

Biogéologie
Lagune
Confinement
Actuel
Golfe de Suez

Biogeology
Lagoon
Confinement
Actual
Gulf of Suez

Expressions hydrochimiques, biologiques et sédimentologiques des gradients de confinement dans la lagune de Guemsah (Golfe de Suez, Égypte)

GROUPE D'ÉTUDE DU DOMAINE PARALIQUE : Ahmed Ibrahim Wahid ELSAYED ^a, Olivier GUELORGET ^b, Guy-François FRISONI ^c, Jean-Marie ROUCHY ^d, André MAURIN ^e, Jean-Pierre PERTHUISOT ^a

^a Laboratoire de Biogéologie et Biostratigraphie, Université de Nantes, chemin de la Houssinière, 44072 Nantes Cedex.

^b Laboratoire d'Hydrobiologie marine, ERA 467, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, place Eugène-Bataillon, 34060 Montpellier Cedex.

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

^d Laboratoire de Géologie du Muséum National d'Histoire Naturelle, 43, rue Buffon, 75005 Paris.

^e Compagnie Française des Pétroles, 5, rue Michel-Ange, 75016 Paris.

Reçu le 17/9/84, révisé le 13/3/85, accepté le 20/3/85.

RÉSUMÉ

La présente approche pluridisciplinaire de la lagune de Guemsah met en évidence l'organisation biogéologique à la fois longitudinale et concentrique de ce petit bassin paralique sous climat aride. Tous le système dynamique est gouverné par la morphologie du bassin et par le régime des vents, qui engendre une circulation des eaux originale, avec un upwelling permanent à l'extrémité septentrionale de la lagune. Il en résulte un champ de confinement complexe avec une cuvette centrale peu confinée, flanquée de platiers le long desquels le confinement croît en direction des ouvertures de la lagune.

Ce schéma se traduit dans la salinité et la composition des eaux, l'organisation biologique et la sédimentation.

Les eaux de la lagune sont légèrement plus concentrées en sels que les eaux du Golfe, notamment dans les zones les plus confinées où l'on note, en outre, un appauvrissement en calcium et en carbonates.

Les populations benthiques s'organisent en fonction des gradients de confinement, depuis des associations à échinodermes qui caractérisent la cuvette centrale peu confinée jusqu'aux faciès cyanobactériens à la marge intertidale des platiers. Les associations strictement paraliques sont limitées aux platiers : elles occupent donc une surface réduite de l'ensemble du bassin. La production phytoplanctonique s'effectue surtout dans la mince tranche d'eau des platiers, qui constituent ainsi la principale source de la faible biomasse phytoplanctonique du corps d'eau central.

La sédimentation est, pour l'essentiel, dominée par les phases biogéniques, carbonates et matière organique. Cette dernière s'accumule préférentiellement dans la cuvette centrale profonde, et notamment dans la zone d'ombilic hydraulique du bassin.

Ainsi, malgré sa faible production primaire, la lagune de Guemsah est un modèle de bassin accumulateur de matière organique susceptible de fournir des guides pour la recherche pétrolière. A cet égard, on soulignera la coexistence dans un même bassin de zones productives, d'un réceptacle où se forment des roches-mères potentielles et d'un récif récemment fossilisé.

Oceanol. Acta, 1985, 8, 3, 303-320.

ABSTRACT

Hydrochemical, biological and sedimentological expressions of confinement in Jemsah Lagoon (Gulf of Suez, Egypt).

The present pluridisciplinary study of Jemsah lagoon displays both the concentric and longitudinal biogeological organization of this small paralic basin submitted to arid conditions.

The whole dynamic pattern is controlled by the basin's morphology and the wind system which induces a permanent upwelling near the northern end of the basin. The result is a complicated confinement (or restriction) field with a central rather deep water body subjected to slight confinement and lateral shallow platiers along which the confinement increases towards the lagoon openings.

This schema is reflected in the composition and salinity of the waters, in the biological structures and in sedimentation.

The lagoonal waters are slightly richer in salts than the Gulf waters, especially in the most restricted parts, where they are found to be poor in calcium and carbonates.

The benthic macrofaunal populations are distributed in conformity with the confinement gradients: the deep central part of the basin supports associations containing Echinodermata (low confinement) whereas the high confinement zones are located at the intertidal margin of the platiers and support blue-green algae facies. The strictly paralic associations are restricted to the platiers, occupying only a small part of the total surface of the lagoon. The somewhat feeble phytoplanktonic biomass of the lagoon as a whole is mainly produced on the shallow restricted platiers and drawn by the wind towards the centre of the basin.

The sediments are mainly composed of biogenic phases *i.e.* carbonates and organic matter. The latter preferentially accumulates in the central deep area, especially in the ombilical zone.

The Jemsah lagoon, despite its low trophic level, is a model of an organic matter accumulating basin which could possibly provide guidance for petroleum research. It may be noted, for example, that the same basin contains, in close proximity to each other, organic matter producing zones (potential mother-rocks) and recently fossilized reefs (sedimentary receptacles).

Oceanol. Acta, 1985. 8, 3, 303-320.

LE CADRE GÉOGRAPHIQUE

La péninsule de Guemsah se situe à l'ouest du détroit de Goubal, à proximité du point triple que constitue la jonction entre le Golfe de Suez, le Golfe d'Akaba et la Mer Rouge (fig. 1). Dans cette zone interfèrent le système tectonique NNO-SSE du Golfe de Suez et celui, NNE-SSO, du Golfe d'Akaba. Par ailleurs, une tectonique salifère récente complique la structure du bâti géologique, le relief et la morphologie de la zone littorale : il en résulte une ligne de côte très accidentée, avec des caps, des baies profondes, des chapelets d'îlots. La lagune de Guemsah correspond à un effondrement apical de diapir salifère (Ibrahim, 1983).

Les données chiffrées sur le climat local font totalement défaut. On peut estimer cependant, d'après quelques renseignements oraux recueillis à Rass Shouker (base GPC située à 50 km au NNO de Guemsah), que la température varie d'environ 20°C en hiver à environ 40°C en été.

Les pluies sont rares et ne surviennent qu'en hiver sous forme d'orages brefs et violents : comme dans toutes les régions arides le réseau hydrographique est diffus, ou en chenaux anastomosés et la végétation réduite à quelques touffes de graminées et quelques arbustes rabougris.

La caractéristique la plus marquante du climat du Golfe de Suez est la fréquence des vents forts habituellement du secteur NNO à NNE. Ceux-ci ne s'interrompent que quelques jours au début de l'hiver et, au printemps, pendant une cinquantaine de jours avant Pâques : c'est la période du Khemsin, pendant laquelle s'établit un vent du secteur SSO qui porte aussi ce nom. La région de Guemsah, plus proche de la Mer Rouge, est balayée par des vents moins violents que dans le reste du golfe.

L'évaporation potentielle peut être estimée à plus de 2 m par an (Maury, 1963). Quelle que soit la valeur de l'évaporation réelle elle est largement supérieure aux apports d'eau douce sur cette petite lagune dépourvue de bassin versant.

LA LAGUNE DE GUEMSAH, SON RÉGIME HYDROLOGIQUE

La péninsule de Guemsah affecte la forme d'un Y dont les deux branches, inégales, enserrant la lagune. La branche NE, la plus grande, se présente comme un plateau descendant en pente douce vers la mer ouverte et surplombant la lagune au bord de laquelle il forme falaise; elle se termine par un massif montagneux, le

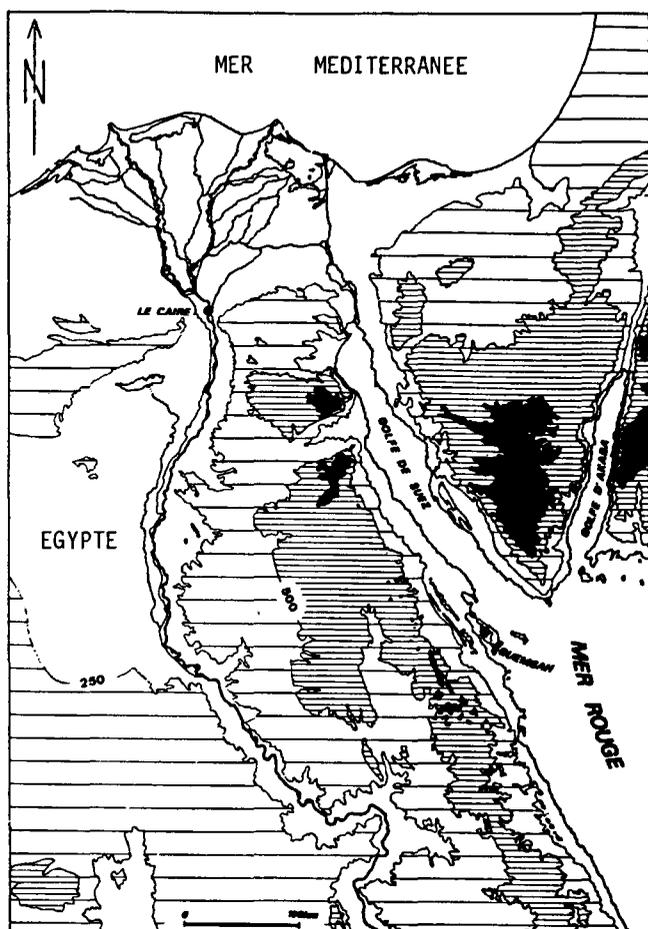


Figure 1
Localisation de la lagune de Guemсах. En noir : régions d'altitude supérieure à 1000 m.
Situation of Jemсах lagoon. In black: regions above 1000 m.

massif de Guemсах, culminant à 78 m d'altitude près de son extrémité. La branche SO, dont l'ossature est un monoclinal aigu à pendage SE, se poursuit par une succession de petits îlots. Dans la région du pédoncule, le relief se raccorde progressivement à la plaine côtière, qui se tient à une vingtaine de mètres d'altitude.

Le bassin

La lagune de Guemсах communique avec la mer ouverte par le SE, malgré la présence d'un seuil sédimentaire (le Travers) où la tranche d'eau reste toujours très faible à l'exception d'un chenal étroit. En outre, deux communications étroites mais plus profondes (4 - 5 m) permettent des échanges vers le SO avec la baie de Guemсах (Petite et Grande Passe; fig. 2).

Le bassin lui-même comporte une dépression centrale allongée et profonde : la profondeur maximale mesurée est de 15 m environ (partie SE du bassin) et le thalweg remonte doucement vers le N (11 m de profondeur au centre de la baie des Amphioxus).

Cette zone profonde est flanquée de deux platiers étroits longeant des tombants très raides (environ 30° de pente). Le platier SO (Nathi-Natha) correspond en partie à un ancien récif frangeant en voie d'ensablement. Par contre, nous n'avons pas trouvé trace de madréporaires sur le platier NE (les Boules) qui est colonisé par des bancs de mytilidés.

Le platier SO s'élargit vers le S, au droit du premier îlot, en un delta sous-marin qui descend en pente douce vers le fond du bassin.

A l'extrémité nord (distale) de la lagune, s'ouvre une sebkha supratidale enserrée entre les falaises. Son remplissage est surtout constitué de sable, surmontant un

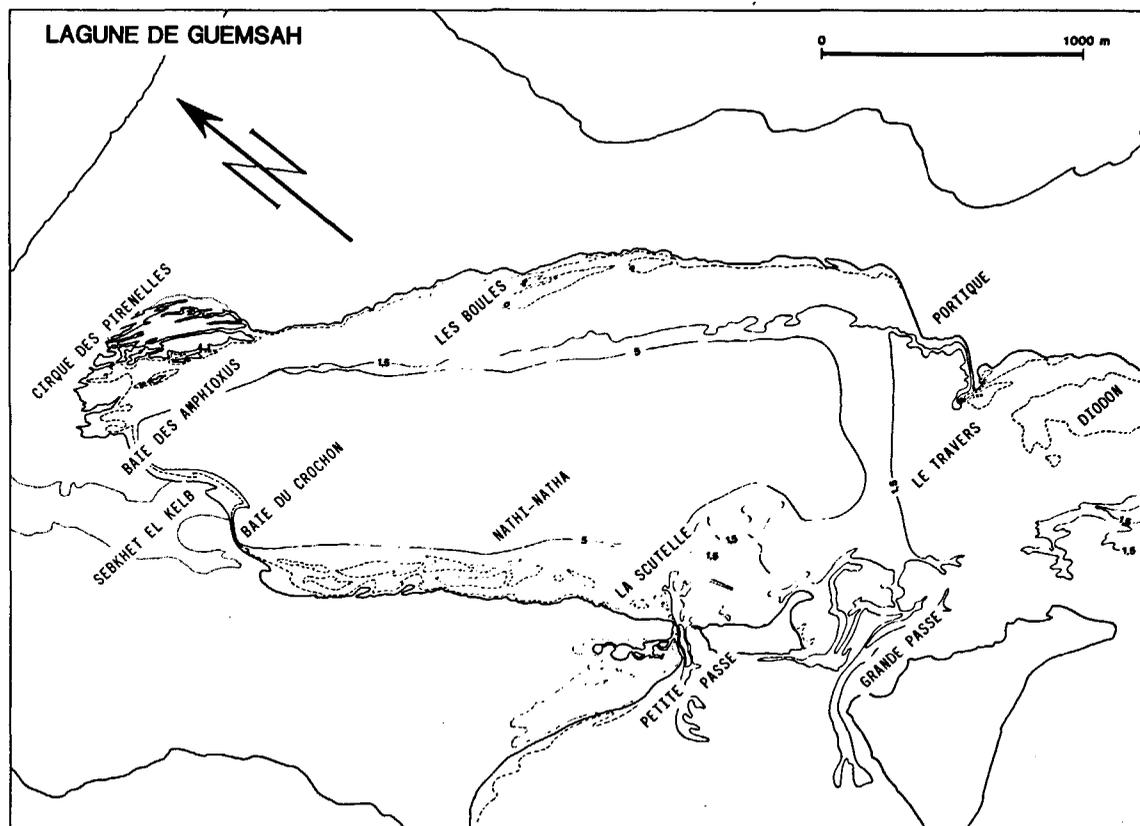


Figure 2
Carte de la lagune de Guemсах (profondeurs en mètres). Map of Jemсах lagoon (depths in metres).

niveau à huitres vers 50 cm de profondeur, avec des cristaux de gypse diagénétique et une croûte halitique superficielle.

