

Répartition et organisation des foraminifères actuels dans le golfe de Kalloni (Grèce)

Foraminifères
Paralique
Confinement
Grèce
Actuel

Foraminifera
Paralic
Confinement
Greece
Present

Anouk FAVRY^a, Olivier GUELORGET^b, Jean-Pierre DEBENAY^c,
Anne LEFÈBVRE^a et Jean-Pierre PERTHUISOT^d

^a Laboratoire d'Hydrobiologie Marine, E.P.H.E, UM II, Place E. Bataillon,
34095 Montpellier Cedex, France.

^b Laboratoire d'Hydrobiologie Marine, UMR 5556, UM II, Place E. Bataillon,
34095 Montpellier Cedex, France.

^c Laboratoire de Géologie, Faculté des Sciences, Université d'Angers, 49045
Angers Cedex. (EAD 1708), France.

^d Laboratoire de Biogéologie, Université de Nantes, 2, rue de la Houssinière,
44072 Nantes Cedex 03. (EAD 1708), France.

Reçu le 25/07/95, révisé le 22/03/96, accepté le 10/04/96.

RÉSUMÉ

Cette étude initie une recherche plus générale sur les foraminifères actuels du domaine paralique méditerranéen. Le golfe de Kalloni (Grèce) a été choisi parmi ces écosystèmes pour son caractère marin très prononcé. La répartition et l'organisation des foraminifères sont étudiées grâce à différentes méthodes d'étude des peuplements (densité, richesse spécifique, indice de Shannon, analyse factorielle des correspondances, représentation de la dominance).

Tous les résultats concordent pour montrer que la répartition de ces peuplements se fait selon deux gradients : un gradient longitudinal, le plus important, et un gradient transversal. Cette répartition ne présente pas les corrélations habituellement observées avec les teneurs en fractions fines et en matière organique du sédiment. Il semble que ces gradients soient à mettre en relation avec le confinement (taux de renouvellement des eaux d'origine marine en un point du système).

Ainsi, cette étude montre la pertinence des foraminifères en tant que bioindicateurs de l'organisation des milieux paraliques méditerranéens.

ABSTRACT

Distribution and organisation of present foraminifera in Kalloni Bay (Greece).

As part of a global investigation of foraminifera importance in the Mediterranean paralic realm, the distribution of present foraminifera in Kalloni Bay was studied through species determination and counting. From these basic data, density, species richness, Shannon Index and dominance were calculated for several stations covering the whole basin. In addition, a factorial analysis of correspondances between stations and species assemblages was performed.

All these methods concur in showing that the organization of foraminifera populations follows a principal longitudinal gradient from the entrance towards the most continental reaches and a subsidiary transverse gradient. When compared

with sedimentological data, the distribution of foraminifera does not display the usual correlation with organic matter or fine fraction contents of sediments. Thus, it seems that the organization of foraminifera populations in Kalloni Bay must be principally related to confinement.

The present study confirms the interest and relevance of foraminifera populations as bioindicators for the understanding of the organisation of paralic basins.

Oceanologica Acta, 1997, 20, 2, 387-397.

INTRODUCTION

Les foraminifères benthiques des systèmes paraliqes actuels ont été peu étudiés mais les études qui ont été faites, en Méditerranée et ailleurs, sont riches d'enseignements, tant dans les relations de ces organismes avec la dynamique sédimentaire des bassins qu'avec les champs de confinement (Medhioub *et al.*, 1981 ; Debenay *et al.*, 1989, 1993 ; Perthuisot *et al.*, 1990 *a* et *b*). D'autre part, la récolte et l'étude de ces organismes mettent en œuvre des techniques simples et peu onéreuses. Il est donc apparu logique d'entreprendre une analyse approfondie de la distribution des foraminifères dans les divers systèmes paraliqes du pourtour de la Méditerranée, berceau des concepts de domaine paraliqes et de confinement. C'est dans ce cadre de recherches (Thèse de A. Favry, en cours) que s'inscrit ce premier travail.

Les foraminifères benthiques actuels de la mer Méditerranée ont fait l'objet d'études diverses (Le Calvez et Le Cal-

vez, 1951 ; Kurc, 1961 ; Roux, 1964 ; Lévy, 1970 ; Zaninetti, 1982 ; Venec-Peyre, 1984 ; Albani, 1991). La plupart sont essentiellement descriptives et peu d'entre elles concernent le domaine paraliqes (Guelorget et Perthuisot, 1983). La présente étude concerne les foraminifères dans le golfe de Kalloni (Lesbos-Grèce) (Fig. 1).

En effet, dans cette étude globale sur les foraminifères paraliqes méditerranéens, la sélection des sites se fonde sur leur représentativité des différents modèles d'écosystèmes et éventuellement sur leur originalité. La baie de Kalloni a été choisie en tant que modèle du type « bahira » (Perthuisot et Guelorget, 1992) pour sa situation dans le bassin oriental méditerranéen, et surtout pour son caractère marin très marqué, lié à une hydrodynamique originale gérée par un régime permanent et alternatif des vents.

La présente étude vise à décrire les peuplements de foraminifères et leur répartition au sein de la baie de Kalloni et à rechercher leur place dans l'organisation biogéologique du système.

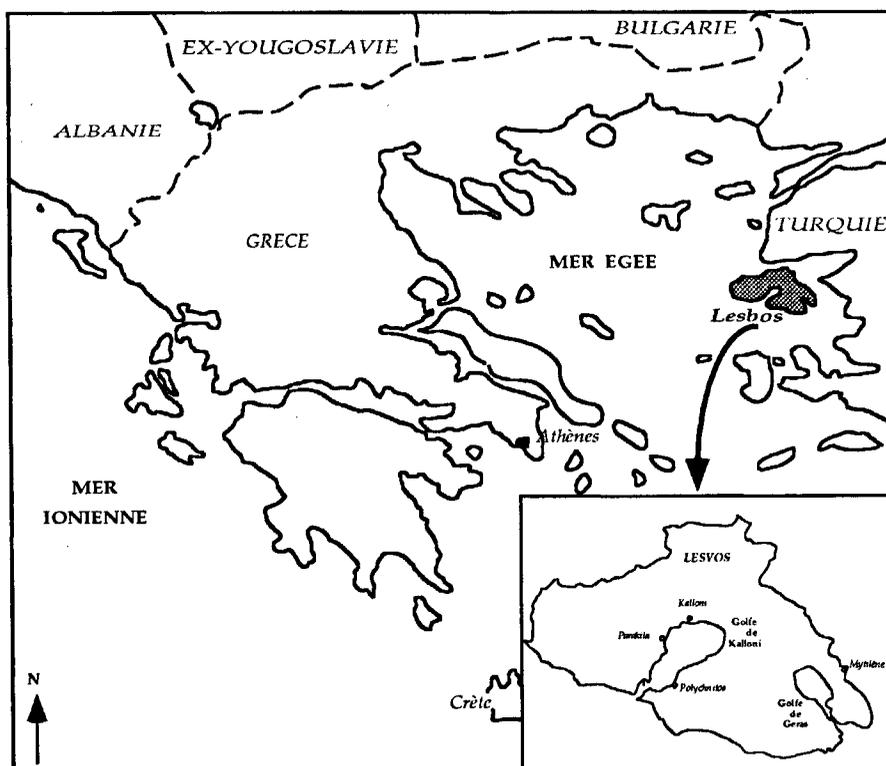


Figure 1

Localisation de l'île de Lesbos et du golfe de Kalloni dans la mer Égée.

