

Le rôle du confinement dans l'organisation biogéologique de la lagune de Nador (Maroc)

Biogéologie
Lagune
Confinement
Actuel
Maroc

Biogeology
Lagoon
Confinement
Present
Morocco

GROUPE D'ÉTUDE DU DOMAINE PARALIQUE

Olivier GUELORGET ^a, Jean-Pierre PERTHUISOT ^b, Guy-François FRISONI ^c, Dominique MONTI ^a

^a Unité Associée CNRS n° 694, Laboratoire d'Hydrobiologie Marine, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, place Eugène-Bataillon, 34060 Montpellier Cedex.

^b Laboratoire de Biogéologie et Biostratigraphie, E.R. « Sciences du Littoral », Université de Nantes, 2, rue de la Houssinière, 44072 Nantes Cedex.

^c CEMAGREF, Domaine de la Valette, 34000 Montpellier.

Reçu le 19/9/86, révisé le 28/4/87, accepté le 14/5/87.

RÉSUMÉ

Les caractéristiques biogéologiques de la lagune de Nador en font un modèle original parmi les lagunes méditerranéennes :

- C'est un bassin paralique relativement profond (6-7 m) vis-à-vis de la superficie (11 500 ha).
- Il communique actuellement avec la mer ouverte par une passe unique créée par rupture du lido et en voie de cicatrisation. Au cours de la période historique, la lagune a communiqué de façon variable et sporadique avec la mer en fonction de l'existence, de la position et de la taille de cette passe.
- Le corps d'eau est physiquement et chimiquement très homogène, sans stratification malgré la profondeur et légèrement plus salé que la mer.
- Les sédiments sont des sables et des vases carbonatées localement riches en matière organique, notamment sous les tapis cyanobactériens des reculées marginales.
- Les peuplements s'organisent tant qualitativement que quantitativement en fonction du champ de confinement. Ils dénotent le faible niveau de celui-ci sur la majeure partie du bassin, avec une nette dominance des espèces thalassiques, tandis que les espèces paraliques se trouvent reléguées aux deux extrémités de la lagune. Cette situation, paradoxale si l'on considère la taille actuelle de la passe comparée à celle du bassin, s'explique par l'inertie de ce corps d'eau épais vis-à-vis de la variation des échanges avec la mer.

Oceanol. Acta, 1987, 10, 4, 435-444.

ABSTRACT

The role of confinement in the biogeological organization of Nador Lagoon (Morocco)

The biogeological features of Nador lagoon make it unique amongst all Mediterranean lagoons.

- It is a rather deep (6-7 m) basin relative to its surface (11.5 km²).
- It communicates with the open sea by a single passage (bokhana) due to a break in the sand bar which is presently being obliterated by sedimentation. In the last few centuries, the passage was often absent, but existed from time to time in various positions along the bar and with a changing cross-section.
- The water body is physically and chemically very homogeneous without any stratification, in spite of the depth, and slightly saltier than the open sea.
- The sediments are sands and muds with carbonates, locally rich in organic matter, especially when algal mats originated within marginal restricted bays.

— The phytoplanktonic and benthic populations are distributed in conformity with the confinement field. They indicate a low confinement level in the central major part of the lagoon, with a clear dominance of thalassic species, whereas paralic species are confined to both ends of the basin. This situation seems paradoxical when considering the present size of the passage compared with the surface of the lagoon. It could be explained by the inertia of this thick water body towards the variations of the water exchange with the open sea.

Oceanol. Acta, 1987, 10, 4, 435-444.

La lagune de Nador a fait l'objet d'études diverses (Erimesco 1961; Tesson, 1977; Brêthes, 1978; Tesson, Gensous, 1981). La présente publication intègre ces données ainsi que celles que nous avons recueillies au cours de 6 missions échelonnées de 1981 à 1984 (Frisoni *et al.*, 1982; Guelorget *et al.*, 1984 a).

LE CADRE GÉOGRAPHIQUE

La lagune de Nador ou Mar Chica (11 500 ha) est située entre le Cap des Trois Fourches et le Cap de l'Eau, sur le littoral nord-est marocain (fig. 1).

La lagune est située à l'aval d'une gouttière orientée Sud-Ouest/Nord-Est, constituée de deux plaines successives, les plaines de l'oued Gareb et de l'oued Bou Areg, qui constituent un même cours d'eau. Cet ensemble est encadré par le massif volcanique de Gourougou au Nord-Ouest, le massif de Kebdana et du Jbel Ziata au Sud.

Le climat est de type méditerranéen. La pluviométrie, très variable d'une année à l'autre, oscille autour de 400 mm, avec deux maxima en avril et en décembre, et une période estivale sèche de juin à septembre.

Les températures moyennes mensuelles maximales sont atteintes entre juin et novembre et oscillent entre 30 et

35°C; la période froide, avec un minimum (moyenne mensuelle) de 5°C en janvier, s'étale de décembre à avril.

Les vents sont du secteur Ouest/Sud-Ouest dominant de novembre à mai, et du secteur Est/Nord-Est dominant de mai à octobre. A ce régime général se superpose un régime de brises côtières.

Au large de la Mar Chica, le courant du détroit de Gibraltar, dirigé vers l'est, provoque entre le Cap de l'Eau et le Cap des Trois Fourches, un contre-courant vers l'ouest (Tesson, 1977). En outre, les vents forts du secteur Est/Nord-Est induisent une dérive littorale dans le même sens.

Entre Melilla et le Cap de l'Eau, le marnage est de 0,5 à 0,6 m en vive eau, et de 0,1 à 0,2 m en morte eau (Tesson, 1977).

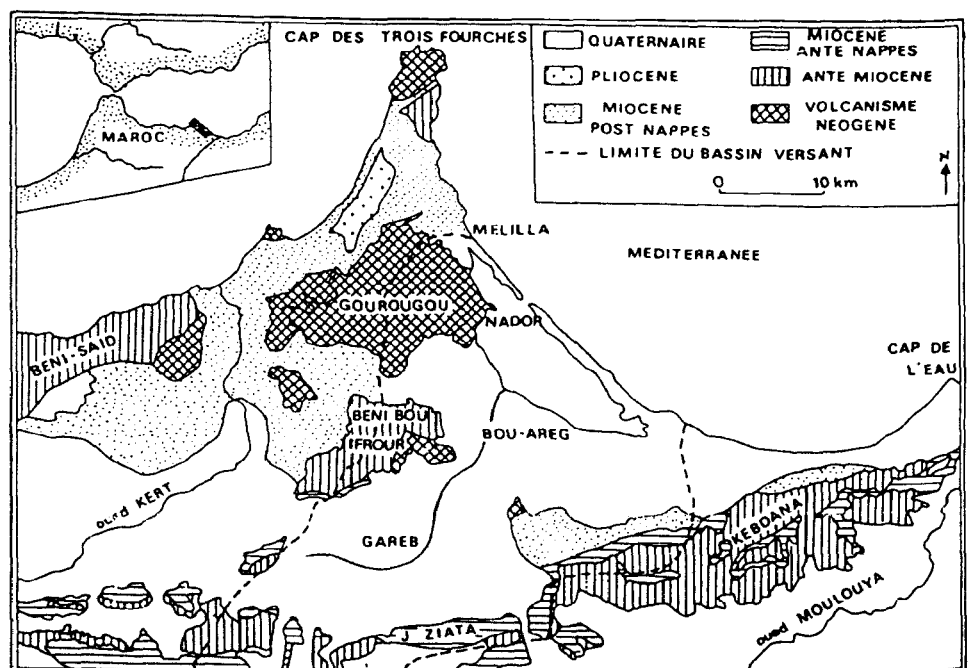
LE BASSIN

La morphologie et la bathymétrie

La Mar Chica est un bassin allongé, accidenté sur sa bordure occidentale par la péninsule d'Atalayun.