Enfin, le Cirque des Pirenelles, vraisemblablement né d'un effondrement semi-circulaire, offre un lacs de chenaux plus ou moins anastomosés où l'eau circule faiblement au gré des marées.

Le régime hydrologique

Le régime hydrologique de la lagune de Guemsa est sous la dépendance des marées astronomiques — avec un marnage de plusieurs décimètres — et du régime des vents.

— En régime de vent du secteur N, de loin le plus fréquent, les eaux de la surface de la lagune sont poussées vers le S, sauf dans la zone protégée par la falaise NE et les eaux profondes du bassin remontent le long du tombant du platier (fig. 3). Cet effet d'« upwelling » se manifeste par la courbure et l'orientation des frondes algaires qui croissent à cet endroit et par la variation rapide des paramètres physiques et chimiques des eaux à la limite du platier comme le montre un petit transect hydrologique à hauteur du Cirque des Pirenelles (fig. 4). Il se crée ainsi, approximativement au sommet du tombant, une barrière hydrodynamique qui retient l'essentiel des eaux du platier NE sur celui-ci et induit une dérive de sens NS (Ibrahim Wahid Elsayed, Perthuisot, 1982; Ibrahim Wahid Elsayed *et al.*, 1982). Sur le

platier SO, la dérive est très logiquement dans le sens NS.

Ainsi, l'eau de mer entrant dans le bassin à marée montante rejoint tout d'abord le corps d'eau central qui, en quelque sorte, s'enroule sur lui-même sous l'effet du vent selon une direction oblique sur l'axe longitudinal du bassin. Les eaux qui atteignent l'extrémité du bassin (baie des Amphioxus) n'ont que trois chemins possibles : le Cirque des Pirenelles, le platier O et le platier E. C'est le long de ces chemins que les eaux se confinent progressivement et on doit s'attendre à un confinement maximal dans les chenaux du Cirque des Pirenelles, à Portique et à La Scutelle. En ce qui concerne ce dernier secteur, la Petite Passe présente une dissymétrie biologique remarquable : la rive N, qui est sous l'influence quasi-permanente des eaux sortantes en provenance de Nathi-Natha et de La Scutelle, possède un fond pratiquement nu et une faune très réduite; la rive S au contraire, baignée soit par des eaux fraîches entrantes, soit par des eaux sortantes en provenance de la partie S du bassin, abrite une faune et une flore riches et diversifiées. Dans l'échelle de confinement proposée par Guelorget *et al.* (1983), il y a, au minimum, 3° de différence entre les deux rives.

Les eaux entrantes au-dessus du Travers ne semblent pas s'écouler immédiatement sur le fond du bassin, mais s'interstratifier entre les eaux de surface et les eaux de fond : dans la zone proximale de la lagune

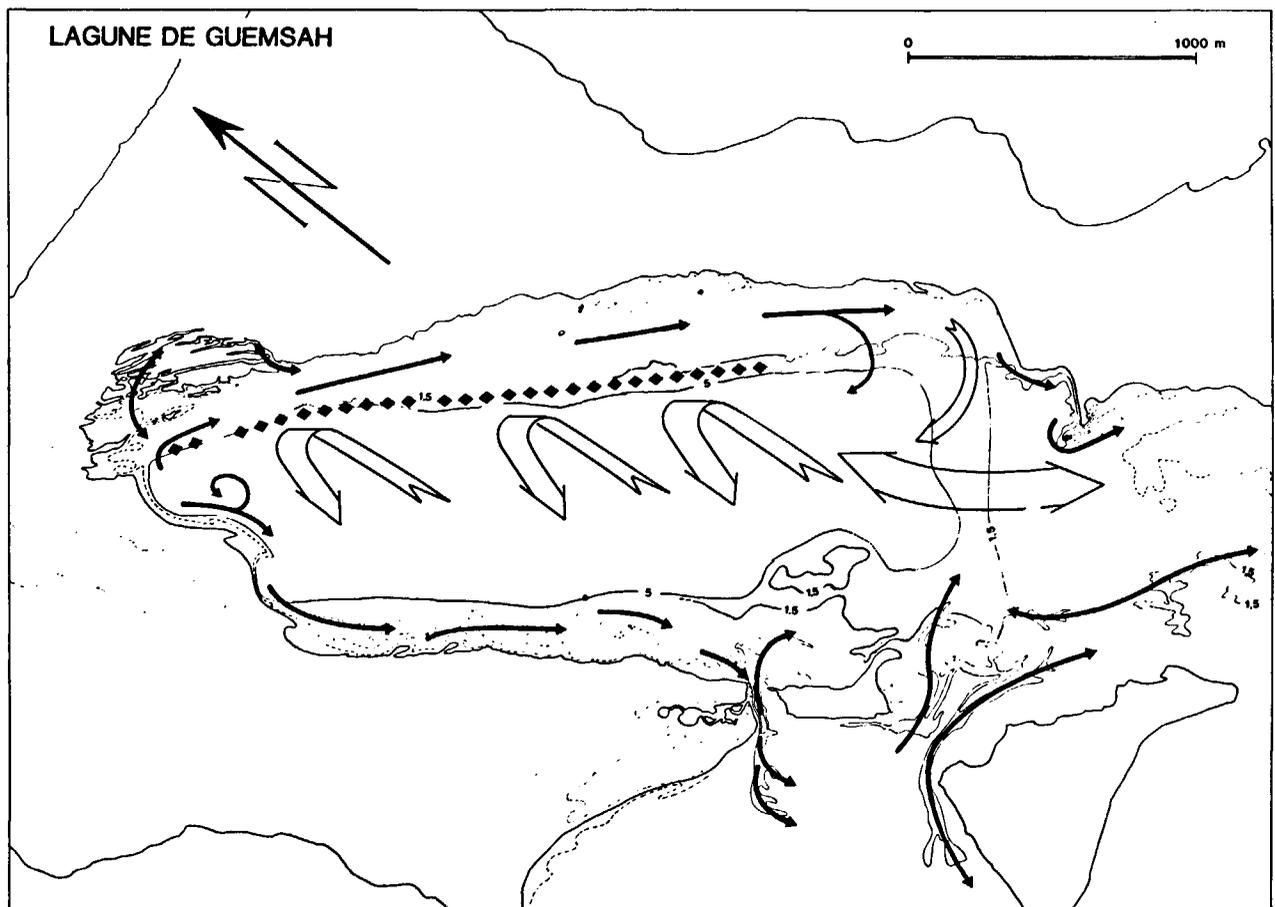


Figure 3
Les mouvements des eaux dans la lagune de Guemsa en régime de vent du Nord (situation habituelle).
Water motions in Jemsa lagoon during north wind (prevailing conditions).

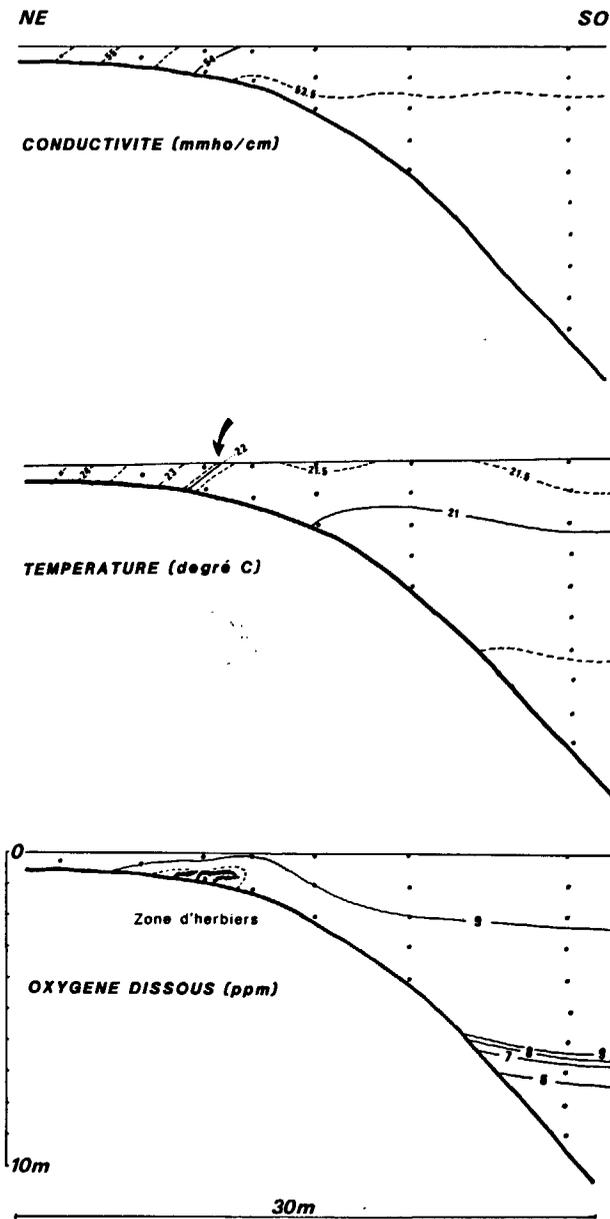


Figure 4
Transect hydrologique sur le tombant du platier au droit du Cirque des Pirenelles.
Hydrological transect on the slope of the platier, Northern part of the basin.

celles-ci semblent enrichies en eaux confinées issues de la zone de Portique comme le suggère un transect hydrochimique longitudinal de la lagune (fig. 5). Elles ne rejoignent le fond du bassin que dans sa partie centrale.

En régime de vent du secteur N, l'effet de la marée montante à la Petite Passe et à la Grande Passe est contrarié, en outre les eaux entrantes sont déviées vers le S : les échanges d'eau entre la lagune et la pleine mer sont ainsi atténués.

— Lorsque le régime de vent du Sud s'installe (Khemsin) le dispositif s'inverse complètement ainsi que l'inclinaison générale du plan d'eau. Celle-ci se manifeste par l'inondation de la Sebket el Kelb, qui se recharge alors en eau et en sels, et du Cirque des Pirenelles. Par ailleurs, l'influence de la marée montante est amplifiée et, en outre, les eaux du Travers sont chassées vers le centre du bassin. Celui-ci reçoit

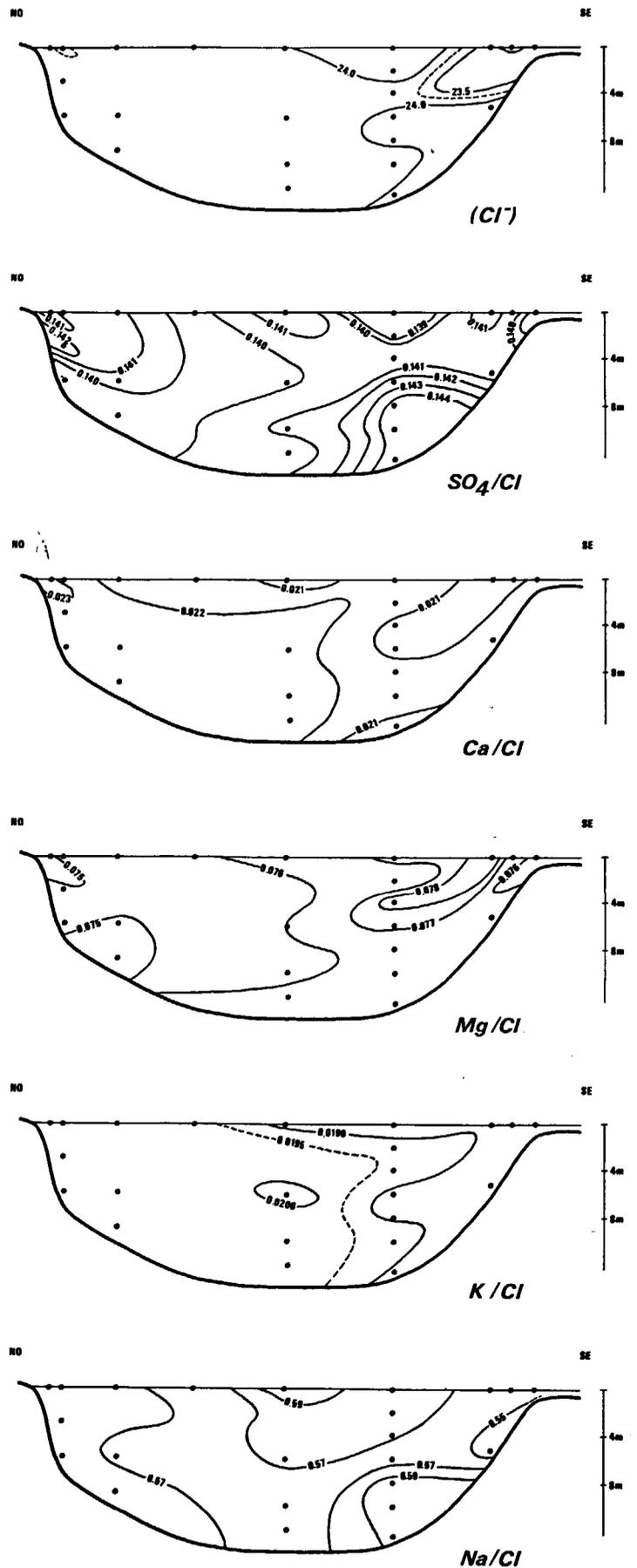


Figure 5
Transect hydrochimique de la lagune de Guemsah, mai 1982.
Hydrochemical transect in Jemsah lagoon, May 1982.

un afflux d'eau marine fraîche et subit une diminution généralisée de la salinité.

