieure de la communauté (intensité et durée du contact avec la nappe de dilution, potentialités trophiques) semblent ainsi prépondérantes.

References

- Arfi, R., 1978. Plancton et pollution: effets d'un rejet urbain (Grand émissaire de Marseille). Traitement des données. Thèse Doct. 3ème cycle, Univ. Aix-Marseille II, 119 pp.
- Arfi, R., 1983. Dynamique structurale et fonctionnelle du plancton des aires (secteur de Cortiou-darses de Fos). Traitement des données. Thèse Doctorat ès Sciences, Univ. Aix-Marseille II, 357 pp.
- Arfi, R., F. Blanc & D. Calmet, 1983. Etude d'impact en milieu marin: échantillonnage et traitement des données. In: FRON-TIER édit., Stratégies d'échantillonnage en écologie, Masson: 341–364.
- Arfi, R., G. Champalbert & G. Patrity, 1981. Système planctonique et pollution urbaine: un aspect des populations zooplanctoniques. Mar. Biol. 61: 133–142.
- Arfi, R., G. Champalbert, G. Patrity, A. Puddu & J. P. Reys, 1982. Etude comparée du plancton du Vieux-Port, de l'avant port et du golfe de Marseille. Liaison avec des paramètres chimiques et de pollution. Téthys 10: 211–217.
- Benon, P., B. Bourgade & R. Kantin, 1977. Impact de la pollution sur les écosystèmes méditerranéens côtiers. Aspects planctoniques. Thèse Doc. 3ème cycle, Univ. Aix-Marseille, 400 pp.
- Bourdillon, A., 1963. Essais comparés de divers filets à plancton. Rapp. Proc. verb. Comm. int. Explor. Mer médit. 17: 455–461.
- Calmet, D., 1980. Système pélagique perturbé par les activités humaines: stratégies de prélèvement et traitement mathématique des données (impact de l'émissaire de Marseille-Cortiou, France). Thèse 3ème cycle, Univ. Aix-Marseille II, 108 pp.
- Champalbert, G., 1975. Répartition du peuplement animal de l'hyponeuston. Etude expérimentale de la physiologie et du comportement des Pontellidés, thèse Doct. Etat. Univ. Aix-Marseille II, 312 pp.
- Champalbert, G. & G. Patrity, 1982. Impact de la pollution sur les communautés zooplanctoniques dans la zone d'épandage de l'émissaire urbain de Marseille. Hydrobiologia 89: 17–27.
- David, P., 1980. Etude expérimentale de la désorption des phosphates et de l'azote ammoniacal dans l'eau de mer. Application à l'étude de l'évolution de la charge minérale du grand émissaire de Marseille. Thèse 3ème cycle, Univ. Aix-Marseille II: 132 pp.
- Deveze, L., 1959. Cycle biologique des eaux et écologie des populations planctoniques. Rec. Trav. Stat. mar. Endoume 25: 220 pp.
- Epopem, 1978a. Impact d'un effluent urbain sur les populations planctoniques néritiques – présentation du site de Cortiou. IVème Journées Etud. Pollutions. Antalya, CIESM: 365–369.
- Epopem, 1978b. Effet global de la pollution d'un émissaire urbain (Marseille-Cortiou) sur les populations zooplanctoniques d'une zone néritique. IVème Journées Etud. Pollutions, Antalya, CIESM: 377–379.
- Epopem, 1979a. Système planctonique et pollution urbaine. Présentation du site néritique de Cortiou, calanque de Marseilleveyre. Téthys 9: 23–30.
- Epopem, 1979b. Système planctonique et pollution urbaine. Un aspect des populations zooplanctoniques. Oceanol. acta 2: 379–388.
- François-Schusselin, A., 1979. I. Dosage de l'ammonium et de l'urée dans l'eau mer. II. Etude des sels minéraux azotés dans la zone de rejet du grand émissaire de Marseille (Cortiou). Thèse 3ème cycle, Univ. Aix-Marseille II: 163 pp.
- Frontier, S., 1976. Utilisation des diagrammes rangs-fréquences dans l'analyse des écosystèmes. J. Rech. Oceanogr. 1: 35–48.
- Gaudy, R., 1971. Contribution à l'étude du cycle biologique des copépodes pélagiques du golfe de Marseille. 1. L'environnement physique et biotique, et la composition de la population des copépodes. Téthys 3: 921–942.
- Hulburf, E. M., 1963. The diversity of phytoplanktonic populations in oceanic, coastal, and estuarine regions. J. mar. Res. 21: 81–93.
- Margalef, R., 1956. Informacion y diversidad especifica en las comunidades de organismos. Investig. pesq. 3: 99–106.
- Maurer, D., 1978. Phytoplancton et pollution, lagune Ebrié (Abidjan), secteur de Cortiou (Marseille). Thèse 3ème cycle, Univ. Aix-Marseille II: 121 pp.
- Patrity, G., 1972. Etude préliminaire des effets de la pollution globale sur le peuplement planctonique des ports de Marseille, Mar. biol., 12: 300–308.
- Patrity, G., 1976. Structure et fonctionnement de la partie planctonique dans l'écosystème des zones fermées et semi-fermées des ports de Marseille (dystrophie et pollution). Thèse Doct. ès Sci., Univ. Aix-Marseille II: 200 pp.
- Shannon, C. E., 1948. A mathematical theory of communication. Bell System. Techn. J., 27: 379–423.
- Travers, M., 1971. Diversité du microplancton du golfe de Marseille en 1964. Mar. Biol. 8: 308–343.

Received 5 July 1984; in revised form 8 June 1986; accepted 1 July 1986.