

***Expressions biogéologiques du confinement
dans une lagune méditerranéenne :
le lac Melah (Algérie) (1)***

Olivier GUELORGET (2), Guy-François FRISONI (3)
Marie-Claude XIMENES (3)
et Jean-Pierre PERTHUISOT (4)

RÉSUMÉ

Le lac Melah est un bassin paralytique relativement profond communiquant avec la mer par un chenal étroit de faible profondeur. Ces caractéristiques ont pour conséquences la stratification des eaux et un fort confinement de l'ensemble du bassin qui engendre une biomasse phytoplanctonique élevée. Celle-ci est peu consommée par une macrofaune dense mais de faible biomasse et se dépose massivement sous la lentille d'eau inférieure anoxique.

Le lac Melah apparaît ainsi comme un modèle actuel de bassin producteur de roches-mères d'hydrocarbures. En revanche, ses potentialités aquacoles sont limitées.

MOTS-CLÉS : Lagunes — Biogéologie — Méditerranée — Afrique du Nord.

ABSTRACT

BIOGEOLOGICAL EXPRESSIONS OF CONFINEMENT IN A COASTAL LAGOON : LAKE MELAH (ALGERIA)

Lake Melah is a rather deep paralytic basin which communicates with the open sea by a narrow and shallow channel. These features induce a stratification of the water masses and a high confinement (restriction) rate of the whole basin which generates a high phytoplanktonic biomass. This biomass is only partly consumed by the macrofauna which, although quite dense, shows a rather low biomass. As a result, the basin supports a massive organic sedimentation especially within the central deep area where stands the anoxic hypolimnion.

Lake Melah thus appears as a present-day model of petroleum mother-rocks producing basin, with little aquacultural potentialities.

KEY WORDS : Coastal lagoons — Biogeology — Mediterranean Sea — North Africa.

(1) Étude menée par le Groupe d'Étude du Domaine paralytique.

(2) Laboratoire d'Hydrobiologie Marine, USTL, place E. Bataillon, F-34000 Montpellier (URA CNRS 1355),

(3) CEMAGREF, Domaine de la Valette, F-34000 Montpellier.

(4) Laboratoire de Biogéologie et Biostratigraphie, Université de Nantes, 2, rue de la Houssinière, F-44072 Nantes Cedex 03 (ER Sciences du Littoral).

Le lac Melah est l'un des rares bassins paraliques algériens et a, de ce fait, suscité des investigations scientifiques (SEMROUD, 1983) à caractère souvent appliqué (CROP en 1979, France Aquaculture et SEPIA International en 1980, LAC ENAPECHE en 1980) ainsi que pour le projet MEDRAP de la FAO (GIMAZANE, 1982; CATAUDELLA, 1982). C'est dans ce cadre qu'a été effectuée la présente étude après une mission en octobre 1982 (GUELORGET *et al.*, 1984) : elle ne donne donc, en ce qui concerne les descripteurs instantanés (paramètres hydrochimiques, phytoplancton), qu'une image ponctuelle, mais les descripteurs intégrateurs (benthos, sédiments) permettent de donner une image plus globale (GUELORGET *et al.*, 1983; GUELORGET et PERTHUISOT, 1984) de cet écosystème original.

DESCRIPTION DU BASSIN

Le cadre géographique (fig. 1)

Le lac Melah est un bassin paralique d'environ 865 ha communiquant avec la mer par un chenal long et étroit. A l'ouest d'El Kala, il fait partie d'un ensemble de dépressions, dont certaines restent endoréiques, situé au cœur des terrains gréseux et argilo-gréseux oligocènes de la nappe numidienne. Le lac Melah correspond vraisemblablement à une dépression endoréique lacustre würmienne envahie

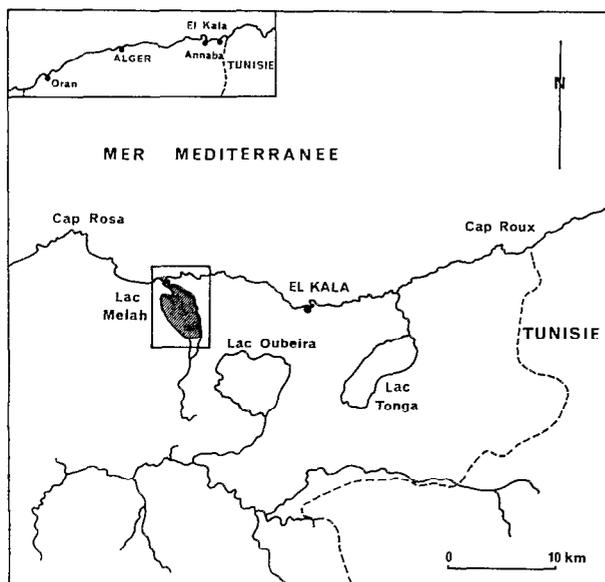


FIG. 1. — Situation géographique du lac Melah
Geographical situation of lake Melah

par la mer lors de la remontée eustatique flandrienne. Le climat y est typiquement sud-méditerranéen avec une seule saison humide (octobre à février) et une saison sèche bien marquée (mai à septembre). Par ailleurs, les vents dominants sont des secteurs N à NO en toutes saisons.

Le bassin

Le lac Melah est une cuvette allongée NNO-SSE assez régulière. La carte bathymétrique que nous en avons dressée par des coups de sonde en 38 stations met en évidence l'existence d'une gouttière axiale dont la profondeur atteint presque 6 m (fig. 2). De

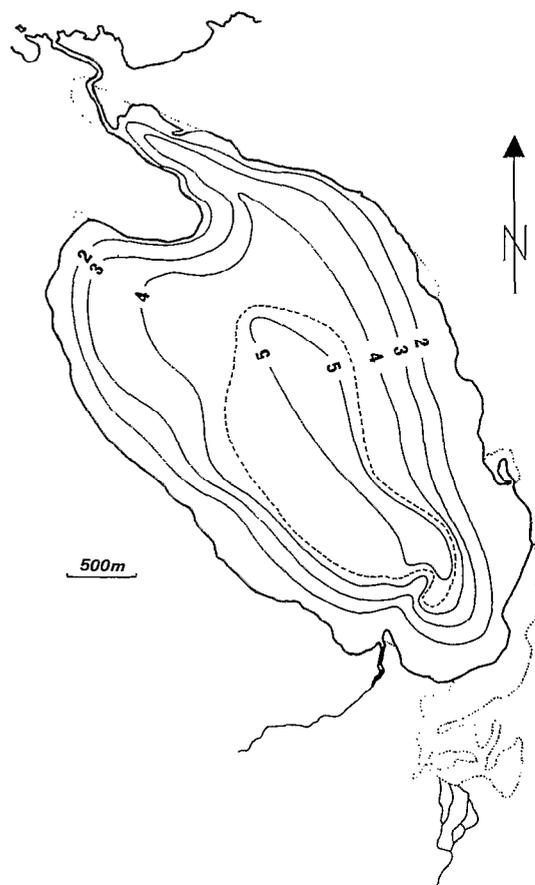


FIG. 2. — Carte bathymétrique du lac Melah
(profondeurs en m)
Bathymetric map of lake Melah (depths in m)

part et d'autre de cette dépression, deux plateaux peu profonds (jusqu'à 2 m) longent les rives : ils correspondent à l'accumulation périphérique de matériaux détritiques du bassin versant. On y décèle