Sur toutes les marges, la profondeur augmente rapidement pour se stabiliser sur l'ensemble du bassin entre 6 et 7 m.

Figure 1
L'environnement géographique et géologique de la lagune de Nador (d'après Tesson, Gensous, 1981).
Geographical and geological environment of Nador lagoon (after Tesson, Gensous, 1981).



Le lido et le problème de la passe

Dans la partie centrale du lido subsistent les restes d'un ancien édifice essentiellement dunaire, peu consolidé, d'âge pléistocène comportant vers sa partie sommitale un ou plusieurs niveaux à galets et coquilles plus ou moins brisées qui correspondent à d'anciens niveaux de plage. Ce massif culmine à une vingtaine de mètres d'altitude. Il est entaillé côté mer comme côté lagune en falaises qui s'éboulent sporadiquement. De part et d'autre, le lido est constitué du côté mer par des sables généralement grossiers, riches en coquilles de bivalves (notamment de *Pectunculus*), localement remaniés par le vent en dunes vives ou plus ou moins fixées par une maigre végétation; du côté lagune, les sédiments sont souvent plus fins, parfois vaseux.

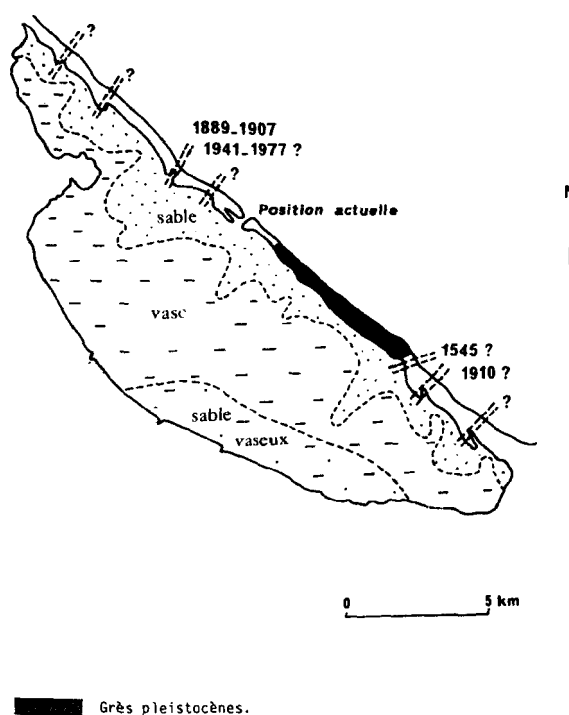


Figure 2
Les sédiments de la lagune de Nador et les diverses positions de la passe au cours de la période historique (d'après Erimesco, 1961 et Tesson, 1977).

Sediments present in Nador lagoon and the various positions of the passage in historical times (after Erimesco, 1961 et Tesson, 1977).

Aujourd'hui, ce lido est entaillé à peu près en son milieu par une passe, la bokhana, en voie d'ensablement, qui a été ouverte en 1979, à la suite d'une tempête, après une période de fermeture totale de la lagune depuis 1977, date de la fermeture de la précédente passe. Cette ouverture est flanquée, du côté de la lagune, d'un delta sous-marin dont n'affleurent que deux barres latérales de part et d'autre du chenal.

L'emplacement de la passe a varié au cours du temps (fig. 2). En fait, les périodes de communication avec la mer alternent irrégulièrement avec les périodes de fermeture totale de la lagune. Les anciens emplacements de la passe se marquent par la présence de hauts fonds qui correspondent à l'engraissement sédimentaire des

anciens deltas sous-marins qui flanquaient la passe côté lagune. Parfois, ces hauts fonds sont déformés ou remaniés par la dérive littorale et forment des flèches ou des crochons.

La dynamique de cette évolution du lido se caractérise par :

- la présence d'une seule passe naturelle à la fois;
- la tendance de celle-ci, une fois qu'elle est formée, à se colmater jusqu'à obstruction complète.

Ceci signifie clairement que la dynamique marine (marinage, vagues, courants littoraux, courants de marée) a toujours tendance à colmater l'ouverture et donc à cicatiser le cordon. Ce n'est donc pas elle qui est capable d'ouvrir une brèche de plusieurs mètres de profondeur dans le lido.

Il faut donc rechercher ailleurs la cause réelle du creusement de la passe. Au dire des habitants de Nador, lorsque la passe est fermée, le niveau de l'eau dans la lagune s'abaisse progressivement de plusieurs décimètres au-dessous du niveau normal, ce qui n'est guère étonnant eu égard au déficit hydrique du bassin. On peut même penser qu'à certaines époques du passé, notamment lors de la conquête arabe, elle fut au moins en majeure partie asséchée : l'appellation de Sebkhah bou Areg ne peut guère s'expliquer autrement; le terme de « sebkhah » désigne en effet une étendue plate, sporadiquement inondable, où les sols salés interdisent toute végétation (Perthuisot, 1975 a et b). Or, un abaissement de 10 cm correspond à un volume de 11,5 millions de m³. On comprend dès lors que quand la lagune est fermée et son plan d'eau sensiblement plus bas que le niveau marin, une brèche minime occasionnée par une tempête dans le cordon puisse provoquer le déversement presque instantané d'une quantité considérable d'eau de mer. Ce flux localisé est alors capable d'entailler les sédiments meubles du cordon sur une hauteur appréciable, d'ouvrir ainsi une nouvelle passe et de déposer les sédiments correspondants en une amorce de delta sous-marin du côté de la lagune. Un tel processus répété un certain nombre de fois explique bien ce que l'on sait de l'histoire de la lagune et la morphologie du cordon.

On peut enfin ajouter que lorsque la lagune est fermée, on peut prévoir l'endroit approximatif de la prochaine ouverture : il aura toute chance de se situer dans la partie la plus mince du lido.

Cette succession de phénomènes naturels disruptifs (engendrés par deux processus continus, l'évaporation sur la lagune, la sédimentation littorale) traduit l'état d'équilibre instable du lido entre sa frange marine, où domine la sédimentation, et le bassin lagunaire, en état de vacuité, qui crée un appel sédimentaire : on retrouve ici la notion de bassin affamé dont la destination est le comblement soit par du matériel détritique soit par du matériel évaporitique (Busson, Perthuisot, 1977). Ces processus tendent néanmoins vers un équilibre moins précaire, en élargissant le lido par touches successives. Le stade final, à terme, est celui d'un lido continu, stable, abritant une sebkhah comblée de dépôts détritiques et salins.

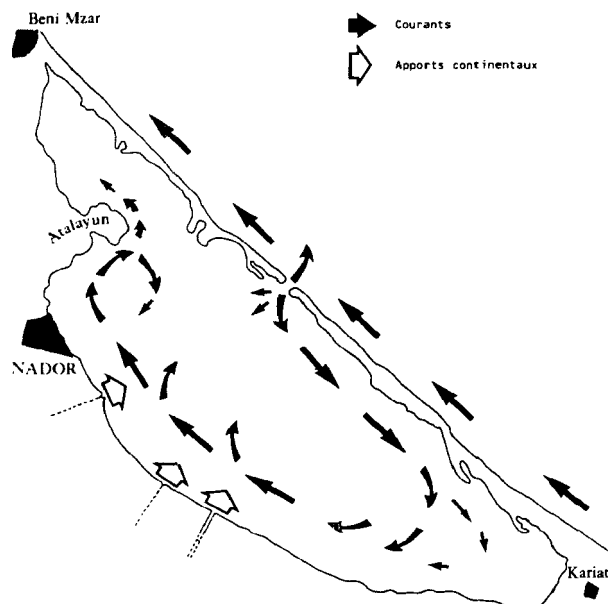


Figure 3
Les déplacements des eaux dans la lagune de Nador (flèches noires) et l'emplacement des apports continentaux (flèches blanches).
Water movements (black arrows) in Nador lagoon and location of terrestrial inputs (white arrows).

