

Remarques sur la structuration des populations zooplanctoniques dans la zone de l'émissaire de Marseille-Cortiou

G. Patrìti

Centre d'Océanologie de Marseille, Division Ecophysiologie, Unité de Recherche Associée au C.N.R.S. (URA 41),
Faculté des Sciences de Luminy; Case 901, F-13288 Marseille cédex 9, France

Abstract

Remarks on the structure of zooplanktonic populations in the sewage discharge zone of Marseille-Cortiou

The impact of a polluted water-layer on zooplanktonic populations was studied in the sewage discharge zone at Marseille-Cortiou throughout 1977 and a modification of specific diversity was observed: diversity was instable near the outfall, but increased slightly and became more stable further away in non-polluted stations. The population composition did not seem to change. Species rank varied slightly and the number of species increased with increasing distance from the outfall. Specific "dominance" remained relatively unchanged, and essentially consisted of only 5 species: *Clausocalanus acucornis*, *Evadne spinifera*, *Oithona helgolandica*, *Temora stylifera* and *Centropages typicus*. The population structure, as illustrated by "Frontier" diagrams, was higher during or just preceding winter. Population organisation was the same close to or far away from the outfall, although the total population counts and number of species were smaller at the most polluted stations. The taxons exhibiting the largest decreases in density were: euphausiids, nauplii, larvae of various brachyurans and gastropods, fish eggs, the pteropod *Cavolinia inflexa*, the copepod *Calanus minor* and several Coryceidae. The greatest disturbance of the population structure at all stations was observed during the summer. The composition of the zooplanktonic population seems to depend much more on seasonal factors than on the level of pollution. It was not possible to distinguish a cluster of species which were sufficiently dominant to be considered as really characteristic; perhaps the rather high exposure of the sewage site to winds and waves prevents the formation of a local facies.

Introduction

Depuis 1977 de nombreuses missions dans la zone marine polluée par les eaux usées issues de l'émissaire de Mar-

seille Cortiou nous ont permis d'apporter quelques précisions sur l'évolution du système pélagique de ce secteur. Outre un certain nombre de paramètres concernant l'hydrologie proprement dite ou la pollution du site, les paramètres biologiques et notamment zooplanctoniques ont fait l'objet de plusieurs études. Celles ci concernent l'évolution quantitative et qualitative des peuplements zooplanctoniques en relation avec les conditions locales intégrant la dilution de la nappe de pollution et les conditions climatiques.

Il nous a paru intéressant, sur l'ensemble des missions entreprises depuis 1977 dans la zone perturbée par le grand émissaire de Marseille, d'examiner l'évolution structurale des populations en fonction des perturbations apportées par la nappe de dilution.

Nous avons entrepris depuis 1977 trois types d'échantillonnage selon des stratégies différentes mais complémentaires: Une stratégie en réseau et en radiales a été adoptée lors des missions de Cortiou 1 (20 avril 1977) (Fig. 1 a) et Cortiou 3 (27 septembre 1977) (Fig. 1 c). Ces missions couvraient la partie est et la partie ouest de la cuvette de Cortiou par des régimes de vents différents. Au cours de la mission de Cortiou 2 (28 avril 1977) (Fig. 1 b) la technique employée nous a permis d'effectuer des prélèvements en suivant le déplacement de la masse d'eau initiale au départ de l'émissaire: (Champalbert et Patrìti, 1982). Enfin, plus récemment, nous nous sommes intéressé à l'évolution du cycle annuel à partir de prélèvements mensuels en 5 points plus ou moins concernés par le rejet du grand émissaire (Arfi et Patrìti, sous presse) (Fig. 1 d).

Matériel et méthodes

Le matériel et les méthodes employées ont déjà été décrits dans des publications antérieures (Groupe EPO-PEM, 1979 a, b; Arfi *et al.*, 1981; Champalbert et Patrìti, 1982). Nous préciserons cependant que nous avons largement employé l'indice de diversité de Shannon $H' = -\sum_i p_i \log 2 p_i$, où p_i est égal à la fréquence de chaque