Situation of Lesbos island and Kalloni Bay in the Aegean sea.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Prélèvement des échantillons

Plusieurs campagnes d'échantillonnages des sédiments ont été effectuées dans le cadre pluridisciplinaire intégré de la baie de Kalloni. Cette première étude concernant les foraminifères s'appuie sur les résultats obtenus lors de la campagne d'avril 1993. Les prélèvements de sédiment ont été effectués en dix sept stations qui se répartissent sur l'ensemble du bassin (Fig. 2) ; une des stations a été intentionnellement localisée sous les cages flottantes d'une ferme piscicole afin d'évaluer l'impact de la matière organique issue des élevages sur le milieu benthique.

Les échantillons ont été récoltés à l'aide d'une benne Eckman manipulée en plongée. Seule, la partie superficielle du sédiment, correspondant grossièrement aux deux premiers centimètres, est conservée puis fixée à l'alcool sur le terrain. Au laboratoire, 25 cm³ de ces échantillons de sédiment sont lavés sur un tamis de 50 µm puis séchés à l'étuve.

Paramètres des eaux

La température, la salinité (obtenue à partir de la conductivité) et le pH ont été mesurés à l'aide d'une sonde multi-paramètres Horiba. Les biomasses chlorophylliennes ont été évaluées selon la méthode classique de Lorenzen (1966).

Paramètres des sédiments

Les sédiments ont été observés à la loupe binoculaire. Leur granulométrie a été appréciée par séparation sur un tamis à 40 µm. Les teneurs en carbonates ont été évaluées par attaque acide et pesées, les teneurs en matière organique par la perte au feu à 450 °C pendant quatre heures.

Étude de la microfaune

Les foraminifères ont été isolés par flottation sur du tétrachlorure de carbone. Après l'évaluation du nombre total

des tests, un comptage par espèce a été réalisé sur 100 à 300 individus en fonction de la richesse spécifique de l'échantillon. Un comptage du nombre total d'espèces par échantillon vient compléter cette analyse. L'utilisation du même volume initial de sédiment (25 cm³) permet une comparaison quantitative des échantillons (Debenay *et al.*, 1987).

Dans le cadre de cette étude, seules les 27 espèces les plus représentatives en raison de leur fréquence et/ou de leur abondance ont été prises en considération pour les études détaillées. L'ensemble des espèces recensées sera décrit dans une publication ultérieure.

Les observations sont faites sur les peuplements totaux, c'est-à-dire biocénoses et thanatocénoses confondues. Comme l'échantillonnage concerne seulement la partie la plus superficielle des sédiments, il est permis de considérer que les individus morts et les individus vivant présents *in situ* font partie intégrante d'une même communauté. En raison des cycles saisonniers de la reproduction des foraminifères, cette étude est plus significative que celle de la seule biocénose et donne ainsi une image moyenne des peuplements actuels, intégrant les fluctuations saisonnières.

En outre, les peuplements recensés peuvent comporter des individus allochtones résultant du transport *post mortem* des tests (Debenay, 1984). Les effets de ce transport se manifestent par la présence de quelques tests planctoniques à l'intérieur de la baie ou par celle de rares thécamœbiens (organismes d'eau douce) jusque dans la zone de communication avec la mer.

Cartographie

Les contours cartographiques ont été tracés à la main à partir des données obtenues à chaque station et en tenant compte des observations de terrain. Cette méthode est toujours bien meilleure que de laisser le soin à l'ordinateur de le faire.

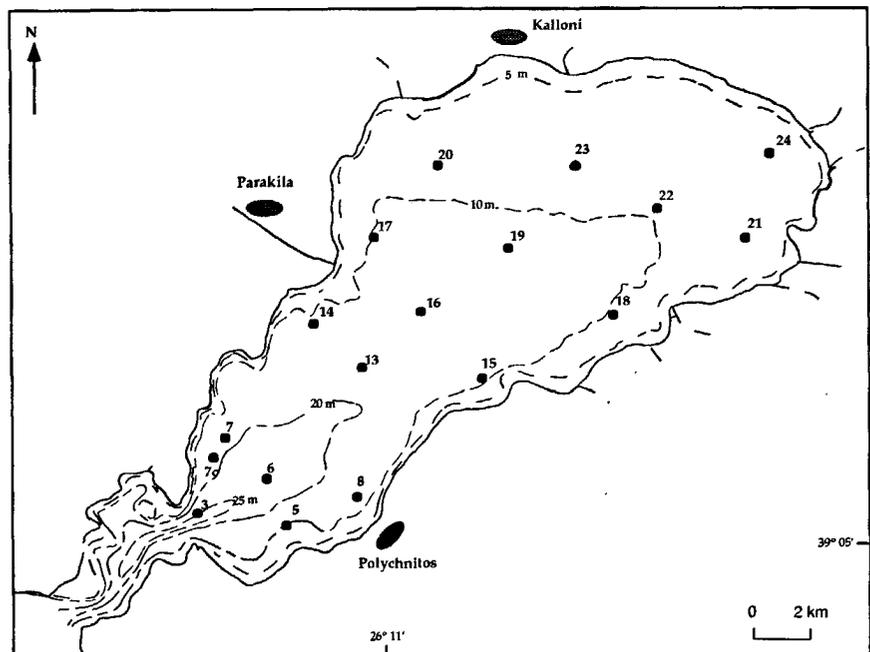


Figure 2

Situation des stations de prélèvements et de mesures dans le golfe de Kalloni. Isobathes en mètres.

Situation of samplings and measurements stations in Kalloni Bay. Depths in metres.

LE SITE

Situation géographique

Le golfe de Kalloni se trouve au sud de l'île de Lesbos située en mer Egée à 300 km au nord-est d'Athènes (Fig. 1). C'est une île montagneuse qui culmine à 968 m. Divisée en deux parties d'origines et de structures géologiques différentes, elle est constituée de roches volcaniques au nord et à l'ouest et de roches métamorphiques au sud-est (Kelepertsis et Chatsidimitriadis, 1983). Trois villages (Polychnitos, Kalloni et Parakila) sont installés sur le pourtour de la baie.

Climat

Le climat, typiquement méditerranéen, est caractérisé par l'alternance de deux saisons. Durant la saison chaude (de mai à septembre) les précipitations sont pratiquement nulles et les températures sont maximales, caractérisant ainsi une période de sécheresse. En saison froide (de novembre à mars), les précipitations sont maximales, les températures modérées, rarement rigoureuses. Les températures moyennes mensuelles varient de 9 °C (janvier) à 27 °C (juillet) ; la pluviométrie moyenne est de 700 m/an.

Le régime des vents est caractérisé par l'alternance de vents violents de secteur nord-est et de secteur sud-ouest qui suivent l'axe longitudinal de la baie. Les vents de secteur sud-ouest soufflent principalement en hiver, ceux de secteur nord/nord-ouest dominant tout l'été.