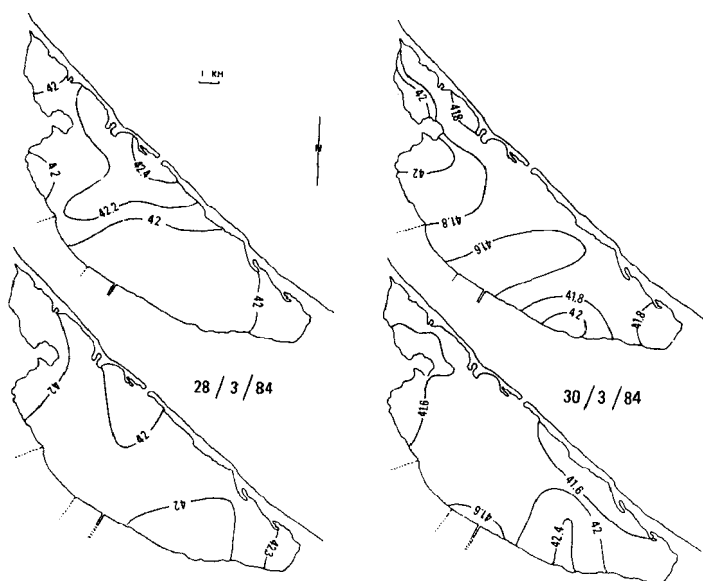


Figure 4
Salinité des eaux de la lagune les 28 et 30 mars 1984. Eaux de surface : en haut; eaux du fond : en bas.
Surface (upper part) and bottom (lower part) water salinities at the end of March 1984.

L'HYDROLOGIE

Les courants (fig. 3)

Dans le bassin, la dérive périlittorale est de sens dextre et entraîne une lente rotation de la masse d'eau dans le même sens. Celle-ci, jointe aux échanges avec la mer par l'intermédiaire de la bokhana — et peut-être en sous-écoulement à travers le lido — explique la faible différence de salinité entre la lagune et la mer.

Les eaux (fig. 4 et 5)

Dans toute la lagune, la salinité des eaux de surface et de fond (42 en moyenne) est toujours supérieure à celle de la mer qui est comprise entre 36 et 36,5.

Des études des différents paramètres hydrologiques, il apparaît que les eaux marines qui pénètrent par la passe plongent et se dirigent directement vers le sud-est de la lagune (village de Kariat) en longeant le lido. Elles opèrent ensuite un large mouvement tournant pour revenir en surface (upwelling) le long de la rive continentale. Ce virage des eaux se fait avant l'extrémité sud de la lagune, ce qui confère un caractère confiné à la baie de Kariat qui est éloignée des apports d'origine marine. Au large de Nador et au pied de la colline d'Atalayun, ce courant de retour est piégé, d'une part à cause de la faible bathymétrie due aux apports sédimentaires de l'ancienne bokhana, et d'autre part à cause du mouvement des eaux marines qui transitent à travers la passe; cette zone correspond donc à une zone d'« ombilic » (Guelorget *et al.*, 1984 b).

Ainsi, dans la lagune de Nador, les masses d'eau issues du domaine marin, circulent essentiellement le long des rives (dans le sens des aiguilles d'une montre), délimitant une masse d'eau centrale dont les caractéristiques sont beaucoup plus stables, et les mouvements beaucoup plus lents. Les zones hydrologiquement isolées de ce dispositif central sont les extrémités du bassin. Par ailleurs, il n'apparaît en aucune saison de stratification des eaux.

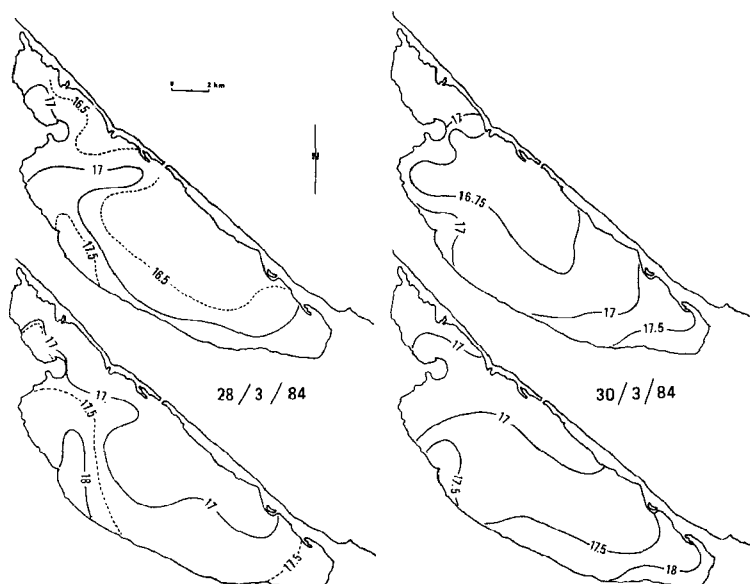


Figure 5
Température des eaux de la lagune les 28 et 30 mars 1984. Eaux de surface : en bas; eaux du fond : en haut.
Bottom (upper part) and surface (lower part) water temperatures at the end of March 1984.

LES SÉDIMENTS

Le long du cordon, il s'agit de sables dont l'extension latérale sinueuse est en relation avec les migrations de la passe.

Sur le reste du bassin, et en particulier dans les zones centrales, dominent les vases plus ou moins carbonatées; seule la bordure sud-ouest comporte des sables vaseux dont les éléments proviennent surtout du réseau des tributaires. Ici, la relative abondance des éléments de la classe des sables est à mettre sur le compte d'un vannage des sédiments lié à la faible profondeur (fig. 2).

Les éléments détritiques des sédiments actuels sont essentiellement le quartz (50 % et plus du sédiment), les argiles et certains carbonates (calcite, dolomite) très ubiquistes provenant en majeure partie des formations tertiaires et quaternaires de la plaine côtière.

L'aragonite et la calcite très magnésienne (7 à 20 % de moles de $MgCO_3$ dans le réseau de la calcite) sont des carbonates essentiellement autochtones produits par les organismes (tests, activité photosynthétique) et éventuellement par voie chimique (concentration des eaux par évaporation, rencontre d'eaux de type marin avec des eaux continentales saturées, etc.). Leur apparition dans le bassin aux deux extrémités de la lagune, où elles constituent jusqu'à 50 % du sédiment, confirme que ces deux zones sont plus confinées que le reste du bassin et/ou que l'activité organique y est plus importante qu'ailleurs.

Localement, dans des zones très confinées, un recouvrement cyanobactérien produit un sédiment contenant plus de 80 % d'aragonite.

Les teneurs en matière organique (vivante et fossile) des sédiments sont peu homogènes, quoique assez élevées (fig. 6). La bordure sud-ouest se caractérise par les plus faibles teneurs à cause de la minceur de la tranche d'eau et de l'importance des apports détritiques. La zone confinée sud-est a des teneurs beaucoup plus élevées surtout dans les zones à tapis algaires où la sédimentation est essentiellement organique (plus de 40 % de matière organique), comme c'est généralement le cas dans ce type de faciès.