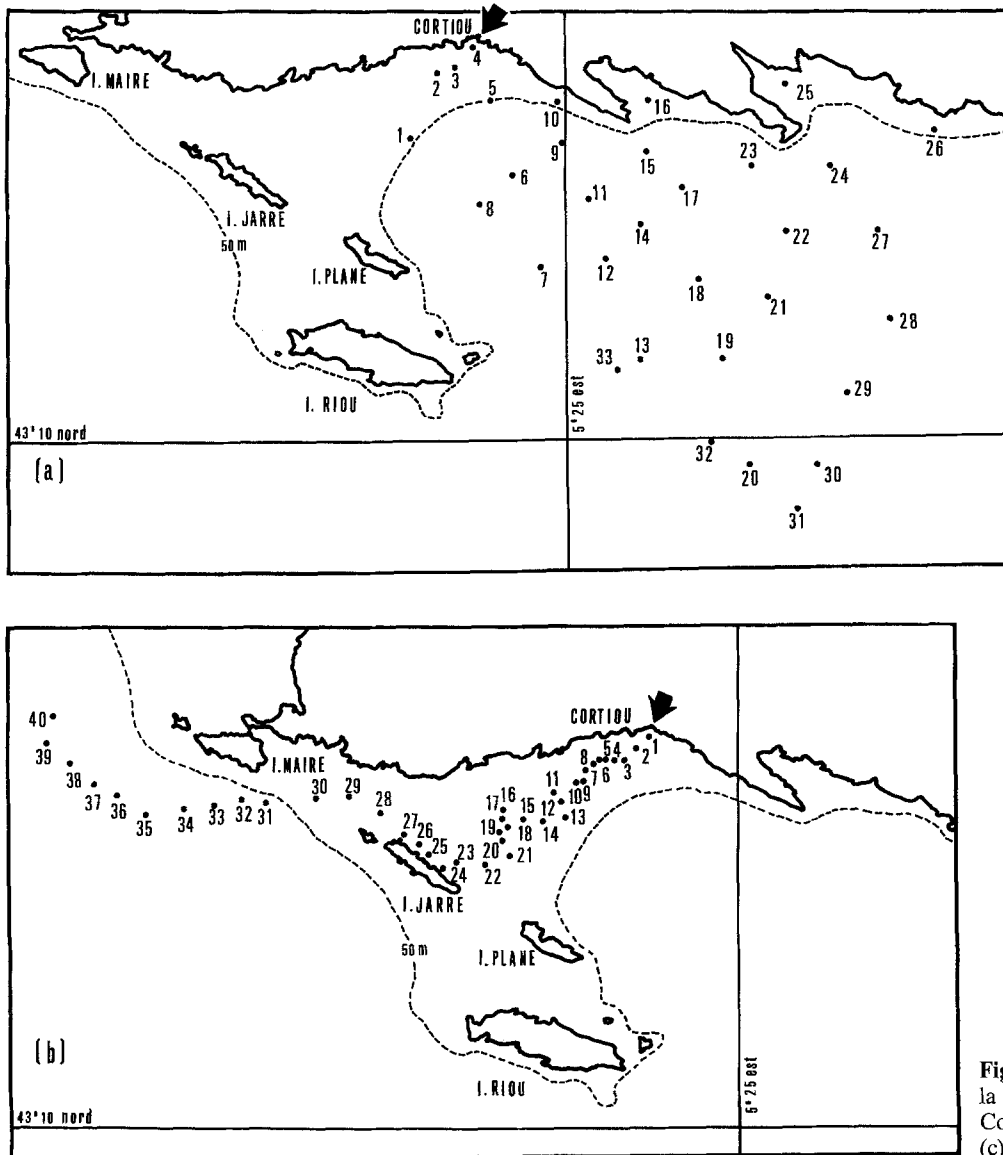


Fig. 1. Stations de prélèvement dans la zone de l'émissaire de Marseille-Cortiou. (a) Cortiou 1, (b) Cortiou 2, (c) Cortiou 3, (d) écosystème

espèce ni/N , et les indices de dominance $\delta 1$ et $\delta 2$ avec $\delta 1 = \frac{100 \cdot n1}{N}$, où $n1$ est le nombre des individus appartenant à l'espèce la mieux représentée et $\delta 2$ où sont prises en compte les deux espèces principales $\delta 2 = \frac{100(n1+n2)}{N}$, d'après Hulburt (1963). Outre ces indices nous avons aussi utilisé les diagrammes rang-fréquences (Frontier, 1969; Travers, 1971) qui donnent une image plus complète de la diversité d'un échantillon: sur les ordonnées logarithmiques sont portées les fréquences des espèces classées par ordre d'importance numérique sur l'axe des abscisses également logarithmiques.

Résultats

Impact du rejet sur les populations zooplanctoniques

Si nous considérons des échantillons de populations zooplanctoniques prélevés en des points situés sur une radiale

perpendiculaire à l'origine de la perturbation et s'éloignant vers le large, nous constatons que la diversité demeure à peu près identique de la station la plus proche à la plus éloignée de l'émissaire (Cortiou 1, Fig. 2). La dominance des deux principales espèces ($\delta 2$), légèrement plus importante à la station 5, encore assez proche de l'origine de la perturbation, conserve néanmoins une certaine homogénéité si l'on excepte la station 20, station la plus éloignée de l'émissaire et paradoxalement celle où la dominance est la plus importante. Pour ces mêmes échantillons les diagrammes rang-fréquence ne traduisent pas, du moins dans leur partie supérieure, de différence d'une station à l'autre. La seule particularité nettement appréciable est le nombre d'espèces réduit de la station la plus proche de l'émissaire (8 espèces au lieu de 11 à 15 aux autres stations), ainsi que son effectif restreint (Figs. 2, 3). On peut constater, d'autre part, que les mêmes observations peuvent être faites lors de la mission Cortiou 3. Si l'on examine les courbes des groupes de stations les plus éloignées de l'émissaire (Fig. 4), on constate que les

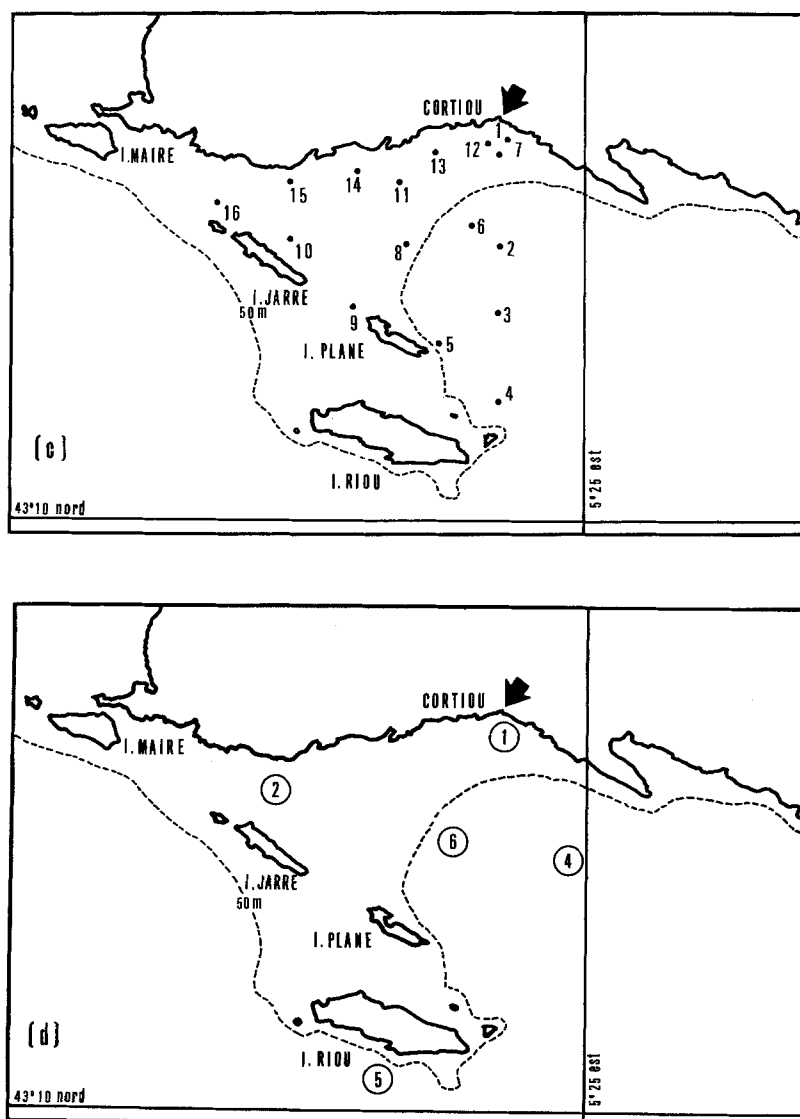


Fig. 1

indices de diversité et la pente générale des courbes restent inchangés. De même d'un groupe de station à l'autre, la dominance n'est pas différente. On constate, par ailleurs, une légère différence dans le rang des espèces suivant le groupe des stations examinées. Par contre, c'est au niveau du recrutement des espèces que se fait la différence (9, 10, 13 espèces pour les stations les plus proches de l'émissaire, 13, 14, 15, 15 pour les stations intermédiaires à peu près au milieu de la cuvette de Cortiou et 13, 16, 18 pour les stations les plus éloignées, proches de l'île Plane.

