

Perturbations spatio-temporelles anthropiques sur l'écosystème pélagique du littoral marseillais

Analyse multispectrale
Analyse multivariée
Émissaire
Structure hydrologique
Phytoplankton

Multispectral analysis
Multispectral analysis
Sewage outfall
Hydrologic structure
Phytoplankton

Dominique Calmet ^a, Sabine Charmasson ^a, François Blanc ^b

^a Commission à l'Énergie Atomique, IPSN/D.Pr/DPS, Centre d'Études Nucléaires de Fontenay-aux-Roses, B.P. n° 6, 92260 Fontenay-aux-Roses.

^b Centre Océanologique, Campus de Luminy, case 901, 13288 Marseille Cedex 9.

RÉSUMÉ

Une analyse chronologique des perturbations occasionnées sur un écosystème pélagique par des rejets domestico-industriels (émissaire de l'agglomération marseillaise) déversés à même la surface des eaux littorales, est réalisée.

Les séries temporelles de différents caractères échantillonnés sont présentées, et font ressortir deux composantes fondamentales, l'une journalière (tendance), l'autre de périodicité centrée sur 6 h, toutes deux liées aux différentes phases de l'activité humaine. L'analyse spectrale bivariée entre la salinité et les effectifs phytoplanctoniques totaux nous permet de déterminer, pour la période de 6 h, un décalage retard de 50 min dans la réponse des populations phytoplanctoniques aux variations de salinité.

L'analyse spectrale en composantes principales de l'ensemble des 31 caractères échantillonnés, a conduit d'une part, à la description d'une structure « hydrologique » du milieu à différentes périodes et, d'autre part, à révéler l'importance des processus d'advection-diffusion.

Oceanol. Acta, 1983. Actes 17^e Symposium Européen de Biologie Marine, Brest, 27 septembre-1^{er} octobre 1982, 45-49.

ABSTRACT

Anthropogenic spatio-temporal disturbances on the pelagical ecosystem of Marseilles littoral

A chronological analysis of the disturbances, caused to a pelagical ecosystem by domestic and industrial throwing out (Marseilles sewage outfall) discharged on the surface of the coastal waters itself is done.

Chronological series of various sampled parameters are shown and put into evidence two fundamental components, a daily one (the trend), the other one characterized by a periodicity of about 6 h, both linked to the different phases of human activities. Cross spectral analysis applied to salinity and phytoplankton series has pointed out a 50 min delay in the answer of phytoplankton communities to the periodical salinity variations.

The use of the spectral principal components analysis allowed us, on one hand, to describe the "hydrological" structure of the studied pelagical environment associated with 3 different frequencies and, on the other hand, to reveal the leading part played by mixing processes.

Oceanol. Acta, 1983. Proceedings 17th European Marine Biology Symposium, Brest, France, 27 September-1 October, 1982, 45-49.

INTRODUCTION

L'étude de la variabilité spatio-temporelle de l'écosystème pélagique littoral de la rade de Marseille et de l'aire de Cortiou, soumis notamment à l'influence des

eaux de la dérive liguro-provençale, a conduit de nombreux auteurs à préciser les variations pluri-annuelles et saisonnières de caractères physiques, chimiques et biologiques en différentes stations du Golfe de Marseille. En particulier, Rouch (1941), Minas (1963; 1968;

1971), Travers et Travers (1972) ont bien décrit les changements annuels et saisonniers de la température, de la salinité et des teneurs en sels nutritifs et en oxygène des eaux de la région marseillaise. Devèze (1959), Vacelet (1969) et Travers (1971) en ont suivi, quant à eux, les variations phytoplanctoniques annuelles.

