

## *L'organisation biogéologique du lac Temsah (Ismailia, Égypte)*

Jean-Pierre PERTHUISOT (1\*), Olivier GUELORGET (2\*),  
Ahmed IBRAHIM (3\*), Claude JUSSERAND (4),  
Jean-Pierre MARGEREL (1\*), André MAURIN (5\*)

### RÉSUMÉ

*Le lac Temsah, situé sur le canal de Suez à mi-distance entre Port Saïd et Suez, est étudié quant à son organisation hydrologique, hydrochimique, biologique et sédimentologique.*

*Dans sa partie axiale, le bassin est alimenté par de l'eau de mer grâce au canal de Suez. Il est par ailleurs soumis à une influence continentale complexe et originale avec interférence d'un climat aride et d'apports d'eau douce en provenance du Nil.*

*L'organisation hydrologique et hydrochimique du lac dépend de facteurs saisonniers qui gèrent notamment le débit du Nil et la circulation des eaux dans le canal de Suez.*

*Malgré ce dispositif original, l'organisation biologique est semblable à celle des lagunes méditerranéennes; la partie centrale du bassin, modérément confinée, abrite des populations dominées par les mollusques. La région directement influencée par les apports nilotiques présente une forte biomasse phytoplanctonique et des peuplements benthiques typiquement paraliques.*

*La zone de contact entre les eaux du Nil en crue et celles du bassin est marquée par un fort engraissement organique des sédiments qui se traduit par la diminution des filtreurs au profit des détritivores.*

*La sédimentation est dominée par les apports détritiques continentaux au détriment de la phase carbonatée. La matière organique sédimentaire est issue de l'activité biologique du lac, mais aussi d'apports continentaux du Nil et d'effluents urbains.*

*Enfin, l'étude du lac Temsah apporte quelques indications sur le rôle biologique du canal de Suez entre le bassin méditerranéen et la province indo-pacifique.*

MOTS-CLÉS : Biogéologie — Lagune — Confinement — Actuel — Égypte.

---

(1) Laboratoire de biogéologie, biosédimentologie et biostratigraphie, Université de Nantes, 2, rue de la Houssinière, 44072 Nantes Cedex 03, France, PIGC 252.

(2) Laboratoire d'hydrobiologie marine, USTL, Montpellier.

(3) Université d'El Arich, Égypte.

(4) Laboratoire de géologie dynamique, Université P. et M. Curie, Paris.

(5) Total, Compagnie française des pétroles, Paris la Défense.

(\*) Groupe d'étude du domaine paraliatique.

## ABSTRACT

## THE BIOGEOLOGICAL ORGANIZATION OF LAKE TEMSAH (ISMAÏLIA, EGYPT)

*Lake Tamsah is situated along the Suez Canal halfway from Port Saïd to Suez. Its hydrological, hydrochemical, biological and sedimentological organizations are studied.*

*In its central part, the basin receives seawater through the Suez canal. It is submitted to both arid climatic conditions and freshwater supplies from the Nile River.*

*The hydrological and hydrochemical organization of the Lake depends upon seasonal factors which notably control the Nile inflow and the water motions in the canal.*

*In spite of this original pattern, its biological organization is similar to that of Mediterranean lagoons : the moderately restricted central part of the basin houses populations where molluscs are predominating. The region which is directly influenced by the Nile freshwater inputs displays a high phytoplanktonic biomass and typically paralic benthic populations.*

*The zone of contact between the flooding Nile waters and the lagoonal waters is marked by a noticeable organic matter enrichment of sediments, the scarcity of suspension feeders and the abundance of detritivorous species.*

*In the sediments, the detrital part prevails to the detriment of the carbonate phase. The sedimentary organic matter is originated from the biological activity of the basin, but part of it from freshwater inputs and urban effluents.*

*Lastly, the study of Lake Tamsah gives indications concerning the biological role of the Suez Canal between the Mediterranean Basin and the Indo-Pacific Province.*

KEY WORDS : Biogeology — Coastal lagoon — Confinement — Present — Egypt.

Le golfe de Suez se prolonge vers le N-NO par une dépression tectonique au cœur de laquelle s'échelonnent du sud au nord trois anciens lacs : le Petit Lac Amer, le Grand Lac Amer et le lac Tamsah (fig. 1).

Avant le percement du canal de Suez, réalisé en 1869, ces trois lacs continentaux étaient probablement alimentés par le bras le plus oriental du delta du Nil, aujourd'hui canalisé, qui débouche actuellement dans le lac Tamsah encore appelé lac d'Ismaïlia. Ces trois lacs devaient communiquer temporairement lors des crues du Nil. Ce dispositif endoréique aboutissait, dans sa partie sud, à la constitution de nappes d'eau réduites par évaporation et très salées, d'où les noms de lacs Amer donnés à ces nappes.

Le percement du canal de Suez a évidemment modifié considérablement ce dispositif, puisqu'aujourd'hui les trois lacs sont essentiellement alimentés par de l'eau marine grâce à celui-ci. Ainsi, le lac Tamsah, situé en plein continent, est devenu par la volonté humaine un bassin paralytique. Ce seul fait en justifiait l'étude. Mais une autre de ses originalités est d'être alimenté dans sa partie occidentale par les eaux douces du Nil et de présenter, vers l'est, des indentations profondes dans le désert du Sinaï. Cette organisation confère au lac Tamsah une double polarité vers les biotopes sous-salés et vers les biotopes sur-salés qu'il était *a priori* intéressant d'étudier.

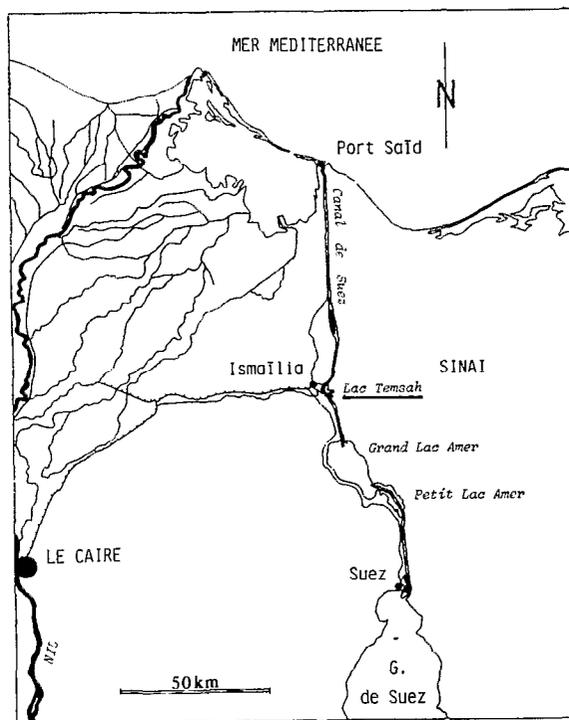


FIG. 1. — Situation géographique du lac Tamsah.  
Geographical situation of Lake Tamsah.

Le lac Tamsah a fait l'objet de quatre missions de terrain en mars 1984, août 1984, janvier 1985 et avril-mai 1985 (IBRAHIM, 1986).

## LE BASSIN

### La configuration générale

Le lac Tamsah couvre une superficie d'environ 12 km<sup>2</sup> enserrée dans les dépôts alluviaux du système deltaïque nilotique à l'ouest, et des formations sédimentaires néogènes à l'est. Il a une forme assez complexe avec de nombreuses péninsules, notamment vers le SO, des îles et des baies plus ou moins profondes. Au nord et au sud s'ouvrent les branches du canal de Suez entre lesquelles s'étend une zone draguée où la profondeur dépasse 20 m. Cette zone s'élargit dans le centre du bassin et s'accidente d'une île allongée, de formation récente, édifiée pendant la période de fermeture du canal après 1967. Ailleurs, les fonds n'excèdent guère une dizaine de mètres.

Dans sa partie occidentale, le lac est alimenté en eau douce par un canal et par les effluents citadins de la ville d'Ismaïlia au nord, et par un bras plus ou moins canalisé du Nil au sud, vestige possible du bras le plus oriental du Nil. Les tributaires nord ont un débit toujours assez faible; celui du tributaire sud semble beaucoup plus variable, en fonction notamment des crues et décrues du système nilotique, les crues se produisant habituellement au mois d'août.

### Les courants

Les courants dans le bassin sont, d'une façon générale, faibles et leur organisation difficile à apprécier en l'absence de moyens techniques sophistiqués.