Lors de la mission de Cortiou 2 (Fig. 5) les prélèvements zooplanctoniques ont été effectués le long du trajet d'une bouée dérivante, la première station étant située à l'origine du rejet, les suivantes s'en éloignant progressivement. La zone parcourue s'étend ainsi depuis l'émissaire jusque dans le golfe de Marseille à l'ouest de l'île Maire. On constate que la diversité des populations zooplanctoniques, instable mais parfois importante dans la zone d'influence de l'émissaire, se stabilise ensuite puis augmente

légèrement en début de nuit. En fin de nuit, dans le golfe de Marseille la diversité se stabilise de nouveau aux alentours de 2,9 bit individu⁻¹. Dans la zone soumise à l'impact du rejet on constate seulement deux baisses importantes de l'indice de diversité aux stations 9 et 12 ($H' = 1,95$ et 2,17) dues à des «blooms» d'*Acartia clausi*. Le nombre d'espèces recensées est faible à la station la plus proche de l'émissaire (station 1); il augmente ensuite jusqu'à la station 5, qui se situe à peu près à 800 m de l'embouchure du rejet, pour se stabiliser à un niveau moyen. A partir de la tombée du jour le nombre d'espèces recensées augmente considérablement passant, parfois, à plus d'une trentaine d'espèces au cours de la nuit. Si nous comparons les diagrammes rang-fréquence des groupes de stations 1, 2 et 3 d'une part, 16, 17 et 18 dans la partie intermédiaire, et 26, 27 et 28 d'autre part, stations de plus en plus éloignées de l'émissaire nous constatons (Fig. 6) que:

La diversité présente peu de différence d'un groupe de stations à l'autre (de 2,59 pour la plus faible à 3,50 pour la

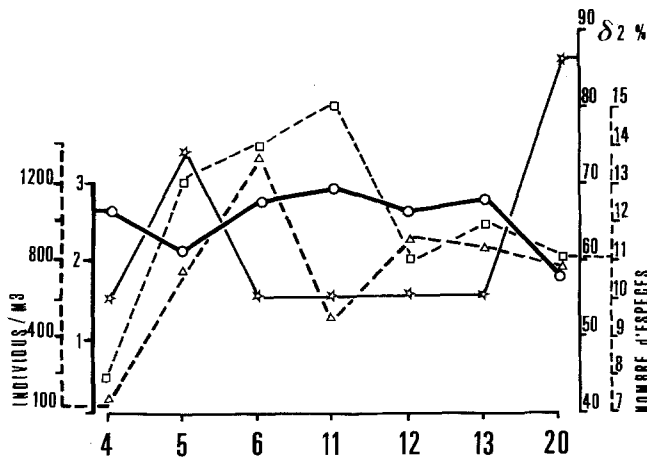


Fig. 2. CORTIOU 1: diagramme du nombre d'individus au m³ (Δ), de la diversité H' (○), de la dominance δ^2 (✱) et du nombre d'espèces (□) aux stations 4, 5, 6, 11, 12, 13 et 20

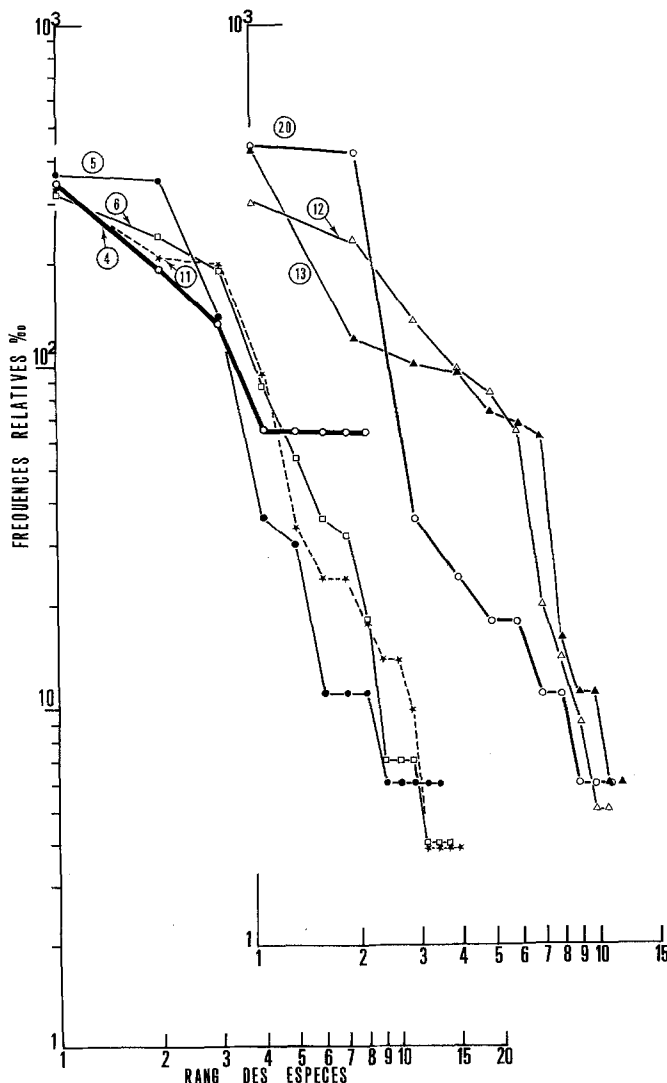


Fig. 3. CORTIOU 1: diagrammes rang-fréquence des échantillons zooplanctoniques des stations 4, 5, 6, 11 et 12, 13, 20

plus forte, la plus grande variation se remarquant aux stations les plus perturbées);

La structure proprement dite des populations reste inchangée de la station la plus proche à la plus éloignée de l'émissaire;

Le rang des espèces semble différent à une certaine distance de l'émissaire, mais il est probable que ceci est dû aux migrations verticales vers la surface de diverses espèces en période pré-nocturne et nocturne;

Le nombre d'espèces recensées augmente quand on s'éloigne de l'émissaire;

La dominance moyenne reste inchangée.