Dans le cadre des études effectuées par le groupe EPOPEM, nous présentons ici l'impact des rejets urbains de l'émissaire de la ville de Marseille sur l'écosystème pélagique de l'aire de Cortiou. Nous avons donc été amenés à déterminer les principaux mécanismes régissant la réponse des structures hydrologique et phytoplanctonique à l'introduction, continue dans le temps et ponctuelle dans l'espace, d'une charge polluante annuelle évaluée à $1,5 \cdot 10^6$ équivalents habitants pour un débit de l'ordre de 3 à $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Après avoir décrit par ailleurs (Calmet, Blanc, 1980) sous forme de gradients spatiaux l'évolution des différents paramètres hydrobiologiques, et établi une cartographie des zones soumises à l'influence des eaux résiduaires, nous étudions ici les composantes évolutives de la réponse, à court terme, observée en un point de l'aire d'épandage sur les effectifs phytoplanctoniques avec celle notamment de « traceurs » hydrologiques comme la salinité, afin d'établir l'importance relative d'une part, des mécanismes d'advection-diffusion et, d'autre part, des stress provoqués par les divers polluants sur les populations phytoplanctoniques. En effet, il était intéressant de tester l'hypothèse formulée par Eisner (1971), qui proposait de créer artificiellement, sur une structure pélagique, un signal périodique facilement identifiable, afin de déterminer la nature des relations entre caractères de milieu.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'étude de la variabilité journalière repose sur l'analyse de séries de mesures réalisées sur des prélèvements d'eau, effectués toutes les 25 min pendant 24 h, en un point fixe, situé à un mille du radier de l'émissaire dans la nappe de dilution des eaux résiduaires à $-0,50$ m. Cette stratégie, dite eulérienne, a conduit à l'échantillonnage de 31 caractères définis par 58 mesures chacun, et est susceptible de décrire au mieux les composantes temporelles du système abordé.

L'étude des séries chronologiques ainsi constituées est entreprise par l'intermédiaire des analyses spectrales, méthodes d'emploi classique pour traiter ce type de données. Elles furent présentées par Bartlett (1953) sous leurs formes uni- et bivariées, et sont classiquement utilisées en écologie marine depuis Denman et Platt (1975; 1976). Elles furent développées par Koopmans (1974) et Brillinger (1975) sous une forme multivariée. L'utilisation de l'analyse spectrale en composantes principales (ASACP) fut préconisée par Kelley (1972) en écologie marine, domaine dans lequel elle fut appliquée par Laurec (1979) puis Calmet (1980) et Calmet *et al.* (1981). Cette dernière analyse permet une comparaison temporelle, fréquence par fréquence, de l'ensemble des séries analysées. Elle est donc particulièrement bien adaptée pour confirmer ou infirmer l'hypo-

thèse d'Eisner, puisqu'elle offre une vision dynamique et synthétique des relations entre les paramètres régissant le système étudié pour les composantes les plus caractéristiques.

RÉSULTATS

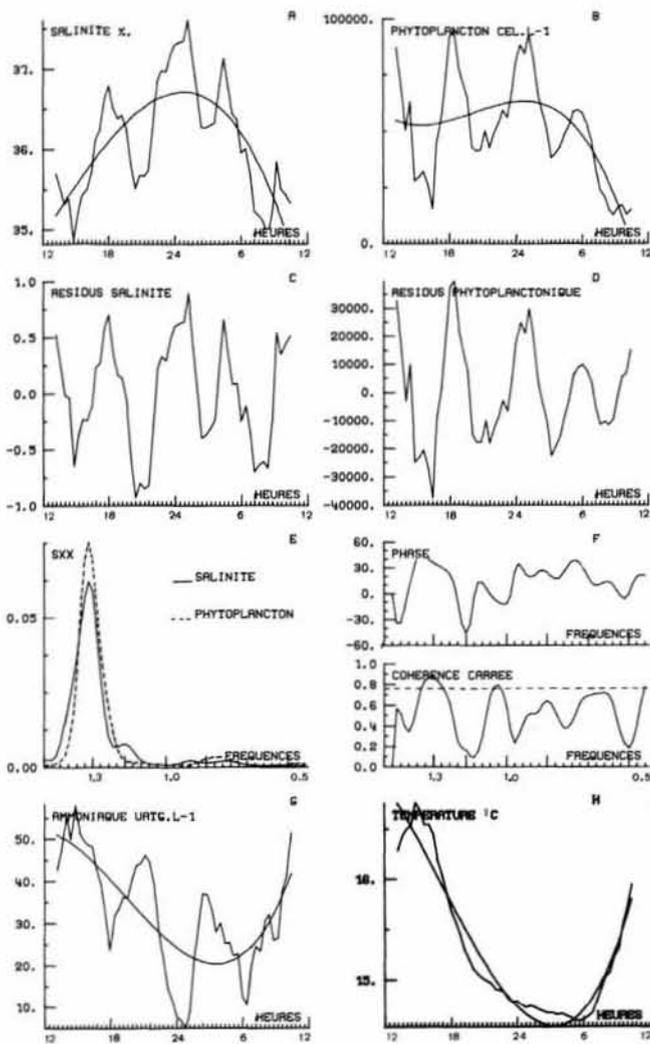
Nous présentons ici uniquement les tracés de quelques variables parmi les 31 caractères analysés. Deux peuvent être considérées comme représentatives des différentes masses d'eau en présence : la salinité caractérisera les eaux marines par des valeurs élevées, tandis que des teneurs importantes en ammonium indiqueront la présence des eaux résiduaires. Enfin, le tracé des effectifs totaux des espèces phytoplanctoniques échantillonnées traduira la réponse, aux perturbations anthropiques, des communautés algales au sein de la zone étudiée.

