

Évolution biogéologique de la lagune de Nador (Maroc) au cours de la période 1982-1993

Paralique
Confinement
Maroc
Actuel
Eutrophisation

Paralic
Confinement
Morocco
Present
Eutrophication

Anne LEFEBVRE ^a, Olivier GUELORGET ^b, Jean-Pierre PERTHUISOT ^c
et Jamal Eddine DAFIR ^d

^a Laboratoire d'Hydrobiologie Marine, École Pratique des Hautes Études, Université Montpellier-II, place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 5, France.

^b Laboratoire d'Hydrobiologie Marine, URA CNRS 1355, Université Montpellier-II, place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 5, France.

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

^d Laboratoire de Sédimentologie et de l'Environnement, Université Hassan-II, Casablanca, Maroc.

Reçu le 25/07/95, révisé le 22/03/96, accepté le 26/03/96.

RÉSUMÉ

L'évolution biogéologique de la lagune de Nador pendant la période 1982-1993 a été évaluée à partir des paramètres de l'eau, de la biomasse chlorophyllienne, du macrobenthos et des sédiments superficiels.

La comparaison des données actuelles avec les données de 1982-83 (Guelorget *et al.*, 1984) montre que :

- l'organisation et le fonctionnement global du bassin (circulation des eaux, zonation biologique et sédimentologique) restent inchangés dans l'ensemble,
- le confinement général, décrit par la zonation biologique, a légèrement augmenté avec l'extension accrue des zones de confinement élevé (zones IV à VI) au détriment des zones de faible confinement, notamment les zones I et II,
- la principale modification de l'écosystème est l'eutrophisation et l'augmentation considérable des apports et de la sédimentation de matière organique induits par l'urbanisation et les activités aquacoles.

Cette évolution apparaît irréversible, mais au delà de ces considérations environnementales, cette étude a également permis de préciser les relations existant entre l'écosystème et la mer.

ABSTRACT

Biogeological evolution of Nador lagoon (Morocco) over the 1982-1993 period

The biogeological evolution of Nador lagoon over the 1982-1993 period was surveyed through water parameters, chlorophyll biomass, macrobenthos and surficial sediments.

Comparison of present data with the 1982-83 ones (Guelorget *et al.*, 1984) shows that:

- the general organization and functioning of the basin (water circulation, biological and sedimentological zonations) remain roughly the same,

- the global confinement as described by the biological zonation has slightly increased, with an extension of the high confinement zones (zones IV to VI) to the detriment of the low confinement zones, notably zones I and II,
- the main change has been eutrophication and a dramatic increase of organic matter inputs and sedimentation, due to increasing urbanization and the development of aquacultural activities.

This evolution seems to be irreversible. Beyond these environmental considerations, this study also permitted a clearer definition of the relationships between the basin and the sea.

Oceanologica Acta, 1997, 20, 2, 371-385.

INTRODUCTION

La lagune de Nador a fait l'objet d'un certain nombre d'études visant notamment à définir son organisation hydrologique, sédimentologique et biologique (Erimesco, 1961 ; Tesson, 1977 ; Brethes et Tesson, 1978 ; Tesson et Gensous, 1981 ; Frisoni *et al.*, 1982 ; Guelorget *et al.*, 1984 et 1987 ; Zine, 1989). Les recherches effectuées par nous-mêmes principalement entre 1980 et 1983 avant l'implantation de diverses activités aquacoles, à partir de 1987, se poursuivent à nouveau depuis 1993.

L'application de la même stratégie d'étude, tant en ce qui concerne l'emplacement des stations que les techniques de prélèvements et d'analyses, nous permet aujourd'hui de préciser l'évolution de cet écosystème paralique (Guelorget et Perthuisot, 1983, 1992). A cet égard, la lagune de Nador présente un grand intérêt, puisque pendant ces dix dernières années elle a évolué en situation de quasi-fermeture sous l'effet du colmatage progressif de la passe.

La présente étude prend en compte l'ensemble des données disponibles en ce qui concerne à la fois les paramètres de l'eau, descripteurs instantanés, et les paramètres du sédiment, descripteurs intégrateurs des différents événements survenus au cours d'un peu plus qu'une décennie. Elle vise à évaluer la réaction des différents secteurs de la lagune à une augmentation du confinement global de l'écosystème à laquelle s'ajoute l'urbanisation croissante du bassin versant et l'implantation d'activités aquacoles.

LE CADRE GÉOGRAPHIQUE

Situation

La lagune de Nador (11 500 ha), en fait une « bahira-lagune » (Perthuisot et Guelorget, 1992), est située entre le Cap des Trois Fourches et le Cap de l'Eau, sur le littoral nord-est marocain (fig. 1). Elle occupe la partie aval d'une gouttière orientée SO/NE, la plaine de l'oued Gareb (ou Bou Areg), encadrée par le massif volcanique de Gourougou au nord-ouest, les massifs de Kebdana et du Jbel Ziata au sud.

Le bassin

La lagune est un bassin allongé, accidenté sur sa bordure occidentale par la péninsule d'Atalayoun. La profondeur

augmente rapidement à partir des rives pour se stabiliser dans la partie centrale entre 6 et 7 m.

Le plan d'eau communique avec la mer Méditerranée par une passe, ou « bokhana », entaillant le lido sur quelques mètres de large, et de profondeur décimétrique. Son emplacement sur le cordon littoral a varié au cours du temps (Erimesco, 1961 ; Tesson, 1977).

Les apports continentaux (eaux et sédiments) proviennent principalement de l'oued Selouane et de l'oued Bou Areg, qui coulent de manière permanente en hiver, mais intermittente en été, ainsi que des canaux d'irrigation de la plaine du Bou Areg (Tesson et Gensous, 1981). A ces apports, il faut ajouter ceux de la station d'épuration et des eaux usées de la ville de Nador, de Beni Ansar et de Kariat Arkmane ainsi que ceux de la nappe phréatique, mise en évidence par Carlier (1971), qui alimente en eaux douces la bordure continentale du bassin. Selon Frisoni *et al.* (1982), le volume des eaux douces qui parviennent à la lagune serait de $40 \text{ à } 200 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ par le ruissellement et $18 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ par la nappe phréatique. À la même époque le débit des eaux usées, traitées ou non, des zones urbaines de Nador, Kariat et Beni Ansar (fig. 1) étaient estimées entre 8 000 et 10 000 m^3/jour . Quant à la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation, elle variait entre 60 et $210 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$.

L'amplitude de la marée est faible et n'excède pas 0,35 m à l'entrée de la lagune de Nador (Brethes et Tesson, 1978).

Le climat

Le climat est de type méditerranéen. La pluviométrie, faible et irrégulière, varie suivant les années de 150 à 450 mm/an, avec deux valeurs maximales, l'une en décembre et l'autre en avril. La saison sèche s'étale de juin à septembre. Les températures moyennes mensuelles varient entre 13 °C en janvier et 26 °C en août. La température minimale est enregistrée au mois de janvier (1 °C) et le maximum se situe en août (35 °C). Le direction dominante des vents est OSO de novembre à mai, et ENE de mai à octobre (Tesson, 1977).

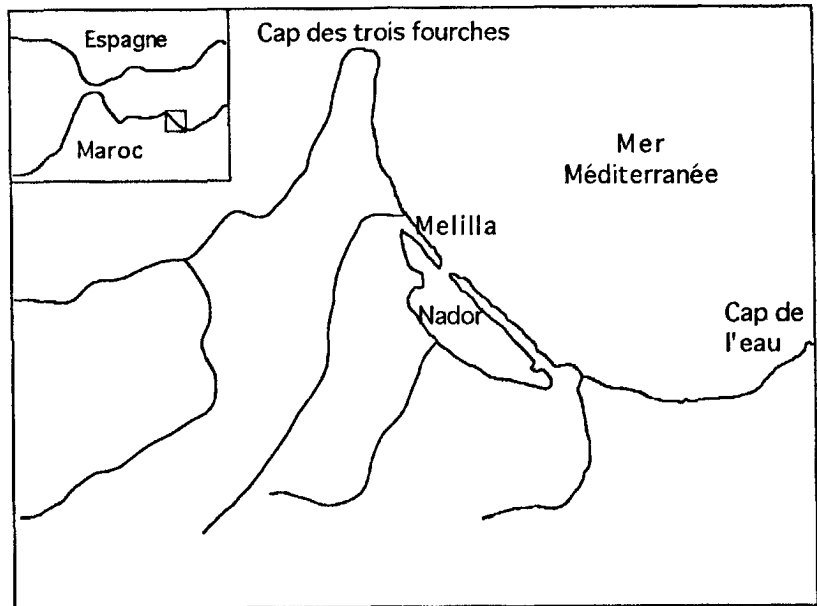
MATÉRIELS ET MÉTHODES

Dans la présente étude, l'approche écologique globale de la lagune de Nador a été conduite sur un réseau de 21 stations

Figure 1

Situation géographique de la lagune de Nador (d'après Tesson et Gensous, 1971).

Geographical situation of Nador lagoon (after Tesson and Gensous, 1971).



(fig. 2) qui ne coïncide pas exactement avec les réseaux antérieurs. Il permet cependant de couvrir l'ensemble de l'écosystème en une journée, ce qui autorise à admettre que l'ensemble des prélèvements effectués est représentatif d'une situation instantanée de l'écosystème.

PARAMÈTRES DES EAUX

Hydrologie

Les paramètres physico-chimiques classiques (température, pH, conductivité et oxygène dissous) sont mesurés

directement sur le terrain à l'aide d'une sonde multi-paramètre Horiba U 10, en surface et sur le fond, à toutes les stations.

Biomasses chlorophylliennes

Les peuplements phytoplanctoniques ont fait l'objet d'une analyse quantitative basée sur l'évaluation de la biomasse chlorophyllienne (chlorophylle *a* et phéophytine *a*) à l'aide de la méthode fluorimétrique de Lorenzen (1966) améliorée par Frisoni (1984). Les résultats sont exprimés en mg de chlorophylle *a* /m³ et en pourcentages de phéopigments par rapport à la totalité des pigments chlorophylliens.