Variations saisonnières dans la structuration des populations zooplanctoniques

La diversité et la dominance des populations varient au cours de l'évolution saisonnière. Sur les courbes établies au cours d'une année (missions «Ecosystème»), on remarque pour la diversité une période de faibles indices qui se situe en juillet-août et septembre pour toutes les stations, quelque soit leur position par rapport à l'émissaire. Deux périodes d'indices plus élevés se retrouvent en mai-juin et en période froide (de novembre à mars). Globalement, la station 1 réagit comme les autres stations. On remarque cependant qu'en deuxième partie de période froide (janvier-mars), cette station présente une baisse de sa diversité plus importante qu'aux autres stations (Fig. 7).

Les indices de dominances donnent les mêmes informations que la diversité: on constate surtout, et à toutes les stations, une période de forte dominance aux mois de juillet-août (Fig. 8).

L'examen des diagrammes rang-fréquence confirme – et précise – l'évolution de la diversité (Fig. 9). Si nous prenons l'ensemble des diagrammes on constate que c'est au mois de décembre que ceux-ci traduisent le mieux une organisation complète des populations zooplanctoniques qui sont à peu près identiques à toutes les stations et représentées par *Clausocalanus acuticornis*, *Oithona helgolandica*, *Acartia clausi* et quelques Coryceidae, acanthaires et fritillaires. A ce moment là, à la station 1, les populations, bien qu'aussi structurées que celles des autres stations, présentent un effectif plus faible et un nombre d'espèces réduit. On constate que diversité et dominance sont semblables pour l'ensemble de la zone étudiée (H' compris entre 2,7 et 3,6; δ^2 compris entre 35 et 50%). Cette organisation homogène semble se conserver durant toute la période froide, avec parfois une évolution régressive et des amorces de déstructuration ou des mélanges de populations (Fig. 10).

Durant la fin de la période froide les populations sont identiques à celles décrites pour le mois de décembre (δ^2 compris entre 42 et 50%), diversité importante et adjonction de quelques espèces comme *Oikopleura dioica*, plus quelques espèces à dominance printanière. L'effectif de *Clausocalanus acuticornis* va légèrement décroître et sera parfois remplacée au rang principal par *Centropages typicus*

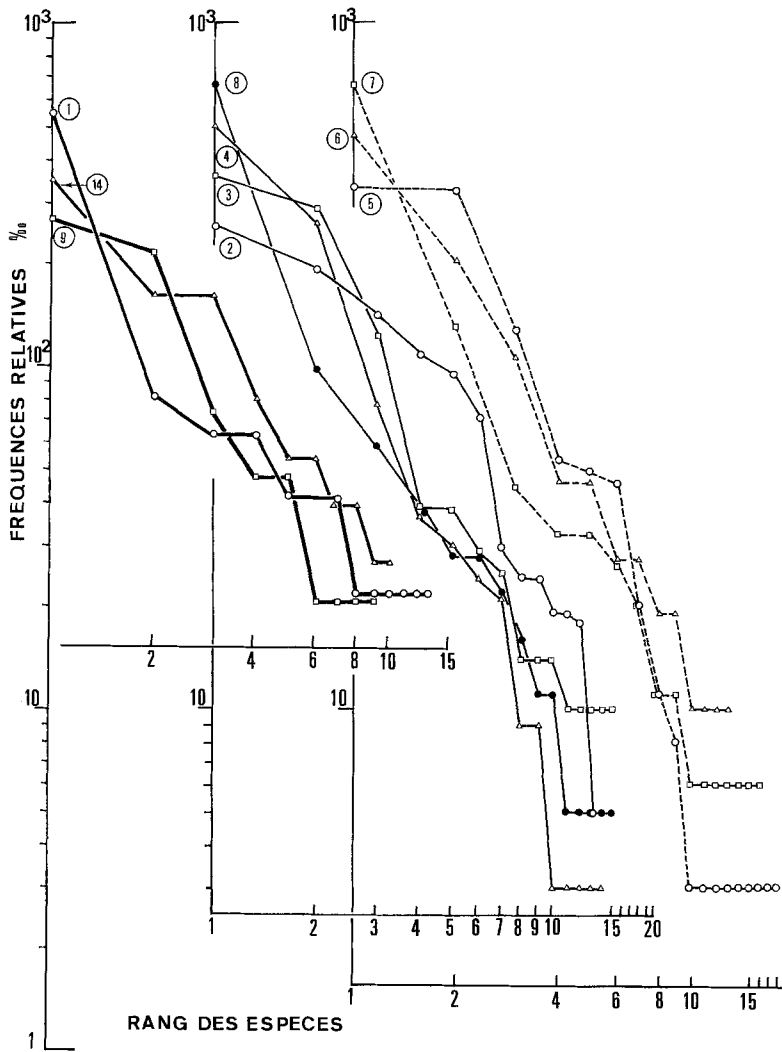


Fig. 4. Cortiou 3: diagrammes rang-fréquence des échantillons zooplanctoniques des stations 1, 9, 14; 2, 3, 4, 8 et 5, 6, 7

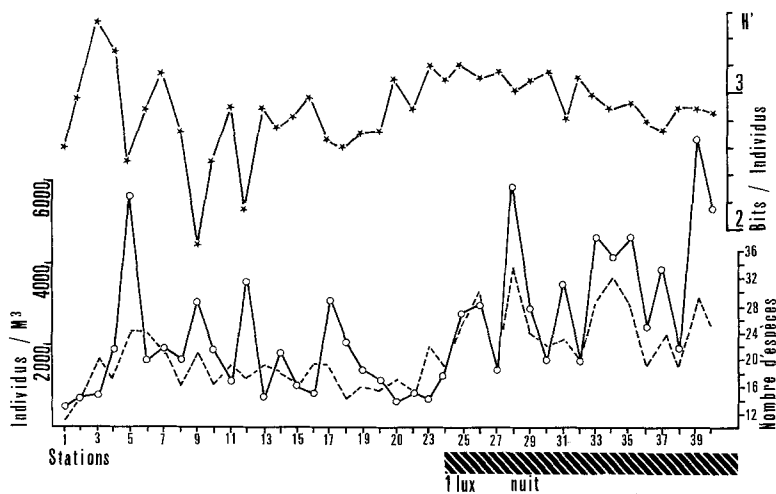


Fig. 5. Cortiou 2: Evolution de l'effectif zooplanctonique en individus m^{-3} ($\circ$), de la diversité H' ($\star$) et du nombre d'espèces (---) au cours de la série lagrangienne. Le laps de temps durant lequel l'éclairement est resté inférieur à 1 lux est indiqué par une bande tramée

en début d'été. A ce moment là même si la diversité est toujours à peu près identique certains diagrammes rang-fréquence commencent à se tendre et l'on assiste, en plusieurs stations, à une déstructuration complète surtout en surface (Fig. 11). La station la plus perturbée conserve néanmoins une structuration moyenne. Puis, peu à peu, au

fur et à mesure que la température augmentera les systèmes se déstructureront, pour aboutir à une déstructuration complète au mois d'août (Fig. 12). Toutes les stations présentent à cette période des diagrammes rang-fréquence pratiquement rectilignes et dont la pente est importante. La dominance est grande de l'ordre de 86 à