HYDROCHIMIE

Cette étude a été menée sur 5 campagnes, en 1982 et 1983.

Qualité des eaux

Température

D'une façon générale, les températures s'organisent de façon symétrique autour de la cuvette centrale. Les températures de surface sont plus élevées sur les platiers à faible tranche d'eau que dans le centre du bassin où la masse d'eau qu'il contient constitue un volant d'inertie thermique. Ce corps d'eau central dénote cependant un léger gradient négatif avec la profondeur. Il suit, comme la totalité du bassin, les fluctuations saisonnières (13-15° en janvier, 23-25° en septembre), mais présente toujours une grande homogénéité et une plus grande stabilité que les platiers.

Les zones proches des communications, même avec une faible tranche d'eau (La Scutelle, Portique, Le Travers) supportent des eaux dont la température est voisine de celle du corps d'eau central (Ibrahim Wahid Elsayed, 1983).

pH et oxygène dissous

Les données recueillies trahissent clairement un cycle annuel de l'activité photosynthétique avec un maximum au printemps et sans doute au début de l'été, l'activité bactérienne semblant maximale à la fin de l'été et au début de l'automne, notamment sur le fond et à son voisinage où généralement le taux d'oxygène dissous s'abaisse nettement.

Turbidité

Elle est toujours très faible, de l'ordre de 1 à 2 ppm à cause de la très faible biomasse phytoplanctonique des eaux de la lagune et de la quasi absence d'apports continentaux.

Concentration ionique totale

La concentration ionique totale des eaux de la lagune peut être appréciée par celle de l'ion chlorure puisque les précipitations évaporitiques restent discrètes (fig. 6). On ne tient pas compte, alors, de l'éventuel rôle joué par les saumures de la Sebkhet el Kelb, soit par reflux de ses saumures, soit par lessivage de la croûte saline superficielle lors des inondations (Medhioub, 1979; 1984).

On remarquera tout d'abord que d'une façon générale, les eaux des platiers où la tranche d'eau est pelliculaire, sont plus concentrées que les eaux de surface du bassin central, qui par ailleurs sont très homogènes sur toute la tranche d'eau, hormis dans la zone proximale (par rapport à la mer), La Scutelle, Portique, Le Travers, où les teneurs en Cl^- sont plus fluctuantes et généralement plus faibles. En outre, les eaux du platier NE sont très généralement plus concentrées que celles du platier SO mieux renouvelées par le jeu des vagues et des marées. Les eaux stagnantes des chenaux du Cirque des Pirenelles sont toujours nettement plus concentrées que celles du reste du bassin.

Par ailleurs, l'intensité des gradients de concentration varie avec le temps. Ainsi, c'est en septembre 1982 qu'on observe les plus forts écarts de concentration en Cl^- , celle-ci allant de 22 g/l à 26 g/l. L'écart ne dépasse pas 1,5 à 2 g/l aux autres saisons : le régime de vent du N augmente le confinement du bassin pendant l'été et l'effet de l'évaporation est maximal.

Enfin, les discontinuités qui apparaissent le long du platier NE, en septembre 1982, par exemple, sont vraisemblablement liées au régime sporadique de l'envoyage et de la vidange du Cirque des Pirenelles qui évacue de façon aléatoire des eaux concentrées sur le platier au gré des marées éoliennes.

Dans l'ensemble, les cartes de distribution de la concentration en Cl^- confirment la symétrie approximative de la lagune, la grande homogénéité du corps d'eau central, la variabilité des zones de platiers et l'existence d'un cycle annuel qui intègre l'effet modérateur des

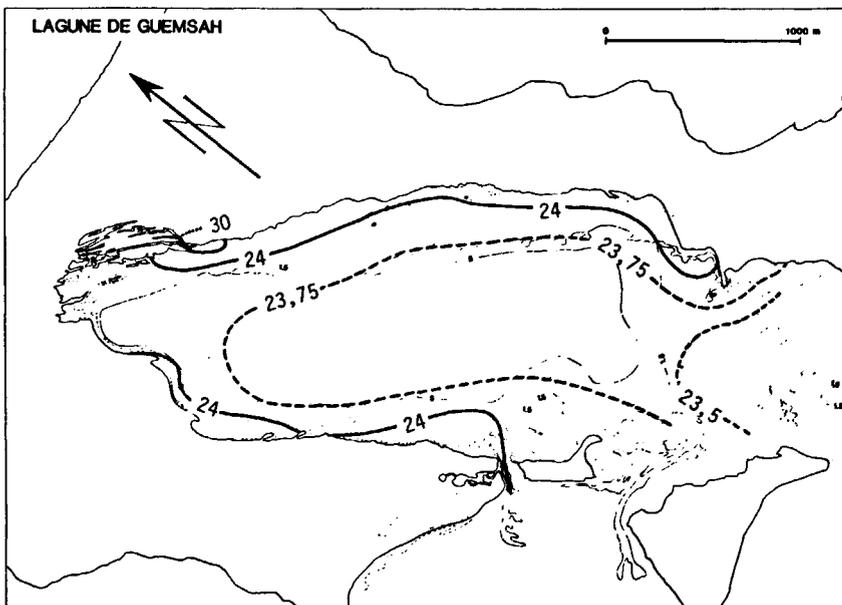


Figure 6
Concentrations des eaux de surface en Cl^- , mai 1982.
 Cl^- content of superficial waters, May 1982 (g/l).

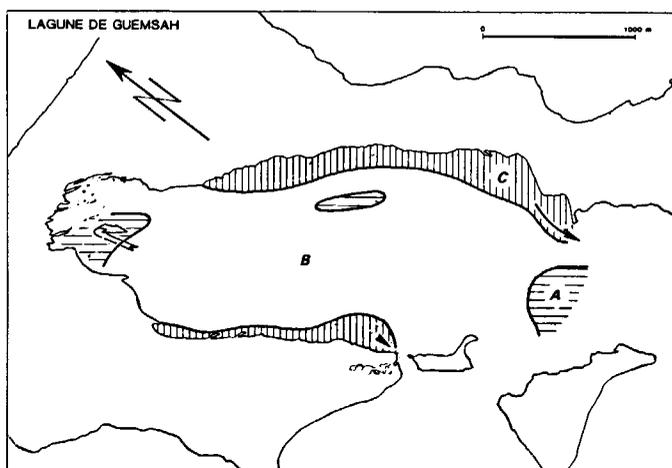


Figure 7

Les principales masses d'eau superficielles de la lagune de Guemsah en mai 1982. A : eaux entrantes; B : eaux de la cuvette centrale (intermédiaires); C : eaux confinées, appauvries en Ca et en carbonates.

The main superficial water masses of Jemsah in May 1982. A: entering marine waters; B: intermediate basinal waters; C: confined waters poor in calcium and carbonates.

échanges avec la mer ouverte et l'augmentation de salinité imposée par l'évaporation des eaux de surface du bassin.

Composition chimique des eaux

Pour apprécier les variations de la composition chimique des eaux sans qu'intervienne le facteur concentration (lié à l'évaporation), il convient d'étudier la variation des concentrations des ions majeurs par référence à un ion supposé conservatif qui ne soit impliqué dans aucune réaction minérale ou biologique. Aucun ion ne répond réellement à ce critère mais dans la pratique, et tant que les concentrations restent modérées, c'est l'ion chlorure (Cl^-) qui répond le mieux à ces exigences.

A partir de l'étude des rapports Na^+/Cl^- , K^+/Cl^- , $\text{Mg}^{++}/\text{Cl}^-$, $\text{Ca}^{++}/\text{Cl}^-$, $\text{SO}_4^{--}/\text{Cl}^-$, $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$, des eaux de surface de la lagune de Guemsah, on peut esquisser les contours de différentes masses d'eau (fig. 7).

Les plus caractéristiques sont les eaux des platiers qui se signalent par :

- une plus forte concentration ionique (Cl^-);
- un appauvrissement en Ca^{++} , HCO_3^- , Mg^{++} et SO_4^{--}
- un enrichissement en Na^+ et K^+ , sauf en janvier 1983.

L'appauvrissement en ion hydrogénocarbonate et en ion calcium de ces eaux notées C sur les figures est à l'évidence en relation avec leur degré de confinement élevé. Ces eaux ont déposé du carbonate de calcium (et de magnésium) sous l'effet de la photosynthèse, de l'évaporation et de l'augmentation de température ainsi que de l'édification des pièces squelettiques de la faune benthique. Leur relatif appauvrissement en ion sulfate est plus énigmatique : il est peut-être en relation avec l'activité des bactéries sulforéductrices au sein du sédi-

ment et aussi avec une précipitation discrète de gypse dans la zone capillaire supratidale. L'activité bactérienne est peut-être encore responsable de l'enrichissement de ces eaux en K^+ et Na^+ issus de la dégradation des organismes végétaux et animaux des sédiments.

A l'inverse, les eaux entrantes notées A sur les figures sont peu concentrées et relativement riches en Ca^{++} , HCO_3^- , Mg^{++} , SO_4^{--} , par comparaison avec les eaux lagunaires. En régime de vent du N, les cartes hydrochimiques suggèrent qu'elles réapparaissent dans les zones d'upwelling, au droit du Cirque des Pirenelles et le long du platier NE. Elles semblent alors déjà légèrement appauvries en ion sulfate, du fait sans doute du travail des bactéries sur le fond du bassin.

Le reste des eaux du bassin, notées B, possède des caractères intermédiaires qui peuvent s'interpréter comme une évolution limitée d'un corps d'eau central tournant sur lui-même, faiblement affecté par le mélange avec des eaux confinées issues du platier NE et par des arrivées d'eaux fraîches qui s'écoulent sur le fond jusqu'à l'extrémité distale du bassin où elles sont prises en charge par l'upwelling.

Ce qui vient d'être décrit correspond au régime de vent du N. Par régime de vent du Sud, le dispositif se complique (Ibrahim Wahid Elsayed, 1983) mais ceci n'entraîne que des perturbations de faible durée.

Ainsi, l'étude de la chimie des eaux de la lagune de Guemsah permet de mieux comprendre l'hydrodynamisme du système qui, dans le cas de la lagune de Guemsah, est essentiellement géré par la morphologie du bassin (une cuvette centrale profonde entourée de platiers à tranche d'eau laminaire) et par le régime des vents.

BIOLOGIE

Le fonctionnement de l'écosystème que constitue la lagune de Guemsah a été appréhendé par l'étude des peuplements phytoplanctoniques et benthiques prélevés au cours de la campagne de mai 1982. Le choix de ces deux descripteurs biologiques a été guidé par les résultats qu'ils permettent d'obtenir sur d'autres bassins paraliques et qui ont débouché sur la mise en évidence d'un schéma général de l'organisation biologique des écosystèmes paraliques (Guelorget, Perthuisot, 1983) : les peuplements benthiques intègrent à plus ou moins long terme les conditions du milieu et donnent ainsi une image de l'organisation et de la structure de l'écosystème tandis que les peuplements phytoplanctoniques, qui sont des descripteurs instantanés, donnent une image ponctuelle mais qui permet de saisir la dynamique du système.