La zone de la passe montre encore une anomalie positive, peut-être en relation avec la rencontre des eaux lagunaires confinées issues de l'ombilic et des eaux vives venues de la mer à marée montante. Les organismes marins importés dans le bassin se trouvent brutalement confrontés au milieu lagunaire, périssent massivement et contribuent ainsi à la sédimentation locale d'une abondante phase organique. De tels phénomènes se produisent dans d'autres sites périméditerranéens (Medhioub, Perthuisot, 1981).

LES PEUPELEMENTS PHYTOPLANCTONIQUES

Les prélèvements de 33 ml ont été effectués à la main en surface ou en profondeur à l'aide d'une bouteille à clapets. La détermination spécifique et la numérotation cellulaire ont été effectuées par sédimentation selon la

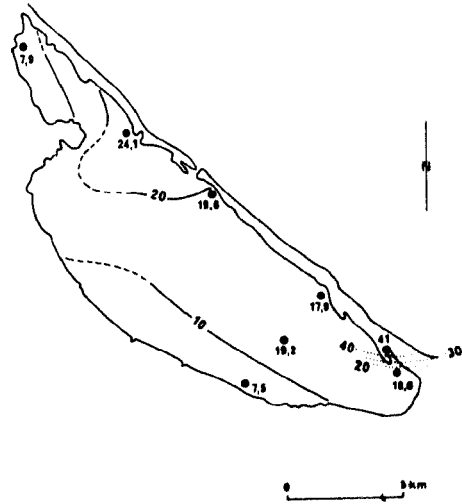


Figure 6

Teneurs des sédiments en matière organique (pourcentage du poids sec).

Percentage (dry weight) of organic matter in the lagoon sediments.

méthode Uthermöl. La biomasse phytoplanctonique a été mesurée selon la méthode fluorimétrique de Lorenzen, qui permet aussi de mesurer le taux de phéophytine. La production chlorophyllienne a été mesurée par la méthode au carbone 14.

La composition spécifique (tab. 1)

La richesse taxonomique oscille entre 7 et 15 taxons selon les stations. Le groupe le plus représenté (en nombre d'espèces) est celui des dinoflagellés armés.

Les taxons présents sont, pour la plupart, typiques de la province néritique du domaine océanique (Sournia, 1982); s'y ajoutent des espèces habituelles du domaine paralytique (*Nitzschia closterium*, *Peridinium trochoideum*). L'ensemble du peuplement est caractéristique des bassins paralytiques peu confinés (ce que confirme l'absence de cyanophycées planctoniques; Frisoni, 1984).

La répartition des peuplements sur l'ensemble du bassin peut se résumer ainsi :

- Les dinoflagellés (*Ceratium furca*, *Dinophysis sacculus*, *Prorocentrum micans*) sont présents partout, en particulier le long de la rive continentale.
- Les diatomées centriques (*Chaetoceros* sp. et *Rhizosolenia* sp.) se développent essentiellement dans la partie centrale.
- Les groupes nanoplanctoniques (*Cryptophyceae*, *Chlorophyceae*) dominent, surtout aux extrémités du bassin où ils sont accompagnés par des diatomées pennées (*Nitzschia closterium*).

Sans qu'un gradient bien net puisse être établi, on observe le maximum de richesse taxonomique à proximité de la bokhana, et le minimum à la périphérie de la lagune.

Le faible confinement de ce bassin est donc évident. Seules les extrémités (zones de Kariat et Atalayoun, Beni Mzar) abritent des espèces indicatrices d'une stagnation des eaux (naviculales, diatomées pennées, dinoflagellés, nanoflagellés...).

Tableau 1

Liste des principales espèces recensées dans la lagune de Nador.

List of major species in Nador lagoon.

Phytoplankton	Phytobenthos		
Diatomées centriques	Monocotylédones	<i>Modiolus</i> sp.	<i>Nereis caudata</i>
<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Caulerpa prolifera</i>	<i>Musculus costatus</i>	<i>N. diversicolor</i>
<i>Rhizosolenia</i> sp.	<i>Cymodocea nodosa</i>	<i>Mytilus</i> sp.	<i>Nerine foliosa</i>
<i>Coscinodiscus</i>	<i>Ruppia spiralis</i>	<i>Ostrea edulis</i>	<i>Pectinaria koreni</i>
Diatomées pennées	Chlorophycées	<i>Tellina distorta</i>	<i>Scolecopsis ciliata</i>
<i>Nitzschia closterium</i>	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Venerupis aurea</i>	Insectes
<i>N. seriata</i>	<i>Enteromorpha</i> gr. <i>intestinalis</i>	<i>V. decussata</i>	<i>Chironomidae</i> (larves)
Naviculales indéterminées	Cyanophycées	Gastropodes	
Dinoflagellés nus	Zoobenthos	<i>Bittium reticulatum</i>	
<i>Gymnodinium nelsoni</i>	Échinodermes	<i>Cerithium vulgatum</i>	
<i>G. sp.</i>	<i>Cucumaria planci</i>	<i>Hydrobia</i> sp.	
<i>Gyrodinium</i> sp.	<i>Holothuria polii</i>	<i>Murex brandaris</i>	
<i>Polykrikos</i> sp.	Ophiuridae	<i>M. trunculus</i>	
Dinoflagellés armés	<i>Paracentrotus lividus</i>	Crustacés	
<i>Ceratium furca</i>	Pélécypodes	<i>Carcinus</i> sp.	
<i>Exuviaella compressa</i>	<i>Abra alba</i>	<i>Corophium insidiosum</i>	
<i>Goniaulax</i> sp.	<i>Brachydontes marioni</i>	<i>Gammarus</i> gr. <i>locusta</i>	
<i>Goniosoma</i> sp.	<i>Cerastoderma glaucum</i>	<i>Microdeutopus gryllotalpa</i>	
<i>Peridinium trochoideum</i>	<i>Corbula gibba</i>	<i>Pachygrapsus marmoratus</i>	
<i>Proocentrum micans</i>	<i>Gastrana fragilis</i>	Polychètes	
<i>Proocentrum</i> sp.	<i>Loripes lacteus</i>	<i>Capitella capitata</i>	
Nanoplancton	<i>Mactra corallina</i>	<i>Eunice pennata</i>	
Cryptophycées		<i>Glycera convoluta</i>	
Chlorophycées		<i>Harmothoe spinifera</i>	
Euglènes		<i>Lumbriconereis impatiens</i>	
		<i>Nepthtys hombergii</i>	

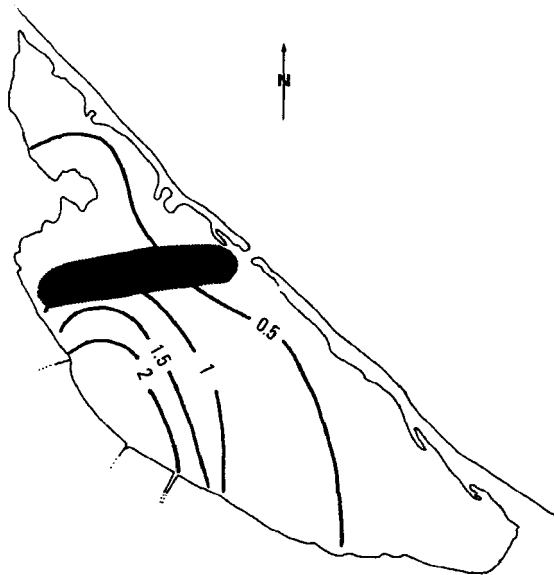


Figure 7

Biomasse phytoplanctonique des eaux (mg Chl. a/m³) de surface de la lagune en avril 1982. En grisé : zone de concentration en phéophytine supérieure à 50 %.

Phytoplanktonic biomass of lagoonal surface waters (mg Chl. a/m³) in April 1982. Grey area: percentage of pheophytin greater than 50%.