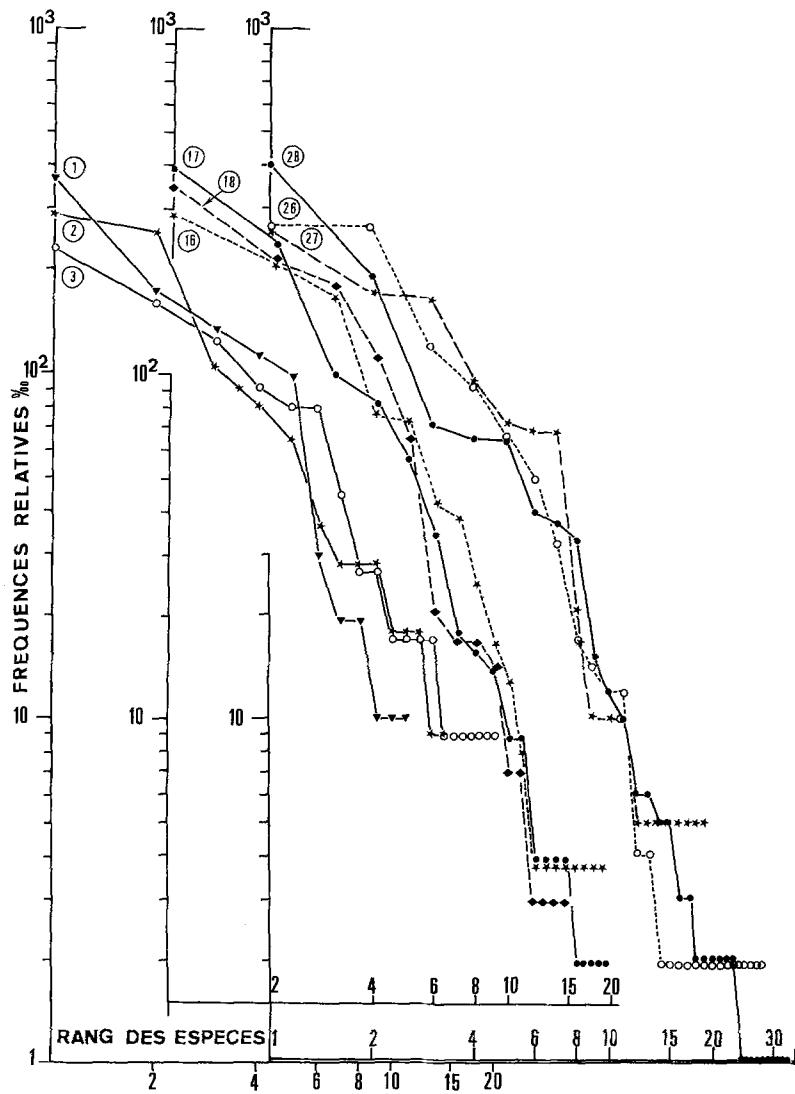


Fig. 6. Cortiou 2: diagrammes rang-fréquence des stations 1, 2, 3; 16, 17, 18 et 26, 27, 28

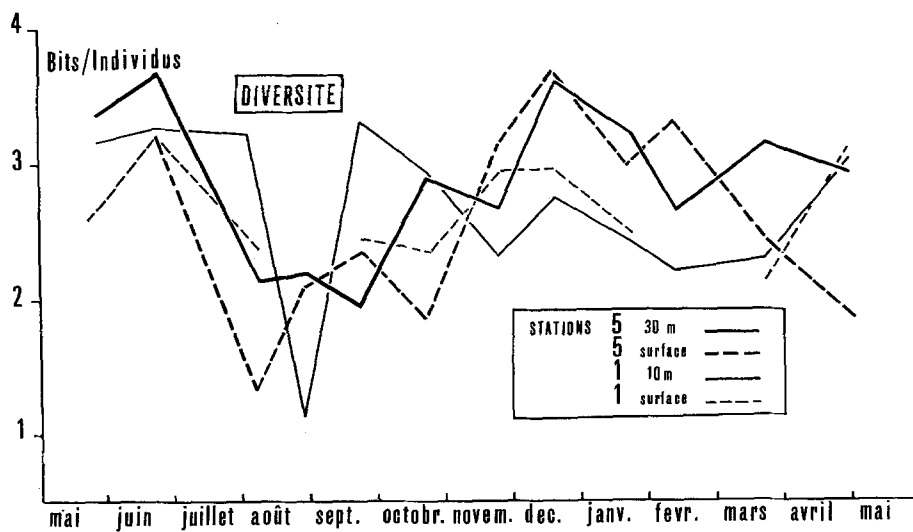


Fig. 7. Ecosystème: diversité zooplanctonique aux stations 1 et 5 à deux niveaux

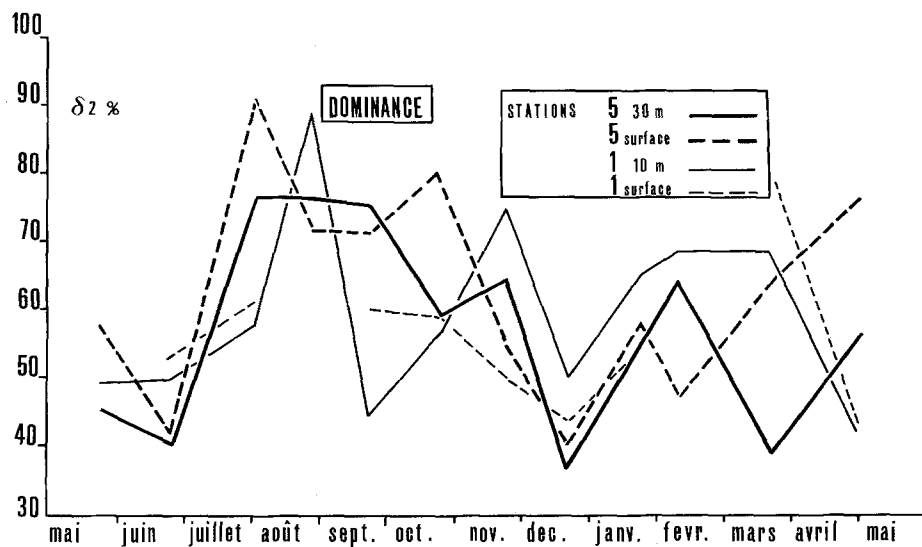


Fig. 8. Ecosystème: dominances zooplanctoniques aux stations 1 et 5 à deux niveaux