Afin de réduire une fraction de la variance que nous qualifierons d'aléatoire et imputable notamment au système de prélèvement, nous avons lissé les séries par une moyenne mobile sur cinq stations, éliminant ainsi l'énergie associée aux périodes inférieures à 2 h. Les séries lissées (fig. 1 A, 1 B et 1 G) permettent de définir pour chacun des paramètres deux composantes : l'une journalière, décrivant la tendance sur 24 h, et l'autre de périodicité proche de 6 h. Ces variations sont à rapprocher directement des fluctuations du rejet, elles-mêmes reflets de l'activité humaine. Le phénomène tendanciel sur 24 h est à relier aux rejets plus importants le jour que la nuit, avec un minimum de pollution vers 1 h du matin ; la composante périodique de 6 h : maxima de pollution vers 15, 21-22, 3 et 9 h, compte-tenu du temps de transit dans le système de collecte des eaux usées et de celui de la dérive de la masse d'eau du radier au point de prélèvement, coïncide avec les heures charnières de l'activité humaine : 12 h (déjeuner), 19-20 h (fin des activités de travail, dîner), 23-24 h (fin de la phase d'éveil, télévision...) et 6 h (réveil). Les effectifs phytoplanctoniques suivent une évolution comparable à celle de la salinité, traduisant l'impact prépondérant des rejets d'eaux résiduaires sur les variations naturelles tant qualitatives que quantitatives des communautés planctoniques.

L'analyse spectrale bivariée classique nous conduirait à exposer, pour l'ensemble des 31 caractères hydrologiques, 465 couples de variables; aussi allons-nous traiter, à titre d'exemple, le couple salinité-effectifs phytoplanctoniques totaux. L'emploi de l'analyse spectrale nécessitant la stationnarité à l'ordre 1 des séries analysées, celle-ci est obtenue par la suppression, sur les données lissées, du phénomène tendanciel sous la forme d'un modèle polynomial.

Les spectres de puissance (Fig. 1 E) des séries résiduelles de salinité et du phytoplancton total (fig. 1 C, 1 D) se caractérisent par une distribution d'énergie centrée sur la période de 6 h; cette période représente le rythme des fluctuations du rejet de l'émissaire en liaison avec les phases d'activité humaine.

L'étude du décalage temporel dans l'évolution de ces deux séries, pour la période de 6 h, à l'aide de la fonction de phase (fig. 1 F) révèle un décalage de 50° avec une



1CALMET 9702V68 804 83257

Figure 1

Tracé des profils des séries lissées par une moyenne mobile d'ordre 5 et de leur tendance polynomiale : salinité (A), effectifs phytoplanctoniques totaux (B), ammonium (G) et température (H). Spectres de puissance (E), fonctions de phase et de cohérence carrée (F) suivant Fourier, des séries résiduelles de salinité (C) et des effectifs phytoplanctoniques totaux (D) obtenues par suppression de la tendance polynomiale.

Plotings of series smoothed by a moving average of order five with their polynomial trend : salinity (A), total phytoplankton (B), ammonium (G) and temperature (H).