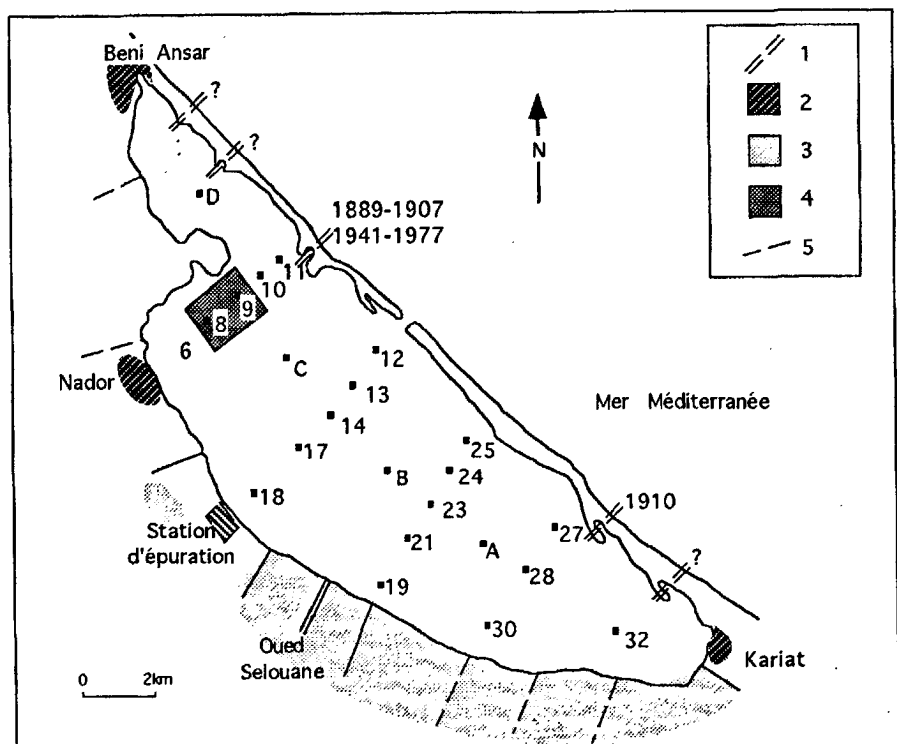
Figure 2

Environnement géographique et localisation des stations de prélèvements (d'après Erimesco, 1961 ; Tesson, 1977 ; Guelorget *et al.*, 1987).

1 : Positions antérieures de la passe ; 2 : Agglomérations ; 3 : Zones agricoles irriguées ; cultures intensives ; 4 : Zones d'élevage aquacole ; 5 : Écoulements sporadiques.

Geographical environment and location of sampling stations (after Erimesco, 1961 ; Tesson, 1977 ; Guelorget et al., 1987).

1 : Previous location of the pass; 2: Town, village; 3: Irrigated agricultural zone; intensive cultures; 4: Fish farming; 5: Sporadic flow.



PARAMÈTRES DU SÉDIMENT

Les sédiments ont été prélevés en surface, dans les deux premiers centimètres, sur l'ensemble de la lagune au moyen d'un carottier en plastique d'un diamètre de 15 cm et d'une hauteur de 30 cm.

Le sédiment est séché à 60 °C, puis pesé une première fois (à 0,1 mg près) et tamisé sous l'eau dans un tamis de 63 µm de maille. Les fractions sont à nouveau séchées, puis pesées. La différence entre les deux pesées, exprimée en pourcentage par rapport au poids total de l'échantillon, représente la teneur en fraction fine.

Les teneurs en matière organique ont été évaluées par la méthode de la perte au feu à 450 °C après acidification afin d'éliminer le CO₂ des carbonates et mise à l'étuve à 110 °C. Les pourcentages sont rapportés au poids de sédiment brut sec. Cette méthode est peu précise, notamment lorsque le sédiment comporte une fraction argileuse importante. Elle est cependant facile à mettre en œuvre.

Le potentiel d'oxydo-réduction a été mesuré directement sur le terrain.

Macrobenθος

Sur la base des connaissances acquises en 1983 (Guelorget *et al.*, 1994), le macrobenθος a fait l'objet d'une étude qualitative des différents biotopes correspondant à la zonation établie.

LA SITUATION ACTUELLE

Les eaux

Température

A chaque campagne, et quelle que soit la saison, les températures sur l'ensemble du bassin sont relativement homo-

gènes, tant en surface que dans les eaux de fond. De plus, la variation annuelle est sensiblement identique pour l'ensemble des stations. Au voisinage de la passe, cependant, les eaux présentent des températures légèrement inférieures en été, ce qui témoigne, dans cette région de la lagune, d'apports d'eaux marines plus fraîches.

Les variations saisonnières de la moyenne des températures des eaux de la lagune de Nador suivent étroitement les variations de la température atmosphérique avec cependant une amplitude plus faible (fig. 3). Le minimum thermique se situe en janvier ou en février, selon les années, puis la température augmente progressivement jusqu'au mois d'août où elle atteint son maximum (Lozano Cabo, 1953 ; Tesson et Gensous, 1981 ; Zine, 1989).

Conductivité/Salinité

Actuellement, la salinité moyenne des eaux de la lagune varie entre 39,5 et 43,5 au cours du cycle annuel (fig. 4). De juin à décembre la salinité dépasse 40 dans la majeure partie du bassin, ce qui confère à ce milieu paralique un caractère légèrement sursalé. Ces valeurs élevées sont la conséquence directe, d'une part de la quasi-fermeture de la passe, et d'autre part du déficit hydrique élevé en été.

Cependant la répartition spatiale des conductivités, notamment en juin 1993, met en évidence la présence, au sein des eaux lagunaires, de lentilles d'eaux de plus faible conductivité (fig. 5) dont la présence pourrait s'expliquer par des contaminations par la nappe de la plaine du Bou Areg. Les apports directs du bassin versant ne pouvant, seuls, expliquer ce phénomène, il paraît logique de penser à une contamination par la nappe phréatique de la plaine du Bou Areg dont l'épaisseur est supérieure à 60 m (Carlier, 1971) et dont la surface se situe à un mètre au dessous du niveau de la lagune, c'est-à-dire nettement au dessus du fond de celle-ci.

Dans un corps d'eau fermé comme la lagune de Nador, le seul moteur des eaux reste le vent, et le mouvement des

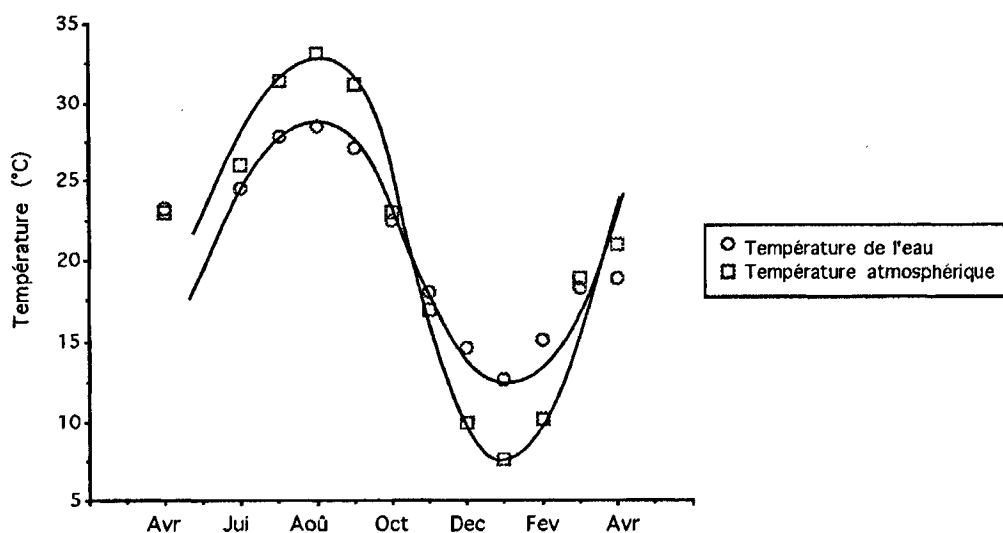


Figure 3

Évolution de la température moyenne des eaux de la lagune de Nador et de la température de l'air (1992-93).

Evolution of the mean lagoonal water temperature and air temperature (Nador lagoon, 1992-93). Round dots: water temperature; square dots: air temperature.

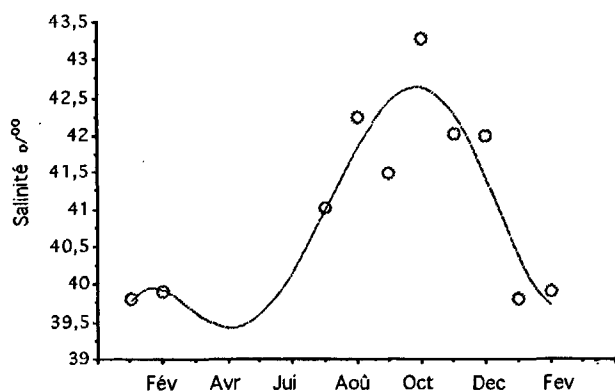


Figure 4

Évolution annuelle de la salinité moyenne des eaux de la lagune de Nador (1992-93)

Evolution (1992-93) of average salinity of Nador lagoon waters.

eaux n'est pas suffisamment important pour homogénéiser le milieu. Les images fournies par les cartes de salinité montrent une circulation des eaux identique à celle de 1983, c'est à dire une rotation de l'ensemble du corps d'eau dans le sens horaire.

Oxygène dissous et pH

Les valeurs d'oxygène dissous au cours de l'année sont comprises entre 5 et 11,2 mg/l (en valeurs corrigées de la salinité). Le minimum se situe au mois d'octobre et le maximum au mois de décembre. Les valeurs d'oxygène dissous sont plus importantes – au moins le jour – dans les eaux de fond, augmentation liée à la présence d'herbiers à *Cymodocea nodosa*, *Zostera noltii* et *Caulerpa prolifera* présents sur l'ensemble du bassin.

Les variations de pH sur l'ensemble de l'écosystème, tout au long de l'année sont faibles. Le pH reste compris entre 8 et 8,9. Ces faibles variations sont difficilement interpré-

tables, car le pH est un paramètre complexe dont la valeur dépend de nombreux facteurs tant chimiques que biologiques.