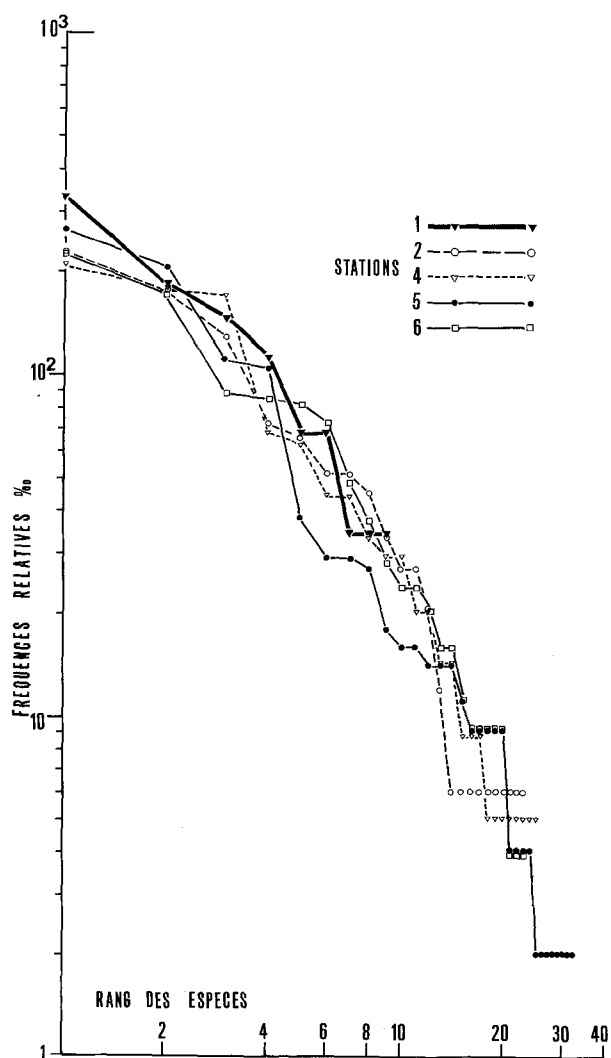


Fig. 9. Ecosystème: diagrammes rang-fréquence du 17 décembre 1980, profondeur intermédiaire

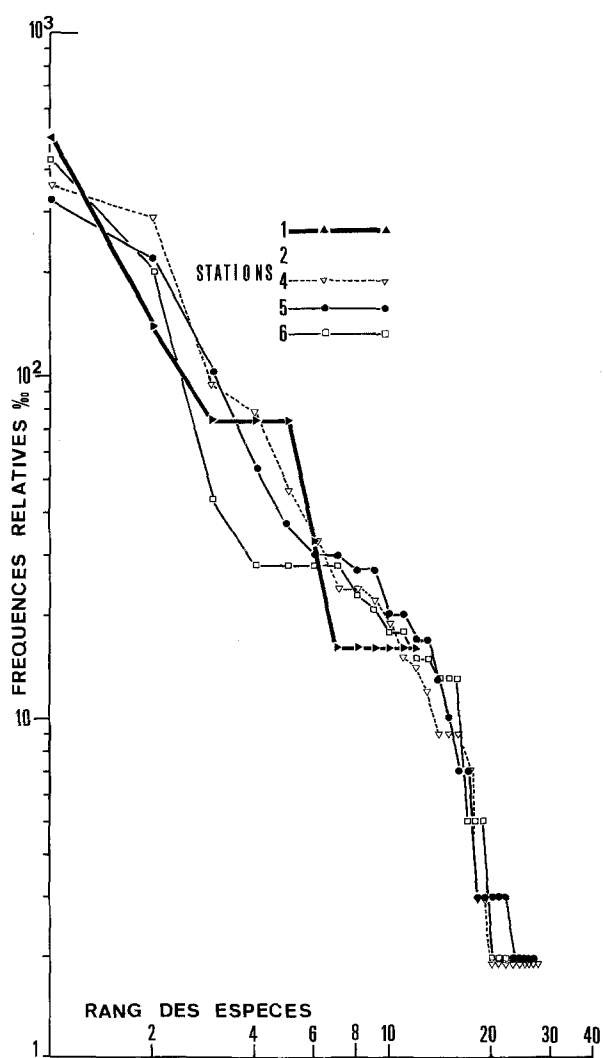


Fig. 10. Ecosystème: diagrammes rang-fréquence du 26 janvier 1981, profondeur intermédiaire (la station 2, azoïque, n'a pu être exploitée)