La biomasse phytoplanctonique (fig. 7 et 8)

D'une façon générale, la biomasse phytoplanctonique est relativement faible vis-à-vis des valeurs habituellement recensées dans les bassins paraliqes périméditerranéens (Frisoni, 1984) : elle varie entre 0,1 et 2 mg Chl. a/m³, ce qui traduit le faible confinement global du bassin. En outre, on observe un maximum de biomasse chlorophyllienne dans la partie centrale du grand bassin et le long de la rive sud-ouest.

Par ailleurs, les taux de phéophytine les plus élevés sont recensés aux extrémités de la lagune, mais surtout

au droit de la péninsule d'Atalayun, entre Nador et la bokhana, caractérisant ainsi la zone de l'ombilic. Enfin, d'une manière générale, le taux de phéophytine au fond n'est pas plus élevé qu'en surface eu égard à l'absence de stratification du corps d'eau.

Cette répartition des peuplements (nature, biomasse) est en accord avec les mouvements des eaux dans le bassin. Les eaux marines entrantes, pauvres en chlorophylle, pénètrent dans la lagune par la bokhana. Au cours du trajet qui les mène d'abord dans la partie sud,

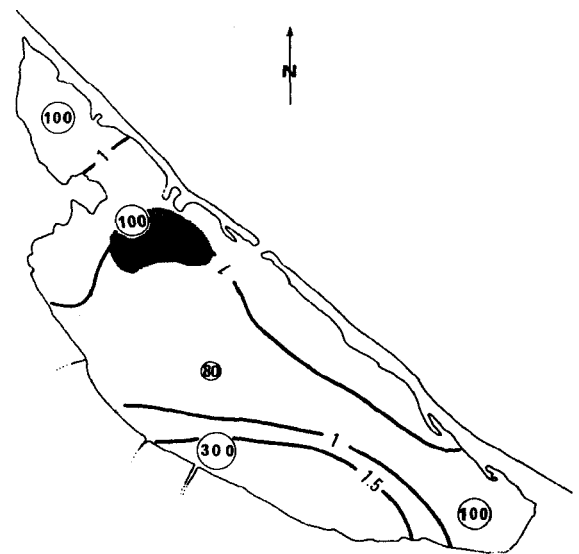


Figure 8

Biomasse phytoplanctonique (mg Chl. a/m³) des eaux de surface de la lagune en août 1982. En grisé : zone de concentration en phéophytine supérieure à 50 %. Nombres cerclés : productivité phytoplanctonique en mg Chl. a/(m³ · j).

Phytoplanktonic biomass of lagoonal surface waters (mg Chl. a/m³) in August 1982. Grey area : percentage of pheophytin greater than 50 %. Circled numbers : phytoplanktonic productivity (mg Chl. a/(m³ · d)).

puis le long de la rive continentale en direction de Nador, la production phytoplanctonique s'accroît. Le confinement progressif des masses d'eau, favorise l'assimilation chlorophyllienne et explique l'établissement des plus fortes biomasses dans la partie centrale et le long de la rive continentale. Il est peu vraisemblable que cet accroissement soit favorisé directement par des apports continentaux : le ruissellement est rare et sporadique; les nappes souterraines, dans un bâti imperméable, sont pratiquement inexistantes. Cependant, la mobilisation du sédiment dans cette zone peut faciliter le recyclage des nutriments. Le confinement, moyen dans le bassin sud (zone de Kariat), plus élevé dans le bassin nord (zone de Beni Mzar), y explique en partie l'accumulation de biomasse phytoplanctonique fortement dégradée.

Les eaux confinées de la Mar Chica stagnent dans la zone d'ombilic avant leur évacuation progressive vers la mer; le phytoplancton produit dans le bassin se dépose alors, enrichissant localement le sédiment en matière organique. Les forts taux de phéophytine enregistrés dans la bokhana et les zones proches, proviennent d'une part des eaux de retour (eaux lagunaires évacuées vers la mer), riches en phytoplancton paralique sénescant, et d'autre part de la mortalité massive qui affecte les espèces de phytoplancton néritique, les plus sensibles, à leur entrée dans le bassin (Frisoni, 1984).

LES PEUPELEMENTS BENTHIQUES

Les prélèvements ont été effectués en une seule campagne (printemps 1984) à l'aide d'une benne Eckmann (2 à 6 échantillons de 0,1 m² par station) et tamisés sur un tamis dont le vide de maille est un carré de 2 mm de côté. Les échantillons sont conservés au formol et colorés au rose Bengale. Les données quantitatives prises en compte sont la richesse spécifique, la densité et la biomasse.

La macroflore (fig. 9)

La majorité des fonds de la lagune est tapissée d'un vaste herbier mixte à *Cymodocea nodosa* et *Caulerpa prolifera* qui trouve son développement maximal dans toute la zone centrale. La biomasse par mètre carré peut atteindre 1 025 g (poids sec).

Cet herbier se dégrade cependant le long des rives du lido et de la bordure continentale à cause des engraisements sédimentaires, sableux côté mer et argileux côté continent, ainsi que dans la zone d'ombilic (Guelorget *et al.*, 1984a), où la biomasse n'est plus que de 250 g par mètre carré.

De plus, en allant vers les zones plus confinées situées aux deux extrémités de la lagune (Beni Mzar et Kariat), l'herbier mixte à *Cymodocea nodosa* et *Caulerpa prolifera* cède la place à un herbier à *Ruppia spiralis*, espèce strictement paralique (Guelorget *et al.*, 1983; Perthuisot, Guelorget, 1983). On observe alors l'appari-

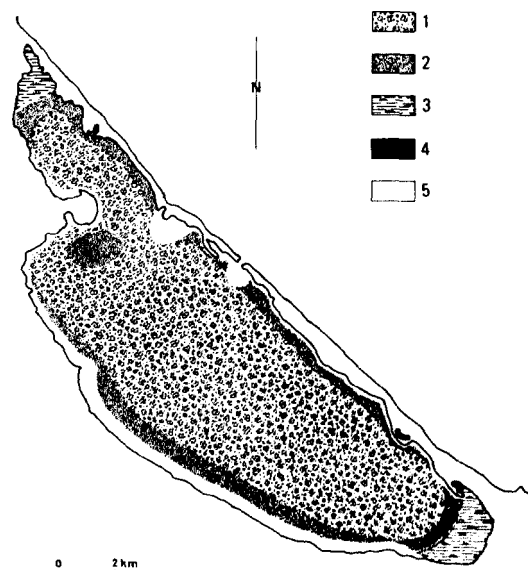


Figure 9

La végétation benthique de la lagune de Nador. 1 : Herbier à *Caulerpa prolifera* et *Cymodocea nodosa*. 2 : Herbier à *C. prolifera* et *C. nodosa* dégradé. 3 : Herbier à *Ruppia maritima*. 4 : Tapis cyanobactérien. 5 : Absence de végétation.

Benthic vegetation in Nador lagoon. 1 : *Caulerpa prolifera* and *Cymodocea nodosa* meadows. 2 : *C. prolifera* and *C. nodosa* spoiled meadows. 3 : *Ruppia maritima* meadows. 4 : Cyanobacterial mats. 5 : Lack of vegetation.

tion et la prolifération d'algues Chlorophycées (ulves et entéromorphes) le long des rives. Notons enfin, que les zones dépourvues d'herbier sont peu étendues et limitées au débouché de la passe et le long de la rive continentale, zones où les apports sédimentaires d'origine marine ou continentale sont importants.