En ce qui concerne l'organisation biologique du lac Tamsah, la première question est celle du sens de l'écoulement de l'eau dans le canal de Suez lui-même. Mais elle va bien au-delà puisqu'elle débouche sur le problème des espèces «lessepsiennes», espèces indo-pacifiques qui se seraient adaptées en Méditerranée après le percement du canal de Suez.

Le sens du courant dans le canal dépend de plusieurs facteurs: la différence de niveau entre la Méditerranée et la mer Rouge, le régime du vent, le débit des apports du système nilotique dans le lac Tamsah et dans la lagune de Manzalah que traverse le tronçon nord du canal. A ceci s'ajoute le rôle de la marée, faible en Méditerranée, mais importante dans le golfe de Suez (2 m en marée moyenne) et sensible jusqu'aux lacs Amer, et l'effet de réservoir des trois plans d'eau que coupe le canal. Les instructions nautiques de 1958 indiquent que, de juin à octobre,

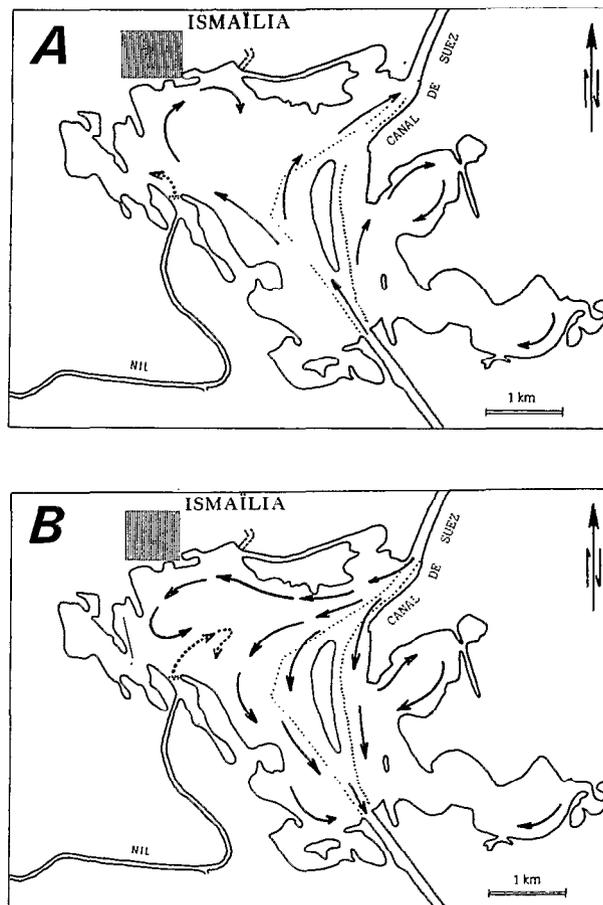


FIG. 2. — Les mouvements probables des eaux de surface dans le lac Tamsah.

A : en hiver (sans crue du Nil); B : en été (lors de la crue du Nil).

*Probable surface waters motions in Lake Tamsah.*

A : in winter (Nile not in spate); B : in summer (Nile in spate).

le courant porte généralement au sud entre Port Saïd et le Grand Lac Amer, à cause de la crue du Nil qui gonfle la lagune de Manzalah, l'inverse se produisant de novembre à avril. Il y a tout lieu de penser que la régulation du débit du Nil par le barrage d'Assouan, en minimisant le rôle du fleuve sur le canal, tend à perturber ce régime.

Le lac Tamsah est donc soumis à un flux d'eau axial en provenance, soit de la Méditerranée, soit des lacs Amers.

Dans sa partie orientale, le sens des courants reste hypothétique en toute saison.

Dans sa partie occidentale, lors des crues du Nil, le tributaire sud engendre un coin d'eau adoucie, qui s'avance vers le NE et divise le flux entrant du nord en deux branches (fig. 2A). Ce coin d'eau adoucie,

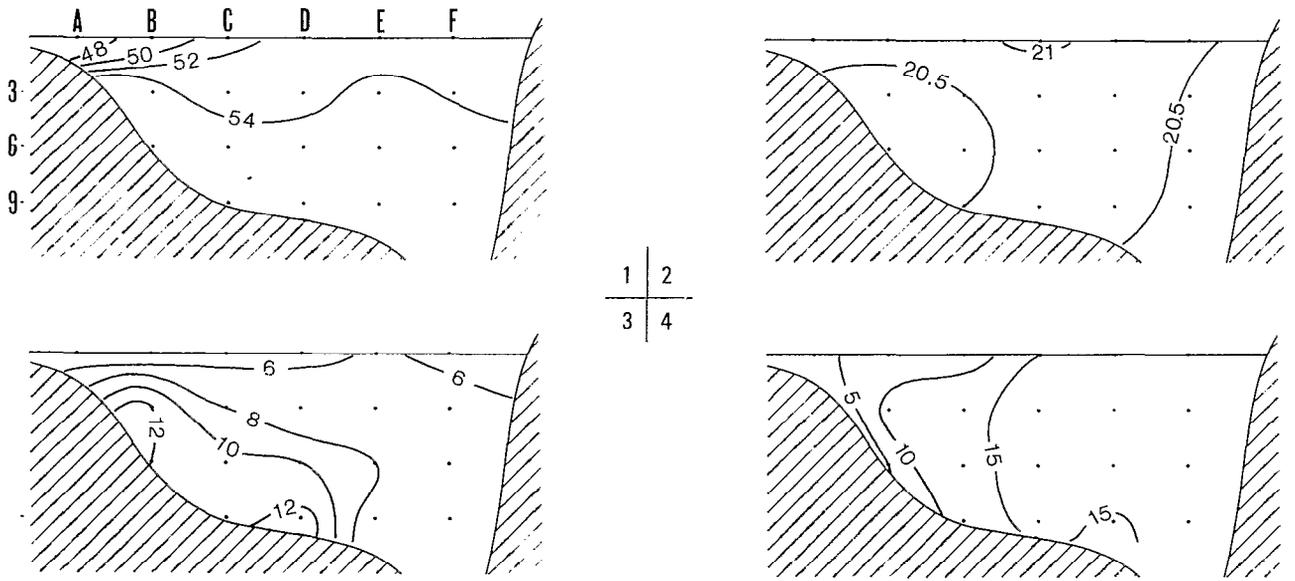


FIG. 3. — Transect hydrologique en mars 1984.

1 : conductivité (mmho/cm); 2 : température (°C); 3 : oxygène dissous (ppm); 4 : turbidité (ppm).  
Hydrological transect, march 1984.

1 : conductivity (mmho/cm); 2 : temperature (°C); 3 : dissolved oxygen (ppm); 4 : turbidity (ppm).

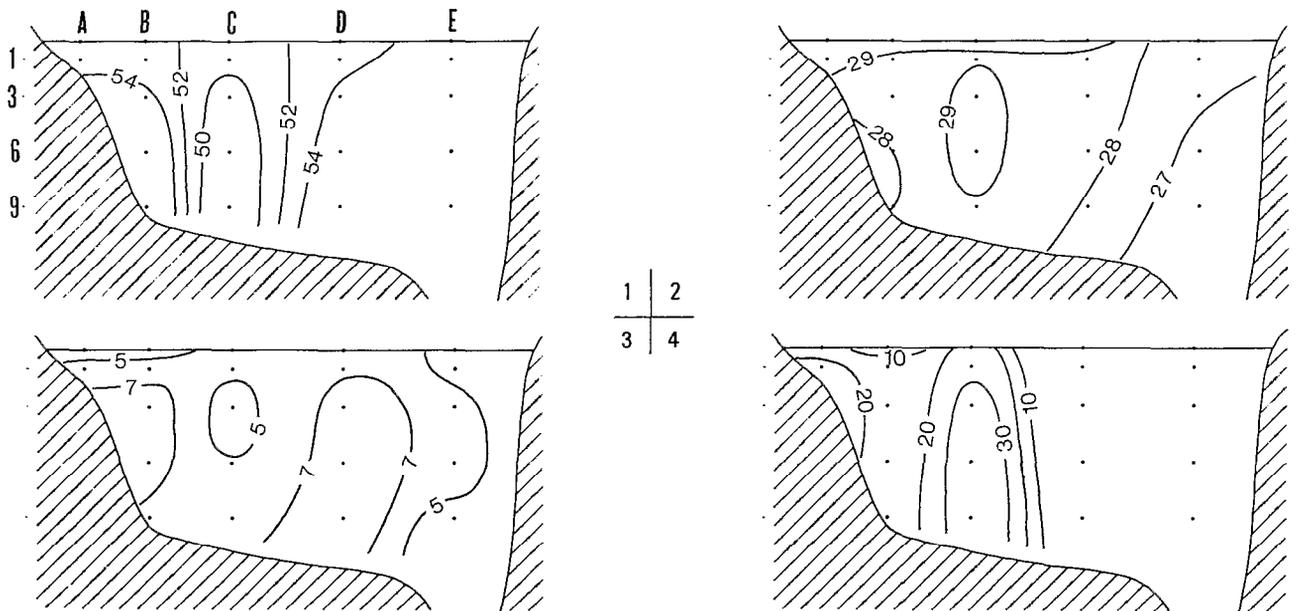


FIG. 4. — Transect hydrologique en août 1984.