Peuplements benthiques

Macroflore

L'essentiel de la macroflore benthique de la lagune de Guemsah est constitué par un herbier périphérique frangeant, à la rupture de pente entre les platiers et les tombants qui bordent la cuvette centrale. Cet herbier est constitué de frondes de *Sargassum* sp., sur une

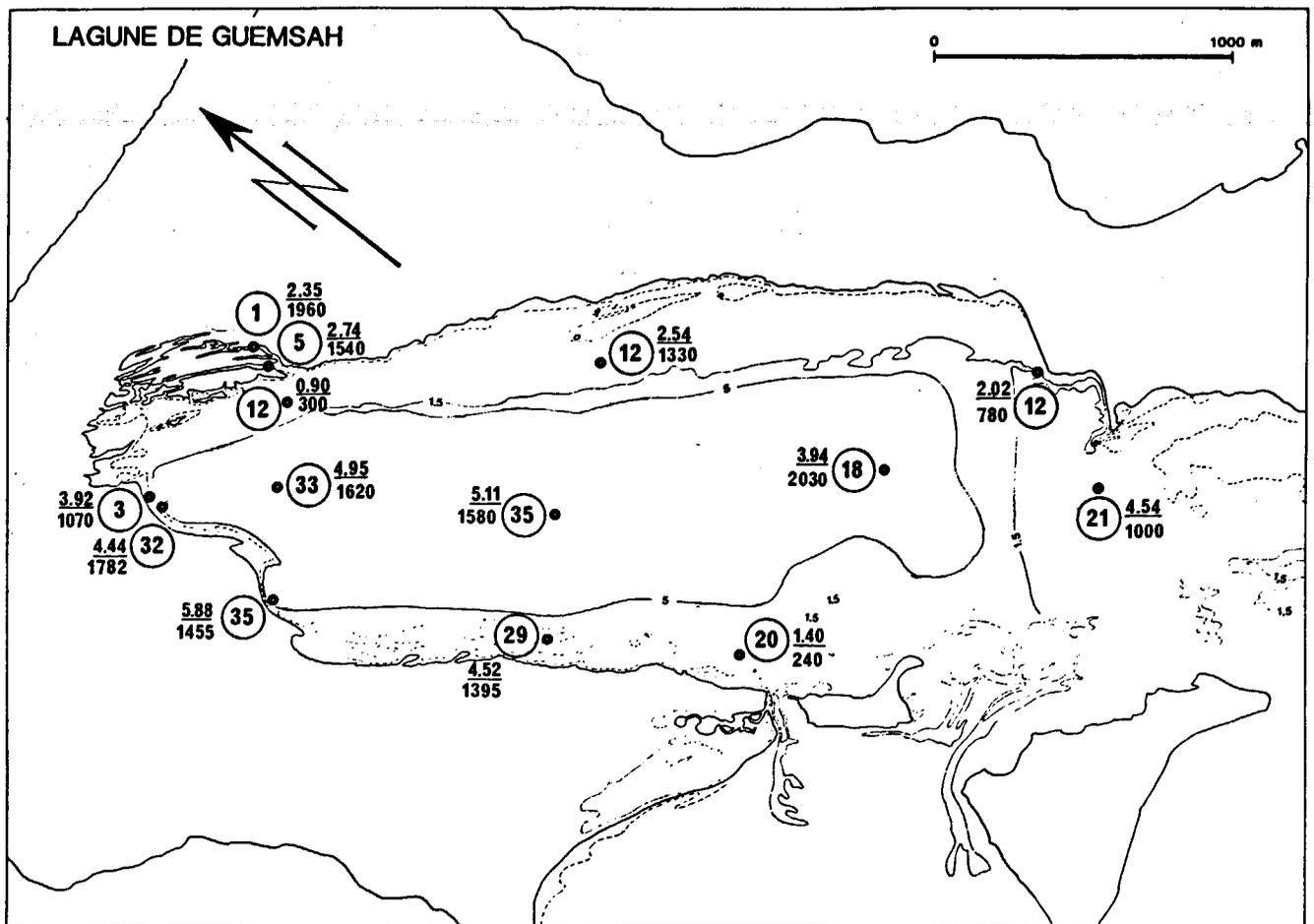


Figure 8

Richesse spécifique (nombre cerclé), biomasse en g/m^2 et densité (nombre d'individus/ m^2) de la macrofaune benthique de la lagune de Guemсах.

Specific richness (circled number), biomass (g/m^2) and density (number of individuals/ m^2) of the benthic macrofauna of Jemsah lagoon.

largeur de l'ordre du mètre en bordure du platier NE, de l'ordre de 3 à 5 m en bordure du platier SO. Il disparaît vers l'extrémité distale de la lagune et aux extrémités proximales (par rapport à la mer ouverte) de ces platiers. Il est flanqué de part et d'autre, et notamment à Nathi-Natha, d'un herbier dense à *Caulerpa* sp., avec quelques *Halophilum* sp., qui se poursuit jusqu'à la baie du Crochon. Sur le platier NE, les Caulerpes colonisent le début du tombant. Cette barrière algale contribue à renforcer la barrière hydrodynamique le long des platiers et à canaliser les eaux de ceux-ci vers le Sud.

Dans la partie centrale et profonde du plan d'eau, on trouve des algues brunes libres, mais dans la partie la plus profonde au sud de Portique le fond vaseux en est totalement dépourvu. Dans la partie distale de la cuvette centrale, la biomasse de ces macrophytes atteint une valeur en poids sec de 1370 g/m^2 .

Enfin, il convient de signaler l'existence en bordure des chenaux du Cirque des Pirenelles et dans la partie supérieure de la zone intertidale du platier NE (Les Boules) d'une couverture cyanophytique calcifiée en cours d'études.

Macrofaune

On entend par macrofaune celle qui est retenue par un tamis dont le vide de maille est 1 mm^2 . Les données prises en compte sont la richesse spécifique (nombre

d'espèces recensées en chaque station), la densité (nombre d'individus par m^2) et la biomasse (poids de matière organique sèche par m^2 , après décalcification).

Richesse spécifique (fig. 8)

Elle s'organise conformément à la circulation habituelle des eaux en régime de vent du N. La richesse spécifique maximale est enregistrée dans la cuvette centrale avec 35 espèces. A l'extrémité septentrionale de la lagune, le nombre d'espèces se maintient. A partir de cette zone, on assiste à une diminution du nombre d'espèces dans trois directions :

- vers les confins du Cirque des Pirenelles. On passe sur le platier à 12 espèces, puis à 5 dans le premier chenal du Cirque, enfin à une seule espèce (*Pirenella* sp.) dans le risque du cirque;
- sur le platier NE, le nombre d'espèces est faible et se stabilise à 12;
- sur le platier SO, par contre, le gradient est mieux marqué puisqu'on passe de 35 espèces à la baie du Crochon à 20 espèces à La Scutelle.

Dans la région du Travers, la richesse spécifique est intermédiaire avec 21 espèces recensées.

Ces premières indications sont conformes au schéma hydrodynamique et hydrochimique de la lagune et se traduisent par une dissymétrie des deux platiers — le platier SO étant moins confiné — un confinement

poussé en direction du fond du Cirque des Pirenelles et le statut particulier de la région du Travers où l'antagonisme des apports marins d'une part et lagunaires d'autre part induit un confinement modéré.

Il existe une anomalie négative dans la partie orientale de la terminaison proximale de la cuvette centrale, « au large » de Portique : ici, la richesse spécifique diminue brutalement à 20 espèces. Une deuxième anomalie est constituée par la zone cyanobactérienne dans la partie médiane du platier NE (Les Boules) où une seule espèce subsiste. Il s'agit encore de *Pirenella* sp.

Densité et biomasse (fig. 8)

Les densités de la macrofaune benthique de la cuvette centrale et de l'extrémité distale de la lagune s'inscrivent entre 1 500 et 1 800 individus/m². Cette relative homogénéité traduit celle de la richesse spécifique, des conditions trophiques et des paramètres physicochimiques du milieu.

Sur les platiers, la densité est faible, comprise entre 300 et 800 individus/m². Ceci est vraisemblablement dû à la minceur du sédiment meuble recouvrant le substratum qui interdit l'installation et la croissance des espèces les plus endogées et à la faiblesse de la tranche d'eau qui n'autorise pas une production phytoplanctonique suffisante.

La remontée de la densité dans le Cirque des Pirenelles est plus conforme à ce qui s'observe habituellement dans les zones très confinées (Guelorget, Perthuisot, 1983). De même, dans la région de Boules, la zone cyanobactérienne supporte une densité élevée de *Pirenella* sp. (1 800 individus/m²).

On note encore une anomalie numérique au large de Portique où la densité chute à 900 individus/m², accompagnant ainsi la chute de la richesse spécifique.

La biomasse de la cuvette centrale et de l'extrémité distale de la lagune est comprise entre 5 et 6 g/m², et on observe, comme pour la richesse spécifique, une diminution de biomasse en direction des confins du Cirque des Pirenelles et le long des platiers. Le platier NE est homogène avec des valeurs comprises entre 2 et 2,5 g/m². Sur le platier SO, les valeurs sont plus élevées (entre 5 et 6 g/m²) mais le gradient est mieux marqué notamment entre Nathi-Natha et La Scutelle où la biomasse chute à 1,4 g/m².

Remarque : La valeur de 0,9 g/m² obtenue sur le platier NE au droit du Cirque des Pirenelles n'est pas significative d'une carence en macrofaune, mais plutôt de la distribution en taches de plages de sédiment meuble et de bancs à Mytilidae [*Mytilus* sp. et *Modiolus barbatus* (?)] fixés sur les substrats durs. La correction apportée par une évaluation de la biomasse de cette faune malacologique fixée élèverait la biomasse à environ 3 g/m².

Le Travers, comme pour la densité et la richesse spécifique offre des valeurs intermédiaires de l'ordre de 4,5 g/m². Enfin, la zone au large de Portique se signale une fois de plus par une anomalie négative de la biomasse par rapport à l'ensemble de la cuvette centrale.

Composition spécifique des peuplements (fig. 9)

L'analyse du spectre taxonomique des différentes stations montre l'hétérogénéité de la composition spécifique des peuplements de la macrofaune benthique.

Les échinodermes sont présents en quantité notable dans la totalité de la cuvette où toutefois ils ne sont représentés que par un seul individu dans la zone profonde de Portique. On en trouve encore quelques rares exemplaires sur le platier SO (Nathi-Natha). Cette répartition situe très exactement la surface occupée par la zone II de confinement telle qu'elle a été définie par Guelorget et Perthuisot (1983).

Au sein de ce groupe, la famille la plus abondante est celle des *Ophiuridae* (100 individus/m² au centre de la lagune, soit 6,5% du peuplement). Les *Asteridae* comprennent quelques individus de forte taille du genre *Astropecten*. Les *Holothuridae* sont abondants et de forte taille dans la baie du Crochon et dans une moindre mesure çà-et-là sur le tombant, mais on rencontre encore de petits individus à Nathi-Natha. Les *Echinidae* sont représentés par trois espèces :

– *Diadema setosum* (?) qui colonise la rive S du chenal de la Petite Passe;

– *Scutella* sp. que l'on rencontre, semble-t-il exclusivement, au débouché immédiat des passes dans la lagune et qui est au moins temporairement associée à *Clypeaster* sp. Par contre, celui-ci se rencontre en grand nombre dans la baie du Crochon.

Les *Amphioxus* (*Branchiostoma* sp.) se répartissent aux deux extrémités de la lagune dans les sables propres du Travers, de Portique et de la baie des Amphioxus. Cette espèce est symptomatique de la présence constante de courants et d'un sédiment pauvre en matière organique. Les mollusques pélecypodes sont surtout représentés dans la partie distale de la lagune et du platier NE ainsi que sur le platier SO. Il s'agit de mollusques faiblement endogées (*Tellinidae*, *Mactridae*, *Lucinidae*, *Donacidae*, *Loripes* sp.). A Nathi-Natha, les *Lucinidae* sont associés à des *Cardiidae*. Par ailleurs, les mollusques fixés (*Mytilidae*) sont abondants sur le platier NE, à ses deux extrémités. Cette répartition détermine schématiquement celle de la zone III qui, dans la lagune de Guemsa, est très mince. La faiblesse de la tranche d'eau et de la production phytoplanctonique, la minceur des sédiments meubles ajoutées à l'étroitesse de cette zone expliquent le développement réduit des pélecypodes dans la lagune de Guemsa. Dans les vases de la cuvette centrale, les pélecypodes ne sont représentés que par un petit nombre d'individus juvéniles (10 à 20 individus/m²) de très petite taille appartenant aux *Tellinidae* et aux *Donacidae*. Le point au large de Portique se distingue une fois de plus par la présence de *Corbula* sp., espèce caractéristique des zones profondes engraisées en matière organique des lagunes périméditerranéennes (Burelli *et al.*, 1979).

Les pélecypodes sont absents sur les platiers depuis Les Boules jusqu'à Portique d'un côté, à l'approche de la Petite Passe dans la zone de La Scutelle de l'autre et dans la partie centrale du Cirque des Pirenelles.