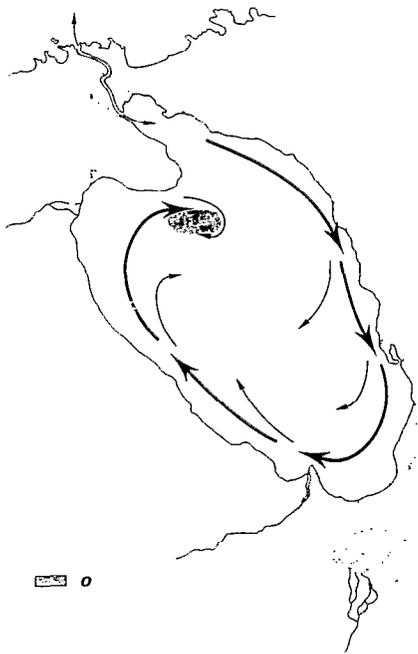


FIG. 3. — Carte schématique de la circulation habituelle des eaux de surface dans le lac Melah (o : ombilic hydraulique). Les vents dominants sont soit du NO soit du SE ce qui engendre une rotation des eaux dans le même sens compte tenu de la forme du bassin

Schematic map of surficial waters average circulation in lake Melah (o : hydraulic umbilic). The prevailing winds, from NW or SE, induce the same rotation

en particulier des cônes alluviaux au droit des embouchures des principaux oueds, notamment au sud. La communication avec la mer est constituée par un chenal long de 900 m, sinueux, d'une dizaine mètres de large dont la profondeur actuelle varie de 0,3 à 2 m. Le débouché de ce chenal en mer est caractérisé par un étranglement entaillé dans un substrat de grès coquillier. Outre les blocs de grès qui obstruent l'entrée du chenal, celui-ci s'ensable régulièrement sous l'effet des apports éoliens et du transit littoral qui apporte des feuilles de Posidonies qui s'y accumulent. A l'arrivée dans le bassin, le chenal se ramifie en plusieurs bras dont seul le bras central aboutit à la lagune. On peut évaluer le débit actuel moyen de ce chenal à environ 1 m³/s, ce qui est d'une extrême faiblesse vis-à-vis du volume d'eau de la lagune.

La circulation des eaux de surface du bassin, telle que l'on peut l'apprécier à partir de la morphologie de détail des rives, s'effectue en une lente rotation périphérique dans le sens des aiguilles d'une montre, en accord avec la direction des vents dominants,

qu'ils soient du NO ou du SE (fig. 3). En fin de parcours, les eaux de la lagune aboutissent au voisinage de la communication avec la mer dans une zone d'ombilic hydraulique où elles stagnent avant d'être progressivement évacuées par les courants de marée descendante (GUELORGET *et al.*, 1984).

PARAMÈTRES HYDROCHIMIQUES

Les paramètres hydrochimiques (conductivité, température, pH, oxygène dissous) ont été mesurés en octobre 1982 à l'aide d'une sonde multiparamètres HORIBA en 38 stations avec profils verticaux. Ces résultats ont été comparés aux données de la bibliographie existante.

Les conductivités (fig. 4)

D'après les données bibliographiques et nos mesures, hormis dans la zone centrale du chenal, la conductivité est relativement constante et homogène en surface tout au long de l'année et s'établit autour de 39 mmho.cm⁻¹ ce qui équivaut à une salinité de 27‰. Le lac Melah ne présente pas de gradient de salinité marqué sauf au débouché immédiat des oueds et dans la zone avoisinant le chenal. Ceci est dû à un bilan en eau douce (différence entre l'évaporation et les apports continentaux) relativement bien équilibré, avec, cependant, un léger excédent (en moyenne) des apports d'eau douce. Ceci s'explique en fait par la taille du bassin versant et par la pluviosité relativement élevée dans cette région (environ 800 mm/an).

Les données des variations saisonnières de salinité et les données du bilan hydrique proposées par le CROP (1979), impliquent qu'il existe un échange d'eau de mer lié aux marées de l'ordre de 10⁶ m³ par mois tout au long de l'année.

Enfin, il faut souligner l'existence dans la zone profonde, à partir de 4,5 m de profondeur d'une lentille d'eau plus salée (de l'ordre de 5‰ au-dessus de la moyenne du bassin). Les données des études antérieures confirment la présence de cette halocline permanente (Étude du CROP, 1979; SEMROUD, 1983).

Les températures

La tranche d'eau supérieure est relativement homogène : sa température moyenne varie entre 12 ° et 30 °C au cours du cycle annuel (Étude du CROP, 1979).

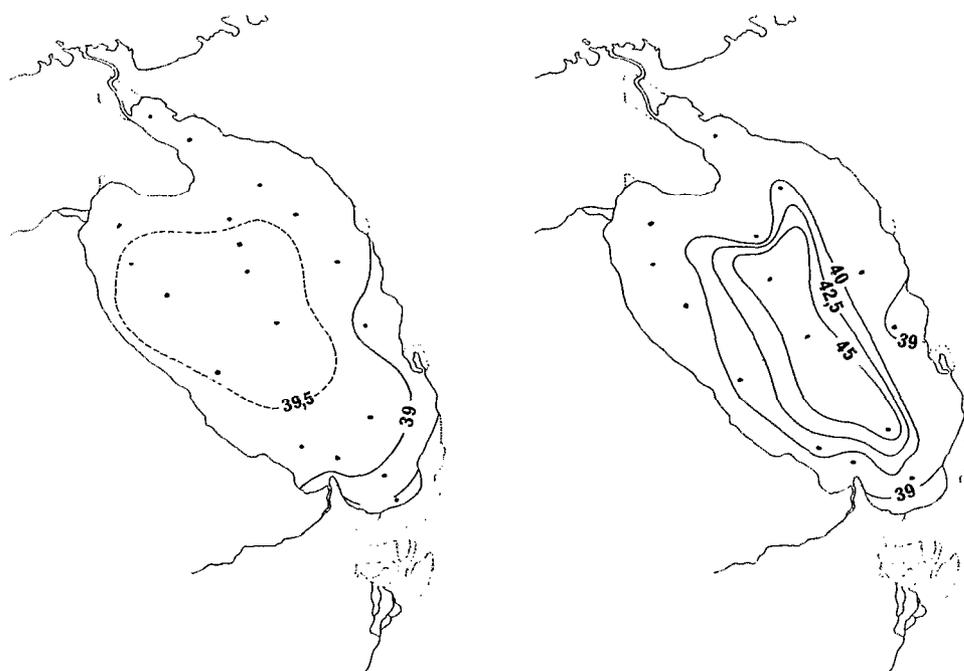


FIG. 4. — Cartes de la conductivité des eaux (en mmho/cm) le 13.10.1982 (à gauche : en surface ; à droite : au fond)
Maps of water conductivity (in mmho/cm) on 13.10.1982 (left : surface ; right : bottom)