Power spectra (E), phase and squared coherence spectra (F) of residual salinity data (C) and residual total phytoplankton data (D) obtained by removal of the polynomial trend.

cohérence carrée de 0.81. Cela signifie que, pour cette composante périodique, un maximum de salinité est suivi 50 min plus tard d'un maximum d'effectifs phytoplanctoniques. L'existence de ce décalage retard semble indiquer que les processus de mélange des deux masses d'eau, bien que prépondérants, n'expliquent pas à eux seuls la réponse des populations phytoplanctoniques, et que d'autres phénomènes doivent intervenir, comme la persistance de certains composés toxiques à des niveaux léthaux. La recherche de l'éventuelle implication d'un des caractères échantillonnés nous a conduit à procéder à l'analyse spectrale multivariée de l'ensemble

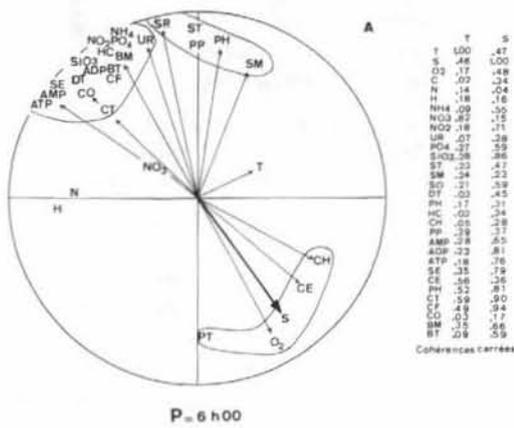
des séries chronologiques. C'est ainsi que l'ASACP nous a permis de suivre la dégradation de la structure temporelle de relation la plus marquée.

La projection des résultats de l'ASACP sur le 1^{er} plan complexe associé à la période de 6 h et exprimant 70,5 % de la variance totale, permet d'établir des regroupements entre variables (fig. 2 A). L'un est constitué par les descripteurs indiquant une pollution par des valeurs supérieures aux seuils naturels locaux : sels minéraux, ... ou de par leur présence même : coliformes fécaux (CF), détergents (DT) et polluants divers. Diamétralement opposé se différencie un sous-ensemble de variables caractérisant les eaux propres de par des valeurs élevées : salinité ($S_{\text{‰}}$), effectifs phytoplanctoniques (PT), oxygène (O_2), charge énergétique (CE), chlorophylle (CH). Les autres caractères : température (T), nitrates (NO_3), hydrogène et azote organiques particuliers (H, N), occupent une position intermédiaire.

Cependant les déphasages (ϕ) entre paramètres n'ont de sens statistique que si les valeurs de cohérence carrée (C_2) associées sont significatives (fig. 2 A). Ainsi seules les liaisons entre caractères proches du cercle de cohérence ($C_2 = 1$), c'est-à-dire ceux qui ont une forte contribution dans la définition de plan, seront interprétées avec un degré de « sécurité » suffisant. Si nous utilisons le vecteur de la salinité comme référence et que nous le comparons à ceux des variables des trois groupes précédemment définis, nous constatons qu'il fait un angle $\phi = 160^\circ$ avec les nitrites (NO_2) pour une cohérence carrée $C_2 = 0,71$, $\phi = 175^\circ$ et $C_2 = 0,94$ avec les coliformes fécaux (CF), $\phi = 50^\circ$ et $C_2 = 0,81$ avec le phytoplancton total (PT). Ces différences angulaires signifient, si nous postulons que la distorsion due à la projection est négligeable, que pour cette fréquence un maximum de salinité est suivi d'un maximum de nitrites 2 h 40 plus tard, de coliformes fécaux 2 h 55 plus tard, de phytoplancton 50 mn plus tard. Lorsque la salinité est maximale, les concentrations en nitrites et la population en coliformes fécaux sont donc quasiment minimales, tandis que, comme nous l'avons déjà noté, les effectifs phytoplanctoniques approchent de leur maximum qu'ils atteignent 50 min plus tard.

Par contre, les liaisons entre la température et l'ensemble des autres paramètres sont caractérisées par des cohérences carrées non significatives ($C_2 < 0,75$ pour $1 - \alpha = 95 \%$, fig. 2 A). Ceci traduit l'absence de variation périodique au sein de cette série principalement caractérisée par une composante journalière (fig. 1 H). La température ne peut, pour des prélèvements d'eau superficielle comme ceux réalisés ici, être considérée comme une grandeur conservative. Elle est en effet soumise aux variations thermiques atmosphériques printanières : réchauffement avec un maximum à 14 h 30 et refroidissement nocturne jusqu'à 8 h.