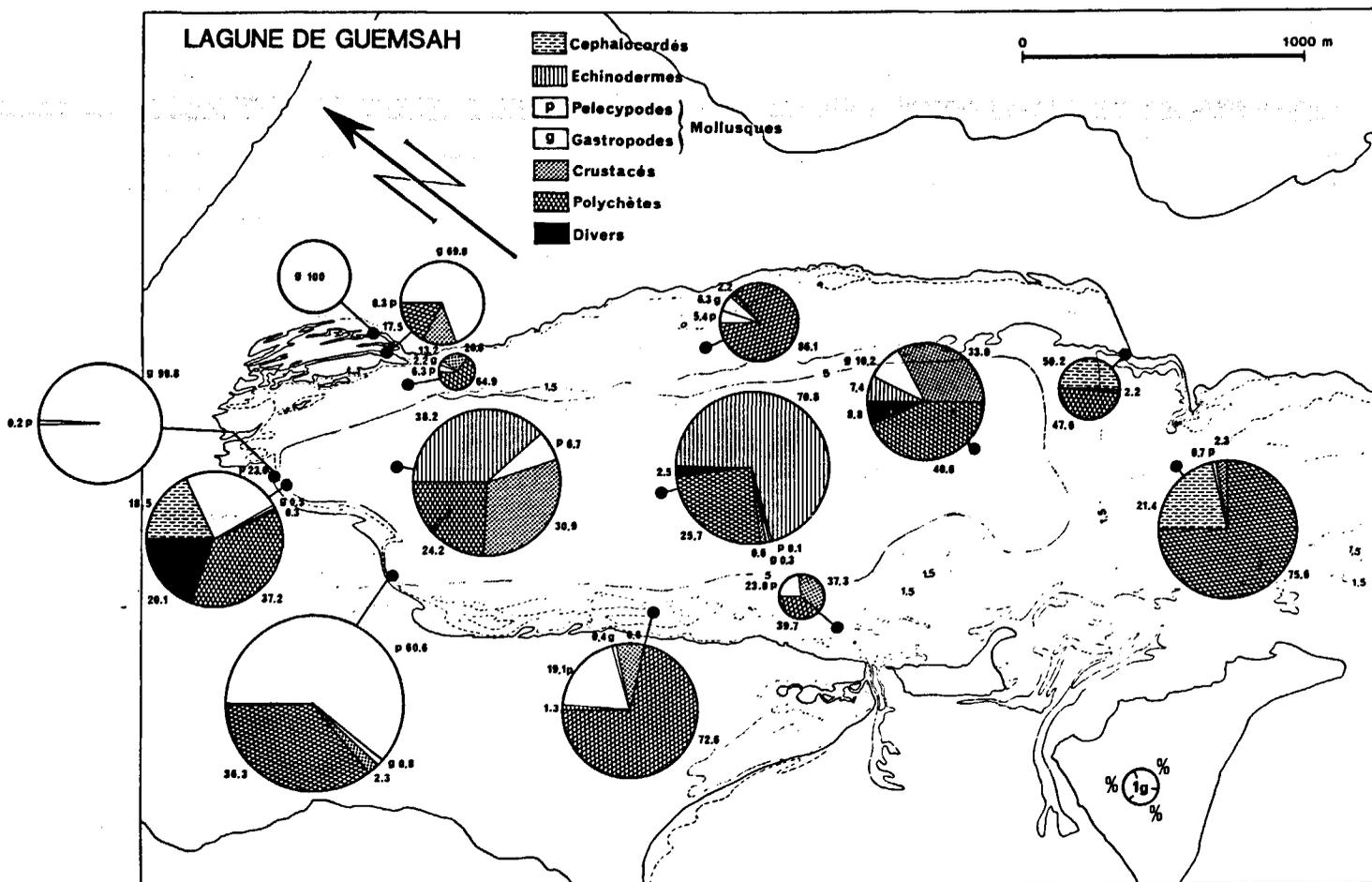


Figure 9
 Dominances pondérales des divers groupes taxonomiques. Le rayon de chaque cercle est proportionnel à la biomasse.
 Weight dominances of the different taxonomic groups. The radius of each circle is proportional to the local biomass.

Les mollusques gastropodes sont représentés par diverses espèces assez ubiquistes, notamment *Strombus* sp., mais la seule espèce bien représentée et significative est *Pirenella* sp. qui constitue un peuplement quasi-monospécifique (85 à 100% du peuplement) dans le Cirque des Pirenelles et dans la partie intertidale supérieure de la région des Boules. Comme dans un grand nombre de lagunes périméditerranéennes, ce gastropode brouteur de cyanophycées est caractéristique de la zone VI (Guelorget, Perthuisot, 1983).

La faune annélidienne (polychètes) est riche et diversifiée. Elle constitue 80% environ en densité du peuplement de la cuvette centrale mais 97% de celui-ci au large de Portique où elle est constituée presque exclusivement par des *Capitellidae*, espèces indicatrices de « pollution » organique. Dans la zone sableuse distale, la proportion des annélides diminue et se situe à 30% environ en densité. Dans l'ensemble de la zone III, cette valeur se maintient; en revanche, en direction du Cirque des Pirenelles, dans la moitié proximale du platier NO et dans la zone de La Scutelle, le peuplement annélien essentiellement constitué de *Nereidae* atteint 95% de la densité totale : ceci est caractéristique des zones IV et V.

Les crustacés sont le groupe zoologique le moins bien représenté en nombre d'individus et en biomasse sauf

dans la frange intertidale des zones sableuses où *Scopimera scabricauda* (?) forme un faciès spécial. Ce petit décapode remanie le sédiment en permanence. En outre, quelques espèces de taille notable peuvent se rencontrer le long des platiers et même dans le fond de la lagune (*Penaeus* sp.).

En ce qui concerne les petites espèces les plus caractéristiques, la zone II abrite plusieurs espèces de *Gammaridae*, la zone III des *Cyathura* sp. et les zones IV et V des *Microdeutopus* sp.

Conclusion

Les considérations précédentes aboutissent à proposer une cartographie (fig. 10) des zones de confinement de la lagune de Guemsah en appliquant, avec une légère transposition spécifique, l'échelle proposée pour le domaine paralique périméditerranéen par Guelorget et Perthuisot (1983).

Cette zonation s'organise suivant la circulation habituelle des eaux de la lagune. La carte montre la suprématie de la zone II qui occupe environ les 3/4 de la surface du plan d'eau et ceci est une caractéristique inhabituelle des écosystèmes lagunaires. Cette zone II est flanquée de chaque côté par des platiers plus confinés où le gradient de confinement se manifeste de façon symétri-

que par rapport à la cuvette centrale. Il y a cependant une nette dissemblance entre les deux platiers, en ce qui concerne les surfaces respectives occupées par les zones III, d'une part, et IV et V, d'autre part. Elle se manifeste par la plus grande largeur de la bande confinée du platier NO et par l'existence d'une zone VI au fond du Cirque des Pirenelles et dans la zone supérieure de la frange intertidale dans la région des Boules. En outre, un gradient de confinement inversé apparaît dans la région de Portique où la proximité de la mer ouverte se fait sentir.

La zone profonde au large de Portique constitue une anomalie qui se manifeste clairement par un engraissement organique localisé. Cette zone correspond à l'aboutissement des eaux de retour du platier NO, piégées par la profondeur et par le courant d'entrée des eaux fraîches au-dessus du seuil du Travers. Ce ralentissement des eaux provoque un effet d'ombilic hydraulique (Guerloget *et al.*, 1984 *b*) que l'on retrouve dans la plupart des systèmes paraliques.

L'effet inverse se manifeste sur la rive S de la Petite Passe où la richesse faunistique traduit un déconfinement quasi maximal lié à la vitesse des courants entrants accélérés sur la rive S par la force de Coriolis, l'amplitude du marnage et l'étroitesse de la passe.

Biomasse phytoplanctonique

La distribution de la biomasse chlorophyllienne a été relevée dans les eaux de surface en mai 1982 sur l'ensemble de la lagune et notamment le long d'un transect longitudinal médian (fig. 11). En outre, une dizaine de points ont fait l'objet d'une étude de la distribution verticale de la chlorophylle et de la phéophytine.

Les valeurs de la biomasse chlorophyllienne en surface et dans la partie supérieure de la tranche d'eau (0-5 m) montrent la faiblesse générale du niveau trophique primaire de la lagune de Guemsah par rapport à d'autres lagunes de configuration voisine.

L'image de la répartition des courbes d'égale biomasse des eaux de surface dans le centre du bassin montre une rythmicité de masses d'eau peu chargées en chlorophylle (0,1 à 0,15 g/m³) et de masses d'eau un peu plus riches (0,2 à 0,25 g/m³). Par ailleurs, on observe, le long des bordures externes des platiers un gradient positif de sens N-S, avec des maxima à La Scutelle et à Portique. Sur la périphérie de la baie des Amphioxus et dans le Cirque des Pirenelles, on observe un gradient positif de sens opposé (0,2 à 0,55 g/m³). Ce schéma pondéral s'organise, comme pour la macrofaune benthique, selon les gradients de confinement, les zones les plus confinées supportant les plus fortes biomasses. En

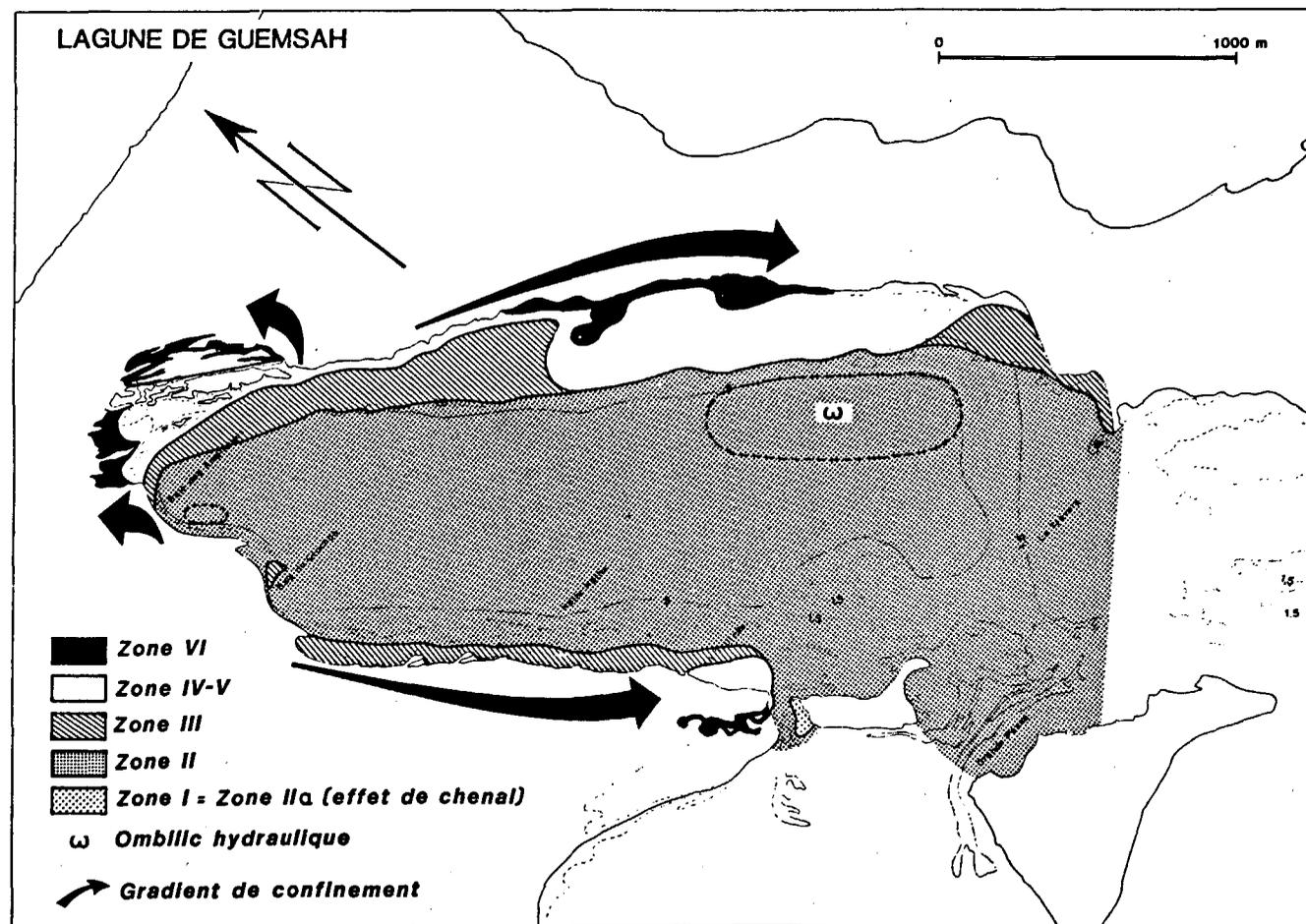


Figure 10

Carte des zones de confinement (selon Guelorget, Perthuisot, 1983) dans la lagune de Guemsah.

Map of the confinement zones (after Guelorget, Perthuisot, 1983) in Jemsah lagoon.