Néanmoins, ces valeurs d'oxygène dissous et de pH sont symptomatiques d'une forte activité photosynthétique globale (Frisoni, 1984).

Biomasses chlorophylliennes

Deux campagnes de mesures ont été effectuées en juin 1993, période de l'année où l'activité phytoplanctonique est encore en phase de croissance et donne ainsi des images du fonctionnement lagunaire pré-estival. Il est à souligner que, à l'heure actuelle et d'une manière générale, la biomasse phytoplanctonique de la lagune de Nador est relativement élevée par comparaison avec les valeurs habituellement recensées dans les bassins paraliques périméditerranéens (Frisoni, 1984 ; Jouffre et Amanieu, 1991 et recherches personnelles).

Au mois de juin 1993, la biomasse phytoplanctonique de la lagune de Nador se situe autour d'une moyenne de 2,0 mg Chl a /m 3 dans les eaux de surface et de 3,70 mg Chl a /m 3 dans les eaux de fond. Ainsi, la fermeture de la passe entraîne un confinement progressif des eaux de la lagune qui favorise le développement des populations phytoplanctoniques et, par là, l'assimilation chlorophyllienne et l'établissement de fortes biomasses. Les différences de valeurs entre le fond et la surface ne sont pas nécessairement l'indice d'une stratification des eaux ; il peut ne s'agir que d'un simple gradient vertical. Les taux de phéopigments sont élevés sur l'ensemble du plan d'eau (60 à 85 % de la biomasse pigmentaire totale). Ils indiquent un mauvais état physiologique global des populations phytoplanctoniques.

Par ailleurs, les cartes de répartition établies le 8 juin 1993 mettent en évidence l'existence de blooms phytoplanctoniques qui se caractérisent par des valeurs supérieures à 12 et pouvant atteindre 29 mg Chl a /m 3 (fig. 6). Ces blooms se

Tableau 1.

Valeurs de la biomasse chlorophyllienne moyenne de quelques bahiras méditerranéennes. Pour chaque écosystème la valeur moyenne de biomasse chlorophyllienne est obtenue à partir de données récoltées au cours des quatre grandes saisons qui marquent le cycle annuel. Ces valeurs sont, de ce fait, tout-à-fait comparables.

Values of the mean chlorophyl biomass in several Mediterranean lagoons (bahira type). For each ecosystem the mean value is calculated from data collected in each of the four seasons so that these values can be compared.

Année	Bahiras méditerranéennes	Biomasse (moyenne annuelle) mg Chl a /m 3
1991	Baie de Kalloni (Grèce)	0,45
1992	Baie de Kalloni (Grèce)	0,28
1993	Baie de Kalloni (Grèce)	0,46
1980	Bahiret El Biban (Tunisie)	0,4 à 1,0
1975-76	Étang de Thau (France)	1,6
1987	Étang de Thau (France)	0,91
1976-77	Étang de Diana (France)	1,9
1994	Étang de Diana (France)	2,3
1978-79	Étang d'Urbino (France)	1,9
1994	Étang d'Urbino (France)	0,7
1982	Lagune de Nador (Maroc)	0,7
1993	Lagune de Nador (Maroc)	2,84

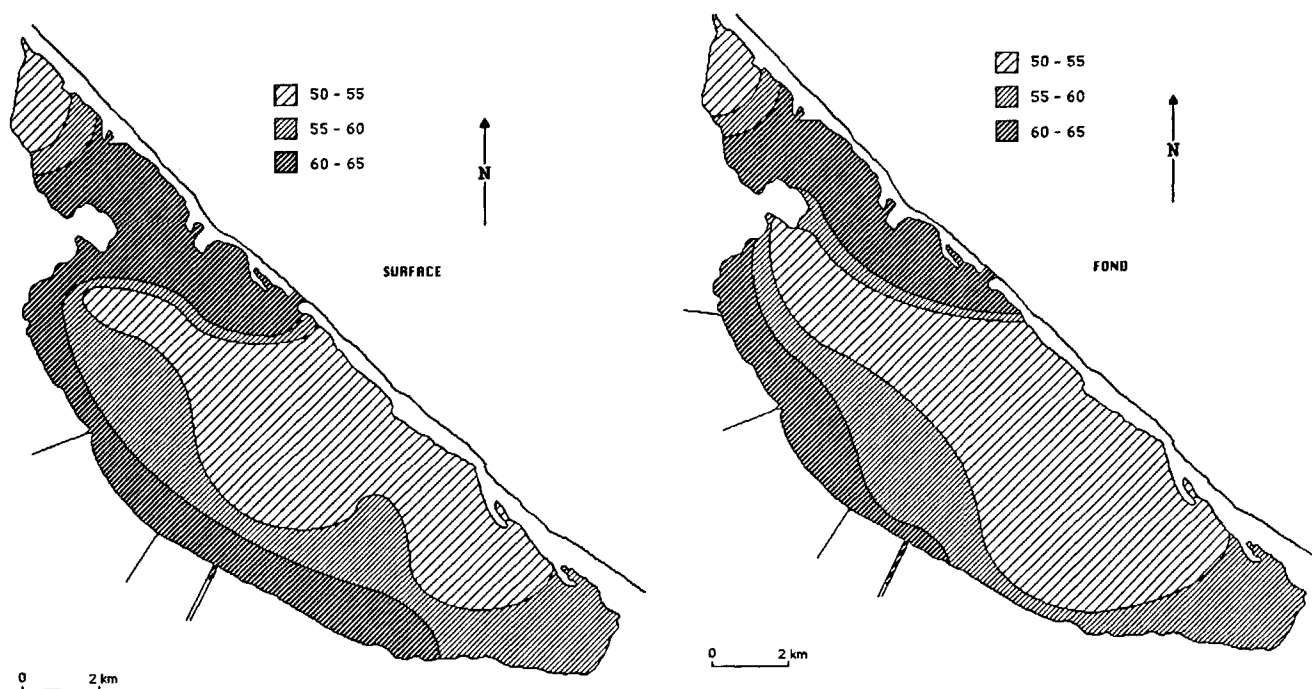


Figure 5

Répartition des conductivités (mS/cm^2) dans les eaux de surface et de fond de la lagune de Nador (8 juin 1993).

Distribution of conductivities (mS/cm^2) in surface and bottom waters of Nador lagoon, 8 June 1993.

localisent, dans la région de la ferme aquacole (station 9), le long de la rive continentale (stations 18, 19). D'après leur situation, dans des secteurs sous influence continentale pour les premiers et marine pour les autres, il est probable que ces blooms ont des origines différentes et ne concernent pas les mêmes espèces. Leur développement est optimal dans les eaux de fond où l'on recense les plus fortes biomasses chlorophylliennes ; les faibles taux de phéophytine à ce niveau indiquent le caractère juvénile des populations phytoplanctoniques concernées.

Cependant, au voisinage de la bokhana, se décèle une forte biomasse d'environ $12 \text{ mg Chla}/\text{m}^3$ correspondant vraisemblablement à des apports d'un matériel phytoplanctonique d'origine marine, déstabilisé par les conditions paraliques et en voie de sédimentation. En effet, les taux élevés de phéophytine témoignent du mauvais état physiologique de ces populations. En outre, la taille réduite de cette tache souligne les effets de la marée dont l'action reste limitée au voisinage immédiat de la passe.

Toutes ces observations indiquent une nette tendance actuelle du système à l'eutrophisation.

LES SÉDIMENTS

Granulométrie

Les sédiments superficiels de la lagune sont des vases et des sables fins à moyens avec une phase biodétritique conséquente (Tesson et Gensous, 1979 et 1981 ; Guelorget *et al.*, 1987 ; Irzy, 1987).

Les vases, silts argileux à faible teneur en carbonates (20 %), occupent la zone centrale et la bordure continentale de la lagune. Les sables fins, généralement bioclastiques et riches en carbonates (40 à 60 %), sont localisés le long du cordon littoral, notamment au voisinage de la passe actuelle.

La fraction fine, inférieure à $63 \mu\text{m}$, dans la lagune de Nador présente une organisation zonale transversale marquée (fig. 7). En effet, les teneurs en fraction fine se répartissent selon un gradient croissant depuis le cordon littoral (14 à 20 %) vers la zone la plus continentale (83 à 91 %). On rencontre donc successivement des sables de plus en plus fins, des sables vaseux et vases sableuses dans la partie centrale de la lagune, et enfin des vases le long de la rive continentale. La zone centrale est relativement homogène. Les teneurs les plus élevées en fraction fine se rencontrent au niveau de la station d'épuration et aux deux extrémités (NO et SE) de la lagune. Toutefois, le long de la rive continentale, les débouchés des principaux oueds se signalent par des sédiments plus grossiers sableux (< 50 %).

La répartition de la fraction fine dans la lagune de Nador suit donc le schéma classique de l'organisation sédimentaire des systèmes lagunaires (Guelorget et Michel, 1977 ; Gadel, 1968 ; Guelorget *et al.*, 1994) au sens strict, c'est-à-dire ceux des bassins paraliques qui sont séparés de la mer ouverte par un lido sableux (Perthuisot et Guelorget, 1992). Cependant, on observe en 1993, par rapport à 1982-1983, une augmentation de la proportion de fines sur l'ensemble du bassin et notamment dans toute sa partie centrale.

La matière organique

La répartition de la matière organique suit globalement la répartition de la teneur en fraction fine (fig. 8). En 1993, les plus faibles teneurs en matière organique se rencontraient encore au voisinage de la passe actuelle (0,2 à 1%) et le long du lido (5 %). La zone centrale présentait des taux moyens, compris entre 4 et 10,6 %, mais les extrémités de la lagune et la bordure continentale, notamment au voisinage de la station d'épuration étaient enrichies en matière organique (18 à 22 %), par rapport à la situation de 1982-1983.