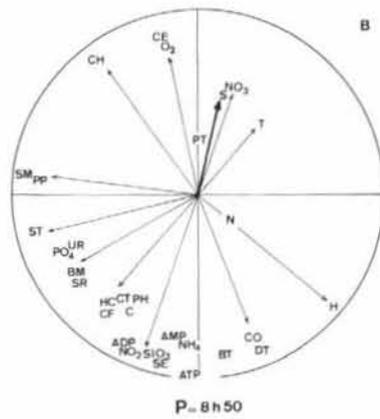
Parmi les caractères d'eaux polluées, la charge sestonique s'individualise avec le seston total (ST), en position intermédiaire entre la fraction minérale (SM) et la fraction organique (SR). A proximité se trouvent les phéopigments (PP), qui peuvent être reliés préférentiellement aux débris végétaux d'origine terrestre que véhiculent habituellement les eaux résiduaires,



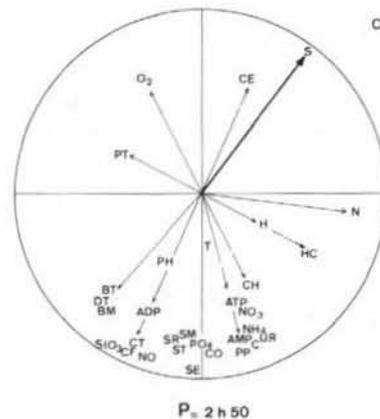
	T	S
T	1.00	.47
S	.46	1.00
O ₂	.17	.48
C	.07	.34
N	.14	.18
H	.14	.16
NH ₄	.09	.50
NO ₃	.62	.15
NO ₂	.18	.11
UR	.07	.28
PO ₄	.07	.28
SiO ₂	.26	.86
ST	.22	.57
SM	.24	.23
SR	.11	.39
DT	-.03	.45
PH	.17	.31
HC	-.02	.34
CH	-.05	.28
PP	-.19	.37
AMP	.28	.65
ADP	.22	.81
ATP	.19	.76
SE	.35	.79
CE	.58	.86
PT	.52	.81
BT	.59	.90
CF	.48	.84
CO	.63	.77
BM	.75	.66
BT	.69	.59

Cohérences carrées

P = 6 h 00



P = 8 h 50



P = 2 h 50

Figure 2

Analyses spectrales en composantes principales des séries détendancialisées des caractères « hydrologiques » pour les périodes 6 h (A), 8 h 50 (B) et 2 h 50 (C).

T, température ; S, salinité ; O₂, oxygène ; C, carbone ; N, azote ; H, hydrogène ; NH₄, ammonium ; NO₃, nitrates ; NO₂, nitrites ; UR, urée ; PO₄, phosphates ; SiO₃, silicates ; ST, seston total ; SM, seston minéral ; SR, seston organique ; DT, détergents ; PH, phénols ; HC, hydrocarbures ; CH, chlorophylle a ; PP, phéopigments ; AMP, ADP, ATP, adénosine mono, di, triphosphates ; SE, somme énergétique ; CE, charge énergétique ; PT, effectifs-phytoplanctoniques totaux ; CT, coliformes totaux ; CF, coliformes fécaux ; CO, entérocoques ; BM, bactéries marines ; BT, bactéries terrigènes.

Spectral principal components analyses of "hydrological" characteristics, after removal of the trend, for the periodicities 6 h (A), 8 h 50 (B) and 2 h 50 (C).

T, temperature ; S, salinity ; O₂, oxygen ; C, carbon ; N, nitrogen ; H, hydrogen ; NH₄, ammonium ; NO₃, nitrates ; NO₂, nitrites ; UR, urea ; PO₄, phosphates ; SiO₃, silicates ; ST, total seston ; SM, mineral seston ; SR, organic seston ; DT, detergents ; PH, phenols ; HC, hydrocarbons ; CH, chlorophyll ; PP, pheopigments ; AMP, ADP, ATP, adenosine mono, di, triphosphate ; SE, energetic sum ; CE, energetic load ; PT, total phytoplankton ; CT, total coliforms ; CF, faecal coliforms ; CO, enteric bacteria ; BT, terrestrial bacteria ; BM, marine bacteria.

plutôt qu'aux cellules phytoplanctoniques marines atteintes par la pollution.

Les positions des adénylates (AMP, ADP, ATP) ne peuvent être expliquées facilement du fait de l'origine variée de ces composés : débris végétaux et bactéries des eaux résiduaires (BT, CF, CT, CO) d'une part, phytoplancton et bactéries des eaux liguées (BM) d'autre part. Cependant les rapports de la charge énergétique (CE), indicatrice de l'état physiologique des populations échantillonnées, semblent plus caractériser le phytoplancton que les bactéries.