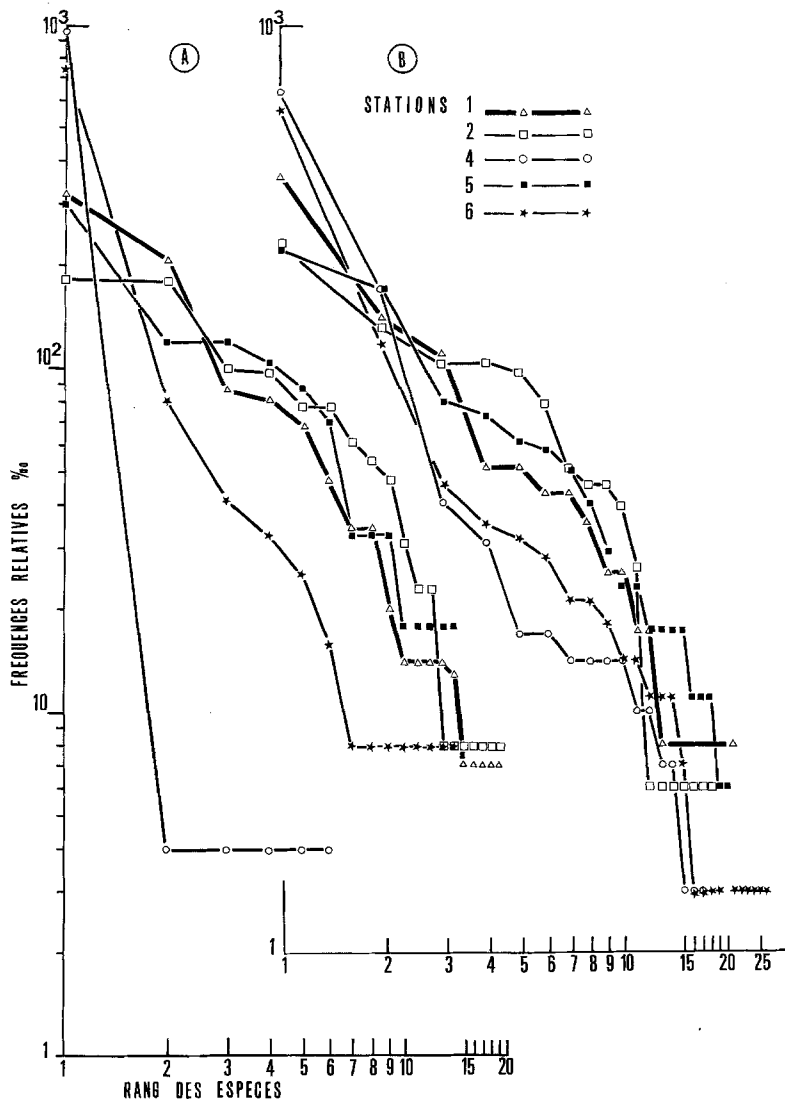


Fig. 11. Ecosystème: diagrammes rang-fréquences du 23 juin 1980 en surface (A) et à la profondeur intermédiaire (B)

92%, légèrement moindre à la station de référence (76%). La dominance des deux principales espèces est assurée à toutes les stations par 5 espèces seulement: *Clausocalanus acuticornis*, *Evadne spinifera*, *Oithona helgolandica*, *Temora stylifera* et *Centropages typicus*. La station 1 montre alors une diversité légèrement inférieure à celle des autres stations, mais surtout un effectif plus réduit (il en est de même à la station 2) *Clausocalanus acuticornis*, *E. spinifera*, *O. helgolandica* et *O. nana* y constituent l'ensemble de la population. *T. stylifera* et *Centropages typicus* occupent, à la station la plus perturbée, un rang nettement inférieur à celui qu'ils occupent aux autres stations et, de ce fait, peuvent être considérés comme moins tolérants que les autres espèces citées. Sauf à la station 1 nous retrouvons dans les parties basses des diagrammes les taxa les moins résistants de la population: diverses larves de brachyours, gastéropodes, euphausiacées, nauplii divers, oeufs de poissons, *Cavolinia inflexa*, *Calanus minor* et divers Coryceidae. En fin de période chaude les communautés se réorganisent petit à petit, les espèces dominantes demeurent

pratiquement toujours les mêmes: *Clausocalanus acuticornis*, *E. spinifera*, *O. nana* et on constate un fort accroissement en période automnale de *T. stylifera*. La dominance est alors paradoxalement souvent plus élevée aux stations les plus éloignées de l'embouchure de l'émissaire qu'à celles qui en sont proches: 44 et 58% aux stations 1 et 2; 62, 75 et 88% aux stations 6, 5 et 4. Les stations les plus atteintes par la nappe polluée semblent se réorganiser plus vite que les autres, et ceci est corroboré par le nombre d'espèces et la dominance aussi bien que par l'indice de diversité et la pente des diagrammes rang-fréquence.

Conclusions

L'impact des rejets urbains sur la faune pélagique dans le milieu ouvert de la cuvette de Cortiou se traduit donc essentiellement par un appauvrissement qualitatif et quantitatif des populations zooplanctoniques, l'évolution

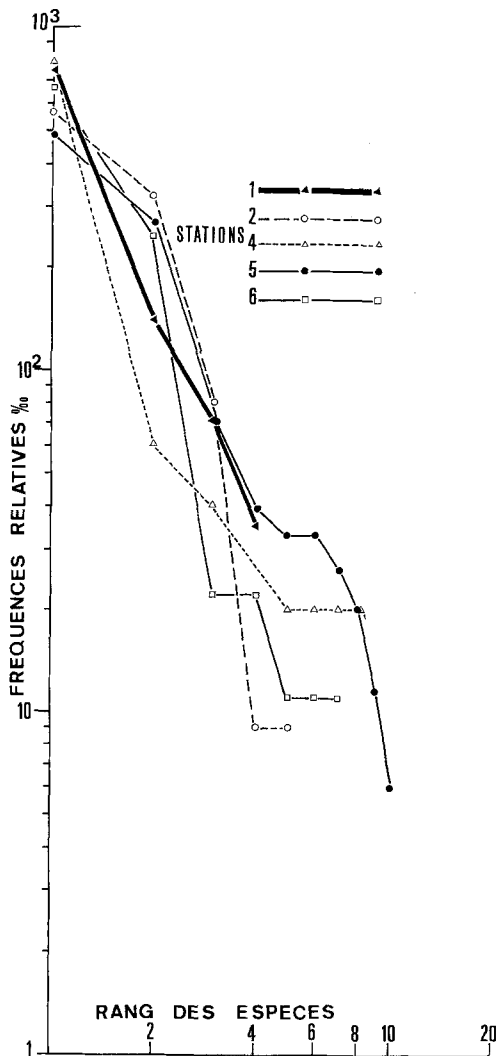


Fig. 12. Ecosystème: diagrammes rang-fréquence du 26 août 1980 à la profondeur intermédiaire

de l'organisation des communautés semblant en grande partie ne dépendre que du cycle saisonnier.

Bien structurées en période froide (hiver et printemps), les populations se désorganisent progressivement au cours de l'été. Il semble que nous soyons en présence d'une seule et même communauté qui évolue en fonction des saisons. L'élément dominant de cette communauté, *Clausocalanus acicornis*, forme avec *Oithona helgolandica* et accessoirement *Evadne spinifera*, *Centropages typicus* et *Oikopleura dioica*, l'essentiel de la population pélagique néritique. Moins fréquemment, on remarque l'augmentation d'effectif d'*Oithona nana*, *Acartia clausi*, *Paracalanus parvus*, de quelques Coryceidae, ainsi que l'apparition de *Podon* spp. et de quelques vélifères de gastéropodes et pélécytopodes, notamment aux stations de faibles profondeurs. Plus rarement et présentant des effectifs à faible fréquence (~1%), on retrouve *Euterpina acutifrons*, *Oithona plumifera*, *Oncaea* sp., *Microsetella* sp., *Candacia armata*, *Sagitta setosa*, des larves diverses d'échinides, décapodes, balanes, polychètes, euphausiacées, plus quelques formes rares ou hivernales comme *Calocalanus pavo*, *Pleuro-*

mamma sp., *Calanus minor*, *C. helgolandicus*, ainsi que des ostracodes, fritillaires, acanthaires et radiolaires.

