

LE LAC SUD DE TUNIS : HYDROBIOLOGIE ET ETAT DE POLLUTION

par

Mastouri Abderrazak*, Amara Habib**
Dridi Khémaïs** et Akrouf Fourat*

Institut National des Sciences et Technologies de la Mer

28, rue 2 mars 1934 - 2025 Salammbô. Tunisie

** Laboratoire de pollution chimique

* Laboratoire d'Hydrobiologie

ملخص

تهدف هذه الدراسة الخاصة ببحيرة تونس الجنوبية الى معرفة تأثير حركة المد والجزر على الخصائص الهيدروبيولوجية بالاضافة الى تحديد فترة تقلص الاوكسيجن وتقييم مستوى التلوث المعدني في الرواسب الوحلية وسمك "البوري".
وقد اثبتت النتائج الحاصلة بان البحيرة تشكو من عدة مشاكل بيئية حادة وهي بصدد فقدان وظيفتها كنظام بيئي حيوي للشراوات البيولوجية التي تزخر بها.
وتعتبر هذه الوضعية المخيرة نتيجة حتمية لتفاعل وتزامن عدة عوامل من بينها بالخصوص القاء النفايات الصناعية بدون اية معالجة، بلوغ الاملاح المغذية والمواد العضوية مستويات عالية جدا واخيرا ضعف سيلان المياه بين البحيرة والبحر.

Résumé

Cette étude spécifique au lac Sud de Tunis vise à connaître l'évolution des paramètres hydrobiologiques en fonction de la marée, à déterminer la période d'effondrement de l'oxygène et à estimer le niveau de contamination des sédiments superficiels et de mulets (*Mugil cephalus* et *M. labrosus*) par certains métaux lourds.

Les résultats obtenus confirment le fait que le lac sud de Tunis est en train de perdre sa vocation en tant qu'un écosystème vital pour la faune et la flore, qui s'y trouvent. Cette situation est la résultante de plusieurs facteurs, dont notamment les effluents industriels rejetés dans le lac sans le moindre prétraitement, les problèmes d'eutrophisation et de pollution organique et enfin la très faible circulation de l'eau entre le lac et la mer.

Mots clés : Lac Sud de Tunis, paramètres physico-chimiques, pollution organique, chlorophylle a et métaux lourds.

Abstract

The purposes of this work on the Tunis south lake are to study the evolution of hydrobiological parameters in term of the tide, to determinate the time of oxygen breaking down and to estimate pollution level caused by some heavy metals in sediments and fish (*Mugil cephalus* and *M. labrosus*).

The obtained results show that the Tunis south lake is loosing its vocation as being a vital ecosystem for faun and flora which live inside. This situation is the consequence of the coexistence of many factors, principally the industrial sewages, the eutrophication, the organic pollution and the very low water circulation between the lake and the sea.

Key words : South lake of Tunis, physical and chemical parameters, organic pollution, chlorophyll a and heavy metals.

I - CONSIDERATIONS GENERALES

1) Introduction

Le lac de Tunis prolonge le golfe de Tunis, dont il est séparé par un cordon littoral allant de l'oued Meliane" aux collines de Carthage. Il est divisé en deux parties nord et sud par un canal créé par l'homme à la fin du 19 ème siècle.

Au cours des années la superficie du lac sud de Tunis a diminué. Elle est passée de 2000 ha en 1985 à 1300 ha au début des années 70 (Zaouali, 1971). Selon Björk (1972), le lac sud de Tunis couvre 1220 ha.

Situé juste en dessous du 37 ème parallèle, le lac sud de Tunis est soumis à un climat tempéré sec. Il communique directement avec la mer par un seul canal traversant la route du côté de la STEG (Société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz) sise à Radès.

D'autres ouvertures existant en bordure du canal de navigation ne représentent que des points d'arrivée d'une eau de mer déjà modifiée du point de vue physico-chimique. La profondeur moyenne du lac est très faible et se situe aux environs de 90 cm (Zaouali, 1971).

A l'heure actuelle, le lac sud de Tunis communique avec le canal de navigation à travers quatre chenaux. Sur trois d'entre eux l'ONP (Office National des Pêches) a installé des pêcheries fixes (bordigues). La quatrième pêcherie fixe exploitée par cet organisme est implantée dans la partie amont du canal reliant directement le lac à la mer (carte n° 1).

Ces pêcheries permettent la capture de poissons surtout au moment où ils s'apprêtent à sortir du lac pour aller pondre en mer.