Étant donné le fort pourcentage exprimé par ce premier facteur, nous pouvons penser que la projection ici représentée est bien indicatrice des proximités entre groupes aux évolutions tranchées. La composante périodique de 6 h apparaît donc comme une composante fondamentale pour la quasi-totalité des paramètres échantillonnés, et est à relier, par le biais des phénomènes d'advection-diffusion, aux rythmes des activités humaines. Cependant à cette fréquence, l'opposition tranchée entre les deux principaux groupes de caractères ne permet pas de distinguer de liaison de cause à effet entre le phytoplancton et un caractère précis de pollution. Aussi, avons-nous analysé, fréquence par fréquence, l'éventuelle déstabilisation de la structure « hydrologique » décrite pour 6 h.

Les périodes présentées, 8 h 50 et 2 h 50, développent de l'énergie et/ou sont caractérisées par des plans complexes dont les valeurs propres 19,5 et 18,1 respectivement, sont proches de celle étudiée précédemment ($\lambda = 21,8$). Les projections (fig. 2 B et 2 C) présentent

globalement la même opposition des descripteurs. Cependant, on note l'incorporation de la température (T) et des nitrates (NO₃) au groupe caractérisant les eaux marines pour 8 h 50, tandis que la chlorophylle (CH) s'en dissocie pour 2 h 50. De plus, le rapprochement de l'ensemble des variables du centre de la projection traduit, à ces fréquences, une diminution de la cohérence entre les variables.

Le maintien d'une opposition de phase entre les deux groupes de caractères, pour des périodes prédominantes même éloignées, témoigne principalement de la prépondérance des processus d'advection-diffusion. Le retard constant des numérations phytoplanctoniques sur les variations de salinité, ne semble pas être imputable à un caractère de pollution unique mais à un ensemble de paramètres. On remarquera plus particulièrement l'opposition entre les effectifs phytoplanctoniques d'une part, et la charge seston à 6 h, l'urée, l'ammoniaque et les hydrocarbures à 2 h 50 et l'ammoniaque, les phénols et les détergents à 8 h 50, d'autre part.

CONCLUSION

L'hétérogénéité temporelle d'un des compartiments — les eaux usées rejetées — entraîne donc une hétérogénéité spatiale sur le compartiment naturel défilant devant la source de pollution. L'égoût apparaît alors comme un oscillateur, c'est-à-dire un opérateur qui va perturber les phénomènes naturels en imposant son évolution suivant un rythme maintenant connu.

Dans cette étude, les perturbations dues aux phénomènes physiques de l'advection-diffusion ont été mises en évidence, et leur action quantifiée au cours du temps. Cependant, le décalage de près d'1 h de la réponse des effectifs phytoplanctoniques aux variations périodiques de rejets, laisserait supposer « l'action retard » d'un caractère ou d'un groupe de caractères comme le seston, les polluants chimiques, voire les surcharges en certains sels minéraux; paramètre difficile à déterminer étant donné que l'impact d'un polluant quelconque sur les communautés phytoplanctoniques reste un domaine d'étude complexe. Ainsi, si nous choisissons l'exemple des hydrocarbures, leur seuil de toxicité létale pour 100 ppm (Nelson, Smith, 1970) est bien supérieur à la valeur maximale rencontrée dans notre étude (de l'ordre de 7 ppm). Cependant, des différences de sensibilité entre les espèces ont été mises en évidence

(Shiels *et al.*, 1973; Dennington *et al.*, 1975). Ainsi, la croissance est inhibée chez certaines algues pour des teneurs 10 fois plus faibles que le seuil létal (Dunstan *et al.*, 1975), tandis qu'elle est favorisée chez d'autres en présence de faibles quantités de certains hydrocarbures, de l'ordre de 0,003 à 0,05 ppm (Shiels *et al.*, 1973; Gordon, Prouse, 1973). En outre, à l'action individuelle d'un facteur s'ajoutent des phénomènes de synergie entre polluants. De nombreuses investigations restent donc à mener pour déterminer avec précision l'impact des eaux résiduaires, à court et à moyen termes, sur les populations phytoplanctoniques comme par exemple, l'individualisation et le suivi *in situ* au cours du temps d'éléments phytoplanctoniques au sein d'un sac à dialyse de grand volume soumis à l'action de différents teneurs de polluants.