La macrofaune (fig. 10)

Les zones d'herbier à *Cymodocea nodosa* et à *Caulerpa prolifera* abritent une macrofaune thalassique riche et diversifiée, qui est surtout marquée par la présence d'échinodermes; ce groupe est particulièrement sensible au confinement et disparaît dès que l'on pénètre dans le domaine paralique proprement dit (Guelorget, Perthuisot, 1983). De ce fait, la présence d'Ophiures, d'*Holothuria polii*, de *Cucumaria planki* et de *Paracentrotus lividus* témoigne d'une influence marine prépondérante sur ce vaste herbier.

L'endofaune du sédiment est représentée principalement par les polychètes : *Lumbriconereis impatiens*, *Harmothoe spinifera*, *Nerine foliosa*, *Eunice pennata*, *Scololepis ciliata*, *Nereis caudata*, *Pectinaria koreni*, *Capitella capitata*, et les mollusques : *Dentalium* sp. *Lucina fragilis*, *Tellina distorta*, *Abra alba*, *Musculus costulatus* et *Corbula gibba*.

La faune vagile est constituée essentiellement de gastéropodes brouteurs tels que : *Murex brandaris*, *Murex trunculus*, *Cerithium vulgatum* et *Macra corallina* le long de la rive sud opposée à la passe, entre Kariat et Nador, ce qui indique que le confinement est relativement faible même dans cette partie de la lagune.

Dans les zones de transition, entre les herbiers à *Cymodocea nodosa* et à *Ruppia spiralis*, soit au nord soit au

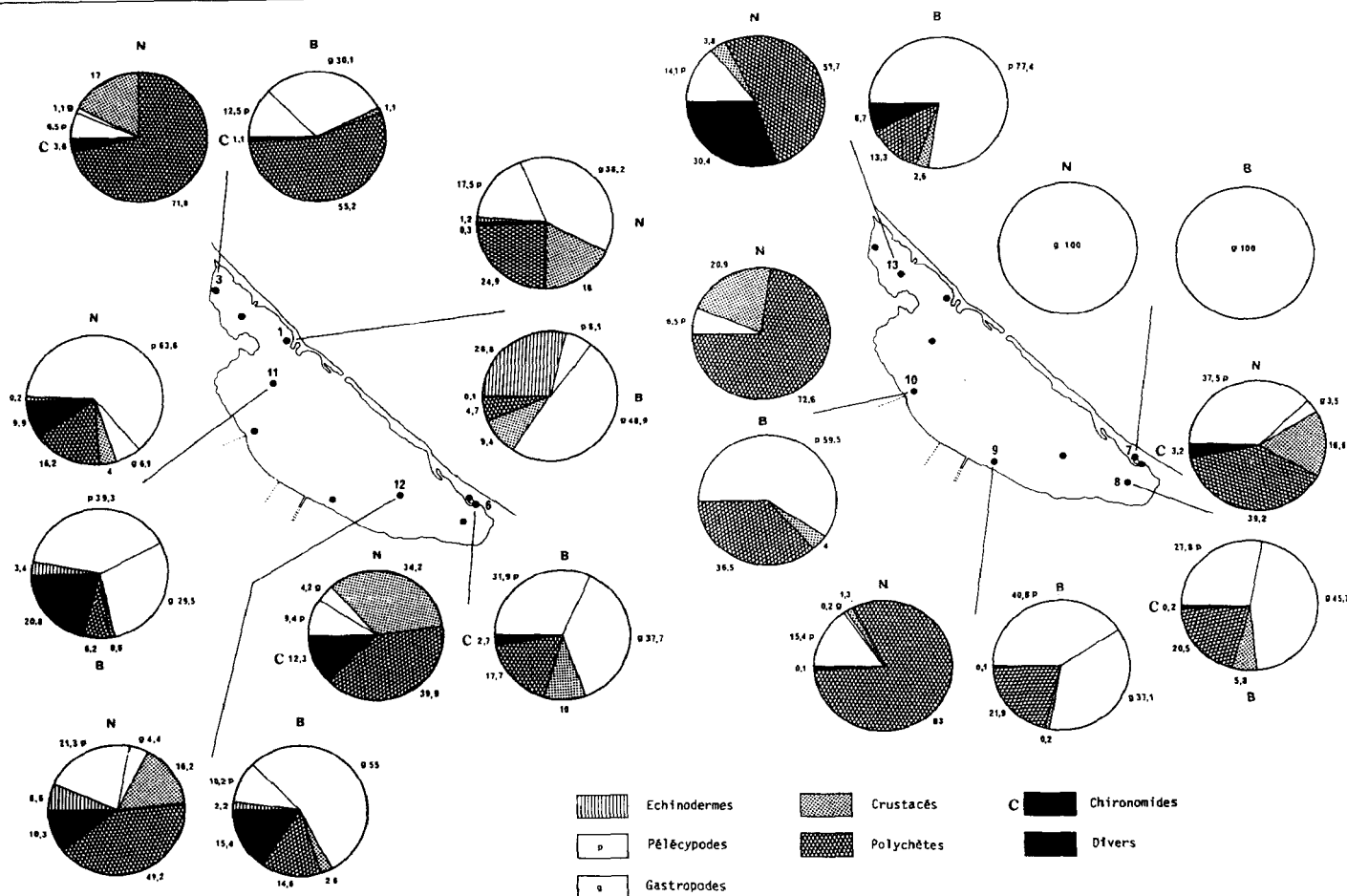


Figure 10

Dominances numériques (N) et pondérales (B) des divers groupes taxonomiques de la macrofaune benthique.
Numerical (N) and weight (B) dominances of the different taxonomic groups of the macrobenthofauna.

sud de la lagune, les échinodermes disparaissent et on voit apparaître alors des espèces mixtes caractéristiques d'un confinement modéré comme les polychètes : *Glycera convoluta*, *Nephtys hombergii* et les mollusques : *Venerupis aurea*, *Venerupis decussata*, *Loripes lacteus*, *Gastrana fragilis*. Ces zones sont peu étendues et l'on passe très rapidement, en direction des extrémités de la lagune, à des peuplements strictement paraliques, témoins d'un confinement avancé. En effet, les herbiers à *Ruppia spiralis* sont peuplés d'espèces vagiles telles que les crustacés : *Gammarus* groupe *locusta*, *Microdeutopus gryllotalpa*, *Corophium insidiosum* et des mollusques gastéropodes hydrobiidés.

L'endofaune du sédiment y est principalement représentée par les mollusques pélecypodes : *Cerastoderma glaucum*, *Abra ovata* et le polychète *Nereis diversicolor* ainsi que des larves de *Chironomidae*.

Enfin, dans les diverticules situés le long de la partie sud du lido, la macrofaune endogée disparaît progressivement pour laisser la place aux tapis cyanobactériens qui ne sont alors colonisés momentanément que par quelques gastéropodes brouteurs (*Hydrobia* sp.).

L'analyse quantitative (tab. 2) de la macrofaune benthique ne fait que renforcer le schéma d'organisation et de structure obtenu par l'analyse qualitative des peuplements végétaux et animaux.

La richesse spécifique (fig. 11) diminue significativement de la zone centrale vers les zones périphériques surtout en direction des deux extrémités. Toutefois, la

diminution de la richesse spécifique est plus brutale et plus prononcée dans le bassin nord (de 37 à 12 espèces) que dans le bassin sud (de 37 à 22 espèces). On remarquera également que dans le bassin sud, la diminution du nombre d'espèces suit rigoureusement le trajet des courants à partir de la passe, c'est-à-dire le gradient de confinement. En effet, la richesse spécifique passe de 37 dans la zone centrale face à bokhana, à 26 dans la région centrale méridionale et diminue jusqu'à 20 le long de la rive continentale atteignant la valeur minimale de 11 au sud de la ville de Nador où la chute du nombre d'espèces est accentuée par les apports sporadiques d'eaux continentales de plusieurs oueds et des rejets urbains.