Le potentiel d'oxydo-réduction (Eh) d'un sédiment, c'est-à-dire de son eau interstitielle, est en relation étroite avec sa teneur en matière organique. Ainsi, les sédiments superficiels de la lagune de Nador ont en général un caractère faiblement oxydant. La partie centrale présente des valeurs moyennes, de l'ordre de + 100 à + 75 mV. Les valeurs les plus faibles se trouvent au niveau de la station d'épuration (+ 50 à 0 mV). Les deux extrémités, nord-ouest et sud-est, présentent les valeurs les plus fortes (supérieures à + 100 mV) à cause de la présence de tapis cyanobactériens recouvrant le sédiment. Les sédiments au niveau de la passe actuelle et des passes colmatées les plus récentes ont un potentiel d'oxydoréduction compris entre + 75 mV et + 50 mV, ce qui correspond à une zone peu riche en matière organique et en fraction fine.

L'organisation naturelle des sédiments de la lagune est soumise à plusieurs facteurs d'influence qui expliquent l'individualisation de zones caractéristiques.

La géomorphologie du bassin contribue à l'isolement de certaines zones lagunaires. Ainsi, les extrémités nord-ouest et sud-est du bassin qui sont les zones les plus éloignées des apports marins et des principaux courants se trouvent donc naturellement confinées et les sédiments y sont riches en fraction fine et en matière organique. Ces taux relativement élevés de matière organique sédimentaire sont essentiellement liés au caractère biogéologique naturel de ces zones où la production primaire l'emporte sur la consommation (Guelorget et Perthuisot, 1992). S'y ajoutent localement des rejets urbains.

Les apports sédimentaires sont relativement importants au débouché de l'oued Selouane et en bordure du lido, notamment au voisinage de la passe. Ces deux zones se caractérisent par la présence de sédiments grossiers de type sableux avec des taux de matière organique relativement faibles, en particulier au niveau de la passe. Le potentiel d'oxydo-réduction y est toujours supérieur à + 50 mV avec des valeurs dépassant parfois + 125 mV.

Des apports d'origine anthropique viennent modifier le milieu de manière sensible, notamment au voisinage de la station d'épuration, dont le fonctionnement paraît plus ou moins aléatoire, et à celui de la ferme aquacole qui contribue à l'engraissement du sédiment par un apport continu de matière organique issue des élevages. Dans ces deux zones, les sédiments sont riches en fraction fine et en matière organique, le potentiel d'oxydoréduction indique un milieu au voisinage de Eh = 0.

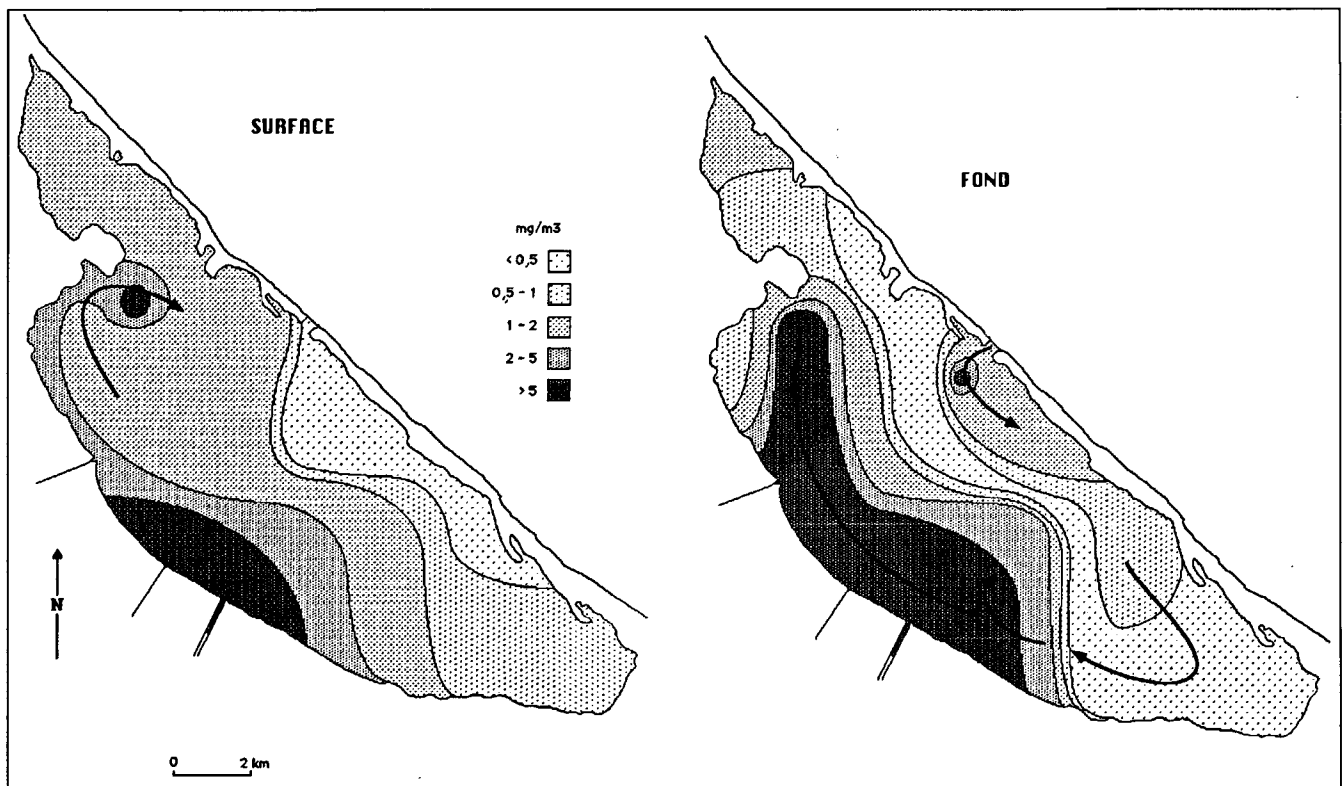


Figure 6

Répartition de la biomasse de chlorophylle *a* (mg/m^3) dans les eaux de surface et de fond de la lagune de Nador (8 juin 1993).

Distribution of the chlorophyll a biomass (mg/cm^3) in surface and bottom waters of Nador lagoon, 8 June 1993.

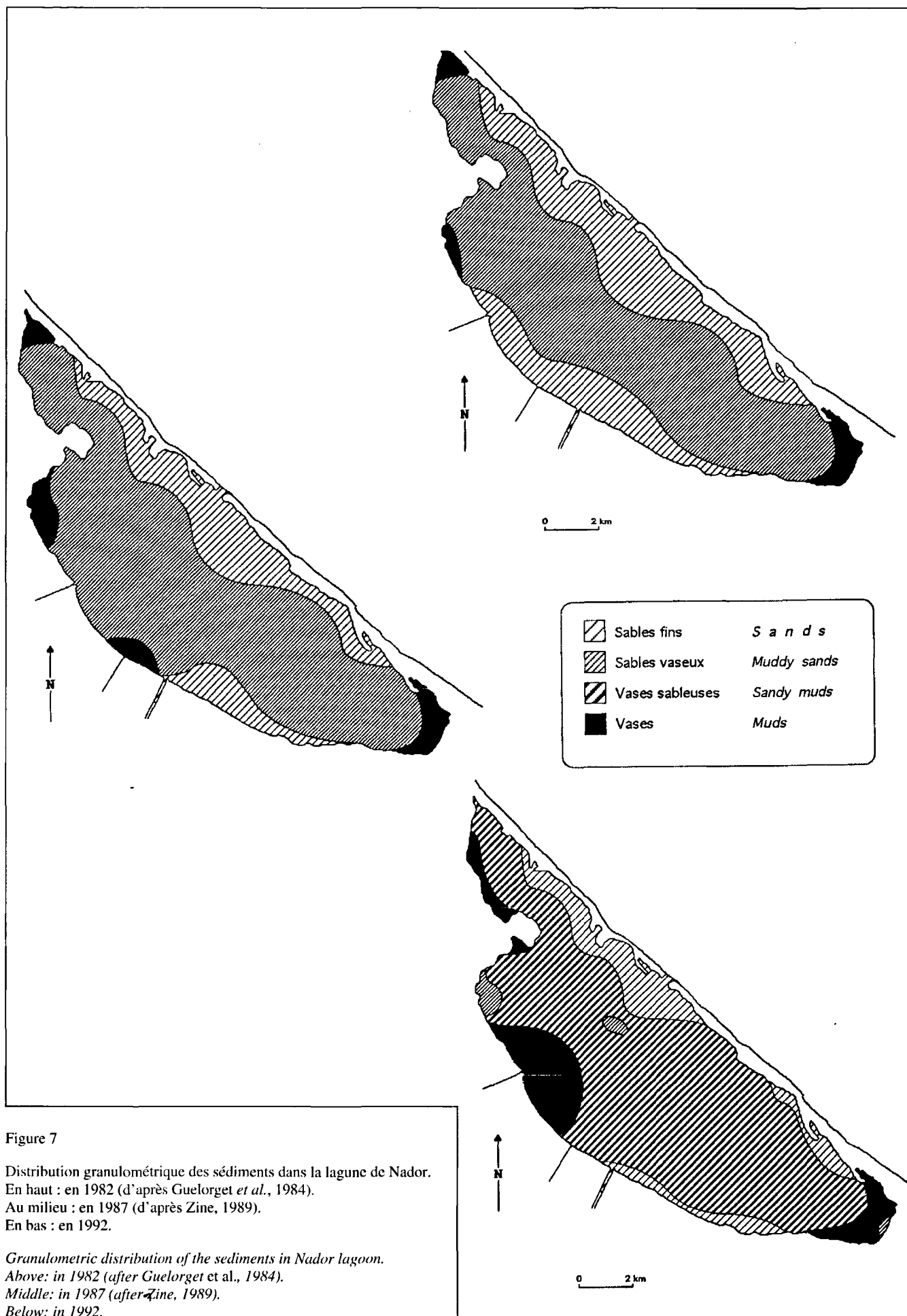


Figure 7

Distribution granulométrique des sédiments dans la lagune de Nador.
 En haut : en 1982 (d'après Guelorget *et al.*, 1984).
 Au milieu : en 1987 (d'après Zine, 1989).
 En bas : en 1992.