Morphologie

Le golfe de Kalloni est une ancienne vallée envahie par la mer lors de la dernière transgression holocène ; il se rattache donc au type « bahira » selon la classification proposée par Perthuisot et Guelorget (1992). De forme allongée et d'une superficie d'environ 13 000 ha, il est orienté SO-NE (Fig. 2). Sa longueur maximale est de 20 km et sa largeur moyenne de 7 km. Le versant nord-ouest de la baie,

d'origine volcanique, est très abrupt. Il forme une côte rocheuse interrompue par des zones d'accumulations sédimentaires dues à des rivières intermittentes. La rive nord/nord-est est une vaste plaine sédimentaire alimentée par quelques cours d'eau. Du sud-est au sud-ouest de la baie se succèdent des falaises, des plages de galets, de gravier et enfin de sable au voisinage de la passe. Les apports, issus du vaste bassin versants sont peu importants en volume car les rivières et ruisseaux aboutissant dans la lagune sont intermittents et ne s'écoulent de façon significative qu'au cours des périodes de fortes pluies.

Le golfe comporte deux bassins. Le bassin sud, situé immédiatement au débouché de la passe, a une largeur d'environ 4 km et une profondeur de l'ordre de 20 m, exceptionnelle en milieu paralytique méditerranéen. Le bassin nord, beaucoup plus large (10 km d'une rive à l'autre), a une profondeur plus modérée, de l'ordre de 10 m dans sa partie centrale.

La baie communique en permanence avec la mer par une passe fixe, large d'environ 1 km, entaillée par un chenal étroit et profond (25 m environ). La caractéristique principale de cette passe est l'absence de seuil. Ceci joue un rôle primordial dans les échanges avec la mer (renouvellement rapide des eaux de la baie) et dans l'organisation hydrologique du système (absence de stratification).

Ces caractéristiques (forte bathymétrie, absence de seuil) en font un modèle original, en tous cas peu courant, dans le domaine paralytique méditerranéen (Lefèbvre, 1993).

CARACTÉRISTIQUES HYDROLOGIQUES

Températures

Les moyennes mensuelles des températures des eaux relevées aux différentes stations suivent étroitement les variations de la température atmosphérique. Les eaux du golfe de Kalloni présentent des valeurs moyennes comprises entre 7 °C pendant les mois les plus froids (janvier, février) et 26 °C en été (juillet, août) (Fig. 3). Quelle que soit la période de l'année, les températures s'organisent selon un gradient qui s'établit de la passe vers les zones les plus continentales (selon l'axe longitu-

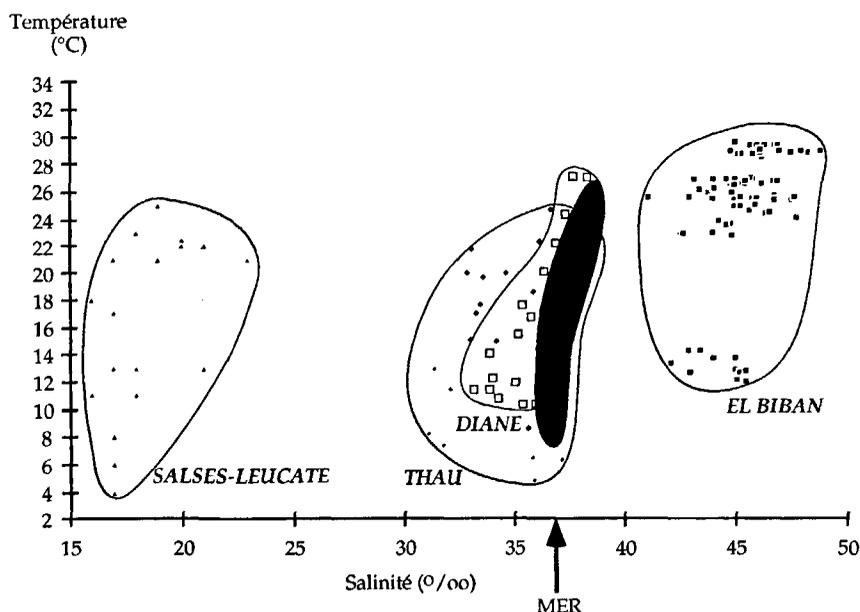


Figure 3

Positionnement de quelques « bahiras » méditerranéennes sur un diagramme température/salinité.

● Golfe de Kalloni

Plotting of some Mediterranean 'bahiras' on a salinity/temperature diagram.

dinal de la baie). Ce gradient, généralement peu marqué, est positif en période chaude et s'inverse en hiver. Les écarts de température entre le fond et la surface sont extrêmement faibles et manifestent l'absence de stratification des eaux (Lefèbvre, 1993).

Salinités

L'évolution annuelle de la salinité sur l'ensemble de la baie montre que les eaux restent relativement homogènes et proches des valeurs de l'eau de mer (Fig. 3). La salinité se tient autour de 37. Comme la température, la salinité s'organise selon un gradient longitudinal (depuis la mer vers les confins), positif en été et négatif en hiver avec une amplitude maximale de l'ordre de 5 unités. Cependant, dans certaines conditions climatiques (fortes pluies) le bassin peut présenter momentanément une légère stratification des eaux (Lefèbvre, 1993).

pH

Les valeurs moyennes du pH, aux différents points du bassin, évoluent autour de 7,5 avec un maximum pendant l'été pouvant atteindre 8,5. Cette augmentation estivale correspond aux développements phytoplanctoniques. Contrairement aux températures et salinités, le pH ne présente pas de gradient longitudinal, de la mer vers les zones plus continentales ; il montre une certaine homogénéité sur l'ensemble du bassin. Cependant, durant l'hiver, les valeurs relevées en surface sont légèrement plus élevées que celles du fond.

Il apparaît donc que les caractéristiques des eaux du golfe de Kalloni (température, salinité, pH) sont proches de celles de l'eau de mer quelle que soit la période de l'année et indépendamment des conditions climatiques.

De ce fait, le golfe de Kalloni peut être rattaché aux environnements de type marin ouvert (Fig. 3).

Biomasses chlorophylliennes

L'ensemble de la baie de Kalloni présente des biomasses chlorophylliennes de l'ordre de 1 mg/m^3 tout au long de l'année, sauf en période de poussées estivales où elles peuvent atteindre 10 mg/m^3 (juillet, août) (Lefèbvre, 1993). Ces valeurs apparaissent peu élevées si on les compare avec celles recensées dans d'autres lagunes méditerranéennes (Frisoni, 1984). Les taux de phéophytine, qui renseignent sur l'état physiologique des populations phytoplanctoniques, restent faibles, traduisant la vitalité des peuplements et le bon renouvellement des eaux. Ainsi les caractéristiques phytoplanctoniques sont étroitement apparentées à celles d'un écosystème de type marin à caractère oligotrophe.

Hydrodynamique

Ce caractère marin très affirmé du golfe de Kalloni est intimement lié à l'hydrodynamique de l'écosystème. Le renouvellement des eaux de la baie est assuré par l'action

conjuguée des vents et de la marée (Millet, 1992), même si le marnage reste faible en Méditerranée. Les vents dominants de secteur N/N-O, engendrent une circulation des eaux privilégiée dans le golfe de Kalloni. D'une manière générale, par vent de secteur nord, les eaux marines pénètrent dans la lagune par la zone centrale lors du flot et en sortent le long des côtes lors du jusant. Par vent de secteur nord-ouest une circulation giratoire des eaux se produit dans les deux bassins, créant un brassage et une homogénéisation rapide de la colonne d'eau (Fig. 4). Par vent de secteur sud, les eaux marines entrent dans la baie le long des rives et sortent par la région centrale. La permanence et l'intensité des mouvements d'eau au sein de la baie, expliquent que le golfe de Kalloni soit un milieu homogène et non stratifié.