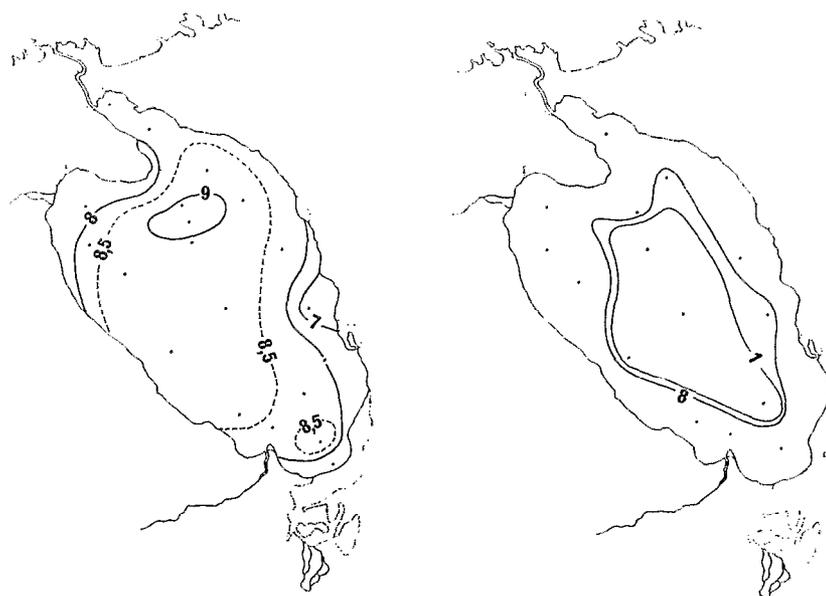


FIG. 5. — Cartes des teneurs en oxygène dissous (ppm) le 13.10. 1982 (à gauche : en surface ; à droite : au fond)
Dissolved oxygen in lake Melah on 13.10. 1982 (left : surface ; right : bottom)

D'après nos mesures en octobre 1982, la lentille d'eau inférieure, sursalée, se signale par une température supérieure de 0,5° à 1 °C à celle du corps d'eau supérieur. Ainsi, même en automne, à l'halocline se superpose une thermocline : le lac Melah est un exemple assez exceptionnel dans le domaine périméditerranéen de bassin héliocapteur. L'écart de densité entre les deux corps d'eau est compatible avec l'écart de température observé.

Le pH et l'oxygène dissous

Le pH dans la tranche d'eau supérieure est de l'ordre de 8,2 en moyenne, tandis que dans la lentille d'eau inférieure sursalée, le pH peut s'abaisser jusqu'à 7,1 (SEMROUD, 1983).

Les teneurs en oxygène dissous (fig. 5) offrent, pour octobre 1982, un schéma comparable mais beaucoup plus marqué : alors que les eaux de surface et du corps d'eau supérieur ont des teneurs en oxygène dissous comprises entre 7 et 9 ppm, la lentille d'eau inférieure est pratiquement anoxique. Les teneurs en oxygène dissous, en fin de matinée, des eaux de surface sont maximales dans la partie septentrionale de la fosse axiale. Ceci dénote la zone de richesse phytoplanctonique maximale à l'emplacement de l'ombilic hydraulique du bassin. Étant donné la constance de l'orientation des vents et, en conséquence, des mouvements d'eau dans le bassin, il est très vraisemblable que l'image obtenue en octobre 1982 soit significative de la situation habituelle. De tels ombilics hydrauliques sont fréquents dans les lagunes et sont des zones privilégiées d'accumulation de la matière organique issue d'un phytoplancton abondant mais plus ou moins sénescence puisqu'il a déjà effectué une longue période de transit lagunaire (GUELORGET *et al.*, 1984; GUELORGET et PERTHUISOT, 1984).

Conclusion

Le lac Melah a pour principale originalité hydrologique l'existence d'une stratification très marquée des eaux avec une cline vers 4 m de profondeur qui sépare deux corps d'eau aux caractéristiques hydrochimiques différentes.

La tranche d'eau supérieure a un comportement voisin de celui de la plupart des bassins lagunaires méditerranéens. Cependant comme nous le verrons, elle se caractérise par une nette eutrophie en relation avec une production primaire élevée.

Le corps d'eau inférieur est sursalé, plus chaud, au moins une partie de l'année, de faible pH et pratiquement anoxique. On peut penser que ces caractéristiques sont dues à un engraissement orga-

nique à partir du plancton de la tranche d'eau supérieure, qui se dépose en permanence. La sursalure est peut-être liée à des apports d'eau marine s'écoulant sur le fond vers la gouttière centrale, y constituant une masse d'eau stagnante et confinée. La légère sursalure induit une température un peu plus élevée et favorise, ainsi, le travail des flores bactériennes dont l'activité se traduit en surface, comme nous l'avons constaté, par des dégagements d'H₂S et d'hydrocarbures.

SÉDIMENTOLOGIE ET GÉOCHIMIE

La granulométrie

Schématiquement, la granulométrie du sédiment s'organise de façon concentrique : les rives et les marges de la lagune sont constituées de sables fins plus ou moins coquilliers. Sous l'effet en partie du vannage des marges du bassin, vers le centre de celui-ci, le sédiment s'enrichit en particules fines (carbonates et matière organique), et toute la zone centrale en dessous de 3 m de profondeur est occupée par une vase noire non compactée, à caractère réducteur. Même dans ces zones profondes et calmes, la fraction phylliteuse reste faible, inférieure à 20%.

Les teneurs en matière organique (fig. 6)

Elles ont été évaluées par la méthode rustique de la perte au feu à 650 °C après mise à l'étuve à 110 °C, ce qui entraîne une surévaluation; celle-ci reste modérée eu égard aux faibles teneurs des sédiments en argiles.

La teneur en matière organique des sédiments augmente avec la profondeur sous l'effet, d'une part du vannage des marges qui transfère les particules les plus fines vers les régions profondes, et d'autre part de l'importance de la tranche d'eau : la quantité de matière organique d'origine planctonique déposée sur une surface unitaire dépend évidemment en partie de celle-ci. Enfin, il est remarquable que les teneurs maximales correspondent sensiblement à l'ombilic hydraulique du bassin où s'affrontent, avant leur évacuation progressive, les eaux confinées et les eaux d'origine marine, affrontement favorable à la mortalité du plancton (MEDHIOUB et PERTHUISOT, 1981).

Les teneurs en carbonates (fig. 7)

Les teneurs en carbonates, mesurées par attaque acide sur le sédiment étuvé à 110 °C, augmentent avec la profondeur. Les paramètres qui gouvernent

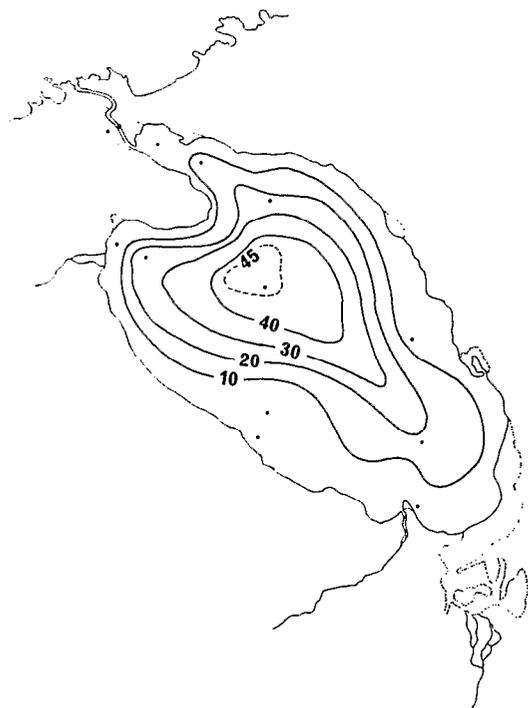


FIG. 6. — Carte de la perte au feu (en % du poids sec) des sédiments actuels du lac Melah