Granulometric distribution of the sediments in Nador lagoon.
Above: in 1982 (after Guelorget et al., 1984).
Middle: in 1987 (after Zine, 1989).
Below: in 1992.

L'ÉVOLUTION DE LA LAGUNE DE NADOR

Compte tenu du colmatage de la passe et des pressions anthropiques qui agissent sur la lagune depuis plusieurs années, l'écosystème a subi une évolution significative. Cette évolution est évaluée à travers les données récoltées depuis 1981 concernant les caractéristiques environnementales prises en considération aussi bien dans les eaux que dans les sédiments au cours des différentes études.

HYDROLOGIE

L'évolution hydrologique de la lagune est liée de manière étroite à celle de la communication avec la mer.

La lagune de Nador est en effet séparée de la mer par un cordon dunaire d'environ 24 km de longueur. Ce cordon a subi de nombreuses modifications, au cours du temps, et notamment quant à la position de la communication avec la mer qui, lorsqu'elle existe, est unique. 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 développés côté lagune, à chaque ouverture de passe. Parfois ces hauts fonds sont déformés par les courants de dérive en flèches littorales ou en crochons.

En fait les périodes de communication alternent plus ou moins régulièrement avec les périodes de fermeture totale de la lagune :

– De 1907 à 1910, la lagune de Nador est restée totalement isolée de la mer, devenant ainsi un bassin à tendance évaporitique avec une surface très réduite. Le niveau de l'eau a alors baissé d'environ 70 cm.

– En 1910, la communication avec la mer fut rétablie par dragage et la passe constitua longtemps un accès navigable jusqu'à la ville de Nador. Cette passe, sous l'effet d'un ensablement graduel se colmata et une ancienne passe naturelle colmatée fut réouverte par dragage en 1941.

– En 1977, cette dernière passe fut complètement fermée, et, en 1979, la passe actuelle, ou « bokhana », s'est rouverte à la suite d'une tempête, après une fermeture totale de la lagune depuis 1977.

Cet écosystème a déjà fait l'objet d'études hydrologiques (Lozano Cabo, 1953 ; Erimesco, 1961 ; Brethes et Tesson, 1978 ; Zine, 1989 ; Guelorget *et al.*, 1987). Ces études mettaient en évidence des variations de la salinité au cours du temps qui, selon les auteurs, étaient mises en relation avec les modifications apportées soit au bassin versant, soit à la situation et aux dimensions de la passe.

Les salinités varient évidemment avec le degré d'ouverture de la passe (tab. 2). Les plus anciennes données datent de 1908-1909 et classent alors la lagune de Nador parmi les milieux hypersalins : c'était alors un système de type évaporitique sans communication avec la mer (De Buen, 1912 ; De Buen, 1930). On remarquera d'ailleurs que la lagune s'est appelée anciennement Sebkhah Bou Areg, ce qui suggère fortement que le bassin était au moins partiellement asséché et peut être recouvert d'une croûte de sel, à l'époque où cette dénomination de sebkhah lui a été attribuée, peut être lors de la conquête arabe.

En 1953, la salinité moyenne du bassin, ouvert à cette époque, était proche de celle du milieu marin. À la même époque, les zones de salinité minimale étaient parfaitement localisées au dessus de très importantes arrivées d'eau douce (Lozano Cabo, 1956).

De même, en 1961, la salinité moyenne est celle d'un écosystème paralytique de type ouvert, c'est-à-dire proche des conditions marines. Cependant, certaines régions, reculées et peu profondes, présentent des salinités supérieures à 40 en période estivale (Erimesco, 1961).

En 1976-77, les différentes études classent la bahira parmi les milieux hyposalins avec une stratification verticale des eaux et l'individualisation de plusieurs cellules hydrologiques (Saubade, 1979 ; Tesson et Gensous, 1981).

En 1986, la valeur maximale est rencontrée à l'extrémité nord ouest de la lagune (39,8) et la valeur minimale (33,7) en bordure continentale ; le bassin est en situation de quasi-fermeture et l'influence continentale est alors sensible (Zine, 1989).

Tableau 2.

États de la passe et salinités dans la lagune de Nador.

State of the entrance and salinities in Nador Lagoon.

Année	État de la passe	Salinité
Moyenne 1908	Fermeture	6° Beaumé (60)
Moyenne 1909	Fermeture	9° Beaumé (90)
Fév-Mars 1952	Ouverture partielle	36,2 à 37,8
Moyenne 1961	Ouverture	36,6 à 37,2
Juillet 1961	Ouverture	37,9 à 40,5
Moyenne 1976	Quasi-fermeture	35,5 et 34,2
Juin 1976	Quasi-fermeture	33 à 34,5
Moyenne 1977	Fermeture complète	< ou = à 32,2
Mars 1986	Quasi-fermeture	33,9
Septembre 1986	Quasi-fermeture	39,8
Moyenne 1993	Quasi-fermeture	39,5 à 43,5

Le tracé des diagrammes température/salinité (T/S) permet de synthétiser les données de température et de salinité recueillies depuis plusieurs années. Ce diagramme met en évidence l'hétérogénéité des valeurs enregistrées (fig. 9). En effet, les salinités varient globalement entre 32 et 43.

En période d'ouverture de la passe, la salinité générale de la lagune reste voisine de celle de l'eau de mer, excepté pendant les périodes les plus arides où le bassin évolue vers une légère sursalure. Lorsque la communication avec la mer est fonctionnelle, le milieu ne semble pas être affecté par les apports continentaux, même en période de forte pluviosité, puisque la salinité ne descend pas en dessous de 37.

Toutefois, compte tenu de l'histoire de la lagune, cette situation reste très rare, l'ouverture du bassin sur la mer étant relativement exceptionnelle et de courte durée. En période de fermeture ou de quasi-fermeture de la passe, les eaux de la lagune offrent de grandes variations de salinité. Les caractéristiques halines sont directement liées aux conditions climatiques et il se produit, soit une sursalure en période estivale, soit une dessalure induite par les pluies. Une période de sécheresse comme celle qu'a subi le Maroc entre 1982 et 1984 a provoqué une sursalure généralisée des eaux de la lagune de Nador. C'est probablement le cas encore en 1908-1909, où l'on a enregistré de très fortes valeurs de la salinité.

Ainsi, les conditions climatiques qui règnent dans la région de Nador ont une influence primordiale sur la situation haline de la lagune.

BIOMASSES CHLOROPHYLLIENNES

La biomasse phytoplanctonique dans les eaux de la bahira, se tenait en 1982, entre 0,1 et 2 mg Chl_a/m³. Au printemps, la biomasse était minimale à proximité de la passe avec des eaux marines entrantes, pauvres en chlorophylle, et maximale dans la partie centrale et le long de la rive continentale. En été, la biomasse était minimale au voisinage de la passe et augmentait légèrement vers les extrémités NO et SE (Frisoni, 1984 ; Guelorget *et al.*, 1987). La lagune de Nador se rangeait alors parmi les milieux oligotrophes, dont la biomasse est inférieure à 5 mg Chl_a/m³, et souvent proche de l'unité comme dans d'autres écosystèmes paraliques méditerranéens de même type comme Thau (Languedoc, France), Diana et Urbino (Corse, France), El Biban (Tunisie).

Ainsi, l'évolution des moyennes de chlorophylle *a* montre une augmentation régulière du phytoplancton de 1982 à 1993. Si l'on compare uniquement les valeurs moyennes obtenues en été, les biomasses chlorophylliennes ont plus que quadruplé en 10 ans (fig. 10). En hiver, l'évolution, évaluée sur trois années seulement, est encore plus importante. L'évolution de la situation printanière, elle aussi, est nette bien que moins marquée. Le printemps constitue en effet la période de démarrage de l'activité phytoplanctonique, tandis que l'hiver et l'été représentent les situations extrêmes. Il est donc logique que, au cours d'une période de transition, les valeurs enregistrées évoluent de manière moins spectaculaire qu'en période de relative stabilité de l'activité phytoplanctonique.

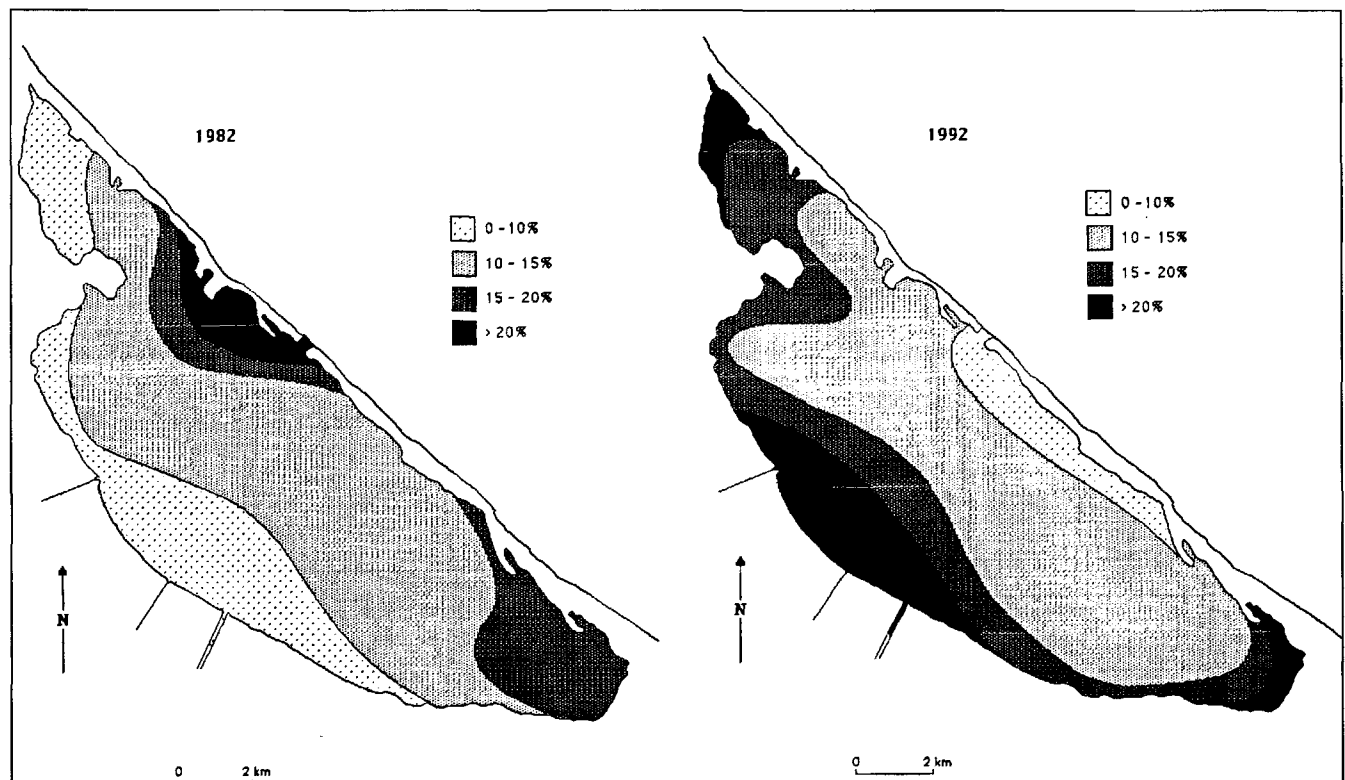


Figure 8

Distribution de la perte au feu (en %) des sédiments de la lagune de Nador. A gauche : en 1982 (d'après Guelorget *et al.*, 1984). A droite : en 1992.