Enfin, il est à signaler que le lac sud de Tunis constitue un biotope favorable à la croissance de certains poissons tels que : anguilles, muges, daurades et loups. Ceux-ci entrent dans le lac sous forme d'alevins. Après une croissance plus ou moins longue et suite à la maturation de leurs gonades, ils vont essayer de migrer vers la haute mer, afin de s'y reproduire.

2) Particularités hydrologiques

Le lac sud de Tunis a toujours constitué dans sa partie ouest un lieu de rassemblement des eaux usées qui, étant rejetées avant 1982 dans le lac nord, s'écoulaient vers le canal de navigation, puis pénétraient le lac sud par les canaux de communication.

Après, l'installation des vannes dans le lac nord et le détournement des eaux usées et pluviales vers le canal de navigation, le lieu de rassemblement précité s'est étendu sur presque la totalité du lac sud.

Les travaux d'aménagement ci-dessus décrits ont eu de larges répercussions sur les caractéristiques physico-chimiques du lac sud, à savoir la salinité et la température. Les valeurs de salinité et de température oscillent respectivement de 33,6‰ à 36,8‰ et de 26°C à 27°C. Les eaux du lac sud comparées à celles du lac nord et du canal de navigation, sont moins salines et moins chaudes pendant l'été.

D'autre part, l'observation dans le lac sud d'une masse d'eau généralisée, tantôt hypohaline et chaude (33,6‰, 27°C) tantôt relativement plus saline et plus froide (36,8‰, 26°C), démontre que ce lac constitue un milieu de balancement de deux catégories d'eaux différentes, rappelant dans le premier cas les eaux usées urbaines et pluviales et dans le second cas les eaux marines. Le phénomène peut être expliqué par l'entrée dans le lac sud des eaux usées du grand Tunis à travers les ouvertures existant à l'ouest entre le lac et le port de commerce de Tunis.

Par ailleurs, la fermeture par les vannes coulissantes des points d'échange d'eau entre le lac nord et le canal de navigation, d'un côté, et la formation au milieu de ce dernier d'un front ayant une colonne d'eau assez profonde (7 m), empêchent toute avancée vers la mer des eaux usées domestiques à caractéristiques physico-chimiques différentes. Ainsi, de telles eaux sont rassemblées en surface dans la zone ouest du canal de navigation, puis s'écoulent d'une façon spécifique à travers les ouvertures dans le lac sud. En raison de la faible profondeur du lac sud, l'écoulement devenant spécifique en surface, en période de temps calme, permet aux eaux urbaines de se substituer, en grande partie, aux eaux lagunaires.

L'observation sur de grandes étendues d'eau de faible salinité, très turbide et de couleur brun et marron indique bien la présence des eaux usées du grand Tunis dans le lac sud (Belkhir et Hadj Ali Salem, 1983).

Enfin, selon Baier et al (1977), en considérant l'hypothèse du mélange complet des eaux qui entrent avec celles du lac, il est possible d'estimer le temps moyen nécessaire au renouvellement des eaux du lac. Un chiffre de huit jours a été avancé.

3) Vulnérabilité du site

Vu la faible profondeur (1,5 m au maximum) du lac sud de Tunis, la quantité très importante d'effluents organiques qui s'y déversent et le fort ensoleillement, l'activité photosynthétique dans ce milieu ne peut être que florissante. Il en résulte une augmentation extraordinaire de la production primaire.

Cette augmentation est engendrée non seulement par le phytoplancton, mais aussi par le phytobenthos dont notamment *Ulva lactuca* et *Enteromorpha* (Pillai, 1975).

La décomposition des matières organiques endogènes et exogènes, qui devient plus intensive durant l'été, a pour effet l'épuisement de l'oxygène disponible. Ce phénomène peut générer des conditions d'anoxie et être ainsi la cause principale d'une mortalité plus au moins massive de poissons et d'autres animaux. A titre indicatif, ce genre de problème a été observé dans le lac sud en juillet 1992 et en août 1994.

4) Caractéristiques physico-chimiques

En raison de la très faible profondeur du lac sud (de l'ordre de 1m en moyenne), de la température de l'eau pouvant dépasser les 30°C en été et de l'ensoleillement fort, l'évaporation est importante. Il en résulte une diminution de solubilisation de l'oxygène de l'air dans l'eau et un accroissement spectaculaire de salinité, qui peut atteindre en certains endroits au mois d'août, en particulier, 45 à 50‰ (Tritar, 1971).