1 : conductivité (mmho/cm); 2 : température (°C); 3 : oxygène dissous (ppm); 4 : turbidité (ppm).  
Hydrological transect, august 1984.

1 : conductivity (mmho/cm); 2 : temperature (°C); 3 : dissolved oxygen (ppm); 4 : turbidity (ppm).

relativement chaude, peu oxygénée et turbide, est tout à fait remarquable sur un transect hydrochimique effectué en août 1984 (fig. 3). Un transect voisin effectué en mars 1984 (fig. 4) en montre l'absence totale.

En l'absence de crues du Nil (fig. 2B), c'est-à-dire en hiver, le courant entrant du sud se dirige vers la baie d'Ismaïlia et détourne vers l'ouest les faibles apports d'eau du Nil.

Ces deux situations expliquent de façon assez satisfaisante les dessins des isohalines de surface du lac en août 1984 et en janvier 1985 (fig. 5). La situation de mars 1984 paraît atypique avec vraisemblablement un courant entrant du nord en l'absence de crue du Nil.

Dans tous les cas, cependant, c'est la partie la plus occidentale du bassin qui a les échanges les plus restreints avec le reste du bassin. En outre, elle reçoit les apports d'eau continentale du Nil : c'est dans cette zone que l'on peut s'attendre à trouver le confinement le plus élevé.

## LES EAUX

Sur le terrain, la température, la conductivité, le pH, l'oxygène dissous et la turbidité des eaux du bassin ont été mesurés à l'aide d'une sonde multiparamètres Horiba. Les échantillons d'eau récoltés ont été analysés au laboratoire pour les ions majeurs et la teneur en  $O_2$ .

### La température

Comme toujours celle-ci varie globalement en fonction des saisons : 18 °C en moyenne en hiver, 28 °C en moyenne en été (IBRAHIM, 1986).

Le canal de Suez amène au bassin des eaux habituellement plus fraîches en été et plus chaudes en hiver que la moyenne du bassin, selon deux veines principales, l'une qui suit le chenal dragué, l'autre qui s'infléchit vers l'ouest au débouché du canal. Ces deux veines se voient bien dans les deux transects des fig. 3 et 4. En été (fig. 3), ces deux masses d'eau fraîche sont, de plus, séparées par les eaux plus chaudes du coin adouci issu de l'embouchure du Nil.

### La salinité

Les cartes des teneurs en  $Cl^-$  des eaux de surface (fig. 5) montrent clairement l'existence d'un gradient négatif de salinité, depuis la zone centrale sous influence directe du canal de Suez, jusqu'à l'embouchure du bras du Nil à l'extrémité occidentale du

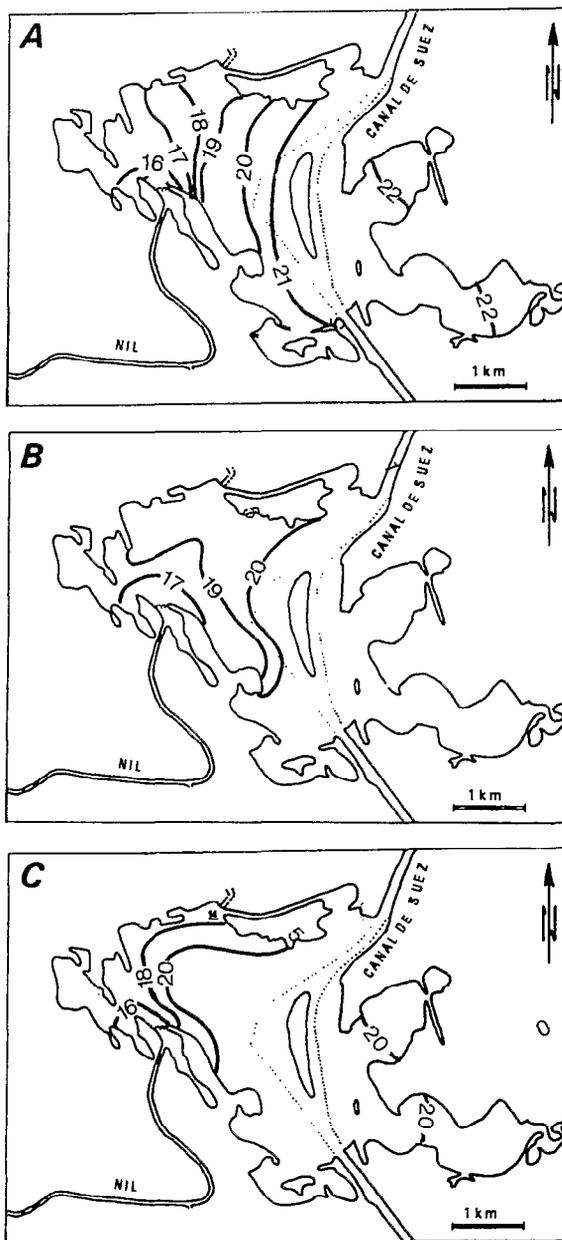


FIG. 5. — Cartes des concentrations en  $Cl^-$  (g/l) des eaux de surface du lac Tamsah.

A : mars 1984 ; B : août 1984 ; C : janvier 1985.

Maps of  $Cl^-$  concentrations (g/l) of surficial waters in Lake Tamsah.

A : march 1984 ; B : august 1984 ; C : january 1985.

bassin. Le gradient, ainsi que la forme des isohalines, varie avec le temps en fonction des débits respectifs du canal de Suez et du bras du Nil.

Dans la partie orientale du bassin, on observe un léger gradient positif en mars 1984 et août 1984. Par contre, les deux profondes indentations du plan d'eau sont légèrement sous-salées en janvier 1985, vraisemblablement à cause de faibles arrivées d'eau continentale dans ce secteur au cœur de l'hiver.

Il existe, en outre, une certaine stratification des eaux notamment dans le chenal, sur le fond duquel les eaux fraîches et salées venant du canal de Suez ont tendance à s'écouler (fig. 3 et 4).

### L'oxygène dissous et le pH

En mars 1984 (fig. 4), on a, dans la masse d'eau, un gradient positif des teneurs en oxygène dissous depuis le chenal vers l'extrémité occidentale du bassin. Or il n'y a pas de relation avec la salinité, ni avec la température : le taux d'oxygène dissous dépend donc essentiellement du bilan photosynthèse-respiration du milieu. L'oxygénation des eaux augmente au voisinage du fond, car celui-ci est recouvert d'herbiers. La situation en août 1984 (fig. 3) est bien différente, avec des eaux beaucoup moins oxygénées car plus chaudes. La veine d'eau douce en provenance du Nil se signale par sa pauvreté en oxygène. Les pH, non figurés, ont des valeurs comprises entre 7,5 et 8,3, c'est-à-dire en moyenne inférieures à celles de l'eau de mer, ce qui est habituel en milieu lagunaire où l'activité microbienne libère des composés acides.

### La turbidité

D'une façon générale, la turbidité des eaux du lac Tamsah est faible, quoique non négligeable : elle est par exemple très supérieure à celle des eaux des lagunes du golfe de Suez (IBRAHIM, 1986 ; IBRAHIM *et al.*, 1985).

Elle semble relativement faible en août (fig. 3), sauf dans le coin d'eau avancé au large de l'embouchure du Nil, un peu plus forte en mars (fig. 4), peut-être à cause des variations saisonnières de la biomasse phytoplanctonique (maximale au printemps).