*Distribution of the fire loss (%) in Nador lagoon sediments. Left: in 1982 (after Guelorget *et al.*, 1984). Right: in 1992.*

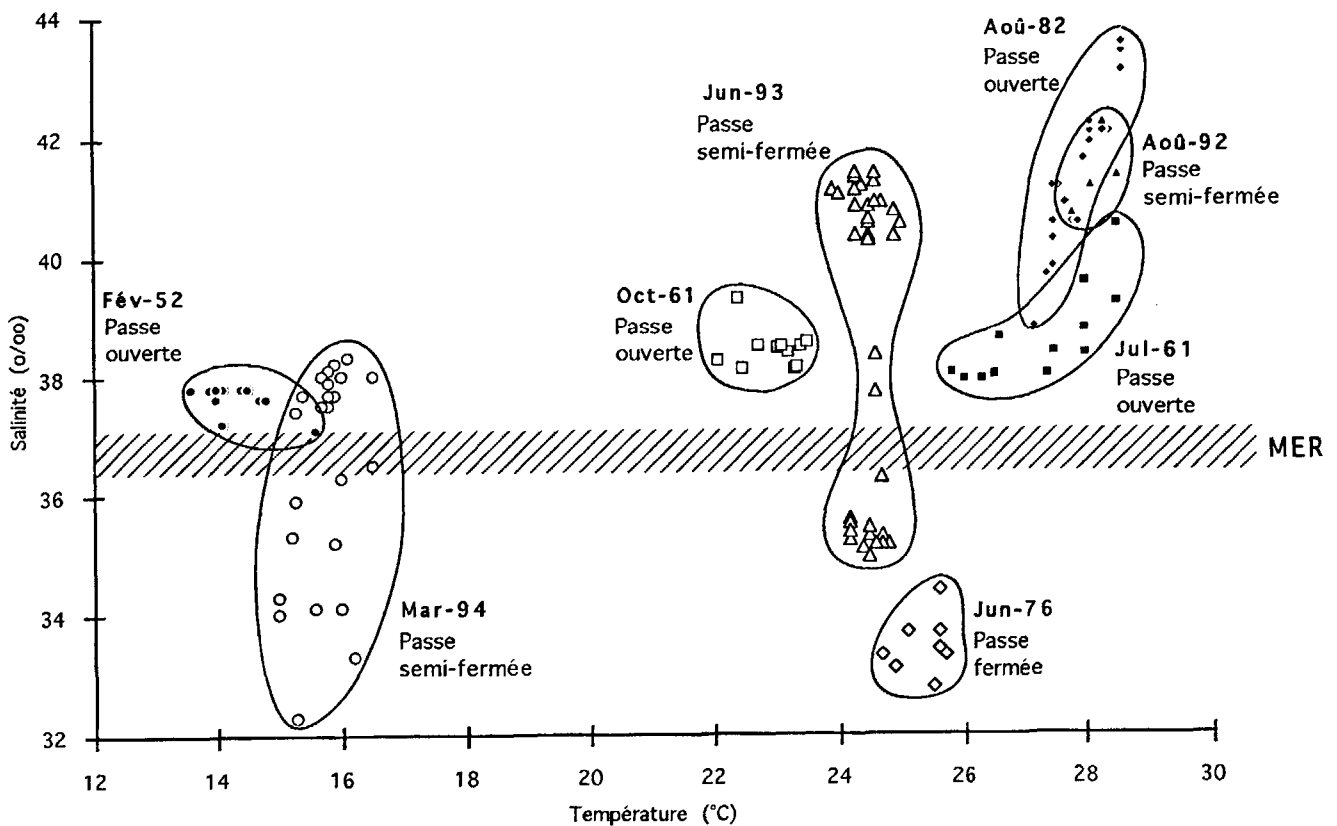


Figure 9

Diagramme température/salinité des eaux de la lagune de Nador de 1952 à 1993.

Temperature/salinity diagram of Nador lagoon waters from 1952 to 1993.

La question qui se pose est de savoir si cette évolution est homogène sur l'ensemble du bassin ou si des secteurs particuliers évoluent de façon différente. Sur la base de la connaissance de l'organisation hydrologique et biologique, l'écosystème peut se décomposer en quatre secteurs bien individualisés:

Secteur A : Extrémités SE et NO, marginales, assez nettement confinées.

Secteur B : Zone continentale, sous influence des apports d'eau de la nappe de la plaine du Bou Areg.

Secteur C : Zone centrale, à très faible confinement (Zone II dominante).

Secteur D : Zone du lido, peu confinée à l'abri de celui-ci.

En effet, chacun des secteurs présente une évolution significativement différente entre 1982 et 1993, qui tend à souligner une certaine identité propre à chaque secteur prédélimité. Cette évolution a été mise en évidence par régression linéaire simple appliquée à chacun des secteurs (fig. 11).

L'évolution globale reste la même et montre une tendance de l'écosystème à s'enrichir en phytoplancton. Néanmoins, c'est pour le secteur B que l'évolution est la plus marquée. Ce secteur, situé le long de la rive continentale, reçoit les rejets issus de la station d'épuration de la ville Nador et de l'oued Selouane. Les apports continentaux, sédimentaires ou anthropiques, en période de quasi-fermeture du bassin ont une influence prépondérante sur le comportement des eaux et peuvent expliquer l'augmentation progressive de la

chlorophylle *a*, notamment en relation avec un apport accru de nutriments. Dans le secteur central (ou secteur C) s'est installée en 1987 une ferme aquacole dont les rejets ne sont pas négligeables.

Les deux parties les plus stables de l'écosystème sont donc, d'une part, le secteur proche du lido qui reste plus ou moins en communication avec la mer, soit par l'intermédiaire de la passe, soit à travers le lido (Guelorget *et al.*, 1984), et d'autre part les extrémités de la lagune qui ont toujours été isolées des principaux courants. Ces dernières semblent, de tout temps, correspondre aux secteurs les plus confinés de la lagune. Elles appartiennent à la partie centrale du domaine paralytique qui présente toujours une plus grande stabilité (Guelorget et Perthuisot, 1983 et 1992).

LES SÉDIMENTS

Granulométrie

L'étude, réalisée depuis 1977, de l'évolution granulométrique des sédiments de la lagune de Nador met en évidence deux phénomènes (Tesson, 1977 ; Frisoni, 1984 ; Irzy, 1987 ; Zine, 1989) (fig. 9).

Il se produit, d'une part, un rétrécissement des zones sableuses tant au niveau du cordon littoral que de la rive continentale.

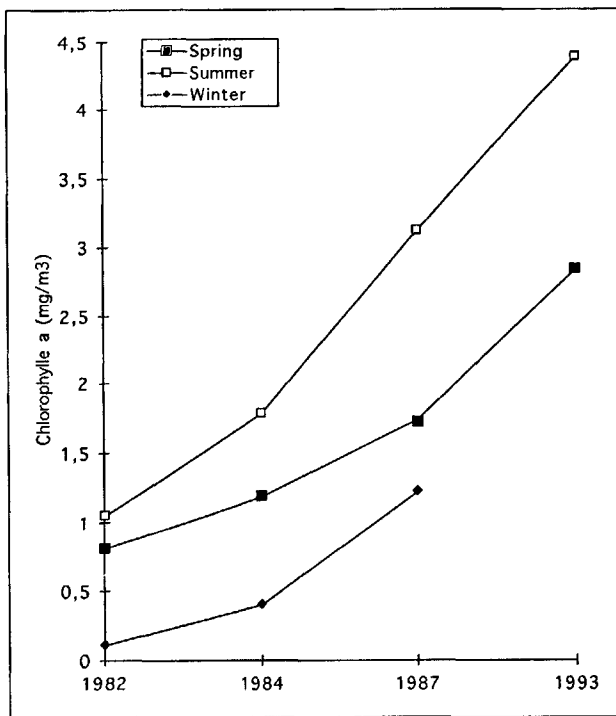


Figure 10.

Évolution de la biomasse chlorophyllienne (chlorophylle *a*) dans les différents secteurs de la lagune de Nador de 1982 à 1993.

Chlorophyll a biomass evolution in the different parts of Nador lagoon from 1982 to 1993.

En 1992, les sables ne se rencontrent plus que le long d'une mince frange littorale, légèrement élargie aux anciens emplacements de la passe qui se marquent par des hauts fonds. Ces hauts fonds ont un mode d'édification original lié au creusement de la passe. Celui-ci s'effectue par l'écoulement brutal du volume d'eau correspondant à la dénivelée entre le plan d'eau lagunaire et la mer. Le matériel du cordon est emporté vers la lagune et il s'ensuit l'édification d'un éventail sédimentaire côté lagune et ainsi la formation d'un haut fond. En outre, après la fermeture de la passe, l'ensellement local du cordon permet encore des apports sableux marins lors des tempêtes.