LES SÉDIMENTS

Minéralogie et granulométrie

L'étude des sédiments superficiels de la baie de Kalloni a été abordée par Kelepertsis et Chatsidimitriadis (1983) ainsi que par Tassos (1977). Ces recherches concernent plus particulièrement la composition minéralogique de la couverture sédimentaire. Il en ressort clairement que les minéraux les mieux représentés sont le quartz, le feldspath (andésite), les minéraux argileux (montmorillonite, illite, kaolinite) et les carbonates (calcite magnésienne et aragonite). Il apparaît également que les sédiments sont formés en grande partie par des vases carbonatées, biogéniques.

L'ensemble des fonds du golfe de Kalloni est constitué de sédiments meubles pouvant être classés parmi les vases et les vases sableuses (Roux, 1964). On rencontre les plus fortes proportions en fraction grossière ($40 \mu\text{m}$ -2 mm) près des côtes nord-est et sud ; en revanche, au centre des bassins la fraction fine domine (Fig. 5), ce qui est le cas classique des bassins lagunaires et s'explique par le vannage des berges à faible bathymétrie et le lessivage des particules fines dans les bas fonds.

Carbonates

Les taux de carbonate sont variables sur l'ensemble du golfe ; ils résultent pour l'essentiel de l'activité biologique de l'écosystème. Les teneurs, faibles dans le premier bassin et la partie nord du second, sont comprises entre 5 et 18 %. Dans le reste du bassin les taux de carbonates sont compris entre 20 et 30 %. Seules les stations 5 et 21 se singularisent avec des teneurs respectives de 65 % et de 80 %. Ces taux importants semblent résulter de l'accumulation préférentielle de matériel biogénique dans ces zones du golfe comme cela a déjà été constaté dans d'autres milieux (Medhioub, 1979).

L'importance de la phase argileuse n'a pas permis une étude quantitative des diverses espèces minérales de carbonates, qui forment toutefois une paragenèse classique en milieu lagunaire, avec l'aragonite, la calcite peu magnésienne et une ou plusieurs calcites très magnésiennes (Perthuisot *et al.*, 1990a).

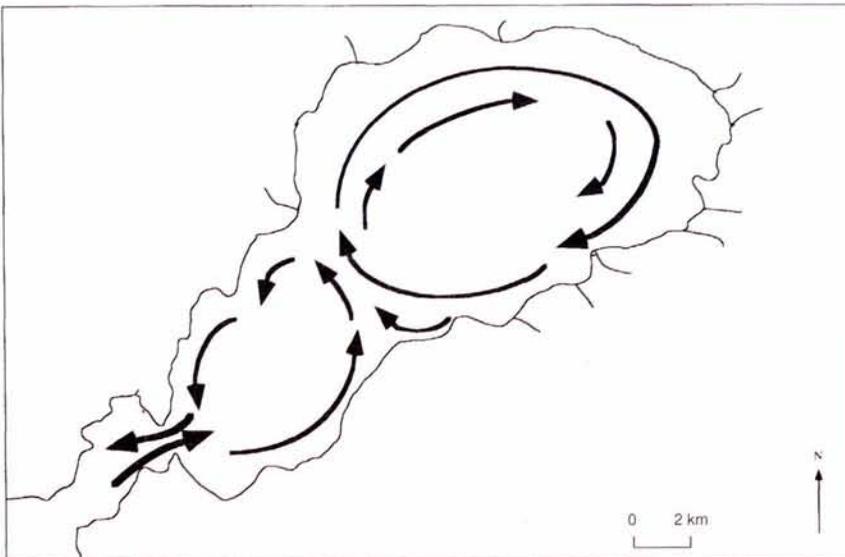


Figure 4

Schéma de la circulation des masses d'eau par vents dominants du secteur N/NO dans le golfe de Kalloni.

Sketch map of the water circulation in Kalloni Bay under conditions of northerly and northwesterly winds.

Matière organique

Le taux de matière organique, faible sur l'ensemble du bassin, est compris entre 4 et 10 %, ce qui est peu fréquent en milieu paralytique méditerranéen, mais s'explique ici par l'influence marine exceptionnelle et le caractère oligotrophe de ce milieu (Fig. 6). Ces données sont proches de celles recueillies par Tassos (1977) qui situe les pourcentages de matière organique sur l'ensemble du golfe entre 7 et 10 %. De plus, les rejets anthropiques sont très limités. Toutefois, on constate une augmentation du taux de matière organique au niveau de la station 8, soumise aux rejets de la petite ville de Polychnitos, et dans la zone sud du golfe à la station 6. Cet engraissement organique peut provenir, d'une part, des cages d'élevages de la ferme aquacole (station 7c) et, d'autre part, de la sédimentation accélérée des particules organiques due au ralentissement brutal des masses d'eau au niveau même de la passe. Enfin, la circulation giratoire qui s'effectue dans les deux bassins par vent dominant de secteur nord-

ouest (Fig. 4), crée des zones d'accumulations centrales (station 6 et 23) et une zone de confrontation entre les deux bassins (station 16).

MACROFLORE BENTHIQUE

Les herbiers de phanérogames colonisent seulement la périphérie du golfe sur une étroite bande. On rencontre successivement à partir des rives, *Zostera noltii*, *Cymodocea nodosa* et *Zostera marina*. La majorité des fonds est dépourvue de végétation macrophytique. Ainsi, les dix-sept stations échantillonnées se trouvent en dehors des zones colonisées par les herbiers de phanérogames.

LES PEUPELEMENTS DE FORAMINIFÈRES

Quatre-vingt-dix espèces de foraminifères ont été recensées dans le golfe de Kalloni. La plupart ont été signalées en d'autres points de la Méditerranée (Kurc, 1961 ; Levy, 1970 ; Zaninetti, 1982 ; Albani, 1991).