Dans les digitations attenantes à la partie sud du lido, la richesse spécifique est très faible, variant de 7 à 1 espèces sur les tapis algaires.

L'étude des densités et des biomasses (fig. 12) montre également l'établissement de gradient de même sens que ceux de la richesse spécifique, et qui aboutissent aux mêmes conclusions que précédemment.

Les valeurs de biomasses sont peu élevées (de 34 à 47 g/m²) de poids sec, ce qui situe la lagune de Nador parmi les milieux lagunaires méditerranéens les moins productifs et proche des systèmes marins ouverts.

La macrofaune benthique de la lagune de Nador est caractérisée par des abondances élevées dans certaines zones (par exemple 36 000 individus/m² à la station 9).

Tableau 2

Densité (nombre d'individus/m²) et biomasse (g/m²) des principaux groupes taxonomiques de la lagune de Nador. L'emplacement des stations est indiqué figure 10.

Density (individuals/m²) and biomass (g/m²) of the main taxonomic groups in Nador lagoon. See stations location Figure 10.

Stations	1		8		9		10		3	
	Densité	Biomasse	Densité	Biomasse	Densité	Biomasse	Densité	Biomasse	Densité	Biomasse
Échinodermes	70	7,603	—	—	—	—	—	—	—	—
Pélicypodes	1060	2,127	1960	9,360	5 550	19,159	130	0,799	630	1,571
Gastéropodes	2320	12,914	180	15,362	60	17,406	—	—	110	3,776
Crustacés	1090	2,490	870	1,967	480	0,072	420	0,054	1 670	0,142
Polychètes	1 510	1,231	2050	6,901	29 970	10,296	1 460	0,489	7 000	6,937
Chironomides	—	—	170	0,012	—	—	—	—	340	0,135
Divers	20	0,022	—	—	30	0,017	—	—	—	—
TOTAL	6070	26,387	5 230	33,602	36 090	46,950	2010	1,342	9 750	12,561

Stations	11		12		13		6		7	
	Densité	Biomasse	Densité	Biomasse	Densité	Biomasse	Densité	Biomasse	Densité	Biomasse
Échinodermes	10	0,914	90	0,087	—	—	—	—	—	—
Pélicypodes	2710	10,527	290	0,408	410	6,199	970	3,179	—	—
Gastéropodes	260	7,901	60	2,201	—	—	430	3,754	2 340	3,229
Crustacés	170	0,210	220	0,104	110	0,208	3 540	0,997	—	—
Polychètes	690	1,664	560	0,586	1 500	1,064	4 130	1,767	—	—
Chironomides	—	—	—	—	—	—	1 270	0,261	—	—
Divers	420	5,582	140	0,619	880	0,536	—	—	—	—
TOTAL	4260	26,798	1 360	4,005	2 900	8,007	10 340	9,958	2 340	3,229

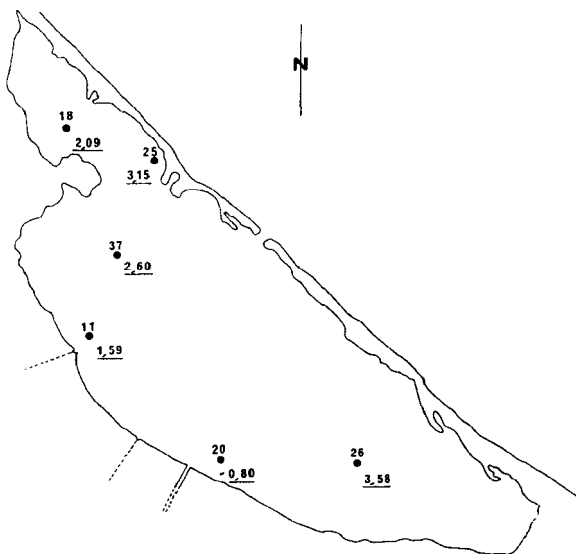


Figure 11

Richesse spécifique et diversité (valeurs soulignées) de la macrofaune benthique. L'indice de diversité de Shannon a été calculé sur les effectifs.

Specific richness and diversity (underlined values) of the benthic macrofauna. The Shannon diversity index has been calculated from the total numbers.

Ces fortes densités sont dues à la prolifération d'espèces dominantes comme ; *Capitella capitata*, *Corbula gibba*, *Brachydontes marioni*, *Loripes lacteus* et *Bittium reticulatum*. Ces espèces présentes en grande quantité se relaient le long du gradient de confinement pour passer d'une dominance de mollusques pélicypodes dans les zones à confinement modéré, à une prolifération de polychètes dans les zones plus confinées.

L'ensemble de ces données qualitatives et quantitatives permet de dresser une carte des zones de confinement de la lagune de Nador (fig. 13) : celle-ci montre la large

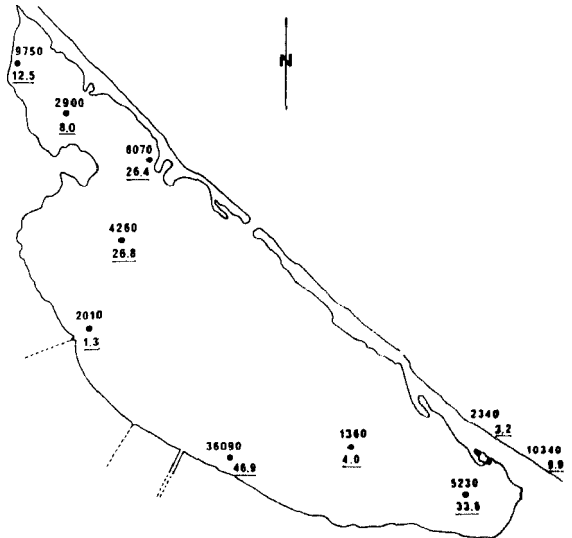


Figure 12

Densité (en nombre d'individus/m²) et biomasse (g/m², nombres soulignés) de la macrofaune benthique.

Density (number of individuals per m²) and biomass (g/m², underlined values) of the macrobenthofauna.

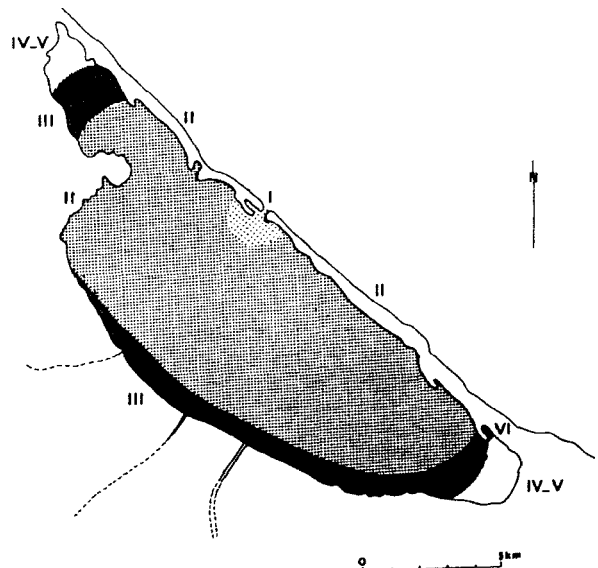


Figure 13

Carte schématique des zones de confinement (Guelorget, Perthuisot, 1983) dans la lagune de Nador.

Schematic map of the confinement zones (Guelorget, Perthuisot, 1983) in Nador lagoon.

dominance de la zone II, caractérisée par la présence d'espèces thalassiques (Guelorget, Perthuisot, 1983), les espèces strictement paraliqes étant rejetées aux deux extrémités confinées du bassin. Ainsi, à cause de ses caractéristiques écologiques, la lagune de Nador mérite le nom de Mar Chica (petite mer en Espagnol) qu'elle porte aussi.