Aux stations les plus sujettes à l'influence des rejets urbains l'examen des courbes rang-fréquence rend compte essentiellement d'une forte diminution du nombre d'espèces, parmi surtout les espèces rares. Dans ce cas particulier, il est possible que cette diminution soit due, au moins en partie, aux difficultés de tri imputables à l'importante quantité de détritus divers trouvés à ces stations dans les sous-échantillons.

On constate d'autre part que l'effectif total à ces stations est souvent assez bas. Qualitativement on retrouve préférentiellement certaines espèces aux stations les plus proches de l'émissaire, notamment: *Oithona helgolandica*, *Paracalanus parvus*, *O. nana* ainsi que *Euterpina acutifrons*. Paradoxalement nous y avons aussi abondamment retrouvé *Evadne spinifera* et ceci à plusieurs reprises au cours de missions différentes. Lakkis et Abboud (1976) constatent aussi la présence de cette espèce dans les eaux polluées de la côte libanaise. Il en est de même pour Benon *et al.* (1977) qui notent, en période estivale, la présence de cette espèce dans les eaux résiduaires de Cortiou.

Il ne semble pas que l'organisation de la communauté néritique soit très perturbée par le contact de la nappe de pollution car le transit des populations dans la nappe paraissant assez rapide. D'autre part, les grandes concentrations monospécifiques sont relativement rares, au contraire de ce qui se produit, par exemple, dans les systèmes eutrophes en milieux fermés ou semi-fermés: Yamazi (1952), Zunini-Sertorio *et al.* (1981), Diaz et Rodriguez (1982).

Il se confirme donc, comme nous l'avions supposé à propos de missions antérieures, qu'il n'existe pas, du moins à proximité immédiate de l'émissaire, de zone où soit perceptible un effet eutrophisant (Arfi *et al.*, 1981). Il apparaît donc, au cours d'une année, que l'influence saisonnière sur l'organisation des populations est nettement plus importante que les différences provoquées par l'impact de l'émissaire. En ce sens, nous rejoignons les observations de Moraitou-Apostolopoulou et Verriopoulos (1979), qui constatent que les différences morphométriques observées entre les *Acartia clausi* des aires polluées et non polluées doivent probablement être attribuées à des différences de température. En d'autres termes, l'impact de l'émissaire apparaît négligeable sur la structure des populations, puisqu'il n'y a pas, à un instant donné, de différence vraiment significative dans le degré d'organisation des populations des zones polluées et de celles plus éloignées de l'émissaire. Il semble que l'influence de l'émissaire induise seulement aux stations les plus proches une dégradation des communautés caractérisée par une diminution globale de la biomasse, avec disparition des espèces les plus rares et réduction des effectifs des espèces principales, sans production de faciès particulier. Au delà de la zone perturbée on constate le mélange de la communauté néritique avec une communauté néritique appauvrie mais d'origine identique.

Littérature citée

- Arfi, R., G. Champalbert et G. Patriti: Système planctonique et pollution urbaine: un aspect des populations zooplanctoniques. *Mar. Biol.* 61, 133–141 (1981)
- Arfi, R. et G. Patriti: Impact d'une pollution urbaine sur la partie zooplanctonique d'un système néritique (Marseille-Cortiou). *Oceanol. Acta* (sous presse)
- Benon, P., B. Bourgade et R. Kantin: Impact de la pollution sur les écosystèmes méditerranéens côtiers. Aspects planctoniques, 400 pp. Thèse Doctorat 3^{ème} cycle, Université Aix-Marseille II 1977
- Champalbert, G. et G. Patriti: Impact de la pollution sur les communautés zooplanctoniques dans la zone d'épandage de l'émissaire urbain de Marseille. *Hydrobiologia* 89, 17–27 (1982)
- Díaz, J. y L. Rodríguez: Observaciones ecológicas preliminares sobre algunos zooplanctones en la Bahía de La Habana; *En: III Symposium Contamination Marina, La Habana* 13–18 Setiembre 1982, pp 1–24. La Habana: Instituto de Investigaciones del Transporte 1982 (Proyecto CUB/80/001 PNUD-PNUMA-UNESCO)
- Frontier, S.: Méthodes d'analyse statistique applicable à l'écologie du plancton. *Docums scient. Mission O.R.S.T.O.M. Nosy-Bé* 7, 1–33 (1969)
- Groupe EPOPEM: Système planctonique et pollution urbaine. Présentation du site de Cortiou, calanque de Marseilleveyre. *Téthys* 9, 23–30 (1979 a)
- Groupe EPOPEM: Système planctonique et pollution urbaine. Un aspect des populations zooplanctoniques. *Oceanol. Acta* 2, 379–388 (1979 b)
- Hulburt, E. M.: The diversity of phytoplanktonic populations in oceanic, coastal, and estuarine regions. *J. mar. Res.* 21, 81–93 (1963)
- Lakkis, S. et M. Abboud: Zooplancton et pollution du secteur libanais en Méditerranée orientale. *Rapp. P. v. Réunion. Commn. int. Explor. scient. Mer Méditerran.* 23, 79–81 (1976)
- Moraitou-Apostolopoulou, M. et G. Verriopoulos: Différentiation morphologique entre deux populations d'*Acartia clausi* (Copepoda) provenant de biotopes différemment pollués. *Revue int. océanogr. méd.* 53–54, 77–86 (1979)
- Travers, M.: Diversité du microplancton du Golfe de Marseille en 1964. *Mar. Biol.* 8, 308–343 (1971)
- Yamazi, I.: Plankton investigation in inlet waters along the coast of Japan. IV. The plankton of Nagasaki bay and Nagasaki harbour in Kyusyu. *Publs Seto mar. biol. Lab.* 2, 305–318 (1952)
- Zunini-Sertorio, T., N. Della Croce, e P. Picone: Ecologia e biologia dei porti del Mar Ligure e Alto Tirreno. 11. Parametri ambientali e popolamento zooplanctonico del porto di Genova. *Atti Accad. ligure* 37, 3–21 (1981)

Date of final manuscript acceptance: June 1, 1984.

Communicated by J. M. Pérès, Marseille