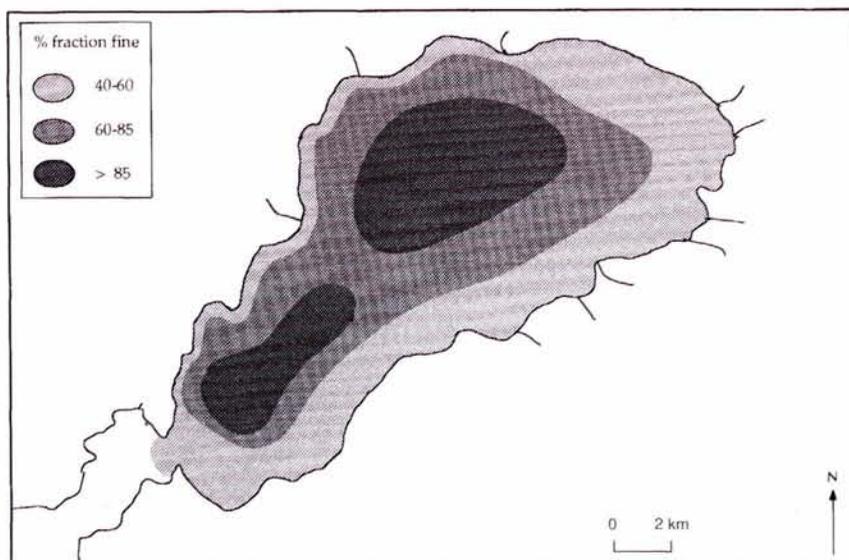


Figure 5

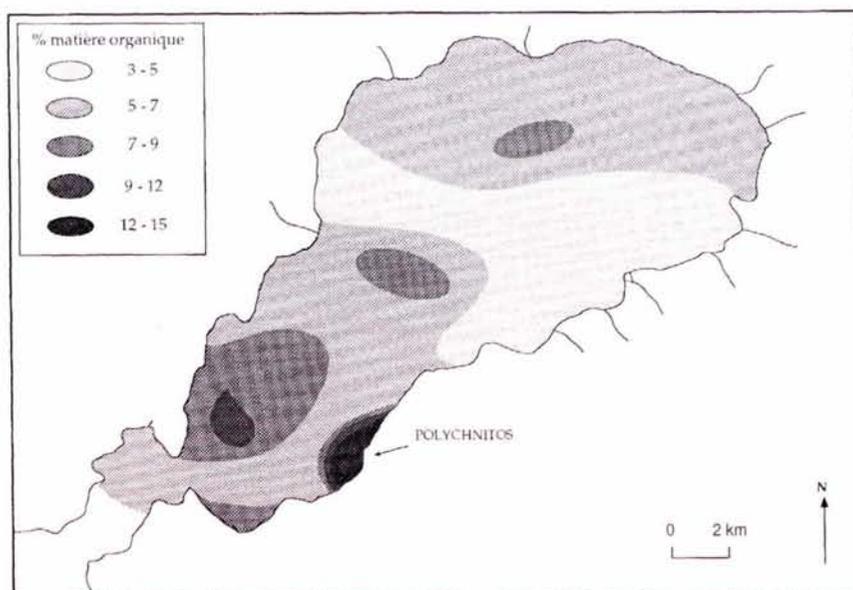
Carte de répartition de la fraction fine (< 40 μm) des sédiments superficiels. Valeurs en %.

Map of the distribution of the fine fraction of surficial sediments. Values in %.

Figure 6

Carte de répartition de la matière organique (perte au feu à 450 °C) dans le golfe de Kalloni.

Map of the distribution of sedimentary organic matter in Kalloni Bay. Values in % fire loss at 450 °C.



Densité et richesse spécifique

La répartition quantitative des peuplements de foraminifères n'est pas homogène sur l'ensemble du golfe. La densité varie de 150 à 15 000 tests pour 25 cm³ de sédiment (Fig. 7).

Les densités les plus importantes (10 000 à 15 000 individus pour 25 cm³ de sédiment) s'observent à proximité de l'embouchure (station 3) ainsi qu'à la périphérie, sur la côte sud (station 18) et au nord-ouest (stations 14). Les densités les plus faibles (150 à 1 000 individus pour 25 m³ de sédiment) se rencontrent dans la zone centrale nord, en fond de baie et sous les cages de la station piscicole. La richesse spécifique des différentes stations (Fig. 8) varie de 9 (station 21) à 35 (station 3). Les stations qui ont la plus grande richesse spécifique sont généralement celles qui présentent les densités les plus fortes. Cependant, la station 13 offre des caractéristiques exceptionnelles et se singularise par une forte richesse spécifique (23 espèces) et une faible densité (400 individus pour 25 cm³ de sédiment).

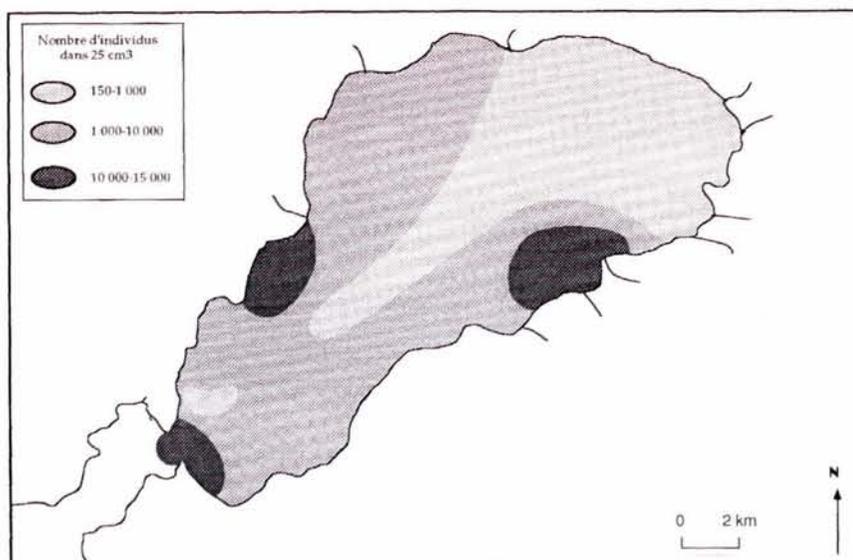
Les peuplements de foraminifères semblent donc se répartir selon deux gradients le long desquels les densités et les richesses spécifiques diminuent. Le premier est longitudinal et s'établit de la passe vers le fond du golfe. Le second est transversal et s'établit des rives vers la zone centrale. Ces gradients de répartition ne semblent pas être en relation avec le taux de fraction fine dans le sédiment (Fig. 5) ni avec le taux de matière organique (Fig. 6). La profondeur ne semble pas avoir davantage d'influence (Fig. 2). Il semble que ces gradients soient à mettre en relation, d'une part, avec le confinement (caractérisé notamment par la diminution de l'influence marine) et, d'autre part, avec le fonctionnement hydrodynamique du golfe.

Il est intéressant de souligner que l'étude des densités et des richesses spécifiques permet de mettre en évidence l'impact des cages de la ferme piscicole sur les peuplements de foraminifères. En effet, on perçoit une nette diminution de la densité et de la richesse spécifique dans cette zone.

Figure 7

Répartition de la densité des foraminifères en nombre d'individus dans 25 cm³ de sédiment.

Distribution of the density of foraminifers (number of individuals within 25 cm³ sediment).



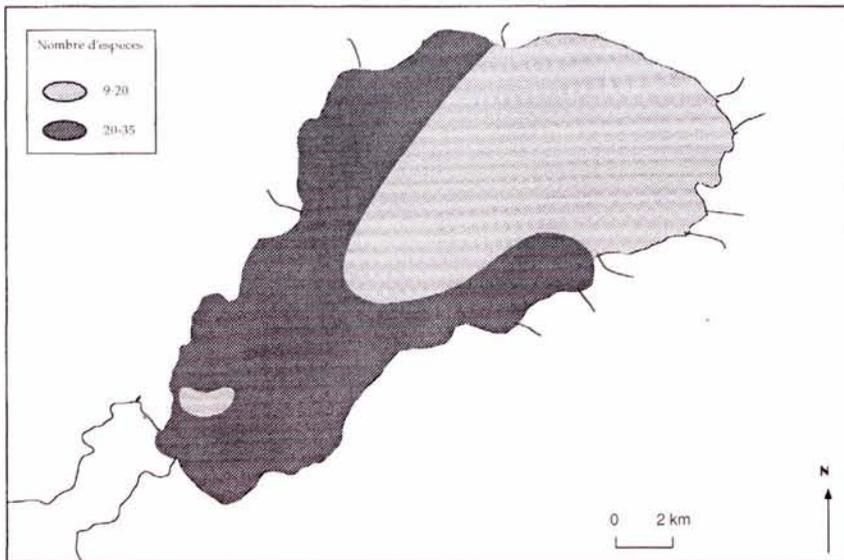


Figure 8

Répartition de la richesse spécifique des foraminifères en nombre d'espèces dans 25 cm³ de sédiment.

Distribution of the specific richness of foraminifers (number of species within 25 cm³ sediment).