Fire loss (% of dry weight) of lake Melah present sediments

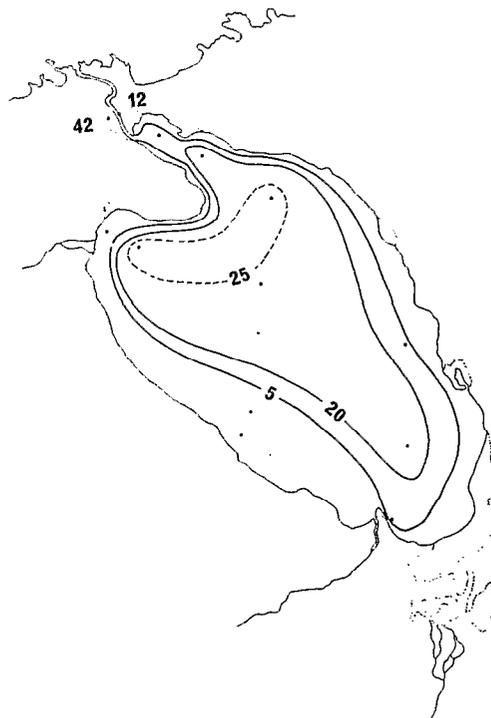


FIG. 7. — Carte des teneurs en carbonates (% du poids sec) des sédiments actuels du lac Melah

Carbonate content (% of dry weight) of lake Melah present sediments

cette répartition sont schématiquement les mêmes que pour la matière organique et on retrouve un maximum dans la partie septentrionale de la gouttière axiale, c'est-à-dire dans la zone ombilicale. Par ailleurs, la teneur même des sédiments en matière organique influence directement leur teneur en carbonates car elle contrôle, par sa nature et surtout par son abondance, l'activité carbonatogénétique directe et indirecte des populations bactériennes, tant en aérobie qu'en anaérobie (CASTANIER, 1987).

Conclusion

Hormis sur les marges où dominent les atterrissements d'éléments détritiques fluviaux et/ou éoliens, le remplissage sédimentaire du lac Melah est essentiellement biogénique : au niveau de l'ombilic les carbonates et la matière organique représentent environ 70% du sédiment déshydraté.

Le lac Melah apparaît parmi les lagunes périméditerranéennes, même les plus eutrophes (GUELORGET et MICHEL, 1976; GUELORGET *et al.*, 1986; NICOLAI-

DOU *et al.*, 1988), comme un bassin exceptionnellement riche en matière organique sédimentée.

D'ailleurs, il y a, au sein même des sédiments, des traces d'hydrocarbures liquides qui se dégagent en gouttelettes des sédiments lors des prélèvements et qui se manifestent en surface par des plages irisées à bords définis.

LES PEUPELEMENTS PHYTOPLANCTONIQUES

La composition spécifique

En octobre 1982, l'étude par la méthode d'Utermöhl de 4 stations semble montrer que les peuplements sont dominés par le Péridinien *Prorocentrum scutellum*, hormis au débouché immédiat du chenal où l'influence marine se traduit par la présence de Diatomées centriques (GUELORGET et PERTHUISOT, 1983; FRISONI, 1984). Les compositions spécifiques (%) sont, pour les quatre stations :

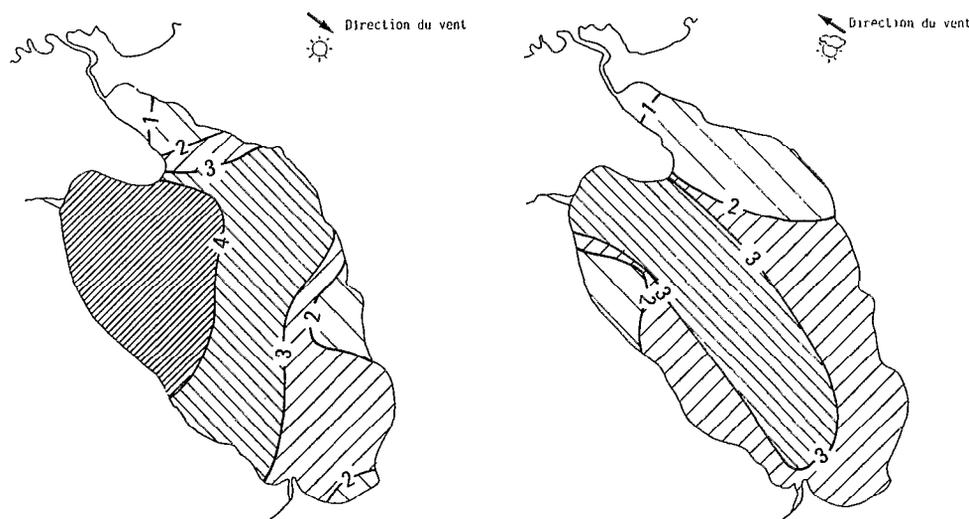


FIG. 8. — Répartition de la biomasse chlorophyllienne (mg Chl.a/m³) des eaux de surface du lac Melah le 13.10.1982 (à gauche) et le 18.10.1982 (à droite)
 Chlorophyll biomass (mg Chl.a/m³) of surficial waters in lake Melah on 13.10.1982 (left) and 18.10.1982 (right)

- Débouché du chenal : *Malosira* sp 5,5
Prorocentrum scrutellum
 94,4
- Est du bassin : *P. scrutellum* 97
Dinophysis sacculus 1
Polykrikos sp 1
Gyrodinium fusus 1
- Centre du bassin : *P. scrutellum* 100
- Ombilic hydraulique : *Nitzschia longissima* 1
P. scrutellum 90
Dinophysis sacculus 9

A d'autres périodes, le bassin peut être sporadiquement affecté par des blooms à Diatomées pennées comme *Synedra affinis* (Étude du CROP, 1979) : cette alternance de Péridiniens et de Diatomées pennées est un phénomène classique dans les lagunes (FRISONI, 1984).

La biomasse (fig. 8)

Elle a été mesurée en octobre 1982 selon la méthode fluorimétrique de Lorenzen en 17 stations pour des échantillons de surface, et en 3 stations selon des profils verticaux.

La biomasse chlorophyllienne de surface, sur l'ensemble de l'étang, oscille entre 2,5 mg et 3 mg de chlorophylle a/m³.

Les plus fortes biomasses sont observées dans la zone nord-ouest (4,7 mg Chl.a/m³), c'est-à-dire dans l'ombilic hydraulique.