### La composition ionique des eaux

Pour éliminer les effets de la concentration par évaporation ou de la dilution, l'étude a porté essentiellement sur les rapports ioniques avec comme référence l'ion Cl. Les cartes établies à partir de ces données (IBRAHIM, 1986), pour mars 1984, août 1984 et janvier 1985 confirment l'organisation hydrochimique générale du bassin avec ses trois zones :

- la zone centrale sous influence dominante des eaux en provenance du canal de Suez ;
- la zone occidentale contaminée par les eaux continentales d'origine nilotique ;
- la zone orientale à tendance subévaporitique.

Les cartes montrent que le Nil apporte dans la zone occidentale des eaux dont le rapport  $\text{SO}_4^-/\text{Cl}$  est plus faible que celui de l'eau de mer. A l'opposé, dans les baies orientales du bassin, le rapport  $\text{SO}_4^-/\text{Cl}$  augmente par rapport à la zone centrale, ce qui traduit l'existence d'apports continentaux sulfatés particulièrement sensibles en hiver.

L'étude des autres rapports ioniques ne permet pas de déceler d'éventuelles immobilisations ou précipitations d'ions, même en ce qui concerne les ions les plus sensibles au confinement et à l'évaporation, c'est-à-dire les ions  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{HCO}_3^-$ . Tout au plus peut-on remarquer une variation globale des teneurs en ion bicarbonate qui sont, sur les trois campagnes, maximales au mois d'août 1984. On ne peut guère y voir un effet de la température sur l'équilibre des carbonates, qui serait inverse. Il s'agit plutôt d'un effet de bilan entre une activité photosynthétique amoindrie et une activité bactérienne renforcée par l'augmentation estivale de la température.

### La teneur en oxygène 18

L'alimentation du bassin par un bras du Nil qui y apporte des eaux douces surévaporées induit, en toute saison, une diminution de l'abondance en  $^{18}\text{O}$  à partir du débouché du Nil vers le centre du bassin. A partir de celui-ci, elle remonte légèrement dans les baies marginales où l'évaporation s'exerce sur une tranche d'eau faible (fig. 6).

Le bassin présente une variation saisonnière marquée, qui se traduit de mars à août 1984 par une augmentation d'environ 0,6 ‰ des valeurs de  $\delta^{18}\text{O}$  des eaux du bassin (IBRAHIM, 1986 ; JUSSERAND *et al.*, 1988).

Si l'on compare ce comportement isotopique avec la carte des salinités (fig. 5), on constate que les eaux les plus riches en isotopes lourds sont, soit des eaux dessalées par les apports continentaux, soit des eaux sursalées par évaporation dans les baies marginales confinées et peu profondes : dans un tel bassin, il ne peut y avoir de « signature » isotopique de la salinité.

### Conclusions

Si l'organisation hydrologique et hydrochimique des eaux de surface du lac Tamsah est relativement simple avec, à partir de la zone centrale sous influence directe du canal de Suez, une double

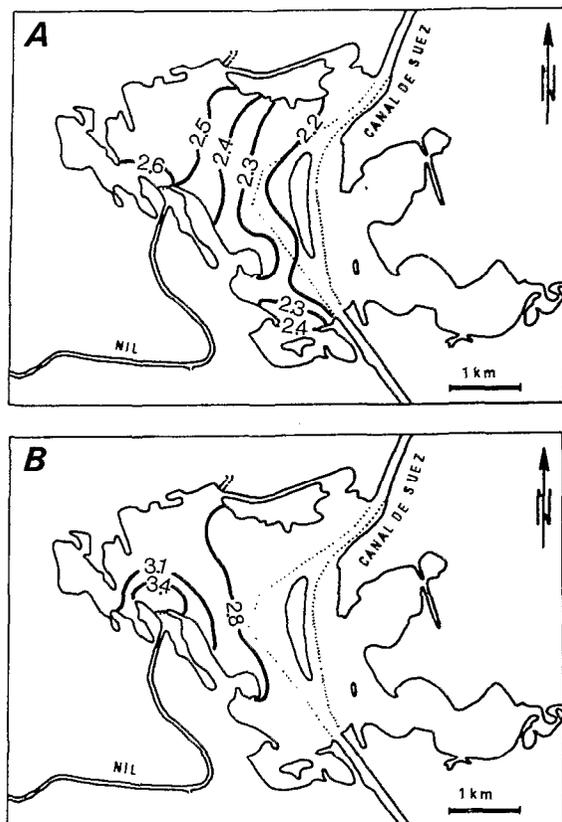


FIG. 6. — Cartes des teneurs en oxygène 18 ( $\delta$  en ‰) des eaux de surface du lac Tamsah.

A : mars 1984 ; B : août 1984.

Maps of 18 oxygen contents ( $\delta$  in ‰) of surficial waters of Lake Tamsah.

A : march 1984 ; B : august 1984.

polarité vers une zone sous-salée à l'ouest et des zones légèrement sur-salées à l'est, les choses se compliquent lorsque l'on considère la masse d'eau dans son ensemble. Sa structure dépend principalement du débit du Nil. Lorsque celui-ci est en crue, en été, les eaux douces qui débouchent dans le bassin tendent à séparer en deux masses le corps d'eau central issu du canal de Suez. Par contre, lorsque le débit du bras du Nil est faible, les eaux qui en proviennent tendent à rester en surface, induisant ainsi une stratification des eaux avec une tranche supérieure dessalée surmontant un corps d'eau inférieur à affinités marines.

## BIOLOGIE

### Le phytoplancton

Le phytoplancton du lac Tamsah n'a pu être étudié que fin avril 1985, et seulement dans le centre et l'ouest du bassin. Bien que ponctuels dans le temps, les résultats obtenus sont intéressants, car ils décrivent la situation printanière. Au total, 24 stations ont été étudiées (fig. 7B) selon trois transects, dont deux partent de l'embouchure du bras du Nil vers les débouchés nord et sud du canal, le troisième suivant le chenal artificiel N-S du bassin.

La composition taxonomique du phytoplancton de surface n'a été étudiée qu'à la station 16. Le peuplement y est composé de nanoplancton dominant (Cyanobactéries), accompagné de Chlorococcales et de Diatomées dont *Nitzschia closterium*, espèce très ubiquiste dans le domaine paraliatique. La composition de ce peuplement témoigne d'un confinement assez élevé (GUELORGET et PERTHUISOT, 1983; PERTHUISOT et GUELORGET, 1983) et/ou de la relative pauvreté du milieu en éléments nutritifs (silice, composés azotés, composés phosphatés) (FRISONI, 1984).

La surface, la biomasse de la chlorophylle *a* active (fig. 7A) est faible au débouché nord du canal de Suez. Elle augmente légèrement le long du chenal artificiel, puis décline en direction du débouché sud et vers l'ouest. Enfin, à partir de la zone centrale, la plus pauvre, la biomasse augmente fortement vers l'ouest pour atteindre un maximum au voisinage de l'embouchure du Nil.

Les taux de phéopigments (en % de la somme chlo *a* + phéopigments) montrent une distribution inverse avec un maximum à la station 3 dans la zone centrale (fig. 7C).

On peut interpréter ces observations par la coexistence, dans les eaux superficielles du lac, de deux peuplements phytoplanctoniques. Le premier se développe dans la zone soumise au flux à affinités marines de provenance du canal, c'est un plancton jeune relativement peu productif. Le deuxième est inféodé au débouché du Nil, où il est vigoureux et produit une importante biomasse, comme il est de règle dans les zones fortement confinées. Dans la zone centrale intermédiaire, le contact entre les deux corps d'eau correspondants crée des conditions défavorables pour l'un et l'autre peuplements; les populations phytoplanctoniques y deviennent sénescentes, d'où l'augmentation du taux de phéopigments et la diminution de la biomasse chlorophyllienne active.