Indice de diversité

L'analyse de l'indice de diversité de Shannon (Fig. 9) confirme ces observations. Cet indice est de l'ordre de 4,4 à l'embouchure de la baie et aux stations périphériques 11, 15 et 18. Il diminue dans la partie centrale et nord du bassin, pour atteindre des valeurs minimales de 2,5 (en moyenne) en fond de baie ainsi qu'à la station 7c, située sous les cages de la ferme aquacole.

Composition et organisation des peuplements

Les formes hyalines (*Rotaliina*) prédominent en richesse spécifique et en densité avec 53 espèces. D'une manière générale, très peu de foraminifères agglutinés (*Textulariina*) ont pu être observés dans le golfe de Kalloni. Seuls quelques rares tests de *Miliammina* et de *Trochammina inflata* ont été recensés dans les zones marginales. Cette caractéristique semble commune à la plupart des milieux

paraliques méditerranéens où les formes agglutinées sont plus fréquentes dans les zones très confinées telles que les tapis cyanobactériens, d'extension généralement limitée (Zaninetti, 1982). On les retrouve également sur les côtes tempérées de l'Atlantique (Scott *et al.*, 1990) ainsi que dans les lagunes et estuaires africains (Debenay, 1990).

L'organisation des peuplements a été étudiée à l'aide d'une analyse factorielle des correspondances (Rosset-Moulinier et Roux, 1977) effectuée à partir de l'abondance des 27 espèces ou genres les plus représentés dans le golfe de Kalloni. Cette analyse a été réalisée à partir d'un tableau de répartition en pourcentages relatifs des espèces sélectionnées. Trois assemblages ont ainsi pu être individualisés (Fig. 10) ; ceux-ci semblent se répartir en fonction de l'intensité de l'influence marine.

Le premier assemblage (1) correspond aux échantillons prélevés dans l'ensemble du premier bassin (directement sous influence marine) excepté aux stations 8 et 7c qui semblent anormales. Cet assemblage est essentiellement caractérisé par *Valvulinera* spp., *Porosonion* sp. et *Nonionella* spp. qui sont les trois principaux genres asso-

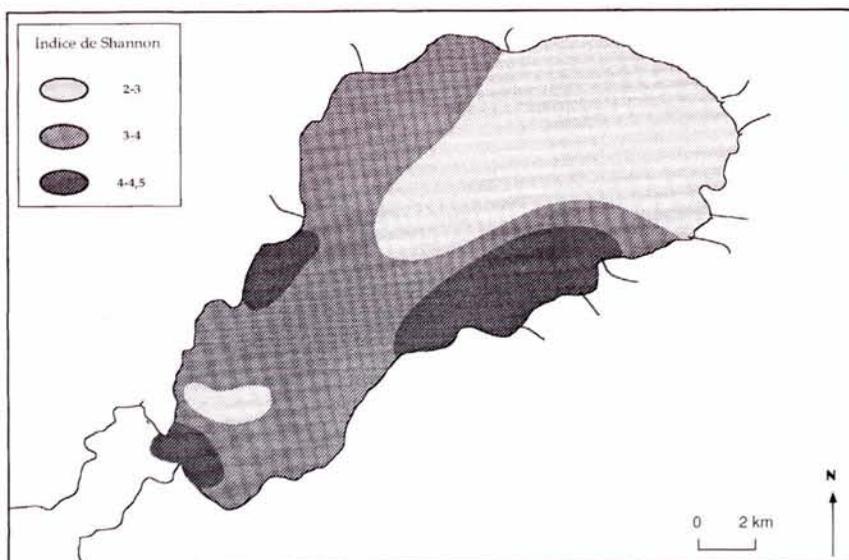


Figure 9

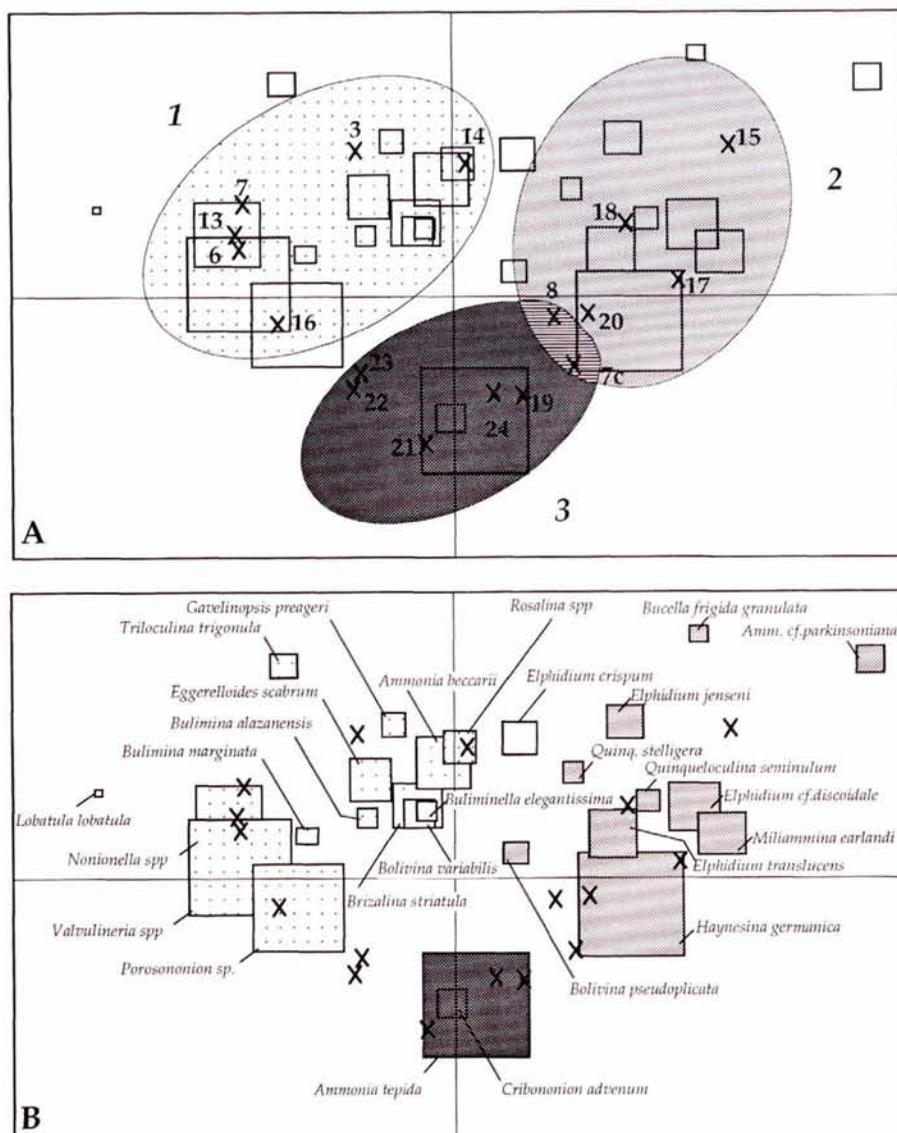
Distribution de l'indice de Shannon pour les foraminifères dans le golfe de Kalloni.

Distribution of the Shannon index for foraminifers in Kalloni Bay.

Figure 10

Analyse factorielle des correspondances. A : stations ; B : espèces.