Par ailleurs, il existe une importante accumulation de biomasse (21,3 mg Chl.a/m³) fortement dégradée

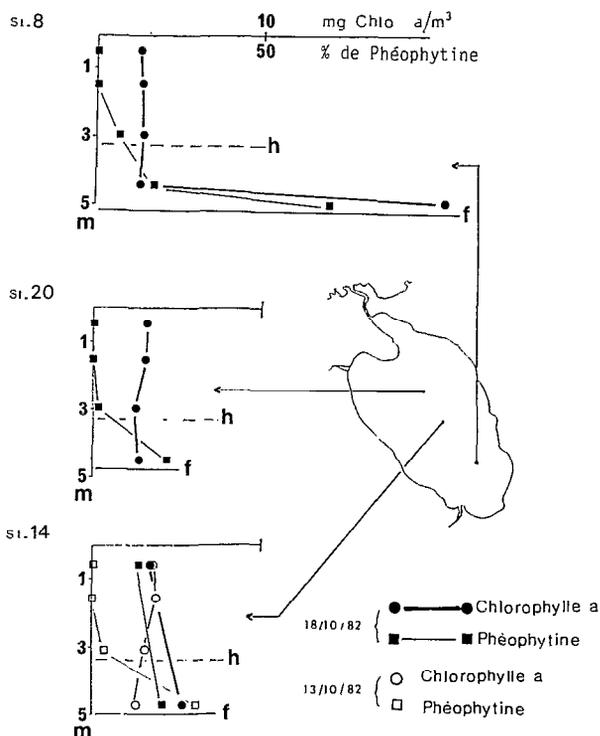


FIG. 9. — Profils verticaux de la biomasse chlorophyllienne et du taux de phéophytine en 3 stations du lac Melah, octobre 1982. Profondeurs en m. h : profondeur approximative de la halocline. f : profondeur du fond
 Vertical variations of chlorophyll biomass and pheophytin fraction at 3 stations in lake Melah, october 1982. Depths in meters. h : approximate depth of the halocline. f : depth of bottom

(70% de phéophytine) au-dessous de la profondeur de 4,5 m (fig. 9).

Ainsi, il s'établit dans les eaux de surface du bassin un gradient de la biomasse phytoplanctonique parallèlement au cheminement des eaux à partir des zones les plus influencées par la mer, c'est-à-dire en fonction du degré de confinement (GUELORGET et PERTHUISOT, 1983).

En outre, les eaux de la lentille d'eau inférieure, presque totalement isolées des échanges avec la mer ouverte (confinement bathymétrique) contiennent une biomasse phytoplanctonique encore plus élevée dont la dégradation bactérienne provoque l'anoxie du milieu.

En vertu de la circulation, dont on peut penser qu'elle est habituelle, des eaux dans le bassin, on peut considérer que le schéma de l'organisation phytoplanctonique de celui-ci reste sensiblement le même au cours d'un cycle annuel, aux variations quantitatives saisonnières près.

Ainsi, dans les zones profondes du bassin s'accumule une matière organique abondante qui échappe en grande partie à la destruction aérobie et contribue à la constitution d'un sédiment préfigurant une véritable « roche mère » d'hydrocarbures naturels.

LES PEUPELEMENTS BENTHIQUES

La macroflore

Nos observations sur le terrain, qui confirment les données bibliographiques (Étude du CROP, 1979; SEMROUD, 1983) montrent que la macroflore est représentée principalement par deux espèces de Phanérogames qui forment des herbiers plus ou moins denses dans les zones périphériques sableuses peu profondes. Ces deux espèces se répartissent différemment dans la lagune, en fonction du confinement : *Zostera noltii* domine dans la région située au débouché immédiat du chenal dans la lagune, tandis que *Ruppia maritima* colonise les régions méridionales les plus éloignées de la communication avec la mer. Entre ces deux pôles, on rencontre, le long des rives est et ouest, des herbiers mixtes. En allant vers les zones les plus confinées, les herbiers disparaissent pour céder la place soit aux tapis algaires (zones humides situées de part et d'autre du chenal au niveau de son débouché dans la lagune), soit aux algues Chlorophycées (*Ulva* sp. et *Enteromorpha* sp.) dans les délaissées marginales et au débouché des oueds.

Enfin, la partie centrale profonde est totalement dépourvue de macroflore. En résumé, l'étude qualitative des peuplements végétaux montre qu'à partir

du chenal qui fait communiquer la mer et la lagune, le milieu lagunaire se confine très vite. En effet *Zostera noltii*, espèce indicatrice d'un confinement déjà assez marqué (zones II-III, telles que définies par GUELORGET et PERTHUISOT, 1983), occupe uniquement la zone septentrionale, alors que *Ruppia maritima*, espèce strictement paralytique, indicatrice de confinement avancé (zones IV-V), colonise la majeure partie des bordures du lac Melah. Rappelons ici que pour GUELORGET et PERTHUISOT (1983), l'organisation zonale des peuplements lagunaires est essentiellement contrôlée par le « confinement », c'est-à-dire le taux de renouvellement des éléments d'origine marine en un point donné de chaque bassin lagunaire. Ces auteurs ont défini ainsi 6 zones, de I à VI, de confinement croissant, à partir des variations qualitatives de la macrofaune benthique.

La macrofaune benthique

En octobre 1982, la macrofaune benthique a été étudiée à partir de prélèvements (2 à 6 échantillons de 0,1 m² par station, 12 stations) effectués à l'aide d'une benne Eckman ou d'un carottier maniés en profondeur. Les échantillons ont été passés sur un tamis dont le vide de maille est un carré de 2 mm de côté. Les résidus de tamisage ont été conservés dans du formol à 10%, colorés au rose Bengale, puis étudiés au laboratoire. Les données quantitatives prises en compte sont : la richesse spécifique (nombre d'espèces dans chaque station), la densité (nombre d'individus par m²), la biomasse qui représente le poids de matière organique sèche après décalcification par m². Étant donné le caractère intégrateur des paramètres de la macrofaune benthique, on peut penser que les résultats d'octobre 1982 donnent une image convenable de l'organisation de l'écosystème.

Au débouché du chenal subsistent un certain nombre d'espèces « mixtes » (GUELORGET et PERTHUISOT, 1983) caractéristiques de la zone III : les Polychètes *Polydora ciliata*, *Nephtys hombergii*, les Mollusques *Nassa reticulata* et *Loripes lacteus*.

Sur l'ensemble de la lagune, la macrofaune benthique se compose d'espèces strictement paralytiques comme les Crustacés *Corophium insidiosum*, *Microdeutopus gryllotalpa*, les Polychètes *Capitella capitata*, *Streblospio dekhuzeni*, les Mollusques *Abra ovata*, *Brachydontes marioni* et les larves de *Chironomidae*. Cependant, dans les parties méridionales du bassin les peuplements sont dominés par *Cerastoderma glaucum*, *Sphaeroma hookeri*, et *Nainereis laevigata*. Ces espèces sont caractéristiques des zones IV et V.

Les zones les plus confinées se caractérisent soit par un peuplement quasi-monospécifique à *Hydrobia acuta* qui se développe sur un recouvrement cyanobactérien dans les confins subévaporitiques enca-