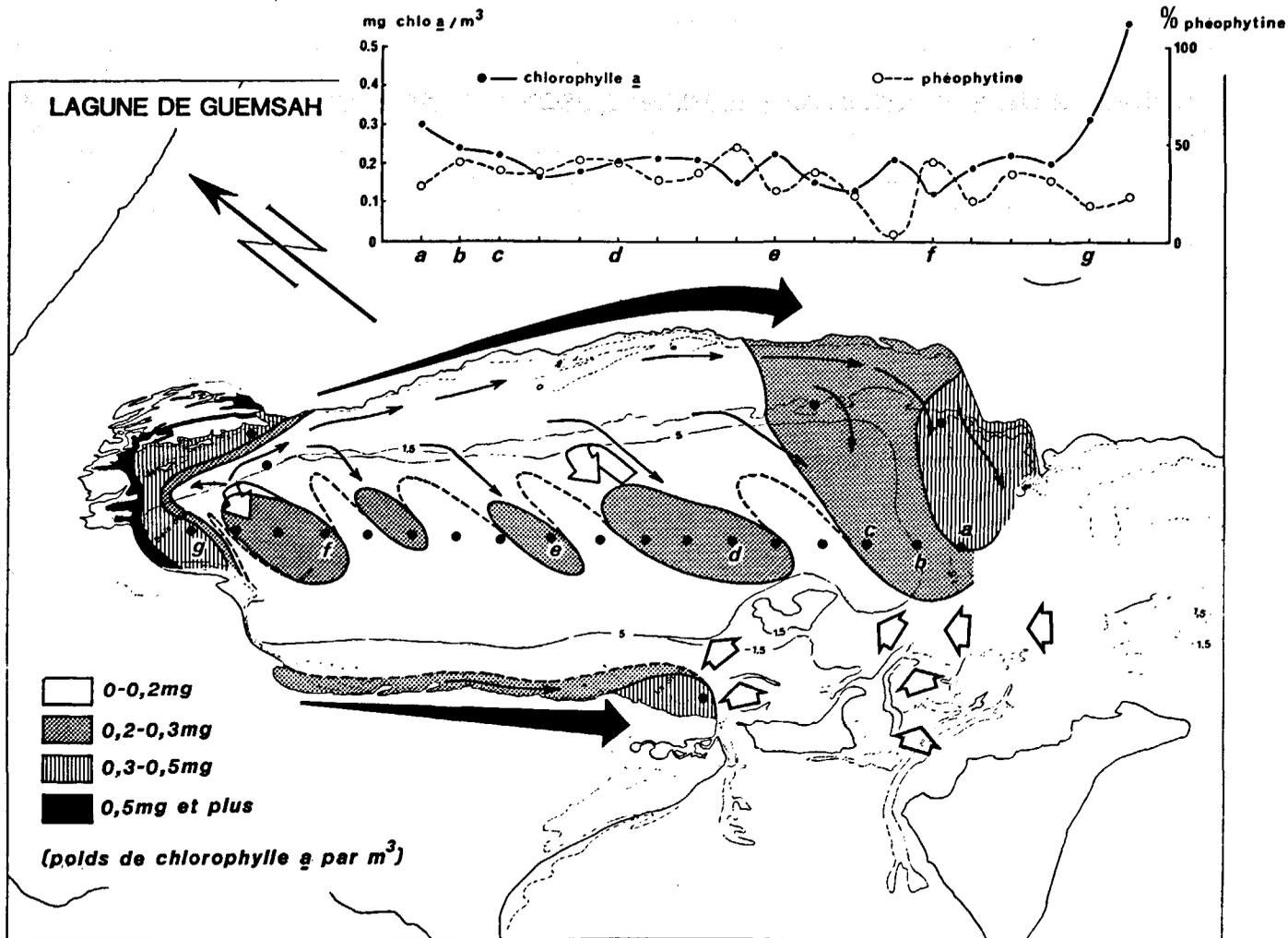


Figure 11
 Carte de répartition de la biomasse phytoplanctonique dans les eaux de surface de la lagune de Guemsa, mai 1982.
 Les deux grosses flèches noires matérialisent les gradients de confinement sur les platiers. Les autres flèches indiquent les mouvements des eaux.
 Distribution map of the phytoplanktonic biomass in the superficial waters of Jemsah lagoon, May 1982.
 The two black arrows describe the confinement gradients along the platiers. The other arrows describe the water motions.

effet, la biomasse maximale s'observe habituellement en zones IV et V (Guelorget, Perthuisot, 1983). Par ailleurs, le rapport biomasse phytoplanctonique sur biomasse de la macrofaune benthique est conforme à celui des autres milieux lagunaires.

Les masses d'eau superficielle enrichies en chlorophylle qui se succèdent dans le centre du bassin correspondent selon toute vraisemblance à des venues d'eau confinée provenant du platier NE et mises en mouvement vers le centre du bassin sous l'effet de l'upwelling. Ainsi, les eaux qui s'enrichissent progressivement en phytoplancton durant leur transit le long du platier NE sont localement, et peut-être sporadiquement, évacuées vers le centre du bassin qu'elles enrichissent selon des bandes obliques parallèles à la direction des vents.

L'analyse en biomasse de chlorophylle et de phéophytine le long du transect médian montre que les eaux enrichies en chlorophylle sont pauvres en phéophytine et inversement. Ceci suggère que les eaux en provenance du platier comportent un phytoplancton plus abondant et actif et que les langues qu'elles constituent se superposent à des eaux de plus faible biomasse comportant un plancton sénescant. Ce processus devrait aboutir, dans

la cuvette centrale, à la superposition plus ou moins régulière de niveaux où les variations de la chlorophylle a et de la phéophytine se font en sens inverse : c'est en tout cas ce que suggèrent les profils des points centraux d, e, f, fig. 12).

L'analyse des profils verticaux montre qu'au voisinage du fond, la biomasse augmente considérablement et la chlorophylle est fortement dégradée puisque le taux de phéophytine varie entre 70 et 90%. Par ailleurs, aux deux extrémités du transect médian on note un surcroît de biomasse chlorophyllienne (1,6 g/m³ au point c, 2,4 g/m³ au point g). Ces deux points correspondent aux deux zones d'ombilic et sont, de plus, alimentés directement par les eaux confinées issues des zones IV et V. Il est clair que dans ces zones d'ombilic hydraulique, la dynamique extrêmement paresseuse du milieu favorise l'accumulation d'un plancton sénescant.

Ainsi, l'anomalie biologique des zones d'ombilic s'explique essentiellement par une pluie organique d'origine presque exclusivement phytoplanctonique. Malgré la faiblesse chronique de la lagune de Guemsa en biomasse phytoplanctonique, l'étude de celle-ci montre que même dans ces conditions, le phytoplancton est un

excellent traceur du confinement notamment dans la dynamique instantanée d'un tel système paralique. Elle montre aussi le rôle directeur du maillon primaire dans l'organisation biologique — et sédimentaire — du domaine paralique. A cet égard, la dynamique du système de la lagune de Guemсах explique l'accumulation paradoxale de matière organique dans les sédiments malgré la faible biomasse phytoplanctonique produite.

SÉDIMENTOLOGIE

Les faciès

Le faciès des sédiments de la lagune de Guemсах est fonction des apports détritiques, de l'importance et de la nature des phases biodétritiques et biochimiques et de la dynamique du milieu. Ces paramètres subissent de fortes variations dans la lagune : il en résulte une grande diversité de faciès.

La partie distale de la lagune. Baie du Crochon, baie des Amphioxus

L'essentiel de la phase détritique terrigène provient des pourtours de la Sebkhet el Kelb. Elle est amenée vers le bassin par le vent et le ruissellement, puis prise en charge par les courants littoraux. Les sédiments qui enveloppent la terminaison de la lagune sont des sables

fins, propres, essentiellement quartzeux. Ils s'accumulent le long du rivage en un tombant raide et trop instable pour que s'y fixe une importante végétation aquatique. Sous l'effet des courants de dérive périlittorale, ces sables sont remaniés en un crochon arqué vers le SO séparant les deux petites baies. A l'arrière de la plage sableuse, on passe à des dépressions plus ou moins mobiles où la sédimentation est plus fine, puis à un ensemble de petites dunes et enfin au-delà aux sédiments salés de la Sebkhet el Kelb. Ceux-ci se raccordent aux bordures caillouteuses de la dépression.

Les platiers latéraux

Sur les platiers, le vannage que produit l'agitation continue de l'eau et le jeu des marées empêche la sédimentation d'une bonne partie des particules les plus fines. Les sédiments du platier SO (Nathi-Natha) sont plus grossiers car plus souvent soumis au vannage. Ils contiennent en outre de nombreux débris coquilliers ainsi que des fragments de polypiers issus du récif frangeant fossile. Le platier NE est habituellement plus calme, car sous le vent, les sédiments sont nettement plus fins. La surface est localement colonisée par des bancs de modioles. Par ailleurs, dans la partie supérieure de la zone intertidale, on peut observer des rassemblements de boules stromatolithiques indurées, parfois coalescentes, sur des surfaces considérables. Elles sont particulièrement abondantes au lieu dit « Les Boules ». Chacune d'entre elles constitue en fait un

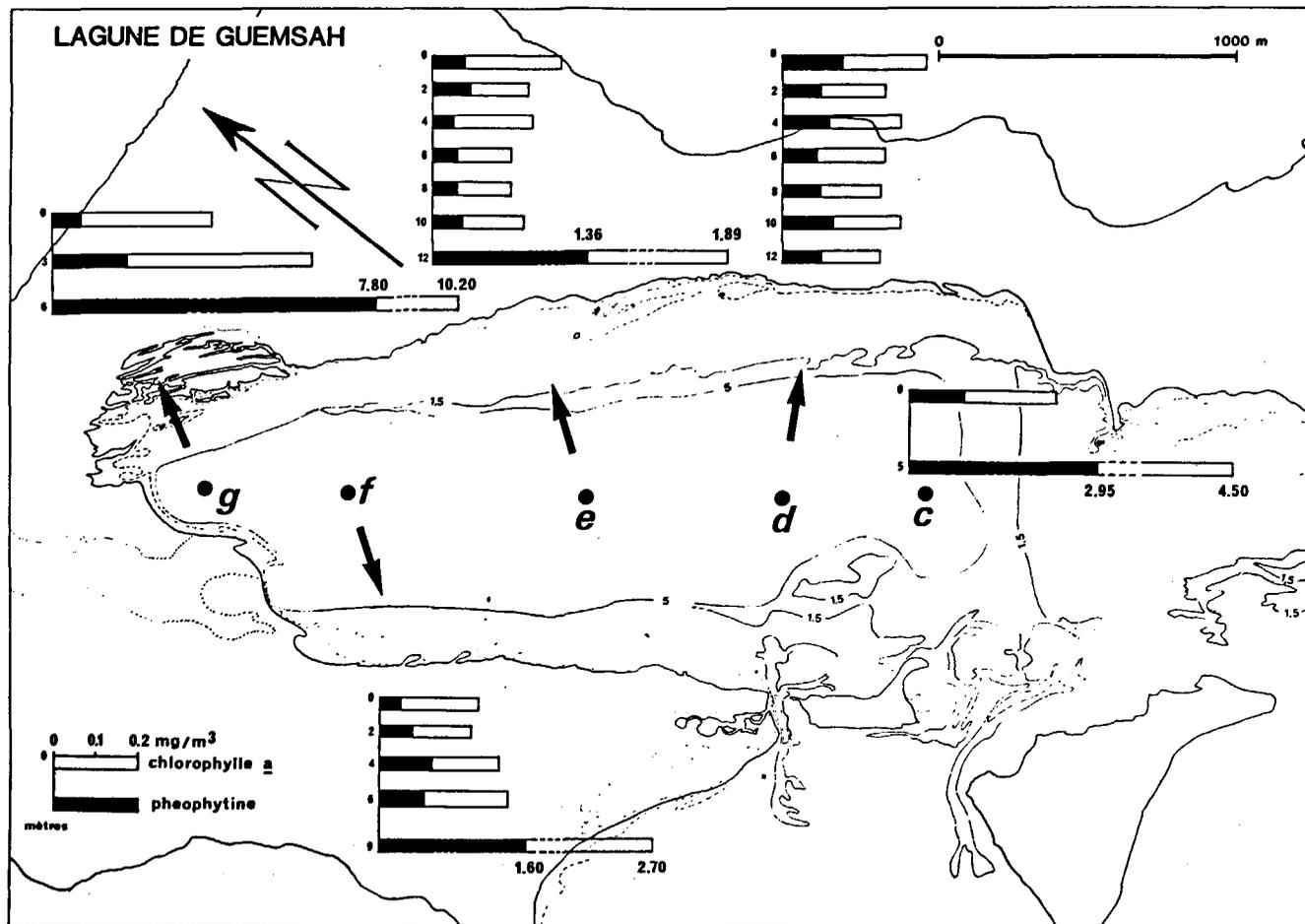


Figure 12

La biomasse phytoplanctonique en mai 1982, le long d'un transect médian dans la lagune de Guemсах.

Phytoplanktonic biomass along a transect in Jemsah lagoon, May 1982.

micro-récif algal carbonaté de 2 à 3 cm de diamètre. Il est constitué d'une zone corticale supérieure, vivante, qui recouvre un cœur induré avec une structure de lamelles micritiques disposées grossièrement en arches. Ces lamelles micritiques emprisonnent des débris détritiques ou biodétritiques divers, grains de quartz, de minéraux lourds, débris de coquilles, foraminifères. La partie micritique du cortex vivant dont la nature cyanobactérienne ne fait pas de doute comporte une association à aragonite, calcite et calcite très magnésienne. Le cœur induré ne comporte plus que l'aragonite et la calcite. Cette évolution du matériel carbonaté est sans doute à mettre sur le compte du travail de bactéries calcitissantes qui contribuent à l'induration de ces objets biogéologiques originaux.

Le Cirque des Pirenelles

La dynamique extrêmement paresseuse des eaux qui occupent le fond du lacis de chenaux du Cirque des Pirenelles, l'absence quasi totale d'apports détritiques éoliens, y induisent une sédimentation de vases carbonatées très fines. Ces vases sont recouvertes d'une pellicule cyano-bactérienne, dans lesquelles les pirenelles brouteuses dessinent des figures complexes faisant penser à des hiéroglyphes. Dans la partie intertidale de ces chenaux se développent des tapis algaires indurés disséminés, localement associés à des boules.

Les fonds de la lagune

Dans les zones profondes calmes de la dépression centrale, la sédimentation dominante est celle de vases très fines, noirâtres sur lesquelles s'établit une végétation clairsemée. Celle-ci est parfois absente en particulier dans la zone la plus profonde entre La Scutelle et Portique. Ces vases peuvent contenir jusqu'à 60% de matériel biogénique (micrite carbonatée et matière organique).

Les tombants

La végétation macrophytique ne se développe de façon notable qu'à la limite entre tombant et platier. Le sédiment est ici de granulométrie moyenne, intermédiaire entre la vase fluide des fonds du bassin et les sédiments plus grossiers des platiers.

Le Travers et le cône deltaïque

Ce haut-fond sableux est constitué de matériel quartzueux assez fin, mêlé de débris carbonatés. Un fait remarquable est l'abondance des tests de gros foraminifères plats (Soritidæ), qui constituent le matériel exclusif de grandes traînées blanches à la surface du sédiment. Le cône deltaïque situé entre La Scutelle et Le Travers est constitué de sédiments sableux fins assez voisins des précédents.