Factorial analysis of correspondances. A: stations; B: species.



ciés à *Bulimina marginata*, *Bulimina alazanensis*, *Brizalina striatula*, *Brizalina variabilis*, *Ammonia beccarii*, *Rosalina spp.*, *Gavelinopsis praegeri*, *Triloculina trigonula*, *Lobatula lobatula*, *Eggerelloides scabrum* et *Buliminella elegantissima*.

Le deuxième assemblage (2) concerne les stations de la partie méridionale du second bassin. Ce groupe se situe dans les zones où l'influence marine semble moins prononcée ; il est dominé par *Haynesina germanica* à laquelle s'associent *Bolivina pseudoplicata*, *Elphidium translucens*, *Miliammina earlandi*, *Elphidium cf. discoidale*, *Quinqueloculina seminulum*, *Quinqueloculina stelligera*, *Elphidium jenseni*, *Ammonia cf. parkinsoniana* et *Buccella frigida granulata*.

Le troisième assemblage (3) comprend les stations situées en fond de golfe. Ces stations peuvent être considérées comme les moins renouvelées en eau d'origine marine, donc les plus confinées dans le sens de Guelorget et Perthuisot (1992). En effet, c'est dans cette partie du bassin que l'influence marine est la plus modérée. Ce troisième assemblage ne comprend que deux espèces : *Ammonia tepida*, largement dominante, associée à *Elphidium advenum*.

Ainsi, l'étude des principales associations spécifiques par l'analyse factorielle des correspondances montre que ces assemblages se répartissent suivant une zonation longitudinale de la mer vers le fond du golfe. De plus, elle met en évidence l'impact des apports organiques d'origine anthropique aux stations 7c et 8.

La répartition en dominance des espèces sur l'ensemble du bassin (Fig. 11) montre nettement la sensibilité de la microfaune au confinement. En effet, on constate dans le premier bassin que les espèces dominantes sont variables selon la station considérée, mais au-delà, dès que l'influence marine diminue, une seule et même espèce prédomine. Dans toute la zone intermédiaire, qui correspond grossièrement à la partie médiane du bassin, *Haynesina germanica* est l'espèce la mieux représentée alors que dans tout le fond de la baie c'est *Ammonia tepida* qui domine.

Il faut souligner que les stations 7c et 8, qui se situent bien dans la partie du bassin sous influence marine directe mais qui subissent l'impact des rejets anthropiques, présentent la même espèce dominante qu'en fond de baie, indicatrice d'un certain confinement. Ainsi, les apports en excès de

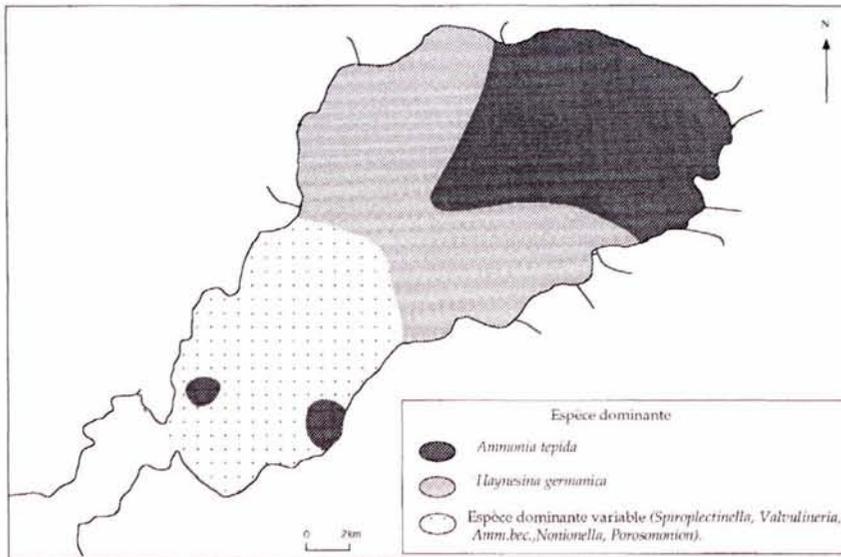


Figure 11

Carte de répartition de l'espèce dominante pour chaque station.

Map of the distribution of the dominating species in each station.

matière organique entraînent, pour les foraminifères, une modification qualitative et quantitative des peuplements identique à celle produite par l'augmentation naturelle du confinement.

Ainsi, la diminution de l'influence marine se traduit non seulement par la diminution de la richesse spécifique et, dans la majorité des cas, de la densité, mais aussi par la modification de la composition des peuplements et l'apparition d'espèces dominantes caractéristiques d'un certain niveau de confinement. Il apparaît donc, que les peuplements de foraminifères présentent une organisation qui s'apparente à la zonation biologique décrite par la macrofaune benthique en domaine paralytique méditerranéen et induite par le confinement (Guelorget et Perthuisot, 1983, 1984, 1992 ; Perthuisot et Guelorget, 1983).

L'étude d'autres types de milieux paralytiques méditerranéens devrait permettre de confirmer l'existence d'une telle organisation de la microfaune, de préciser la place des principales espèces dans la zonation, de définir les gradients qualitatifs et quantitatifs éventuels, et de déterminer les interrelations avec les autres compartiments biologiques. Il est permis aujourd'hui de penser que cette organisation zonale des foraminifères peut être une des caractéristiques des systèmes paralytiques, compte tenu de la pertinence des résultats obtenus sur le golfe de Kalloni et au regard des connaissances actuelles concernant l'ensemble du domaine paralytique.

CONCLUSION

Cette étude nous a permis de constater que l'un des traits les plus marquants de la microfaune des foraminifères du golfe de Kalloni est le nombre d'espèces qui s'avère très élevé en comparaison avec la richesse spécifique jusque là recensée dans les autres écosystèmes paralytiques méditerranéens (Le Calvez et Le Calvez, 1951 ; Albani *et al.*, 1984 ; Venec-Peyre, 1984). Il faut cependant préciser, qu'une telle comparaison apparaît délicate puisque le golfe de Kalloni s'individualise par sa forte originalité au regard des autres écosystèmes paralytiques de type « bahira ». En effet, il présente des caractéristiques marines très pronon-

cées en relation avec l'absence de seuil et un régime quasi-permanent de vents violents qui assurent le renouvellement du bassin en eau de mer. Le confinement est, de ce fait, modéré sur l'ensemble du golfe, jusque dans les zones les plus reculées. Toutefois, un gradient de confinement croissant du sud vers le nord, reste perceptible.

De plus cette étude nous a montré que la répartition des peuplements de foraminifères est peu ou pas influencée par la nature du substrat (teneur en fraction fine et en matière organique du sédiment) mais est particulièrement sensible au confinement et au fonctionnement hydrodynamique du golfe. En effet, la diversité et la densité diminuent rapidement à l'intérieur du système à partir de la passe ; de plus, la composition des peuplements de foraminifères du golfe de Kalloni est étroitement liée au champ de confinement dans le bassin.

Cependant, à travers l'étude de la composition et de l'organisation des peuplements de foraminifères au sein de l'écosystème, cette étude aborde le problème plus général de l'organisation biologique des écosystèmes paralytiques, déjà abordée par la macrofaune benthique (Guelorget et Perthuisot, 1984).

A cet égard, cette étude confirme l'organisation zonale induite par le confinement. De plus elle met en évidence la pertinence des foraminifères en tant que bioindicateur de l'organisation des milieux paralytiques méditerranéens. Enfin les foraminifères apparaissent comme des microbioindicateurs performants dans l'évaluation des impacts d'origine anthropique, notamment par leur faculté à réagir aux rejets organiques.