Cette situation peut sembler paradoxale eu égard à la taille de la passe vis-à-vis de celle du bassin qui laisserait présager, *a priori*, d'un confinement élevé du bassin. On observera que :

- il existe des possibilités d'échanges hydriques à travers le lido sableux;
- la profondeur moyenne du bassin est forte vis-à-vis de sa surface, du moins par rapport à la moyenne des lagunes méditerranéennes. Cet important volume d'eau présente évidemment une forte inertie : après l'intrusion massive d'eau de mer lors de la rupture du lido, le bassin ne se confine que très lentement pendant et après la cicatrisation de la passe. Un exemple particulièrement significatif d'un tel phénomène est celui de la Mer Caspienne (Guelorget, Perthuisot, 1983) qui, bien que séparée du domaine marin depuis l'aube du Quaternaire, comporte encore des espèces thalassoïdes lagunaires.

CONCLUSION

Dans le concert des bassins paraliqes périméditerranéens, la lagune de Nador apparaît comme originale à plusieurs titres :

— Il s'agit d'un corps d'eau homogène, tant par ses caractéristiques chimiques que biologiques. Il en résulte une grande monotonie des faciès sédimentaires.

— Par ailleurs, hormis certaines zones marginales de faible extension, la totalité du bassin se situe en zone II (Guelorget, Perthuisot, 1983); c'est-à-dire que l'écosystème, dans son ensemble, est apparenté au domaine marin.

— Ces deux caractères se traduisent par l'absence de stratification des eaux. A cet égard, on peut remarquer que seuls les bassins paraliqes subissant un confinement notable (zones IV-V) présentent une stratification marquée même dans les milieux les plus laminaires, comme en témoignent de nombreuses observations (Guelorget, Michel, 1976; Perthuisot *et al.*, 1983; Guelorget *et al.*, 1984c; Clastère, 1984). En effet, il est clair que dans les bassins où les zones fortement confinées ont quelque ampleur, les écarts de concentration des eaux favorisent la superposition de corps d'eaux de densités différentes. En outre, l'excès de production de matière organique essentiellement d'origine phytoplanctonique, y favorise la tendance anoxique du corps d'eau inférieur.

— Enfin, le modèle de la lagune de Nador montre qu'il existe une certaine inertie des corps d'eaux paraliqes profonds vis-à-vis des variations de leurs échanges avec le milieu marin. La réaction de ces milieux à l'isolement physique de la mer ne se traduit que lentement dans l'évolution sur l'échelle de confinement. L'exemple de la lagune de Nador montre aussi que les caractéristiques biologiques actuelles d'un bassin paralique ne peuvent dans certains cas se comprendre qu'à la lumière de son évolution historique, c'est-à-dire géologique.

RÉFÉRENCES

- Brêthes J. C., 1978. Observations hydrologiques sur la Sebkhia Bou Areg (Lagune de Nador) — Maroc — Bilan d'automne 1972 et d'hiver 1977, *Trav. Doc. Dêv. Pêche Maroc*, **24**, 17 p.
- Busson G., Perthuisot J.-P., 1977. Intêrêt de la Sebkhia el Melah (Sud tunisien) pour l'interprétation des séries évaporitiques anciennes, *Sediment. Geol.*, **19**, 2, 139-164.
- Clastère J., 1984. De la mer aux évaporites, biomasse et production du maillon primaire d'un marais salant (Camargue), *Thèse 3^e cycle*, Univ. Paris VI, 630 p.
- Erimesco P., 1961. La Mar Chica de Melilla, *Bull. Inst. Pêches Marit. Maroc*, **7**, 3-11.
- Frisoni G.-F., 1984. Contribution à l'étude du phytoplancton dans le domaine paralique, *Thèse Doct. Ing.*, Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier, 171 p.
- Frisoni G.-F., Guelorget O., Perthuisot J.-P., Ximenes M.-C., Monti D., 1982. Méthodologie des études d'impact de l'aquaculture en milieu lagunaire, Rapp. IARE présenté à la CEE, novembre 1982, ronéo, 187 p.
- Guelorget O., Michel P., 1976. Recherches écologiques sur une lagune saumâtre méditerranéenne, l'Étang du Prêvost (Hérault). I : Le milieu (95 p.) — II : Les peuplements benthiques (122 p.), *Thèse Spéc.*, Univ. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier.
- Guelorget O., Perthuisot J.-P., 1983. Le domaine paralique. Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement, *Trav. Lab. Géol. ENS. Paris*, **16**, 136 p.
- Guelorget O., Frisoni G.-F., Perthuisot J.-P., 1983. La zonation biologique des milieux lagunaires : définition d'une échelle de confinement dans le domaine paralique méditerranéen, *J. Rech. Océanogr.*, **8**, 1, 15-36.
- Guelorget O., Monti D., Frisoni G.-F., Perthuisot J.-P., 1984a. Diagnose écologique de la lagune de Nador, Rapp. FAO, mai 1984, ronéo, 52 p.
- Guelorget O., Frisoni G.-F., Ibrahim A., Jauzein A., Medhioub K., Clastère J., Maurin A., Rouchy J.-M., Perthuisot J.-P., 1984b. Ombilics hydrauliques et chenaux, zones singulières des bassins paraliqes. Leurs caractéristiques biologiques et sédimentaires, *V^e Congr. Eur. Sédim.*, Marseille, 202-203.
- Guelorget O., Frisoni G.-F., Ximenes M.-C., Perthuisot J.-P., 1984c. Expressions hydrochimiques, sédimentologiques et biologiques du confinement dans le Lac Melah (Algérie), *Rev. Hydrobiol. Trop.* (sous presse).
- Medhioub K., Perthuisot J.-P., 1981. The influence of peripheral sabkhas on the geochemistry and sedimentology of a Tunisian lagoon : Bahiret el Biban, *Sedimentology*, **28**, 679-688.
- Perthuisot J.-P., 1975a. La Sebkhia el Melah de Zarzis. Genèse et évolution d'un bassin salin paralique, *Trav. Lab. Géol. ENS., Paris*, **9**, 252 p.
- Perthuisot J.-P., 1975b. De la signification du mot sebkhia en géologie. Exemples tunisiens, Assoc. Sénégal. Ét. Quat. Afr. Bull. Liaison, 44-45, 67-75.
- Perthuisot J.-P., Guelorget O., 1983. Le confinement, paramètre essentiel de la dynamique biologique du domaine paralique, *Sci. Géol. Bull.*, **36**, 4, 239-248.
- Perthuisot J.-P., Guelorget O., Frisoni G.-F., Maurin A., 1983. Expressions hydrochimiques, sédimentologiques et biologiques du gradient de confinement dans un partènement salinier abandonné : le Triangle des Bermudes (Santa Pola, Espagne), *J. Rech. Océanogr.*, **8**, 1, 38-56.
- Sournia A., 1982. Form and function in marine phytoplankton, *Biol. Rev.*, **57**, 347-394.
- Tesson M., 1977. Régime hydrologique et hydrodynamique de la Sebkhia Bou Areg (lagune de Nador, Maroc). Bilan du printemps 1976, *Trav. Doc. Dêv. Pêche Maroc*, **21**, 67 p.
- Tesson M., Gensous B., 1981. Quelques caractères de la géochimie d'une lagune microtidale : la sebkhia Bou Areg (Maroc), 106^e Congr. Natl. des Sociétés savantes, Perpignan, 1981, Sciences, fasc. III, 183-194.