Les carbonates

Les teneurs des sédiments en carbonates

La teneur en carbonates totaux des sédiments dépend essentiellement de la production locale de particules carbonatées (biodétritiques, biochimiques, physicochimiques), de leur transport éventuel (apports ou van-

nage) et des apports détritiques non carbonatés. La figure 13 montre assez clairement l'importance des phases carbonatées dans les sédiments de la lagune de Guemsah, hormis dans les zones d'apport détritique maximal (extrémité distale de la lagune) et dans les zones fortement vannées (La Scutelle, Le Travers).

Les teneurs maximales s'observent sur le platier NE entre Les Boules et Portique : la faiblesse habituelle du vannage et l'importance de la production biologique (phytoplancton, macrobenthos, macrophytobenthos de la partie supérieure de la zone intertidale) liée au confinement élevé du milieu expliquent la richesse de cette zone en carbonates. Il en va de même au Cirque des Pirenelles, où la faiblesse des apports détritiques, l'activité photosynthétique des algues bleues, la température relativement élevée du milieu et le pullulement des pirenelles expliquent la richesse des sédiments en carbonates.

Enfin, il existe, le long du tombant du platier SO, une zone riche en carbonates, qui se prolonge jusqu'au pied du cône deltaïque. Elle s'explique vraisemblablement par la largeur et la densité de l'herbier à cet endroit : à une photosynthèse active s'ajoute l'abondance de la faune et de la microfaune benthique et périphtyque. Cette zone se caractérise par l'abondance, dans le sédiment, de pellets, d'ostracodes, de tubes d'annélides, de bryozoaires, de débris d'échinodermes, d'algues rouges, et de foraminifères (de la Fouchardière, 1981). A cette richesse intrinsèque du milieu s'ajoute sans doute l'apport des particules fines carbonatées vannées dans les sédiments du platier.

Minéralogie de la matrice carbonatée

La composition de la partie la plus fine, micritique, de la matrice carbonatée (fraction inférieure à 40 μ), a été étudiée par diagraphie X de manière qualitative et quantitative sur 39 échantillons. Elle comporte toujours une association à aragonite, calcite peu magnésienne (appelée ici calcite) et calcite très magnésienne (8 à 13% de molécules de $MgCO_3$).

La figure 14 montre à cet égard une remarquable symétrie de la lagune suivant un axe NNO-SSE. La partie profonde est relativement homogène avec une composition minéralogique équilibrée. Dans la zone d'upwelling à proximité du Cirque des Pirenelles, la matrice carbonatée s'enrichit en aragonite, puis, le long de chacun des platiers latéraux en suivant le trajet des eaux et donc le gradient de confinement, on assiste d'abord à une augmentation de la calcite magnésienne au détriment de l'aragonite dont les teneurs les plus faibles s'observent dans la région des Boules et un peu au N de Nathi-Natha, puis à l'évolution inverse jusqu'à mi-distance entre Les Boules et Portique d'un côté, jusqu'à La Scutelle de l'autre. La zone de Portique se signale par une anomalie aragonitique. Enfin les sédiments des chenaux du Cirque des Pirenelles sont presque exclusivement aragonitiques.

On retrouve ainsi à Guemsah, dans des conditions hydrodynamiques et bioclimatiques assez différentes, un schéma de la répartition des espèces carbonatées assez voisin de celui de la Bahiret el Biban dans le SE tunisien (Medhioub, 1979; Medhioub, Perthuisot, 1981).

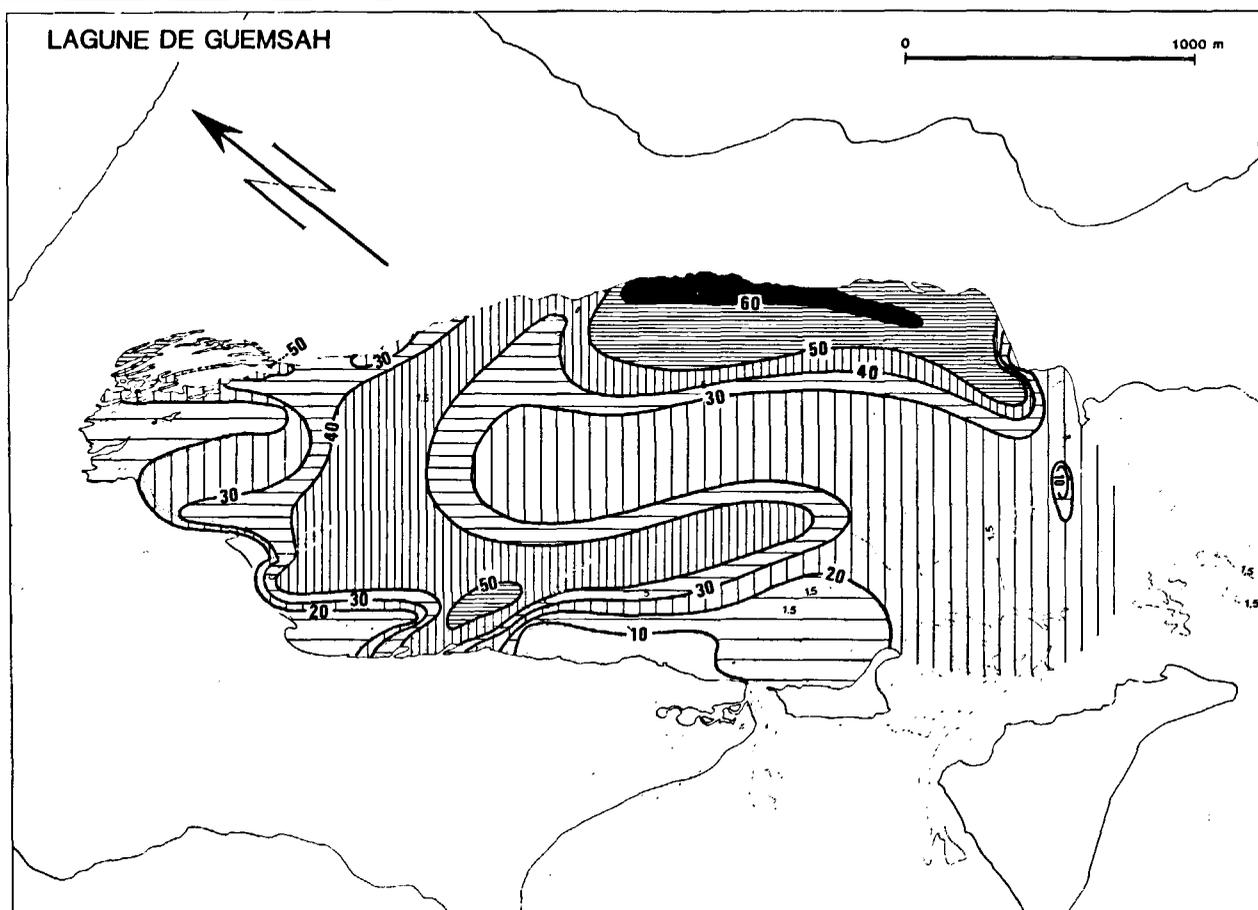


Figure 13
Teneurs en carbonates (pourcentages du poids sec) des sédiments de la lagune de Guemsaah.
Carbonate content (dry weight percents) of the sediments of Jemsah lagoon.

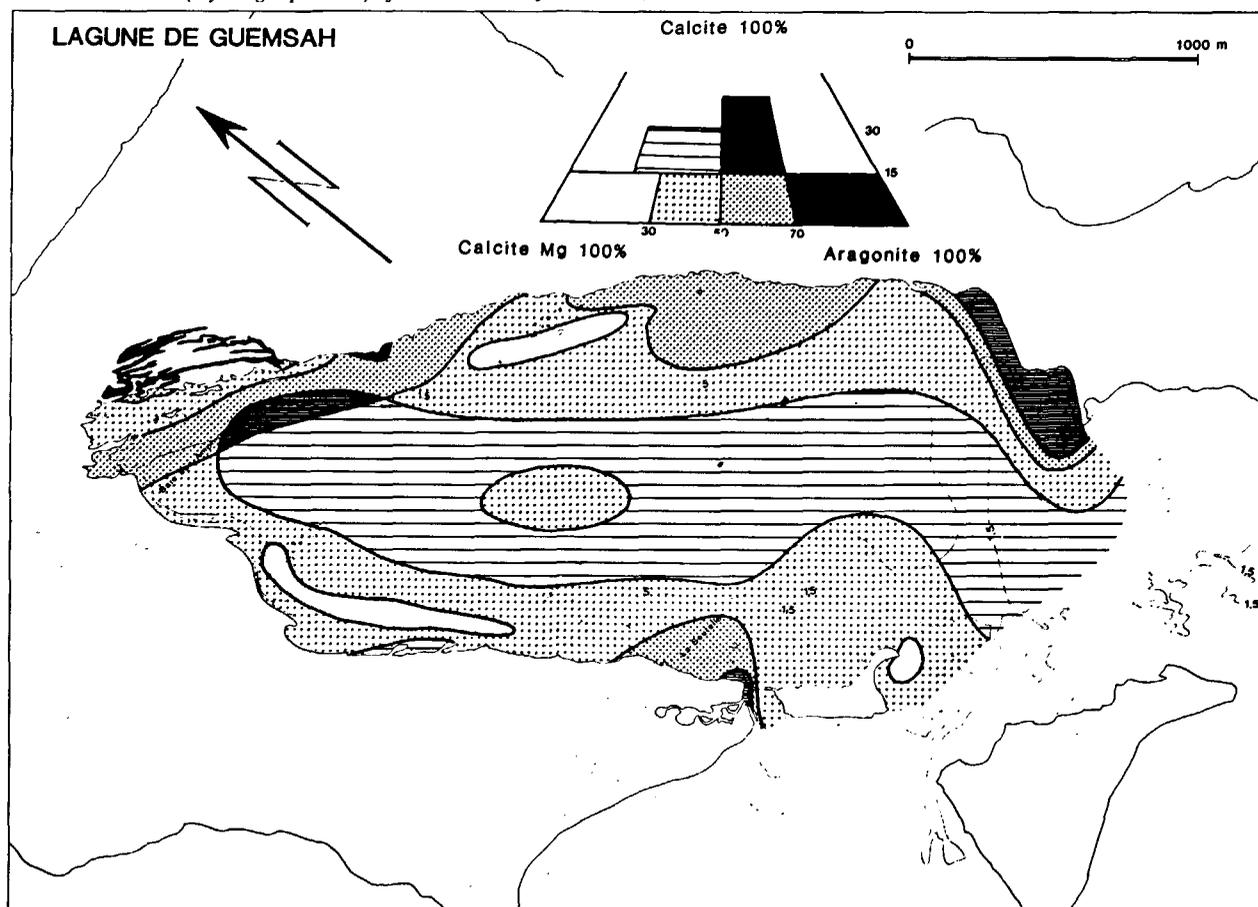


Figure 14
Composition minéralogique de la matrice carbonatée des sédiments de la lagune de Guemsaah.
Mineralogical composition of the carbonate matrix of the sediments of Jemsah lagoon.

Il est toujours très difficile, en l'absence d'études des sédiments au microscope électronique à balayage — et même avec — de faire la part des divers processus génétiques qui interviennent dans la constitution d'une matrice carbonatée et dans la diagenèse précoce.

— Les éléments biodétritiques sont de nature très variée : aragonite de la nacre des mollusques, calcite des coccolithes, calcite magnésienne des articles et des spicules d'échinodermes, etc.

— Les précipités physicochimiques produits par l'évaporation de l'eau, l'augmentation de la température ou la rencontre de deux corps d'eau saturés aux caractéristiques physiques et chimiques différentes, sont généralement de l'aragonite métastable dont la transition en calcite est inhibée par la présence dans le milieu de cations divalents comme le Sr^{++} et le Mg^{++} . On peut penser qu'il en va de même pour les précipités liés à l'abaissement de la pression partielle de CO_2 que provoque l'activité des organismes photosynthétiques.

— Les productions bactériennes, au cours de la diagenèse précoce, sont souvent calcitiques. C'est ce que suggère l'étude minéralogique des boules stromatolithiques et une image au MEB du ciment calcitique d'un agglomérat des vases non consolidées du fond du bassin (de la Fouchardière, 1981) : il semble exclusivement constitué de corps bactériens calcitisés.

L'interprétation de la carte de la figure 14 est donc extrêmement délicate mais on peut avancer quelques propositions.

L'aragonite dominante au Cirque des Pirenelles correspond probablement essentiellement à un précipité physico-chimique lié à la concentration par évaporation des eaux (c'est ici que l'on note les plus fortes salinités en eau libre), à la température élevée de celles-ci et à l'activité photosynthétique du film algal.

Les zones riches en calcite magnésienne correspondent vraisemblablement à une activité biologique importante : zones d'herbiers de la bordure des platiers, zones hautement productives sur les platiers eux-mêmes (zone III dans l'échelle de confinement).

Les zones les plus confinées des platiers, La Scutelle et la moitié S du platier NO, s'enrichissent en aragonite physico-chimique, puis en calcite dans les zones de contact entre ces eaux confinées et les eaux en provenance du milieu marin ouvert.

On peut mettre la relative richesse en calcite des fonds du bassin sur le compte de l'activité des bactéries calcitiques.