La question des mécanismes par lesquels le confinement agit sur l'organisation zonale des peuplements et donc vraisemblablement sur le fonctionnement des écosystèmes paralytiques reste à peu près entière. La réponse est d'ordre microbiogéochimique très certainement. Le confinement engendrerait la raréfaction progressive de composés chimiques discrets normalement accumulés et concentrés dans le milieu marin (Guelorget et Perthuisot, 1983, 1992 ; Perthuisot *et al.*, 1990b). La réalité des choses ne pourra être appréhendée qu'après de longs et lourds travaux expérimentaux.

RÉFÉRENCES

- Albani A.D., V. Favero, R.S. Barbero** (1984). Benthonic foraminifera as indicators of intertidal environments. *Geo-Marine Letters*, **4**, 43-47.
- Albani A.** (1991). The distribution and ecological significance of recent foraminifera in the lagoon south of Venice (Italy). *Rev. Espan. Micropal.*, **23**, 2, 29-45.
- Debenay J.P.** (1984). Distribution écologique de la microfauve benthique dans un milieu hyperhalin: les foraminifères du fleuve Casamance (Sénégal). *Document scientifique, Centre de recherches océanographiques de Dakar-Tiaroye* 95, 18 p.
- Debenay J.P.** (1990). Recent foraminiferal assemblages and their distribution relative to environmental stress in the paralic environments of west africa (cape Tinniris to Ebrie lagoon). *Journ. of Foram. Res.*, **20**, 3, 267-282.
- Debenay J.-P., M. Ba, A. Ly, I. Sy** (1987). Les écosystèmes paraliques du Sénégal. Description, répartition des peuplements de foraminifères benthiques. *Revue de Paléobiol.* Genève, **6**, 2, 229-255.
- Debenay J.-P., J. Pagès, P.S. Diouf** (1989). Ecological zonation of the hyperhaline estuary of Casamance river (Sénégal). *Hydrobiologia* **174**, 161-176.
- Debenay J.-P., J.-P. Perthuisot, B. Colleuil** (1993). Expression numérique du confinement par les peuplements de foraminifères. Applications aux domaines paraliques d'Afrique de l'Ouest. *C. R. Acad. Sc.*, Paris, **316**, II, 12, 1823-1830.
- Frisoni G.-F.** (1984). Contribution à l'étude du phytoplancton dans le domaine paralique. *Th. Ing.-Doct., Univ. Sc. Tech. Languedoc*, Montpellier, 171 p.
- Guelorget O., J.-P. Perthuisot** (1983). Le domaine paralique. Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. *Trav. Lab. Géol. ENS*, Paris, **16**, 136 p.
- Guelorget O., J.-P. Perthuisot** (1984). Indicateurs biologiques et diagnose écologique dans le domaine paralique. *Bull. Ecol.*, Paris, **15**, 1, 67-76.
- Guelorget O., J.P. Perthuisot** (1992). Paralic ecosystems. Biological organisation and functioning. *Vie Milieu* **42**, 2, 215-251.
- Kelepertsis A.E., E. Chatsidimitriadis** (1983). Factors controlling the mineralogy and geochemistry of the recent surface sediments of the Kalloni Gulf, Lesvos Island, Greece. *Geologische Rundschau*, **72**, 1, 167-190.
- Kurc G.** (1961). Foraminifères et Ostracodes de l'étang de Thau. *Thèse Univ. Montpellier II*, 119 p.
- Le Calvez J., Y. Le Calvez** (1951). Contribution à l'étude des foraminifères des eaux saumâtres. I - Etangs de Canet et de Salses. *Vie Milieu* **2**, 2, 237-54.
- Lefebvre A.** (1993). Dynamique spatiale et temporelle d'un écosystème paralique méditerranéen : La baie de Kalloni (Lesvos-Grèce). Hydrologie et phytoplancton. *Diplôme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes*, 36 p.
- Levy A.** (1970). Contribution à l'étude des milieux margino-littoraux. *Thèse d'État Univ.* Paris, 396 p.
- Lorenzen J.** (1966). A method for the continuous measurement of *in vivo* chlorophyll concentration. *Deep-Sea Res.* **13**, 223-227.
- Medhioub K.** (1979). La Bahiret el Biban : Etude géochimique et sédimentologique d'une lagune du Sud-Est tunisien. *Trav. Lab. Géol. ENS*, Paris, **13**, 150 p.
- Medhioub K., A. Levy, J.-P. Perthuisot** (1981). Sédimentologie et micropaléontologie de la lagune d'El Biban (Sud-Est tunisien). *Cahiers Micropal.*, Paris, **3**, 101-106.
- Millet B.** (1992). Etude des caractéristiques hydrodynamiques de la lagune de Kalloni par modélisation numérique bidimensionnelle. *Trav. Centre Océanol. Marseille*, 5 p.
- Perthuisot J.-P., O. Guelorget** (1983). Le confinement, paramètre essentiel de la dynamique biologique du domaine paralique. *Sci. Géol. Bull.*, Strasbourg, **36**, 4, 239-248.
- Perthuisot J.P., O. Guelorget** (1992). Morphologie, organisation hydrologique, hydrochimie et sédimentologie des bassins paraliques. *Vie Milieu* **42**, 2, 93-109.
- Perthuisot J.-P., O. Guelorget, A. Ibrahim, C. Jusserand, J.P. Margerel, A. Maurin** (1990a). L'organisation biogéologique du lac Tamsah (Ismaïlia, Egypte). *Rev. Hydrobiol. Trop.* **23**, 1, 77-90.
- Perthuisot J.-P., O. Guelorget, A. Ibrahim, J.-P. Margerel, A. Maurin, M. Piron-Frenet** (1990b). Étude hydrochimique, biologique et sédimentologique d'un lac intracontinental à peuplements lagunaires : la Birket Karoun (Fayoum, Égypte). *Geodinamica Acta*, Paris, **4**, 2, 73-89.
- Rosset-Moulinier M., P. Roux** (1977). Application de quelques méthodes d'analyse des données aux biocénoses de foraminifères de la baie de Saint-Brieuc (Côtes-du-Nord, France). *Rev. Micropal.* **20**, 2, 100-113.
- Roux R.M.** (1964). Les sédiments de l'étang de Berre. *Recueil Trav. St. Mar. Endoume* **35**, 51, 275-285.
- Scott D.B., E.J. Schnack, L. Ferrero, M. Espinosa, C.F. Barbosa** (1990). Recent marsh foraminifera from the east coast of South America. Comparison to the northern Hemisphere in Hemlehen *et al.* (Eds) : Palaeoecology, biostratigraphy, palaeoceanography and taxonomy of agglutinated foraminifera. *Int. Workshop on Agglutinated Foraminifera*, Tübingen, **3**, 717-737.
- Tassos S.T.** (1977). Marine holocene sediments of Kalloni Bay, Lesvos Island, Greece. *Inst. Geol. Mining res.*, Athens, **1**, 367-374.
- Venec-Peyre M.-T.** (1984). Etude de la distribution des Foraminifères vivants dans la Baie de Banyuls-sur-Mer. *ECOMED, Pétrole et techniques*, Paris, **301**, 22-43.
- Zaninetti L.** (1982). Les Foraminifères des marais salants de Salinde-Giraud (Sud de la France) : milieu de vie et transport dans le salin, comparaison avec les microfauves marines. *Géol. Médit.*, Marseille, **IX**, 4, 447-470.