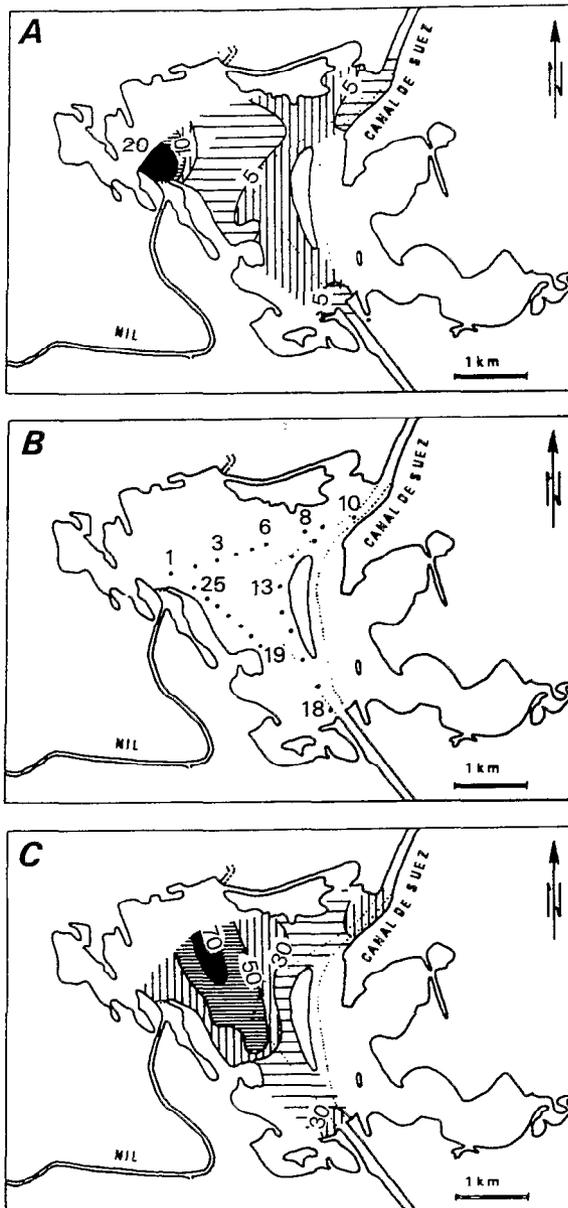


FIG. 7. — Biomasse phytoplanctonique des eaux de surface du lac Tamsah en avril 1985.

A : teneurs en chlorophylle *a* ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ); B : situation des points de prélèvement; C : teneurs en phéophytine (%).

Phytoplanktonic biomass of surficial waters in Lake Tamsah, april 1985.

A : chlorophyll *a* content ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ); B : sampling stations situation; C : pheophytin content (%).

Les eaux du fond ont été analysées sur le transect 1-10. Les données obtenues montrent, dans la partie occidentale du bassin, une stratification des eaux

TABLEAU I

Biomasses phytoplanctoniques des eaux du lac Tamsah (avril 1985). Chlorophylle *a* (chl.), phéopigments (% phéo), pigments totaux (Pigm. tot.) et taux de phéopigments (% Phéo).

Phytoplankton biomass of L. Tamsah, April 1985 : chlorophyll *a* (Chl.), pheopigments (Pheo.), total pigments (Pigm. tot.) and percent pheopigments (% Pheo).

Station	Chl. $\text{mg}/\text{m}^3$	Phéo, $\text{mg}/\text{m}^3$	Pigm, $\text{mg}/\text{m}^3$	tot. % Phéo
1 surface	26,1	16,2	42,3	38,3
2 surface	7,3	16,1	23,4	68,8
2 fond	5,3	7,1	12,4	57,3
3 surface	1,9	10,8	12,7	85,0
3 fond	1,0	1,4	2,4	56,8
4 surface	3,1	4,6	7,7	59,9
4 fond	0,9	0,9	1,8	50,0
5 surface	3,1	3,1	6,2	50,0
6 surface	4,6	2,4	7,0	34,0
6 fond	1,4	1,2	2,6	47,0
8 surface	6,1	2,5	8,6	28,7
8 fond	2,2	4,1	6,3	64,4
9 surface	7,1	2,7	9,8	27,4
9 fond	7,2	2,6	9,8	26,1
10 surface	4,1	2,0	6,1	32,5
10 fond	0,8	0,8	1,6	49,1

semblable à celle mise en évidence en mars 1984 à partir des paramètres hydrologiques. En effet, les eaux superficielles des stations 1 à 4, à biomasse élevée (23 à 7  $\text{mg}/\text{m}^3$  de pigments totaux) et à fort taux de phéopigments (50 à 85 %), se superposent au corps d'eau à affinité marine, dont la biomasse pigmentaire totale est faible (12 à 6  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) et le taux de phéopigments moindre (57 à 50 %). Aux stations 6 à 10, les biomasses en pigments totaux sont plus faibles et les taux de phéopigments plus élevés qu'en surface (tabl. I), hormis à la station 9.

Cette brève étude montre la bonne concordance entre le fonctionnement hydrodynamique du bassin et son organisation phytoplanctonique. Elle montre aussi que, en l'absence de crue du Nil, le schéma hydrodynamique du lac Tamsah est favorable à l'accumulation d'un plancton sénescé dans la zone de la station 3, et qu'on peut s'attendre, dans cette partie du bassin, à une importante sédimentation de matière organique.

### Le benthos

Cinq stations (fig. 8) ont été choisies en mai 1985 pour l'étude du benthos. La station 3 apparaît nettement comme la moins confinée, comme en témoigne la présence d'espèces « thalassiques » (GUELORGET et PERTHUISOT, 1983) comme *Tellina tenuis*.

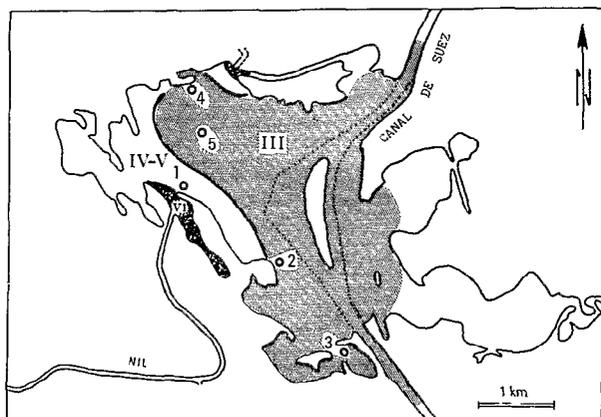


FIG. 8. — Emplacement des stations de prélèvement de la macrofaune benthique et essai de cartographie des zones de confinement (d'après GUELORGET et PERTHUISOT, 1983) dans le lac Tamsah.

Location of benthic macrofauna sampling stations and tentative mapping of confinement zones (after GUELORGET and PERTHUISOT, 1983) in Lake Tamsah.

Le peuplement est cependant dominé par les espèces « mixtes » : *Ruditapes decussatus*, *Venerupis aurea*, *Loripes lacteus*, *Sphaeroma serratum*, *Gammarus* gr. *locustra*, *Akera bullata*, *Cerithium* sp., *Glycera convoluta*, *Nephtys humbergii*. Toutes ces espèces sont

présentes dans les lagunes méditerranéennes. La richesse spécifique est élevée (39 espèces), la biomasse assez élevée, la densité faible (tabl. II). Ces données confirment l'appartenance de cette station à la zone III de confinement, telle que définie par GUELORGET et PERTHUISOT (1983), mais à sa frange la plus marine. Ceci est évidemment en relation avec la proximité du flux d'eau à affinités marines en provenance du canal de Suez.

Les stations 2 et 4 sont plus éloignées de l'axe du bassin. Leur contenu faunistique, où dominent encore les espèces « mixtes » (*Ruditapes decussatus*, *Venerupis aurea*, *Loripes lacteus*), mais où l'on note la présence d'espèces paraliques (*Corophium insidiosum*, *Cerastoderma glaucum*, larves de Chironomides) en faible quantité, les situe en zone III au voisinage immédiat de la zone IV. Cette diagnose est confirmée par l'abaissement de la richesse spécifique (27 espèces), une biomasse élevée et une densité moyennement forte (tabl. II).

La station 5 est caractérisée par la faible représentation des filtreurs, d'ailleurs de petite taille, au profit des Polychètes détritivores très nombreux, notamment les *Capitellidae*, indicateurs d'enrichissement organique. Cette station se trouve précisément dans la zone de sédimentation organique maximale (fig. 10).

La station 1 est celle qui dénote le confinement le plus élevé, avec des caractéristiques paraliques très

TABLEAU II

Densité (N) en nombre d'individus par m<sup>2</sup>, biomasse (B) en g/m<sup>2</sup> de matière organique sèche après décalcification et richesse spécifique (R.S.) de la macrofaune benthique du lac Tamsah.

Density (N) in number of individuals per m<sup>2</sup>, biomass (B) in g/m<sup>2</sup> of dry organic matter after decalcification and specific richness (R.S.) of the benthic macrofauna in Lake Tamsah.