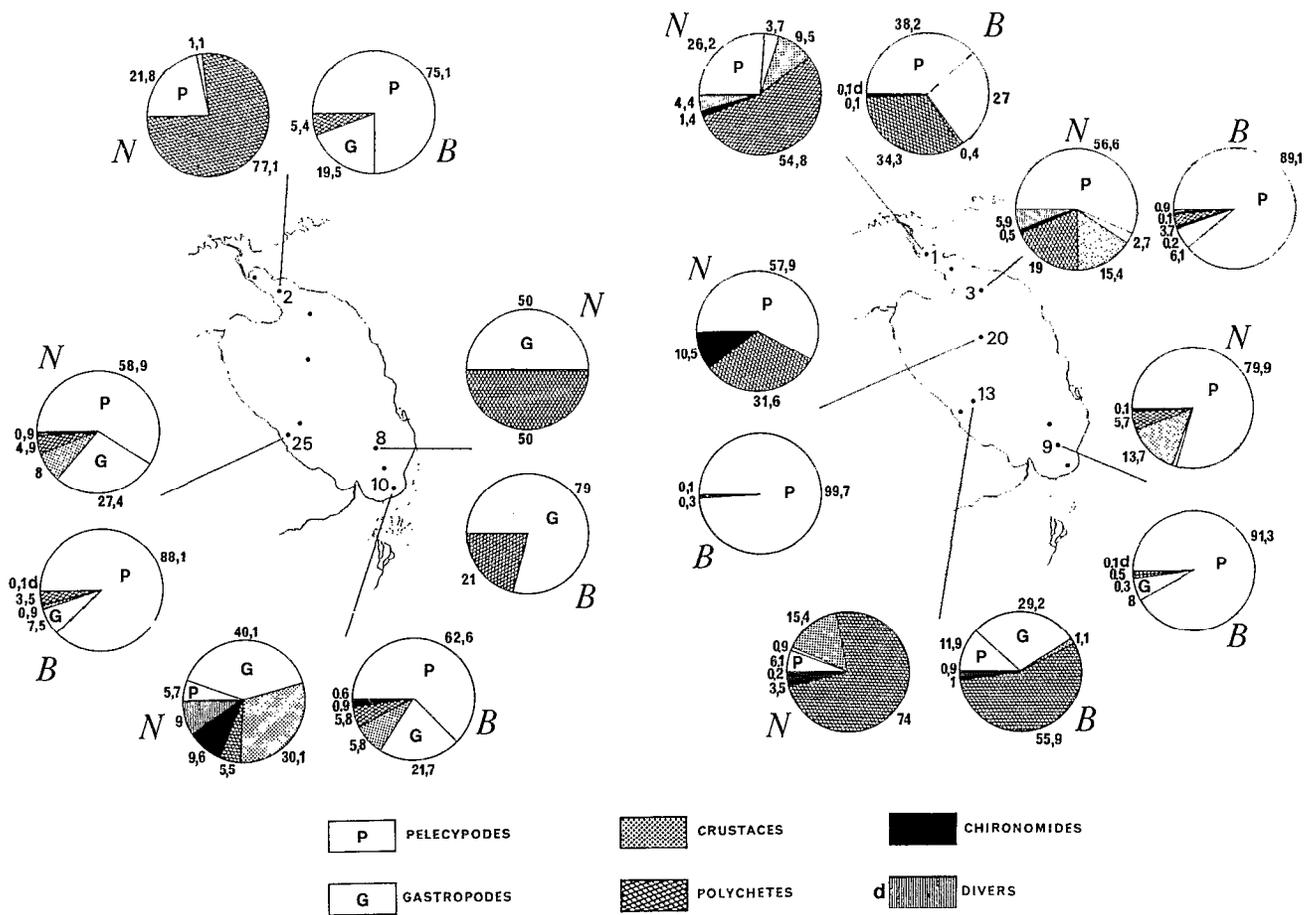


FIG. 10. — Abondance numérique (N) et pondérale (B) des divers groupes taxonomiques de la macrofaune benthique du lac Melah. Octobre 1982
Numerical abundance (N) and relative biomass (B) of the several taxonomic groups of lake Melah benthic macrofauna. October 1982

drant le chenal, soit par des peuplements paucispécifiques peu diversifiés où se mêlent aux espèces strictement paraliques quelques représentants de faunes dulçaquicoles dans les reculées marginales au pourtour de la lagune (ces zones de très faible extension ont été observées sur le terrain, mais n'ont fait l'objet d'aucun prélèvement quantitatif).

L'analyse quantitative de la macrofaune benthique récoltée aux diverses stations de prélèvement à l'intérieur de la lagune, 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) est quasiment identique dans l'ensemble de la lagune et se situe entre 15 et 21 espèces, excepté dans les zones profondes centrales où elle chute brutalement pour

atteindre des valeurs très faibles (2 à 4 espèces). Dans le lac Melah, si l'on fait abstraction des zones marginales, il n'apparaît donc aucun gradient marqué de la richesse spécifique depuis la communication avec la mer vers l'extrémité méridionale du lac. Sachant que toutes les espèces colonisant la majorité de cette lagune sont strictement paraliques, ceci confirme que la quasi-totalité de l'écosystème se situe en zones IV et V et explique la faible richesse spécifique générale du bassin. Le déficit en espèces mis en évidence dans les zones centrales profondes qui représentent environ 25% de la surface de la lagune, s'explique aisément par l'absence de substrat proprement dit (matière organique et carbonates non compactés) et surtout par le très faible taux d'oxygène dissous.

L'étude des densités et des biomasses en octobre

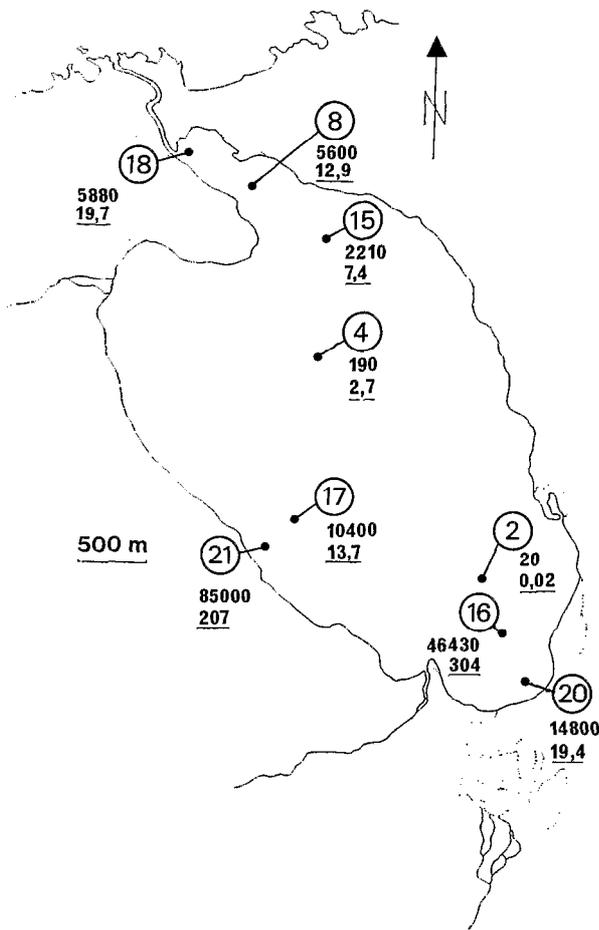


FIG. 11. — Richesse spécifique (nombre encerclé), densité et biomasse (nombre souligné) de la macrofaune benthique du lac Melah. Octobre 1982

Specific richness (circled number), density and biomass (underlined number) of lake Melah benthic macrofauna. October 1982

1982 montre des variations importantes suivant les différentes régions de la lagune (fig. 11) :

— D'une part on note des écarts très marqués entre les valeurs numériques et pondérales des zones périphériques sableuses et celles des zones profondes envasées. Dans les régions centrales riches en matière organique, on recense des densités et des biomasses extrêmement faibles n'excédant pas 200 individus par m^2 et 3 g/m^2 en poids de matière organique sèche après décalcification. En revanche, la densité et la biomasse de la macrofaune benthique augmentent dans les zones de bordure peu profondes (bathymétrie inférieure à 2 mètres).