L'étude de diagnostic réalisée sur le lac sud de Tunis à la demande de la société d'Etudes et de Promotion de Tunis Sud (1990) par SERAH et SOTINFOR (bureaux d'études) a permis de dégager les constatations suivantes :

- La température de l'eau est très faible et le fond est invisible à l'oeil nu partout dans le lac, la couleur de l'eau est marron-rougeâtre, ce qui fait que le disque de Secchi n'est plus perceptible à plus de 60 cm. On en déduit la forte turbidité marquant les eaux du milieu.
- La salinité de l'eau est assez faible (31‰) par rapport à celle du golfe de Tunis pendant la même période (36‰), ce qui prouve l'insuffisance d'échange d'eaux avec la mer, surtout à l'ouest (du côté de Tunis marine), où la salinité est la plus faible (30,7‰).
- Les teneurs en composés azotés et phosphorés présentent un gradient d'enrichissement croissant de l'est vers l'ouest.
- Les teneurs en azote et phosphore totaux représentent respectivement 3,5 à 22 fois celles du golfe de Tunis. Les concentrations en phosphates inorganiques et en phosphore total sont très élevées, du fait surtout d'une importante dilution à partir des sédiments et d'apports telluriques riches en phosphore.
- Les valeurs du pH enregistrées sont comprises entre 9.2 et 9.6, aussi bien à l'est, au centre qu'à l'ouest du lac sud.

5) Agressions anthropiques

Sous l'effet des eaux usées industrielles, les eaux pluviales et les eaux de ressuyages des décharges d'ordures ménagères, le lac sud de Tunis est sujet à une eutrophisation prononcée qui se manifeste par des crises dystrophiques fréquentes, notamment en période estivale. Celles-ci s'accompagnent d'émanations d'odeurs nauséabondes suite à une forte mortalité de la faune et de la flore.

Les berges et les eaux du lac présentent un aspect très désagréable, ce qui a entraîné une désaffectation totale du plan d'eau. Quant à l'étude préliminaire pour l'élimination des rejets industriels dans le lac sud de Tunis (SEPTS, 1994), elle indique que son bassin versant abrite :

- 337 unités industrielles (72%) susceptibles d'être raccordées directement au réseau d'assainissement public.
- 103 unités industrielles (22%) nécessitant un prétraitement simple (désuilage, décantation, dégraissage....).
- 30 unités industrielles (6%) génératrices d'une qualité d'eau nécessitant un traitement poussé.

Pour l'interception des rejets hydriques industriels dans le lac sud de Tunis, l'étude précitée recommande le raccordement de 440 unités (94%) sur le réseau public d'assainissement, d'une part, et le traitement séparé des eaux usées issues de 30 unités considérées hautement polluantes, étant donné qu'elles déversent des eaux très chargées en métaux lourds et pesticides.

Ainsi, eu égard aux multiples pollutions hydriques et solides, dont le lac sud de Tunis fait l'objet, et de par les faibles échanges d'eau qu'il peut avoir avec le golfe de Tunis, la dépollution et la restauration de cet écosystème sont devenues plus que jamais une nécessité impérieuse admise unanimement. Il y va de l'amélioration du cadre de vie pour les populations riveraines, ainsi que de la mise en valeur durable du site en question.

II - PRESENTATION DE L'ETUDE

1) Contexte et objectifs

Le développement durable du district de Tunis passe inéluctablement par une gestion écologiquement rationnelle du lac de Tunis et ses berges.

De par son importance socio-économique considérable et stratégique, cet espace lagunaire avait fait l'objet, durant la période 1982-1986, des grands travaux d'assainissement et de restauration dans sa partie nord, qui connaissait auparavant des crises dystrophiques estivales, se traduisant le plus souvent par un dégagement de sulfure d'hydrogène (H_2S) et une mortalité spectaculaire de poissons et d'autres animaux..

Eu égard aux résultats concluants des travaux sus-indiqués et à la prise de conscience, manifeste à tous niveaux vis-à-vis des problèmes environnementaux, une attention particulière est accordée depuis 1989 à la dépollution et à la mise en valeur du lac sud de Tunis, lequel demeure jusqu'à présent menacé par tant d'agressions anthropiques et naturelles.

En préalable à tout schéma d'aménagement et de restauration du lac, il est impératif de connaître ses caractéristiques hydrobiologiques et d'actualiser certains indicateurs de pollution dans cet écosystème vital et hautement stratégique pour le développement socio-économique des gouvernorats de Tunis et de Ben Arous, en particulier.