Station	1		2		3		4		5	
	N	B	N	B	N	B	N	B	N	B
Pélécytopodes	1950	2,97	1060	9,63	970	10,04	1020	9,11	180	0,98
Gastéropodes	430	3,46	180	3,94	210	4,02	260	5,48	-	-
Crustacés	3350	1,61	2320	5,02	790	4,75	1670	5,69	110	2,18
Polychètes	4010	1,98	1560	4,78	920	3,99	920	4,61	7050	6,87
Chironomides	1220	0,31	30	0,02	-	-	-	-	-	-
Total	10960	10,33	5150	23,39	2890	22,80	3870	24,89	7340	10,03
R.S.	8		27		39		27		7	

affirmées : faible richesse spécifique (8 espèces), biomasse peu élevée, forte densité (tabl. II). Les espèces présentes sont, soit des espèces lagunaires vagiles (*Sphaeroma hookeri*, *Gammarus locusta*), soit des espèces typiquement paraliques (*Cerastoderma glaucum*, *Hydrobia acuta*, *Hydrobia* sp., *Corophium insidiosum*, *Nereis diversicolor*, larves de Chironomides). Ces caractères s'accordent bien avec la position de cette station dans la zone des apports nilotiques.

Enfin, il existe au pourtour du bassin, en sommet de zone tidale ou à proximité des arrivées d'eau douce, un faciès à *Potamides (Pirenella) conicus* et tapis cyanobactériens typique de zone VI.

Au total, cette répartition de la macrofaune benthique est en bon accord avec les caractères hydrologiques et hydrodynamiques du bassin, et permet d'esquisser une carte des zones de confinement du lac Temsah (fig. 8).

Une dizaine de prélèvements ont été effectués sur le pourtour du lac pour étudier les Foraminifères vivants. Un seul en a livré. Il s'agit d'une association à *Ammonia tepida* accompagnée d'une thanatocoenose à *Milliolidae* et Bolivines peu abondants présente dans d'autres prélèvements. D'une manière générale, le lac Temsah semble peu propice au développement des Foraminifères.

### La place du lac Temsah dans les relations Méditerranée-mer Rouge

La faune benthique des substrats meubles du lac Temsah est donc essentiellement constituée d'espèces méditerranéennes. Deux espèces cependant sont d'origine indo-pacifique. Il s'agit de *Maetra olorina*, que l'on trouve par exemple dans les faunes actuelles et fossiles de la lagune de Guemsah en mer Rouge et que l'on rencontre dans le lac, en très petit nombre, associée aux Vénéridés, et de *Potamides conicus*.

Une récente étude des faunes des plages sableuses des côtes égyptiennes de Méditerranée, du canal de Suez, du golfe de Suez et de mer Rouge (DEXTER, 1989) confirme que les espèces méditerranéennes de substrats sableux colonisent le canal de Suez jusqu'au lac Temsah. Elles vont même au-delà puisque les lacs Amers contiennent une faune à *Cerastoderma glaucum*, espèce inconnue plus au sud. Il apparaît donc qu'il existe dans le Canal de Suez, une tendance migratoire vers le sud des espèces méroplanctoniques méditerranéennes, notamment des espèces lagunaires. Mais la migration est bloquée car, au-delà, le long des rives abruptes du golfe de Suez, il n'y a quasiment pas d'environnements paraliques. Aucune espèce thalassique méditerranéenne ne semble atteindre les lacs Amers et ceci est logique : ce sont des bassins typiquement paraliques, à fort confinement, qui constituent une barrière environnementale in-

franchissable pour les espèces à développement méroplanctonique, inféodées au milieu marin.

Cette tendance pose le problème des espèces migrantes, dites lessepsiennes, indo-pacifiques qui ont colonisé le bassin méditerranéen après le percement du canal de Suez et qui, elles, ont franchi cette barrière. Hormis les espèces nectoniques dont la migration se comprend aisément, elles se répartissent en deux groupes : espèces de substrats durs et espèces de substrats sablo-vaseux (DEXTER, 1989). Pour les premières, un transport sur la coque des navires n'est pas à exclure, dans la mesure où il s'effectue sur un temps très court entre Suez et Port Saïd ; pour certaines des secondes, on remarquera qu'il s'agit d'espèces paraliques comme *Potamides conicus*. Cette espèce peut par ailleurs subir des migrations par d'autres voies que le milieu aquatique, comme en témoigne sa présence dans le lac du Fayoum qui n'a, selon toute vraisemblance, jamais communiqué avec la mer (JUSSERAND *et al.*, 1988). Enfin, elle était déjà présente en Méditerranée orientale lors de l'optimum climatique flandrien, il y a environ 6 000 ans (PERTHUISOT, 1975).

De nombreuses questions restent posées sur les migrations d'espèces par le canal de Suez. Pour un grand nombre cependant, il constitue une barrière environnementale liée au confinement. A cet égard, il serait intéressant de suivre l'évolution des populations de *Maetra olorina* dans le lac Temsah.

## SÉDIMENTOLOGIE

### Les facies

Les sédiments superficiels ont été prélevés en 21 stations et ont fait l'objet d'une analyse quantitative de la phase carbonatée, de la perte au feu, des teneurs en C et N organiques et en six métaux. Ils sont relativement riches en éléments détritiques apportés par les cours d'eau et par le vent. Les phénomènes de vannage dans les zones périphériques peu profondes tendent à concentrer les particules fines dans les zones plus profondes. Ainsi, les marges sont occupées généralement par des sables fins coquilliers clairs, tandis que dans le centre du bassin les sables vaseux ou les vases, à débris de coquilles, de couleur grise, dominant. Cette organisation concentrique est perturbée, dans la partie occidentale du bassin, par les apports limoneux du Nil et, dans sa partie orientale, par la dominance des apports éoliens.

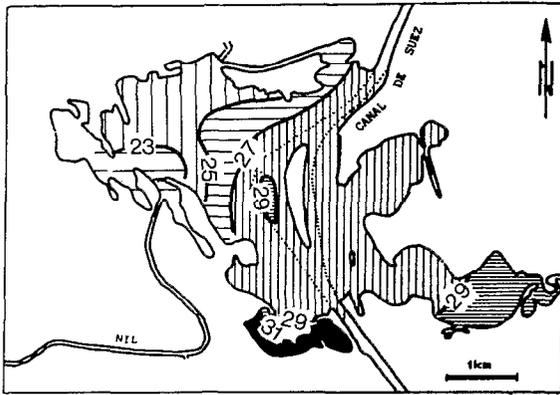


Fig. 9. — Carte des teneurs en carbonates (%) des sédiments du lac Tamsah.  
Carbonate content (%) of Lake Tamsah sediments.

**La phase carbonatée**

La phase carbonatée des sédiments du lac Tamsah est comparativement plus faible que dans les bassins lagunaires de mer Rouge (IBRAHIM, 1986), à cause de l'importance des apports de matériel détritique continental.

Schématiquement, la teneur en carbonate s'élève progressivement d'ouest en est, et elle est maximale dans la baie située immédiatement à l'ouest du bras méridional du canal de Suez (fig. 9). Sur l'ensemble du bassin, la phase carbonatée est essentiellement biogénique, à cause de la prolifération des Pélécyppodes de zone III. L'importance de la phase argileuse n'a pas permis une étude quantitative des diverses espèces minérales de carbonates, qui forment toutefois une paragenèse classique en milieu lagunaire, avec l'aragonite, la calcite peu magnésienne et une ou plusieurs calcites très magnésiennes.

**La matière organique**

Les teneurs moyennes en matière organique, en C et en N organiques des sédiments du lac Tamsah sont assez élevées par comparaison avec les lagunes de mer Rouge (IBRAHIM, 1986). Ceci est lié à un confinement globalement plus élevé du lac Tamsah, mais aussi à des apports organiques continentaux par le Nil et les effluents de la ville d'Ismaïlia.