— D'autre part, il existe également à l'intérieur

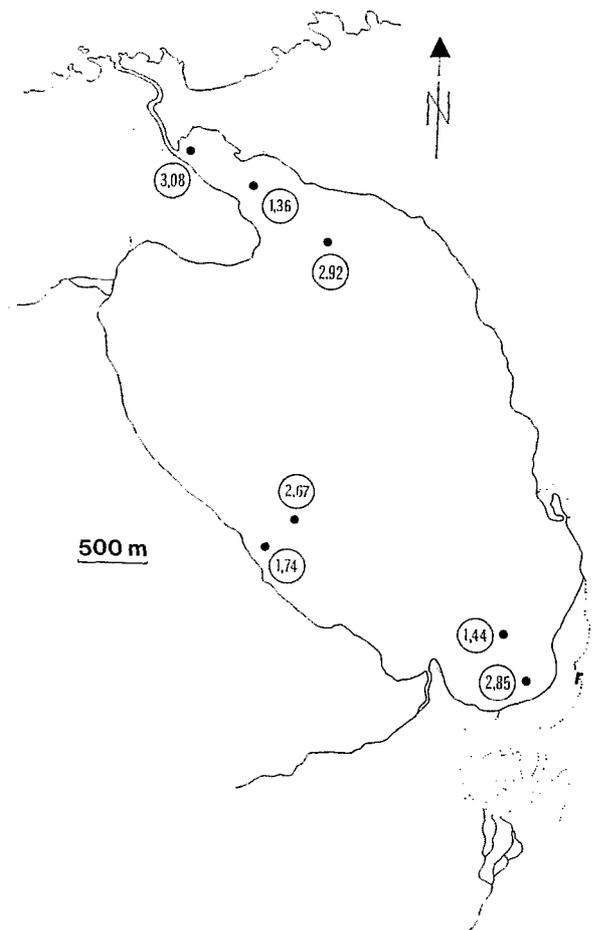


FIG. 12. — Valeurs de l'indice de diversité de Shannon de la macrofaune benthique (nombre encerclé) calculé sur les effectifs. Octobre 1982

Values of the Shannon diversity index of the benthic macrofauna (circled number) of the total strengths. October 1982

même de ces zones de bordure des variations numériques et pondérales très prononcées. En effet, dans la plupart des stations riveraines prospectées, la densité oscille entre 5 000 et 15 000 individus par m^2 et la biomasse varie entre 13 et 20 g/m^2 . Cependant, quelques stations se distinguent par une densité ou une biomasse très élevées atteignant par exemple 85 000 individus/ m^2 à la station 25, et 300 g/m^2 à la station 9. Ces valeurs numériques et pondérales exagérées pour un milieu confiné sont dues à la prolifération localisée du Pélécy-pode *Brachydontes marioni* qui forme de véritables essaims dans certaines zones en relation avec la présence de substrat aux origines variées.

Les valeurs de biomasse situent le lac Melah en position moyenne entre les étangs très productifs comme l'étang du Prévost (France) (GUELORGET et MICHEL, 1976) et les lagunes les plus pauvres comme la Bahiret el Biban (Tunisie) (GUELORGET *et al.*, 1982).

L'analyse de l'indice de diversité de Shannon (fig. 12) confirme les conclusions tirées des paramètres qualitatifs et quantitatifs précédemment évoqués. Cet indice varie entre 3,08 (station 1) et 2,67 (station 15) dans les zones périphériques, sauf aux stations 25 et 9 qui se distinguent par l'abondance de *Brachydonates marioni*, où il atteint respectivement 1,74 et 1,44.

LA ZONATION

Rappelons que les écosystèmes lagunaires méditerranéens comportent six zones de confinement (I à VI) définies à partir de la composition des macrofaunes benthiques de substrat meuble (GUELORGET et PERTHUISOT, 1983). En ce qui concerne le lac Melah (fig. 13), il y a une dominance très nette des zones IV et V sur l'ensemble du bassin car les zones de faible confinement (II et III) sont limitées au voisinage immédiat de la communication et la zone très confinée (VI) n'occupe qu'une frange marginale dans des petits bassins annexes (elle n'est pas figurée sur la carte de la fig. 13). Ceci est valable pour la tranche d'eau supérieure.

Cependant, la zone centrale profonde « azoïque » du bassin correspond à un confinement bathymétrique prononcé : il s'agit d'une zone VI « bathymétrique » comparable à celle de la mer Caspienne (ZENKEVITCH, 1987) ou de la mer Baltique (SEGERSTRALE, 1957; GUELORGET et PERTHUISOT, 1983).

Le maillon phytoplanctonique confirme très largement la situation du lac Melah dans l'échelle du confinement : les peuplements phytoplanctoniques sont dominés par les Périidiniens caractéristiques des zones IV et V (*Prorocentrum scutellum*). En outre, le milieu se trouve en surproduction phytoplanctonique vis-à-vis de la consommation, donc au-delà du croisement des courbes de la biomasse phytoplanctonique et de la biomasse benthique (FRISONI, 1984). Par ailleurs, l'accumulation de phéophytine en profondeur traduit le confinement bathymétrique des zones centrales.

CONCLUSION

Le lac Melah apparaît comme un milieu paralytique très confiné (zones IV et V dominantes en surface et

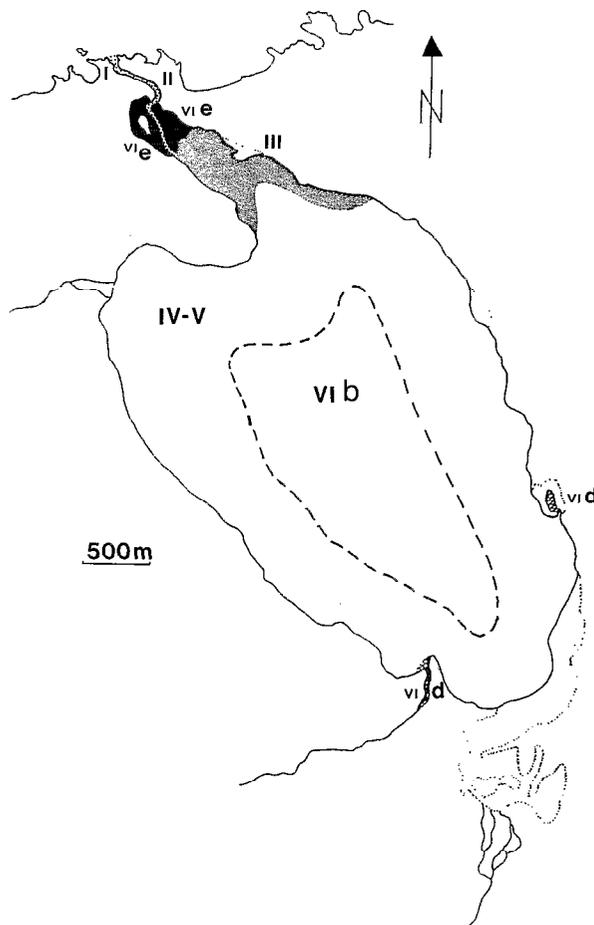


FIG. 13. — La zonation biologique du lac Melah (d'après GUELORGET et PERTHUISOT, 1983, modifié). VIe : zone VI de confinement à tendance évaporitique; VIId : zone VI de confinement à tendance dulçaquicole; VIb : zone VI de confinement bathymétrique liée à la présence de la masse d'eau inférieure isolée

The biological zoning («confinement» zones) of lake Melah (modified after GUELORGET and PERTHUISOT, 1983). VIe : confinement zone VI towards evaporitic facies; VIId : confinement zone VI towards fresh water environments; VIb : bathymetric confinement zone VI due to the isolated lower water mass

zones VI en profondeur à cause d'un confinement bathymétrique additionnel), ce qui induit une production primaire largement excédentaire, la sédimentation massive de matière organique, un benthos dense et de faible biomasse. Dans la zone centrale l'activité bactérienne domine, notamment dans la zone de l'ombilic hydraulique.