Le long de la rive continentale, les zones sableuses, autrefois dominantes, sont aujourd'hui restreintes au voisinage des débouchés des principaux oueds.

D'autre part, à partir de 1985, il apparaît une extension des zones vaseuses au voisinage de la station d'épuration et de la ville de Nador, ainsi qu'aux deux extrémités de la lagune. En 1992, l'importance de ces zones envasées s'est accrue et une autre zone à dominance vaseuse s'est également individualisée et développée au large de la ferme aquacole.

Matière organique

Globalement, l'évolution, de 1982 à 1993, des taux de matière organique dans les sédiments n'est pas identique sur l'ensemble du bassin ; il apparaît, en effet, une certaine

hétérogénéité spatiale et il est possible de mettre en évidence des secteurs présentant le même type d'évolution (fig. 8).

Les secteurs où la diminution des taux de matière organique est la plus sensible dans le temps, sont la bordure du lido (de 18 % à 5 % environ) et la bordure continentale au sud de l'Oued Selouane (de 7,5 % à des valeurs comprises entre 1,1 et 7 %).

Le secteur de la passe accuse la plus forte baisse (de plus de 20 % à moins de 1 %). Les fortes valeurs de matière organique enregistrées au niveau de la passe en 1982 (fig. 8) semblent avoir caractérisé une zone de rencontre des eaux marines et des eaux lagunaires pendant la période où la passe était encore ouverte. Des études réalisées dans d'autres sites périméditerranéens montrent que les organismes marins brutalement importés dans un bassin paralique à marée montante périssent massivement (« frappe saline », terme inadéquat qu'il faudrait remplacer par les termes de « frappe paralique ») et contribuent ainsi à la sédimentation locale d'une quantité importante de matière organique (Guelorget *et al.*, 1987 ; Medhioub et Perthuisot, 1981). En 1993, la passe est en position de quasi-fermeture et de ce fait les courants d'origine marine sont absents ou de très faible intensité, ce qui entraîne une diminution des apports potentiels de matière organique au travers de la passe alors que l'apport sableux et le vannage des sédiments se poursuivent.

Sur les bordures du lido et le long de la côte sud, la diminution du taux de matière organique ne concerne qu'une mince frange littorale mais la vaste zone sableuse, bien développée en 1982, s'est rétrécie de telle sorte qu'au total, il y a plutôt envasement.

Inversement, il existe aussi des secteurs où les taux de matière organique ont augmenté, parfois de manière importante, comme au voisinage de la station d'épuration (de 8 % à 21,6 %), et à l'extrémité nord-ouest (de 8 %, à 18,6 %) ; parfois moins nettement, comme au large de la ferme aquacole, à l'extrémité sud-est (19 % à 22 % environ) et dans la zone centrale.

Avant 1987, la courantologie interne de la lagune était marquée par une circulation périphérique qui amenait les eaux marines de la passe à la région de la ferme aquacole où s'établissait un vaste ombilic (Ibrahim *et al.*, 1985). Les deux extrémités NO et SE, relativement à l'écart des circulations, constituent toujours des annexes lagunaires plus confinées, qui sont naturellement enrichies en matière organique. L'évolution naturelle de ces secteurs conduit à une augmentation progressive du taux de matière organique sédimentaire.

Le secteur de la ferme aquacole et celui de la station d'épuration n'existaient pas, en 1987, en tant que zones de production et d'accumulation de matière organique. Elles constituent de ce fait un trait tout-à-fait nouveau de l'organisation de la lagune, milieu désormais sous influence anthropique.

Dans le secteur central, les valeurs récentes sont moins fortes que celles obtenues en 1987 ; les valeurs maximales ont notamment varié de 19 % à 10 %. Ce secteur, du fait de la fermeture de la passe, s'est trouvé sous la dominance des courants induits par le vent.

Au total, la répartition actuelle, en mosaïque, semble répondre à cette modification de la situation hydrodynamique, qui s'est installée progressivement depuis quelques années, au développement des implantations aquacoles et à l'urbanisation.

LE BENTHOS

L'organisation de la macroflore et de la macrofaune benthiques est restée sensiblement la même, depuis 1982, en terme de zones de confinement (fig. 12) et les principales espèces indicatrices de chacune d'entre elles sont encore présentes.

Cependant on observe un élargissement des zones de fort confinement situées à la périphérie, aux dépens des zones de faible confinement qui occupent le centre du bassin. En

outre, la zone I située au voisinage de la bokhana a pratiquement disparu ; en revanche, la zone VI à tapis cyanobactériens qui était réduite en 1983 à des anses annexes très localisées occupe maintenant largement les extrémités du bassin (Guelorget *et al.*, 1987).

Cette évolution, bien perceptible, traduit une augmentation significative du confinement global du bassin, sans pour autant que l'organisation générale du système soit modifiée.

La modification la plus manifeste est une baisse massive de la diversité spécifique, notamment dans les zones de confinement modéré. Cette diminution de la diversité biologique se fait principalement en préservant les espèces détritrices et au profit des espèces indicatrices d'enrichissement organique. Par exemple, en zone II, les grands échinodermes (astérides, holothurides) ont pratiquement disparu et seules subsistent les ophiurides détritrices qui prolifèrent.

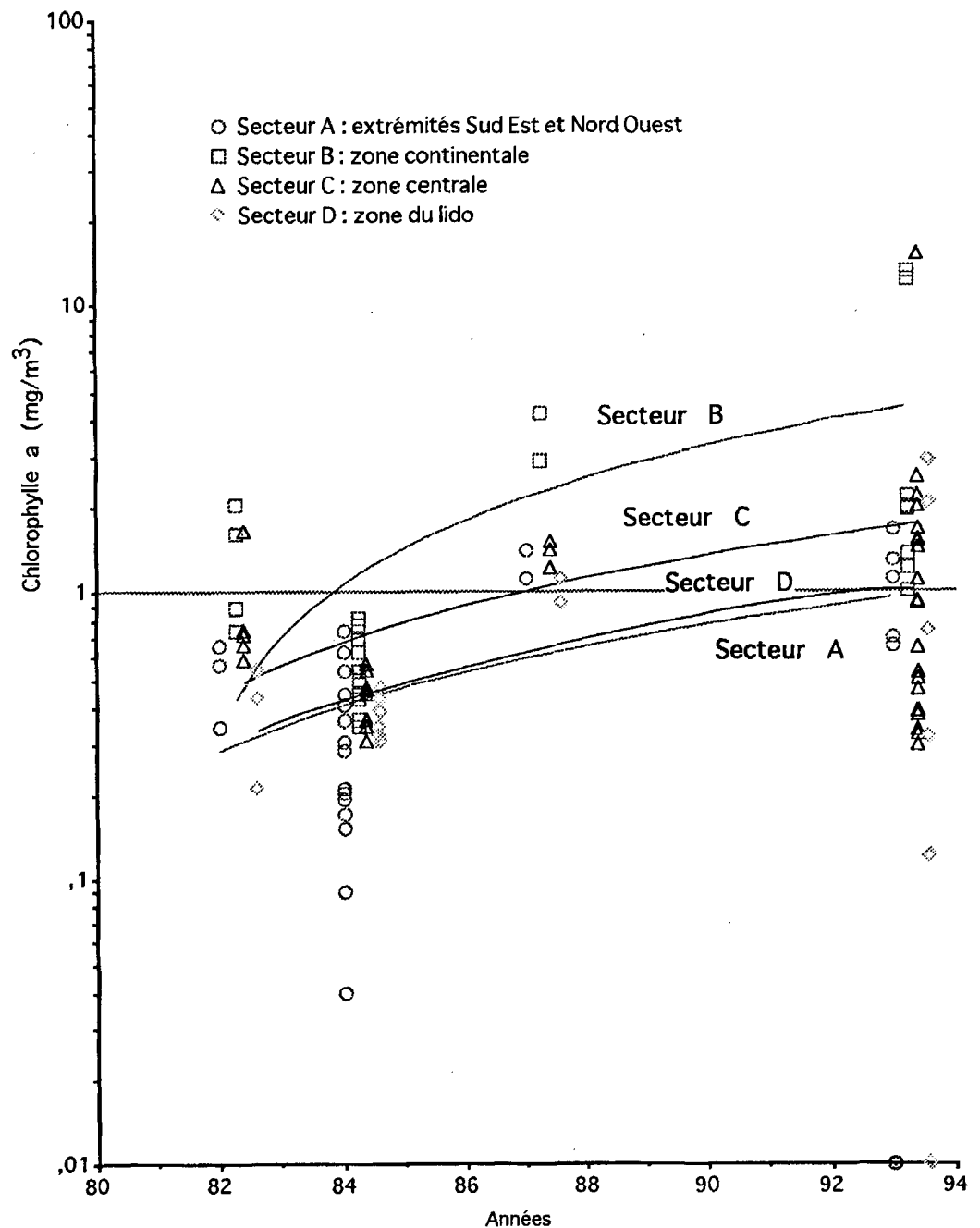


Figure 11

Évolution de la biomasse moyenne de chlorophylle a (mg/m^3), suivant les saisons, de 1982 à 1993.

Average seasonal chlorophyll a biomass (mg/m^3) evolution from 1982 to 1993.