RÉFÉRENCES

- Barlett M. S., 1953. *An introduction to stochastic processes with special reference to method and applications*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 362 p.
- Brillinger D. R., 1975. *Time series data analysis and theory*, International series in Decision Processes, H.R.W., New York, 500 p.
- Calmet D., 1980. Système pélagique perturbé par les activités humaines : stratégies de prélèvement et traitement mathématique des données, *Thèse Doct. Sci.*, Univ. Aix-Marseille II, 108 p.
- Calmet D., Blanc F., 1980. Échantillonnages et traitement des données (écosystèmes pélagiques perturbés), *V^e Journées Étud. Pollutions, Cagliari, CIESM*, 117-126.
- Calmet D., Durbec J. P., Blanc F., 1981. L'analyse spectrale en composantes principales. Application à l'analyse des paramètres hydrologiques d'une aire pélagique perturbée. *CR Acad. Sci. Paris*, ser. II, **293**, 303-307.
- Denman K. L., Platt T., 1975. Spectral analysis in ecology, *Ann. Rev. Ecol. System*, **6**, 189-210.
- Denman K. L., Platt T., 1976. The variance spectrum of phytoplankton in a turbulent ocean, *J. Mar. Res.*, **34**, 593-601.
- Dennington V. N., Georges J. J., Wyborn C. H. E., 1975. The effects of oils on growth of freshwater phytoplankton, *Environ. Pollut.*, **8**, 3, 233-237.
- Deveze L., 1959. Cycle biologique des eaux et écologie des populations planctoniques, *Rev. Trav. Stn Mar. Endoume*, **25**, 1-220.
- Dunstan W. M., Atkinson L. P., Natoli J., 1975. Stimulation and inhibition of phytoplankton growth by low molecular weight hydrocarbons, *Mar. Biol.*, **31**, 4, 305-310.
- Eisner E., 1971. Experiments in ecology : a problem in signal extraction 237-251, in : *Sampling and modelling biological populations and population dynamics*, *Statistical ecology*, vol. 2.
- Gordon D. C. Jr., Prouse N. S., 1973. The effect of three oils on marine phytoplankton photosynthesis, *Mar. Biol.*, **22**, 4, 329-333.
- Kelley J. C., 1972. A strategy for continuous multivariate analysis in oceanography, *Invest. Pesq.*, **36**, 175-178.
- Koopmans L. H., 1974. *The spectral analysis of time series*, Academic Press, New-York, 366 p.
- Laurec A., 1979. Analyse des données et modèles prévisionnels en écologie marine, *Thèse Doct. Sci.*, Univ. Aix-Marseille II, 1200 p.
- Minas H. J., 1963. Contribution préliminaire à l'étude hydrologique et hydro-dynamique du Golfe de Marseille, *Rec. Trav. Stn Mar. Endoume*, **43**, 3-16.
- Minas H. J., 1968. A propos d'une remontée d'eaux « profondes » dans les parages du Golfe de Marseille, *Cah. Océanogr.*, **20**, 647-673.
- Minas H. J., 1971. Observations hydrologiques dans le Golfe de Marseille (années 1961 à 1965), *Tethys*, **3**, 447-457.
- Nelson-Smith, 1970. The problem of oil pollution of the sea, *Adv. Mar. Biol.*, **8**, 215-306.
- Rouch H., 1941. Température et salinité de l'eau de mer à Marseille et à Monaco, *Bull. Inst. Océanogr. Monaco*, **801**, 15 p.
- Shields W. E., Goering J. J., Hood D. W., 1973. Crude oil phytotoxicity studies, *Institute Mar. Sci. Occas. Publ., Fairbanks, USA*, **3**, 411-446.
- Travers M., 1971. Le microplancton du Golfe de Marseille : études quantitative, structurale et synécologique; variations spatio-temporelles, *Thèse Doct. Sci.*, Univ. Aix-Marseille II, 596 p.
- Travers A., Travers M., 1972. Données sur quelques facteurs de l'écologie du plancton dans la région de Marseille II. La température, les précipitations, la stabilité et la circulation des eaux, *Tethys*, **4**, 515-534.
- Vacelet E., 1969. Populations phytoplanctoniques et bactériennes et cycle du phosphore et de l'azote dans l'eau de mer littorale et les flaques supra-littorales du Golfe de Marseille, *Tethys*, **1**, 5-118.