Le degré de confinement du bassin, responsable de ces dominantes écosystémiques, explique en grande

partie les propriétés du peuplement ichthyofaunistique (GUELORGET *et al.*, 1982; FRISONI *et al.*, 1983) qui est dominé par les espèces sédentaires inféodées au domaine paralique (*Aphanius fasciatus*, *Pomatoschistus marmoratus*, *Atherina boyeri*...) et des espèces planctonophages et limnivores, notamment les *Mugilidae*.

Au-delà de ses caractéristiques écosystémiques actuelles, le lac Melah apparaît comme un modèle de l'évolution dans le temps des bassins paraliques profonds (donc stratifiés) dans la mesure où il correspond au stade précis où ce type de bassin bascule dans un état chronique d'accumulation organique. A cet égard il préfigure des bassins fossiles générateurs d'hydrocarbures comme la Sebkhat el Melah (PERTHUISOT, 1975 et 1980), la forma-

tion Salina du Michigan, le bassin de Paradox (BUSSON et PERTHUISOT, 1986) et bien d'autres, où coexistent des roches mères d'hydrocarbures, des sédiments susceptibles de les accueillir (sables, récifs, etc.) et d'éventuelles couvertures (évaaporites paraliques et argiles d'origine continentale).

En revanche, à ce stade de leur évolution, les bassins paraliques ne permettent plus la mise en valeur de leurs productions biologiques pourtant considérables : les potentialités biologiques de tels écosystèmes lagunaires très confinés profitent à court terme surtout au littoral marin adjacent (AMANIEU et LASSERRE, 1981).

Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 10 mai 1989

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMANIEU (M.) et LASSERRE (G.), 1981. — Niveaux de production des lagunes littorales méditerranéennes et contribution des lagunes à l'enrichissement des pêches démersales. *Étud. Rev. CGPM*, 58 : 81-94.
- BUSSON (G.) et PERTHUISOT (J.-P.), 1986. — La synthèse des données. In : Les séries à évaporites en exploration pétrolière. Tome 1 : Méthodes géologiques. Éditions Technip, Paris : 165-217.
- CASTANIER (S.), 1987. — Microbiogéologie : Processus et modalités de la carbonatogenèse bactérienne. Th. Doct. État, Univ. Nantes, 541 p.
- CATAUDELLA (S.), 1982. — Rapport de la mission effectuée du 19 au 29 octobre en Algérie (lac Melah et lac Oubeira). Rapp. FAO/MEDRAP, 37 p.
- Étude préliminaire du lac Melah (El Kala). *Pub. CROP, Alger*, 1979, 97 p.
- FRISONI (G.-F.), 1984. — Contribution à l'étude du peuplement phytoplanctonique dans le domaine paralique. Th. Ingénieur-Docteur, USTL, Montpellier, 171 p.
- FRISONI (G.-F.), GUELORGET (O.), XIMENES (M.-C.) et PERTHUISOT (J.-P.), 1983. — Étude écologique de trois lagunes de la plaine orientale corse (Biguglia, Diana, Urbino) : expressions biologiques qualitatives et quantitatives du confinement. *Journ. Rech. Oceanogr.*, VIII, 1 : 57-80.
- GIMAZANE (J.-P.), 1982. — L'exploitation conchylicole du lac Melah, Algérie. Rapp. FAO/MEDRAP, 13 p.
- GUELORGET (O.) et MICHEL (P.), 1976. — Recherches écologiques sur une lagune saumâtre méditerranéenne, l'Étang du Prévost (Hérault). Th. 3^e Cycle, USTL, Montpellier, 317 p.
- GUELORGET (O.) et PERTHUISOT (J.-P.), 1983. — Le domaine paralique. Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. *Trav. Lab. Geol. ENS*, 16, 136 p.
- GUELORGET (O.) et PERTHUISOT (J.-P.), 1984. — Indicateurs biologiques et diagnose écologique dans le domaine paralique. *Bull. Écol.*, 15, 1 : 67-76.
- GUELORGET (O.), FRISONI (G.-F.) et PERTHUISOT (J.-P.), 1982. — Contribution à l'étude biologique de la Bahiret el Biban, lagune du SE tunisien. *Mem. Soc. Geol. Fr.*, NS, 144 : 173-186.
- GUELORGET (O.), FRISONI (G.-F.), IBRAHIM (A.), JAUZEIN (A.), MEDHIOUB (K.), CLASTERE (J.), MAURIN (A.), ROUCHY (J.-M.) et PERTHUISOT (J.-P.), 1984. — Ombilics hydrauliques et chenaux, zones singulières des bassins paraliques. Leurs caractéristiques biologiques et sédimentaires. 5^e Congr. Europ. Sédimentologie, Marseille, Abstracts : 202-203.
- GUELORGET (O.), FRISONI (G.-F.), MONTI (D.) et PERTHUISOT (J.-P.), 1986. — Contribution à l'étude écologique des lagunes septentrionales de la baie d'Amvrakia (Grèce). *Oceanologica Acta*, 9, 1 : 9-17.
- MEDHIOUB (K.) et PERTHUISOT (J.-P.), 1981. — The influence of peripheral sabkhas on the geochemistry and sedimen-

- tology of a Tunisian lagoon : Bahiret el Biban. *Sedimentology*, 2 : 679-688.
- NICOLAIDOU (A.), BOURGOUTZANI (F.), ZENETOS (A.), GUELORGET (O.) et PERTHUISOT (J.-P.), 1988. — Distribution of Molluscs and Polychaetes in coastal Lagoons in Greece. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 26 : 337-350.
- PERTHUISOT (J.-P.), 1975. — La Sebkhah el Melah de Zarzis. Genèse et évolution d'un bassin salin paralaïque. *Trav. Lab. Geol. ENS*, 9, 252 p.
- PERTHUISOT (J.-P.), 1980. — Sites et processus de la formation d'évaporites dans la nature actuelle. *Bull. Centre Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, 4, 1 : 207-233.
- Les potentialités de l'aquaculture en Algérie. Première évaluation. Secrétariat d'État à la Pêche de la République Algérienne et Populaire et Caisse Centrale de Coopération économique. *Rapp. France-Aquaculture/Sepia International*, 1980, 71 p.
- Programme de développement de la pêche et de l'aquaculture sur le lac Melah. *Rapp. Équipe Lac Enapeche*, 1980, 159 p.
- SEMROUD (R.), 1983. — Contribution à l'étude écologique des milieux saumâtres méditerranéens : le lac Melah (El Kala, Algérie). Th. 3^e Cycle, Univ. Sci. Techn., Alger, 137 p.
- SEGERSTRALE (S. G.), 1957. — Baltic Sea. *In* : Hedgpeth (Ed.) : *Treatise on Marine Ecology and Paleocology. Mem. Geol. Soc. America*, 67, 1 : 751-800.
- ZENKEVITCH (L. A.), 1957. — Caspian and Aral Seas. *In* : Hedgpeth (Ed.) : *Treatise on Marine Ecology and Paleocology. Mem. Geol. Soc. America*, 67, 1 : 891-916.