En définitive, le schéma précédent qui mériterait d'être précisé et mieux explicité est en bon accord avec la zonation biologique du bassin. Ainsi semble se dessiner une séquence des espèces carbonatées en fonction du confinement, que peut-être des travaux ultérieurs dans la région viendront confirmer.

Matière organique

Les teneurs en matière organique, vivante ou morte, des sédiments de la lagune de Guemsah s'organisent de

façon grossièrement concentrique autour de la cuvette centrale (fig. 15).

Celle-ci présente les plus fortes teneurs en matière organique : il est clair que l'activité phytoplanctonique sur une tranche d'eau épaisse, de l'ordre de 6 m semble-t-il, d'après les teneurs en oxygène dissous du corps d'eau central (fig. 4), y produit presque à longueur d'année d'importantes quantités de matière organique. Celle-ci se trouve piégée dans la cuvette centrale et s'y sédimente. Sa consommation partielle par les organismes benthiques, bactéries, microfaune, macrofaune, aboutit à une production secondaire sans doute non négligeable, même si elle atténue l'effet de la production primaire.

A la terminaison distale de la lagune et sur les platiers, la faiblesse de la tranche d'eau, les apports détritiques et le vannage induisent des valeurs très faibles en matière organique que renforce une faible production biologique. Il en va de même sur la crête du Travers et dans la zone des passes.

Le Cirque des Pirenelles se signale par de fortes teneurs en matière organique dues à l'activité photosynthétique et bactérienne.

Enfin, le maximum de matière organique s'observe au pied du tombant entre Les Boules et Portique. Cette zone correspond à l'aboutissement des eaux qui transitent le long du platier NE et se chargent en phytoplancton. Celui-ci se sédimente abondamment dans cette zone où la faiblesse de la macrofaune, liée au déséquilibre écologique du milieu, en atténue la consommation. Cette zone d'ombilic est donc une zone d'accumulation préférentielle de matière organique. Cette caractéristique des ombilics hydrauliques se retrouve dans d'autres bassins lagunaires, la Bahiret el Biban (Guelorget *et al.*, 1982; Guelorget, Perthuisot, 1982; 1983) en Tunisie, le Lac Melah (Guelorget *et al.*, 1984 a et b) en Algérie, par exemple, mais dans ces deux cas les ombilics sont situés dans des zones de confinement plus élevé. Il est vraisemblable que la petite tache très riche en matière organique de la Baie des Amphioxus est liée à un phénomène comparable.

Ainsi, la sédimentation dans la lagune de Guemsah se caractérise, comme dans la plupart des systèmes paraliques, par l'importance des phases biogéniques, éléments biodétritiques, carbonates biochimiques, matière organique : elle est donc essentiellement commandée par l'organisation et la dynamique biologique du milieu. L'originalité principale de la lagune de Guemsah est la présence d'une cuvette centrale très profonde, faiblement confinée, flanquée de platiers intertidaux à tranche d'eau pelliculaire dont l'effet sur le confinement moyen du bassin est très faible. Ils jouent néanmoins un rôle non négligeable sur l'enrichissement phytoplanctonique de la lagune. La présence de cette biomasse phytoplanctonique, quoique relativement faible, mais occupant une tranche d'eau épaisse, explique la richesse des sédiments de la cuvette en matière organique. De ce point de vue, la lagune de Guemsah apparaît comme teratologique eu égard à sa place dans l'échelle de confinement (zone II dominante), et à la faible production primaire habituelle dans cette zone.

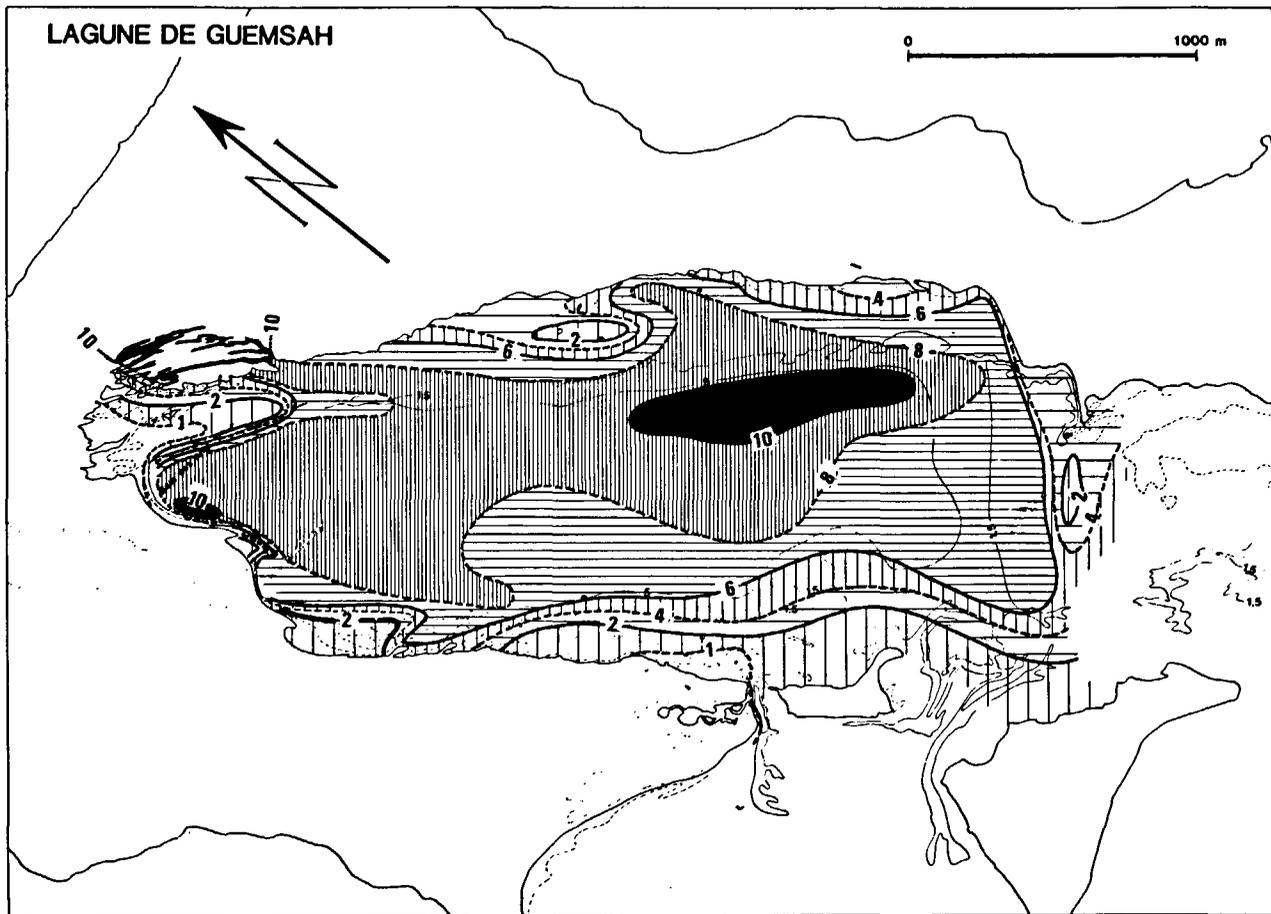


Figure 15

Teneurs en matière organique (perte au feu à 450°C) des sédiments de la lagune de Guemsaah.

Organic matter content (fire loss at 450°C) of the sediments of Jemsah lagoon.

CONCLUSION

Cette approche biogéologique de la lagune de Guemsaah montre la remarquable convergence des divers enseignements qu'apportent l'observation de terrain, l'hydrochimie, la biologie et la sédimentologie : ces diverses études permettent conjointement de proposer un schéma cohérent de l'organisation et de la dynamique de ce petit système paralique original.

Celui-ci se caractérise par une organisation à la fois longitudinale et concentrique qui peut se décrire en termes de confinement. La cuvette centrale peu confinée est bordée, de part et d'autre, par deux platiers le long desquels le confinement croît depuis l'extrémité distale de la lagune vers son extrémité proximale, c'est-à-dire vers les communications avec la mer ouverte. Ce schéma paradoxal est lié à la dynamique hydraulique du bassin gouvernée par l'upwelling quasi permanent situé dans la partie distale de la lagune. Ce phénomène est dû à la constance et à la force du vent dominant du secteur N. Cependant, la symétrie du système n'est pas totale du fait d'un moindre confinement du platier SO et de l'existence de l'appendice très confiné que constitue le Cirque des Pirenelles. Cette dissymétrie est particulièrement sensible en ce qui concerne les sédiments des platiers, l'un au vent, l'autre sous le vent. Enfin, la présence d'un ombilic hydraulique dans la partie sud, profonde, de la cuvette centrale, complique l'organisation biologique et sédimentaire de la lagune.

L'originalité essentielle de la lagune de Guemsaah, par comparaison avec la plupart des systèmes « lagunaires » (*sensu lato*), réside dans l'importance de la sédimentation de matière organique malgré une production phytoplanctonique très faible, comme cela est habituel dans les bassins paraliques faiblement confinés (Guerlorget, Perthuisot, 1983). Cette caractéristique à première vue anormale s'explique par la forte bathymétrie du bassin vis-à-vis de sa superficie qui permet le piégeage de la quasi totalité du phytoplancton produit sur toute l'épaisseur de la tranche d'eau. Celui-ci se sédimente lentement mais continuellement et constitue un dépôt organique sur la totalité de la cuvette centrale. Ainsi, la profondeur – ou plutôt la forte concavité – de la lagune de Guemsaah en est la caractéristique la plus originale : elle est à l'évidence un indice de la jeunesse et de l'immaturité sédimentaire du système créé en quelque sorte *de novo* par une tectonique halocinétiq ue récente : l'originalité hydrologique, biologique et sédimentaire de la lagune de Guemsaah en est une conséquence directe. Elle constitue un modèle naturel remarquable notamment parce qu'il montre la possibilité d'une accumulation de matière organique dans les bassins paraliques même peu confinés, à condition qu'ils soient suffisamment concaves. En outre, on remarquera l'intéressante proximité, dans un même bassin, entre des roches-mères potentielles et un récif récemment fossilisé.

RÉFÉRENCES

- Burelli F., Écrément F., Frisoni G.-F., Guerloget O., Ximenes M.C., 1979. Étude des écosystèmes des étangs de Bibuglia, Diana et Urbino, Rapp. SOMIVAC-CTGREF, ronéo, 60 p.
- Guelorget O., Perthuisot J.-P., 1982. Structure et évolution des peuplements benthiques en milieu paralique. Comparaison entre un modèle dessalé (l'étang du Prévost, France) et un modèle sursalé (la Bahiret-el-Biban, Tunisie). Conséquences biologiques et géologiques, *J. Rech. Océanogr.*, 7, 2-3-4, 2-11.
- Guelorget O., Perthuisot J.-P., 1983. Le domaine paralique. Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement, *Trav. Lab. Géol. E.N.S.*, 16, 136 p.
- Guelorget O., Frisoni G.-F., Perthuisot J.-P., 1982. Contribution à l'étude biologique de la Bahiret-el-Biban, lagune du SE tunisien, *Mém. Soc. Géol. Fr.*, 1^{re} sp., 144, 175-186.
- 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., Frisoni G.-F., Ximenes M.-C., Perthuisot J.-P., 1984 a. Diagnose écologique du Lac Melah (Algérie) pour l'évaluation de ses potentialités halieutiques et aquacoles, Rapp. FAO (projet MEDRAP/PNUD), 58 p.
- Guelorget O., Frisoni G.-F., Ibrahim Wahid Elsayed A., Jauzein A., Medhioub K., Clastère J., Maurin A., Rouchy J.-M., Perthuisot J.-P., 1984 b. Ombilics hydrauliques et chenaux, zones singulières des bassins paraliques. Leurs caractéristiques biologiques et sédimentaires, V^e Congrès Européen de Sédimentologie, Marseille, 202-203.
- Ibrahim Wahid Elsayed A., 1983. Contribution à l'étude hydrochimique, biologique et sédimentologique de la lagune de Guemsah (Égypte), *Thèse Doct. État, Univ. Paris-VI*, 132 p.
- Ibrahim Wahid Elsayed A., Perthuisot J.-P., 1982. Compte-rendu de la mission de mars 1982 à Guemsah (Égypte), Rapport Compagnie Française des Pétroles - GREDOPAR, 8 p.
- Ibrahim Wahid Elsayed A., Guelorget O., Perthuisot J.-P., 1982. Contribution à l'étude hydrologique et sédimentologique de la lagune de Guemsah, missions de mars et mai 1982, Rapport Compagnie Française des Pétroles - GREDOPAR, 36 p.
- De la Fourchadière E., 1981. Micropaléontologie et environnements actuels confinés (faciès littoraux de la baie de Guemsah, Égypte), Rapport Compagnie Française des Pétroles, 14 p.
- Maury M.-F., 1983. *The physical geography of the sea and its meteorology*, J.H.L. ed., The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 432 p.
- Medhioub K., 1979. La Bahiret-el-Biban. Étude géochimique et sédimentologique d'une lagune du Sud-Est tunisien, *Trav. Lab. Géol. E.N.S.*, 13, 150 p.
- Medhioub K., 1984. Étude géochimique et sédimentologique du complexe paralique de la dépression de Ben Guirden (Sud-Est tunisien), *Thèse Doct. État, Univ. Paris-VI*, 380 p.
- 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.