Comme dans la plupart des bassins lagunaires, la matière organique est surtout concentrée dans les zones centrales plus profondes, à cause du vannage des marges, et du fait que la sédimentation de matière organique phytoplanktonique par unité de

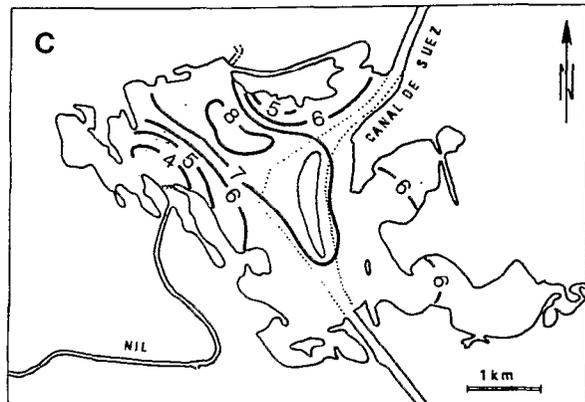
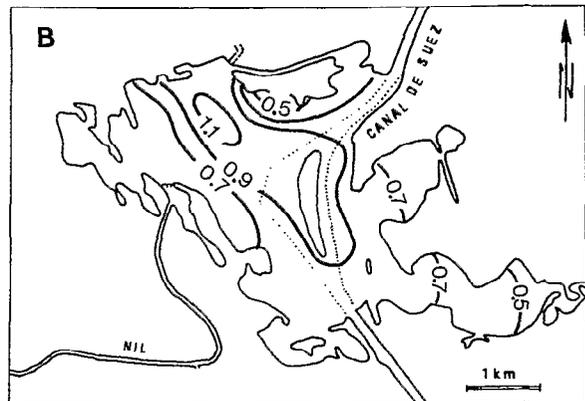
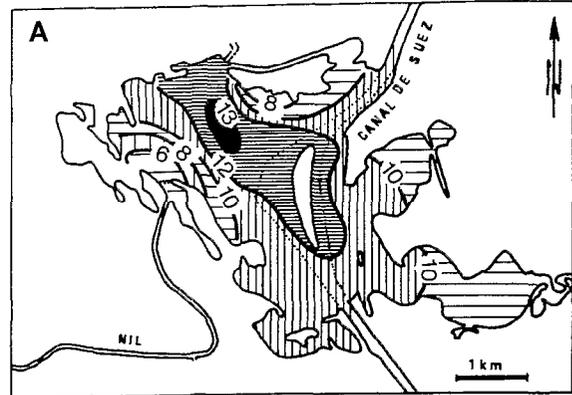


Fig. 10. — La matière organique brute des sédiments du lac Tamsah  
A : carte des pertes au feu à 450 °C (%); B : carte des teneurs en N organique (%); C : carte des teneurs en C organique (%).  
The raw organic matter in Lake Tamsah sediments  
A : fire loss at 450 °C (%); B : organic nitrogen content (%); C : organic carbon content (%).

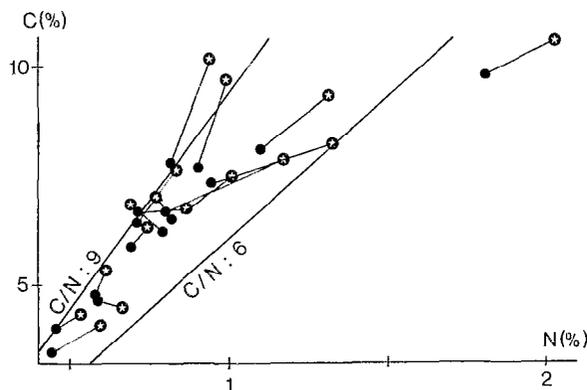


FIG. 11. — C et N organiques des sédiments du lac Tamsah. Comparaison entre la matière organique brute (étoile) et la phase insoluble (point) à chaque station.

*Organic C and N in Lake Tamsah sediments. Comparison between the raw organic matter (stars) and the insoluble phase (dots) at each station.*

surface est proportionnelle, toutes choses égales d'ailleurs, à la tranche d'eau qui la surmonte. Cependant, le maximum observé se situe au centre de la partie occidentale du bassin (fig. 10) : cette région est au voisinage des apports continentaux et correspond aussi à la zone de plancton sénescents observée en avril 1985 (fig. 7), c'est-à-dire à une zone de contact entre des eaux confinées, et généralement dessalées par les apports nilotiques, et les eaux à affinités plus marines du centre du bassin. De telles zones de contact entre les corps d'eau aux propriétés différentes sont le siège d'une forte mortalité du phytoplancton et, en conséquence, d'une forte sédimentation organique (MEDHIOUB, 1979; MEDHIOUB et PERTHUISOT, 1981).

La matière organique brute totale des sédiments du lac présente des valeurs élevées du rapport C/N (fig. 11A), comprises entre 6 et 10. Or, le rapport C/N de la matière organique phytoplanctonique ne dépasse pas 7,5 (HARVEY, 1957; CAMMEN, 1982; MULLER, 1977). En outre le phytoplancton du lac comporte une forte proportion de nanoplancton habituellement à C/N faible, entre 3,5 et 5. Il y a donc une contribution non négligeable à la sédimentation organique du lac des apports continentaux, toujours riches en C (ETCHEBER, 1983; DEBYSER, 1961), et aussi des herbiers à phanérogames qui colonisent le fond du bassin. Un seul prélèvement fournit un C/N inférieur à 6. Il s'agit d'un tapis cyanobactérien en voie de pourrissement.

La comparaison entre les rapports C/N de la matière organique brute totale et ceux de la matière organique insoluble résiduelle (fig. 11) fournit des

indications sur la diagenèse précoce de la matière organique. Elle montre que, dans la plupart des stations, la phase insoluble résiduelle est plus riche en carbone que la matière organique totale, ce qui revient à dire que la biodiagenèse précoce tend à libérer des produits solubles riches en azote. L'hydrolyse des protéines y est donc dominante. Cependant quelques stations, notamment celles où le C/N est élevé, présentent un enrichissement de la phase résiduelle insoluble en N : dans celles-ci, l'hydrolyse des glucides et/ou des lipides domine.

### Les métaux lourds

Les répartitions des métaux lourds analysés (Cu, Ni, Fe, Mn, Pd, Zn) dans les sédiments superficiels du lac Tamsah sont représentées cartographiquement (fig. 12). Elles sont très différentes.

Le Cu et le Ni ont une répartition très semblable avec un maximum coïncidant sensiblement avec celui de la matière organique sédimentaire dans la zone de sédimentation préférentielle du phytoplancton. Les Cyanobactéries qui dominent dans celui-ci concentrent habituellement le Cu (GAUDETTE et LYONS, 1984; GAULIER *et al.*, 1985). En outre, les Polychètes, abondants dans cette région du lac, concentrent préférentiellement le Cu (GOLDBERG, 1963).

Le Fe et le Pb ont une répartition qui se calcule très exactement sur celle de la matière organique totale des sédiments. Comme pour celle-ci, l'influence des apports nilotiques et des effluents de la ville d'Ismaïlia est manifeste.

Le Zn est surtout représenté dans le centre du bassin, en relation peut-être avec l'abondance des mollusques qui concentrent le Zn (et le Cu) dans leurs tissus (BURELLI *et al.*, 1979).

A l'inverse des cinq métaux précédents, tous liés d'une manière ou d'une autre à la phase organique, le Mn a un comportement très particulier et remarquable : il suit schématiquement le champ de salinité du bassin, mais aussi la répartition de la phase carbonatée dans les sédiments. On peut penser qu'il est lié à ceux-ci par substitution dans le réseau cristallin de certaines espèces carbonatées.

### CONCLUSIONS

Le lac Tamsah apparaît comme un bassin parali-que relativement confiné avec une zone III centrale recouvrant la plus grande partie du bassin. Les échanges avec la mer y sont assurés par les mouvements d'eau dans le canal de Suez. Les zones les plus confinées sont rejetées dans les baies