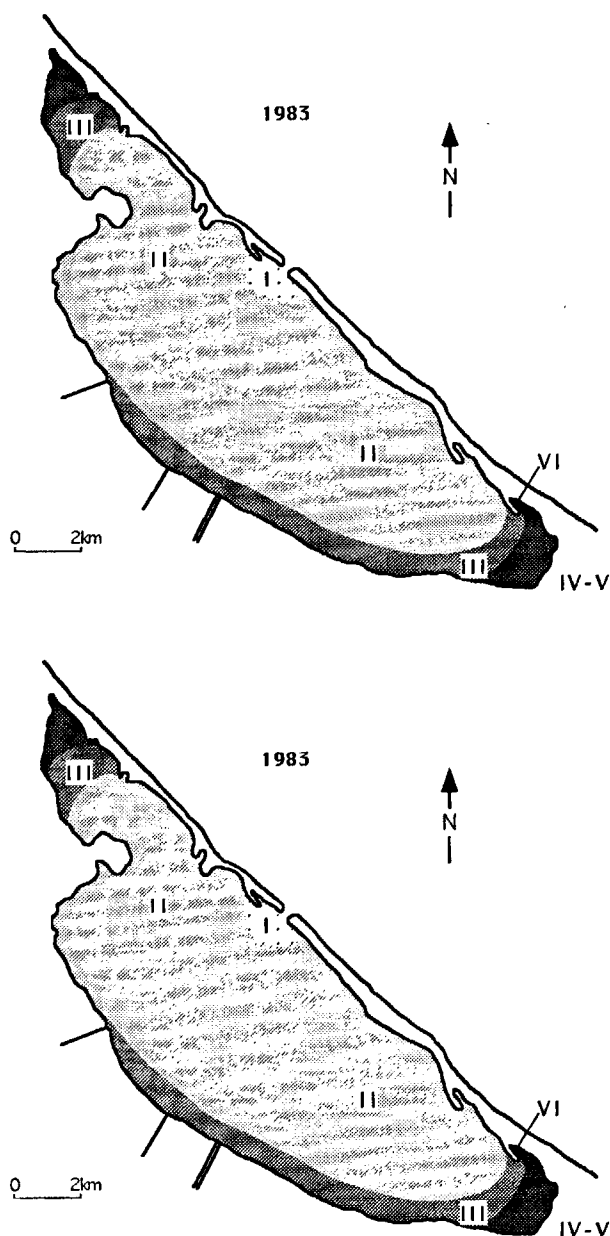


Figure 12

Cartes schématiques des zones de confinement dans la lagune de Nador en 1983 (en haut) et 1994 (en bas). Pour la définition des différentes zones, voir Guelorget et Perthuisot (1983, 1992).

Schematic maps of the confinement zones in Nador lagoon, in 1983 (above) and in 1994 (below). For the definition of confinement zones, see Guelorget and Perthuisot (1983, 1992).

Par ailleurs, les herbiers, notamment les herbiers mixtes à *Caulerpa prolifera* et *Cymodocea nodosa* qui occupent toute la zone II centrale apparaissent plus clairsemés,

appauvris, recouverts par les épibiontes (Bryozoaires, Ascidies, Balanes), typiques des milieux enrichis en matière organique. Ces herbiers sont colonisés par un grand nombre de gastéropodes. Enfin les beaux fonds clairs et verts en 1983 ont fait place à une grisaille uniforme.

CONCLUSIONS

Les observations et les mesures effectuées sur le bassin de Nador à son stade actuel dénotent une surcharge organique de l'ensemble du système dont ne peut rendre compte l'augmentation, somme toute modérée, du confinement global dans le bassin, mais qui est manifestement en relation avec les apports « anthropiques » issus de l'urbanisation périphérique et de l'activité aquacole.

Il est à craindre que cette évolution ne soit déjà irréversible dans la mesure où l'urbanisation et le développement aquacole sont en progression constante. On ne saurait trop conseiller à ceux que cela concerne de veiller à freiner l'intensification des activités aquacoles sur l'ensemble du bassin.

Du point de vue scientifique se pose le problème du rôle de la passe dans l'évolution globale du système.

Si la passe était le seul système d'échange entre le bassin et la mer, sa fermeture aurait dû entraîner (d'après notre expérience des environnements paraliques) :

- d'une part, une augmentation beaucoup plus marquée du confinement global et le basculement de la quasi-totalité du milieu en zone IV-V et au delà ;
- d'autre part, une évolution chronique vers un régime sursalé (compte tenu du déficit hydrique local élevé).

Ceci tend à montrer que, contrairement à nos hypothèses initiales (Guelorget *et al.*, 1987), la passe ne joue en fait qu'un rôle secondaire dans les échanges du système avec la mer et que ceux-ci sont très probablement assurés en sous-écoulement à travers le lido sableux et les formations quaternaires littorales sur lesquelles il s'est établi. En outre, cette hypothèse rend mieux compte du dessin de la zone II qui jouxte le lido, pratiquement d'un bout à l'autre. Une hypothèse similaire a été envisagée pour l'Étang de Thau, en France (Guélorget *et al.*, 1994).

Ainsi, et en corollaire, il est vraisemblable que l'ensemble de l'évolution environnementale de l'écosystème au cours de la dernière décennie est dû principalement aux apports d'origine anthropique.

Enfin, il est intéressant de noter que la description d'un système paralique en termes de zones de confinement reste parfaitement pertinente dans la compréhension de l'évolution à plus ou moins long terme des bassins paraliques, même ceux dont l'organisation se voile lentement du suaire de la pollution anthropique.

RÉFÉRENCES

Brethes J.C., M. Tesson (1978). Observations hydrologiques sur la Sebkhia Bou Areg (Lagune de Nador). Bilan d'automne 1976 et d'hiver 1977. *Bull. Inst. Pêches Maritimes, Maroc*, 24, 17 p.

Carlier P.H. (1971). Sources en eau du Maroc. Domaine du rif oriental. Plaines du Gareb et du Bou Areg. *Notes Mem. Ser. Géol. Maroc*, 231, 767-180.

- De Buen F.** (1930). Investigaciones realizadas en aguas mediterraneas de Marruecos antes de la campana del « Xauen ». *Bol. Oceanografía y Pesca* **164**, 97-124.
- De Buen O.** (1912). Biologica y aprovechamiento de Mar Chica (Melilla). *Anuario de Pesca y Estadística de la Marina Mercante y de la Pesca del año 1911*, Madrid, 5-23.
- Erimesco P.** (1961). La Mar Chica de Melilla. *Bull. Inst. Pêches Maritimes, Maroc*, **7**, 3-11.
- Frisoni G.-F., O. Guelorget, J.-P. Perthuisot, M.-C. Ximenes, D. Monti** (1982). Méthodologie des études d'impact de l'aquaculture en milieu lagunaire. *Rapp. MRE/CEE*, Montpellier, 187 p.
- Frisoni G.-F.** (1984). Contribution à l'étude du phytoplancton dans le domaine paralique. *Thèse Doct. Ing. Univ. Sci. Tech. Languedoc*, Montpellier, 171 p.
- Gadel F.** (1968). Sur un exemple d'évolution lagunaire. L'étang de Saint-Nazaire (Roussillon). *Vie Milieu, Banyuls*, **19**, 2B, 291-321.
- Guelorget O., P. Michel** (1977). Étude sédimentologique d'une lagune saumâtre méditerranéenne, l'étang du Prévost (Hérault). *Vie Milieu, Banyuls*, **27**, 1, 111-130
- Guelorget O., D. Monti, G.-F. Frisoni, J.-P. Perthuisot** (1984). Diagnose écologique de la lagune de Nador. *Rapp. FAO*, Rome, 52 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** (1992). Paralic ecosystems. Biogeological organization and functioning. *Vie Milieu, Banyuls*, **42**, 2, 215-251.
- Guelorget O., J.-P. Perthuisot, G.-F. Frisoni, D. Monti** (1987). Le rôle du confinement dans l'organisation biogéologique de la lagune de Nador (Maroc). *Oceanologica Acta* **10**, 435-444.
- Guelorget O., J.-P. Perthuisot, N. Lamy, A. Lefèbvre** (1994). Structure et organisation de l'étang de Thau d'après la faune benthique (macrofaune, méiofaune). Relations avec le confinement. *Oceanologica Acta* **17**, 1, 105-114.
- Ibrahim A., O. Guelorget, G.-F. Frisoni, J.-M. Rouchy, J.-P. Perthuisot** (1985). Expressions hydrochimiques, biologiques et sédimentologiques des gradients de confinement dans la lagune de Guemshah (Golfe de Suez, Égypte). *Oceanologica Acta*, **8**, 3, 303-320.
- Irzy A.** (1987). Étude sédimentologique et micro-paléontologique de la lagune de Nador (Maroc oriental). *Thèse 3^e cycle, Univ. Pierre-et-Marie-Curie*, Paris-VI, 158 p.
- Jouffre D., M. Amanieu, Eds** (1991). ECOTHAU, Programme de recherches intégrées sur l'étang de Thau. Synthèse des résultats *Ed. Univ. Montpellier-II*, 302 p.
- Lorenzen J.** (1966). A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. *Deep-Sea Res.* **13**, 223-227.
- Lozano Cabo F.** (1953). Notas sobre una capana de prspeccion pesquera en la mar chica de Melilla. *Bol. Inst. Espan. de Oceanographia* **64**, 35 p.
- Lozano Cabo F.** (1956). Lagunes littorales espagnoles. *Rapport FAO*, Rome, 56/6/4678, 9 p.
- Medhioub K., J.-P. Perthuisot** (1981). The influence of peripheral sebkhas on the geochemistry and sedimentology of a Tunisian lagoon : Bahiret el Biban. *Sedimentology* **28**, 679-688.
- Perthuisot J.-P., O. Guelorget** (1992). Morphologie, organisation hydrologique, hydrochimique et sédimentologique des bassins paraliques. *Vie Milieu, Banyuls*, **42**, 2, 93-709.
- Saubade A.-M.** (1979). La malacofaune actuelle (Bivalves et gastéropodes) de la lagune de Nador (côte méditerranéenne du Maroc) *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, Bordeaux, **26**, 69-90.
- Tesson M.** (1977). Régime hydrologique et hydrodynamique de la Sebkhha Bou Areg (Lagune de Nador, Maroc). Bilan du printemps 1976. *Trav. Doc. Dev. Pêches Maroc*, **27**, 67 p.
- Tesson M., B. Gensous** (1979). Les sédiments superficiels du plateau continental du Rif Oriental. *Mines, Géologie et Energie*, Rabat, **46**, 777-725
- Tesson M., B. Gensous** (1981). Quelques caractères de la géochimie d'une lagune microtidale : la Sebkhha Bou Areg (Maroc). *706^e Congrès National des Sociétés Savantes*, Perpignan, Sciences fasc. II, 783-794.
- Zine N.E.** (1989). Étude de la malacofaune de la lagune de Nador et dynamique de population de *Venerupis decussata*. *Thèse de 3^e cycle. Univ. Mohammed-V. Faculté des Sciences*. Rabat, Maroc, 97 p.