C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude, dont la finalité n'est autre que la contribution à la quête des solutions appropriées aux problèmes chroniques et conjoncturels, auxquels se heurte le site en question.

2) Méthodologie

Dix stations couvrant l'ensemble du lac sud de Tunis ont été étudiées (carte n°2). Elles correspondent au centre et aux endroits sensibles, de par leur emplacement en face des pêcheries fixes (bordigues n° 4,7,5 et 3), des zones industrielles (de Radès, de Megrine et de Tunis marine), du "Sebkha" et près du port de commerce de Radès.

Les données recueillies se rapportent à trois missions de terrain effectuées les 26/09/1994 à base de mer, 28/09/1994 en pleine mer et 03/10/1994. Cette dernière, qui s'est déroulée sur un cycle de 24 heures, a été consacrée à l'analyse du comportement de l'oxygène dissous, au centre du lac. Pour ce faire, on a opté pour une fréquence d'une heure durant la période de 1h à 7h et de 3h pour le reste du cycle, à cause des passages nuageux assez fréquents pendant la journée du 03/10/1994.

Pour les deux premières missions, les données recherchées concernant la chlorophylle a, le phosphore minéral ($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$), le phosphore total (PT), l'ammonium ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), les nitrites ($\text{NO}_2^-\text{-N}$), les nitrates ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), l'azote total (NT), la demande chimique en oxygène (D.C.O.), l'oxygène dissous (O_2), les sulfates (SO_4^{2-}), le pH, la salinité (S‰), la température et la transparence.

Compte tenu des très faibles profondeurs du site d'étude (de l'ordre de 1 m en moyenne) et abstraction faite de la transparence, tous les paramètres retenus ont été déterminés dans les eaux superficielles (entre 0 et 50 cm au maximum).

La température et la transparence ont été mesurées in-situ, moyennant respectivement deux thermomètres (à renversement et ordinaire gradués au 1/10 de °C) et un disque de Secchi de 20 cm de diamètre.

Pour les besoins des prélèvements et des mesures faits lors de trois missions de terrain précitées, l'INSTM (Ex-INSTOP) et l'ONP ont mobilisé une barque à rames et deux embarcations motorisées (équipées de moteur hors-bord).

Du point de vue analytique, le pH et la salinité ont été évalués respectivement à l'aide d'un pH-mètre numérique et d'un réfractomètre. La chlorophylle a et les composés aussi bien azotés que phosphorés ont été dosés colorimétriquement au moyen d'un spectrophotomètre UV-visibles (marque Beckman Acta C III). La détermination de l'oxygène dissous a nécessité le recours à la méthode chimique dite de Winkler. Afin de déduire les taux de saturation correspondant aux teneurs obtenues par cette méthode, on s'est référé à la table océanographique de l'UNESCO, laquelle indique la quantité d'oxygène soluble à saturation en fonction de la température et de la salinité. Pour la chlorophylle a, on a opté pour la méthode spectrophotométrique basée sur l'extraction avec de l'acétone à 90%. soit la méthode de Lorenzen. La D.C.O. et les sulfates ont été analysés par des méthodes volumétriques, suite à des réactions chimiques appropriées. Les solutions titrantes y respectives sont le thiosulfate de sodium et le sulfate de sodium (Rodier, 1975 et 1985 ; F.A.O., 1975 ; Klaus, 1976 ; Aminot et Chaussepied, 1983).

Par ailleurs, vu la nature des industries sans cesse florissantes sur le bassin versant du lac sud de Tunis et plus précisément au niveau des zones industrielles de Bir El Kassaâ 1 et 2, Ben Arous, Megrine, Radès, Djebel Djelloud et Tunis Marine (SEPTS, 1994), on s'est limité à l'analyse des métaux lourds les plus rejetés dans le milieu, à savoir : le cadmium, le plomb, le cuivre et le nickel totaux, dans des sédiments superficiels et de mulets (*Mugil cephalus* et *M. labrosus*).

Ces éléments traces ont été dosés selon la méthode de référence recommandée par UNEP/FAO/IAEA/IOC (1984). Elle repose sur l'usage d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (marque Varian) munie d'un four à graphite. Les sédiments analysés ont été prélevés, à partir des 20 premiers cm du fond, moyennant une benne aux stations n° 2, 3, 6, 8, 9 et 10. Il s'agit là des stations, pour lesquelles les fractions de 100 µm récupérées après séchage à 40°C, pendant une semaine, ont été dosables. Ils ont été essentiellement vaseux et générateurs d'odeur très désagréable.