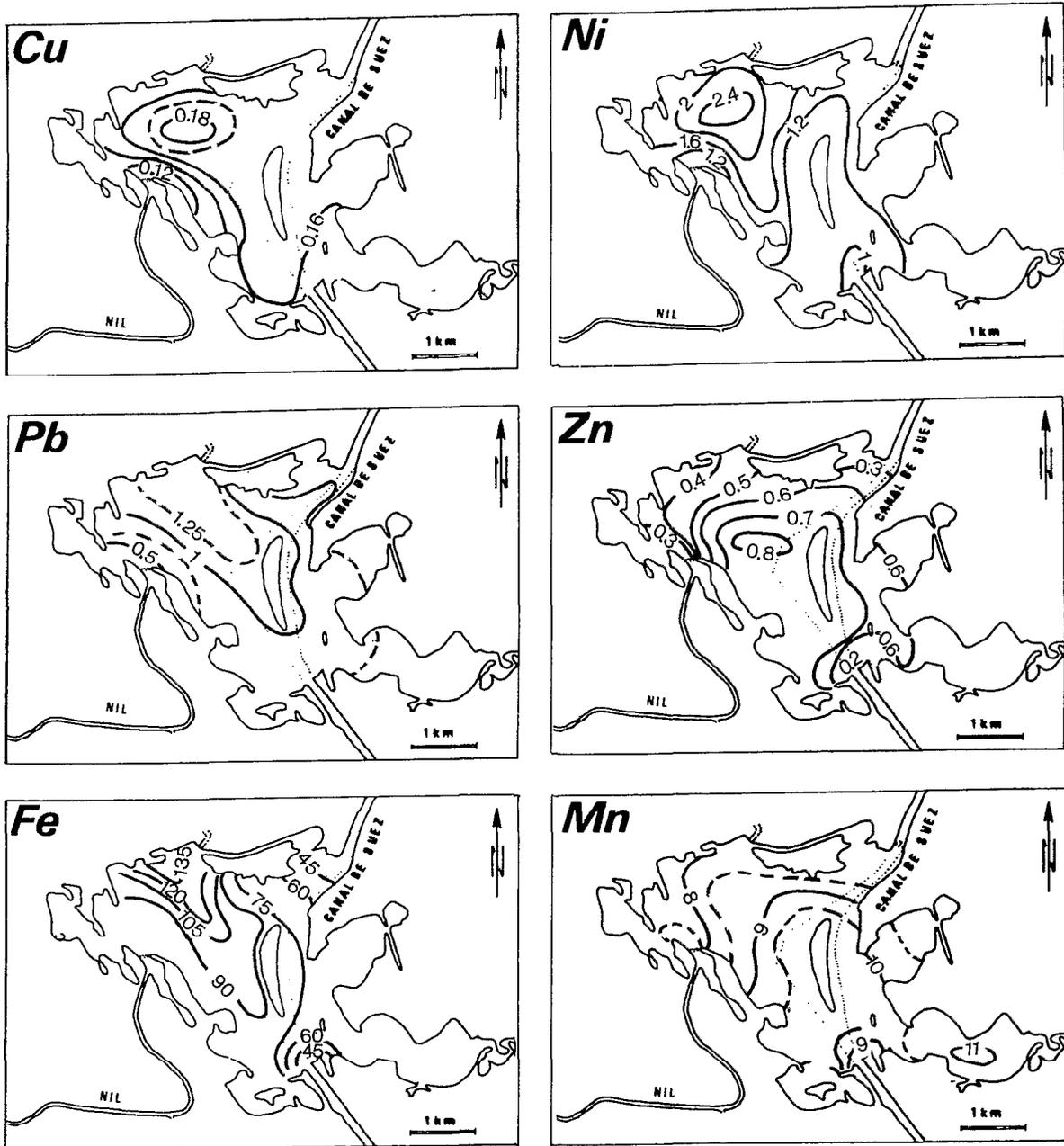


FIG. 12. — Cartes des teneurs en métaux lourds (ppm) des sédiments du lac Tamsah.  
 Maps of heavy metals content (ppm) of Lake Tamsah sediments.

périphériques et surtout au voisinage de l'embouchure du bras du Nil, qui apporte au bassin, conjointement avec les effluents de la ville d'Ismailia, des eaux continentales.

Ce dispositif se traduit par une composition

chimique et isotopique des eaux assez différente de l'eau de mer, une contribution importante des phases terrigènes à la sédimentation, compensée par une faible représentation des phases carbonatées biogéniques. En revanche, la productivité primaire élevée

entraîne une forte teneur des sédiments en matière organique, notamment dans la zone où s'affrontent les eaux du bassin et les apports continentaux nilotiques. Cette caractéristique distingue le lac Temsah des bassins lagunaires peu confinés et peu urbanisés du golfe de Suez et de mer Rouge (IBRAHIM, 1986; IBRAHIM *et al.*, 1986).

Enfin, par ses peuplements floristiques et faunistiques, le lac Temsah se rattache au bassin méditerranéen, et la limite de celui-ci doit être recherchée plus

au sud. En fait, le lac Temsah apparaît, pour les espèces strictement aquatiques, comme un des éléments du filtre biologique que constitue, entre le bassin méditerranéen et la province indo-pacifique, le système du canal de Suez. A une barrière continentale, le percement du canal a substitué un seuil de confinement.

*Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 15 janvier 1990*

### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BURELLI (F.), ECREMENT (F.), FRISONI (G.-F.), GUELORGET (O.) ET XIMENES (M.-C.), 1979. — Étude des écosystèmes des étangs de Biguglia, Diana et Urbino. Rapp. SOMIVAC/CTGREF, *multigr.*, 60 p.
- CAMMEN (L. M.), 1982. — Effect of particule size on organic content and microbial abundance within four marine sediments. *Marine Ecol. Progr. Ser.*, 9 : 273-280.
- DEBYSER (J.), 1961. — Contribution à l'étude géochimique des vases marines. *Inst. Fr. Pétrole*, 6005, Technip, Paris, 249 p.
- DEXTER (D. M.), 1989. — The sandy beach fauna of Egypt. *Estuarine, Coastal and Shelf science*, 29, 3 : 261-271.
- ETCHEBER (H.), 1983. — Biogéochimie de la matière organique en milieu estuarien. *Thèse Doc. d'État*, Université de Bordeaux I, 262 p., *multigr.*
- FRISONI (G.-F.), 1984. — Contribution à l'étude du phytoplancton dans le domaine paralique. Th. Doc. Ing. USTL Montpellier, 171 p., *multigr.*
- GAUDETTE (H. E.) et LYONS (W. B.), 1984. — Trace Metal Concentrations in Modern Marine Sabkha Sediments. *Microbial Mats : Stromatolites*. Alan R. Liss, Inc., N.-Y. : 425-434.
- GAULIER (J.-M.), IBRAHIM (A.), GUELORGET (O.) et PERTHUISOT (J.-P.), 1985. — Le comportement de Cu, Pb, Zn et Ni dans le complexe paralique de Guemsah (Égypte) en fonction du confinement. *J. Rech. Océanogr.*, 10, 2 : 63-65.
- GOLDBERG (T. E.), 1963. — The oceans as a chemical system. In Hill M. N. (Ed.). *The sea. Ideas and observations in the study of the seas*. Intersciences Publishers, N. Y. , London, 2 : 3-20.
- GUELORGET (O.) et PERTHUISOT (J.-P.), 1983. — Le domaine paralique. Expressions géologiques, biologiques et économiques du confinement. *Trav. Lab. Géol. ENS*, Paris, 16, 136 p., *multigr.*
- HARVEY (H. W.), 1957. — The chemistry and fertility of sea waters. *Cambridge University Press*, 234 p.
- IBRAHIM (A.), 1986. — Contribution à l'étude biogéologique de bassins paraliques égyptiens. Th. Doct. d'État, Université de Nantes, 232 p., *multigr.*
- IBRAHIM (A.), GUELORGET (O.), FRISONI (G.-F.), ROUCHY (J.-M.), MAURIN (A.) et PERTHUISOT (J.-P.), 1985. — Expressions hydrochimiques, biologiques et sédimentologiques des gradients de confinement dans la lagune de Guemsah (golfe de Suez, Égypte). *Oceanol. Acta*, 8, 3 : 303-320.
- IBRAHIM (A.), ROUCHY (J.-M.), MAURIN (A.), GUELORGET (O.) et PERTHUISOT (J.-P.), 1986. — Mouvements halocinétiques récents dans le golfe de Suez. L'exemple de la péninsule de Guemsah. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 8, II, 16 : 1193-1198.
- JUSSERAND (C.), IBRAHIM (A.), GUELORGET (O.) et PERTHUISOT (J.-P.), 1988. — Teneurs en O<sup>18</sup> et concentration saline d'eaux paraliques et continentales égyptiennes. *Rev. Sci. de l'Eau* 1, 3 : 277-301.
- MEDHIOUB (K.), 1979. — La Bahiret el Biban. Étude géochimique et sédimentologique d'une lagune du sud-est tunisien. *Trav. Lab. Géol. ENS*, Paris 13, 150 p., *multigr.*
- MEDHIOUB (K.) et 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.
- MULLER (P. J.), 1977. — C/N ratios in Pacific deep-sea sediments : effects of inorganic ammonium and organic nitrogen compound sorbed by clays. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 41, 6 : 675-776.
- PERTHUISOT (J.-P.), 1975. — La sebkha el Melah de Zargis. Genèse et évolution d'un bassin paralique. *Trav. Lab. Géol. École norm. sup.*, Paris 9 : 252 p; *multigr.*
- PERTHUISOT (J.-P.) et GUELORGET (O.), 1983. — Le confinement, paramètre essentiel de la dynamique biologique du domaine paralique. *Sci. Geol. Bull.*, 36, 4 : 239-248.