Quant à l'échantillonnage biologique destiné à ce genre d'analyses, il a été effectué le même jour, au niveau des bordigues n°3, 7 et au milieu du lac. Il a concerné le genre de poissons le plus pêché à savoir le mulot (*Mugil*). Les métaux lourds retenus ont été quantifiés, dans différentes parties du corps de ce poisson.

3) Résultats et discussions

3.1) Investigations de terrain (tableaux n° 1 et 2)

Les températures moyennes de l'eau, toutes stations confondues, ont atteint 29,45°C à basse mer et 27,26°C en pleine mer. Elles ont été tributaires des températures moyennes enregistrées pour l'air à basse mer (30,17°C) et en pleine mer (27,78°C). Dans les deux cas, l'écart thermique entre l'eau et l'air était inférieur à 0,73°C.

La température maximale (29,70°C) relevée à la station n° 1 est due à l'influence des eaux assez chaudes rejetées par la STEG et pénétrant dans le lac, en pleine mer. Mais faute d'hydrodynamisme important, cette influence n'a intéressé qu'une aire très limitée, à savoir la partie amont du canal reliant directement le lac à la baie de Tunis.

Un gradient croissant de turbidité a été détecté du nord vers le sud et de l'est vers l'ouest. La teinte brune de l'eau était très prononcée aux stations n° 9 et 4. L'eau la plus turbide est celle observée au niveau de la station n° 4. En effet, le disque de Secchi n'y était plus visible au delà de 15 cm.

Quant à l'eutrophisation, elle s'est faite sentir avec acuité au niveau de la "Sebkha", située entre les zones industrielles de Radès et de Megrine, comme le montre l'accumulation de macroalgues en surface, dans ce secteur.

Par ailleurs, il est à signaler que l'amplitude de marée, enregistrée lors de la mission du 03/10/1994, était de l'ordre de 10 cm, en moyenne.

3.2) Oxygène dissous (figure n° 1)

Les teneurs y afférentes ont accusé une diminution continue entre 2h et 5h du matin. Il s'agit, en fait, de la période critique où l'anoxie du milieu peut se produire, quand les quantités d'oxygène disponibles n'arrivent pas à satisfaire les besoins respiratoires de la faune et de la flore du site, durant la nuit en particulier. Les concentrations minimales (0.7 ml/l) et maximales (3.3 ml/l) ont été respectivement obtenues à 5h et 13h.

Par ailleurs, il ressort des résultats relatifs à l'oxygène dissous (tableaux n°3 et 4), que les teneurs moyennes y afférentes étaient de l'ordre de 3,6 ml/l à basse mer et de 5,3 ml/l en pleine mer.

Un tel écart (1,7 ml/l) dénote l'importance du rôle des courants de marée dans l'oxygénation des eaux du lac.

Toutes ces constatations permettent de déduire que le lac sud de Tunis souffre d'une déficience en oxygène. Ce déficit est favorisé surtout par une stabilité d'eau et une importante dégradation bactérienne des organismes phytoplanctoniques et phytobenthiques, qui y prolifèrent de façon intense au printemps et en été. La forte turbidité de l'eau ne fait qu'inhiber la photosynthèse et aggraver, par conséquent, le problème de désoxygénation des masses d'eau dans le lac.

3.3) Autres paramètres (tableaux n° 3 et 4)

3.3.1.) Chlorophylle a

Les stations n° 4, 5, 8, et 9 présentaient les concentrations en chlorophylle a les plus importantes (supérieures à 65 mg/m^3). Les conditions biotiques y étaient favorables à un développement important du phytoplancton. Ceci s'est traduit par une teinte brunâtre voire très brune de leur eau.

En cas de persistance d'un climat excessivement chaud, la biomasse phytoplanctonique disponible subira une intense décomposition bactérienne, qui a pour conséquences l'épuisement de l'oxygène dissous et l'accroissement du niveau de pollution organique.

Quant aux concentrations moyennes spécifiques à la basse mer et à la pleine mer, elles étaient respectivement de $50,5 \text{ mg/m}^3$ et $46,7 \text{ mg/m}^3$. L'écart résultant ($3,8 \text{ mg/m}^3$) n'est pas révélateur d'un brassage important des eaux du lac avec celles provenant de la mer.

3.3.2) Sels nutritifs

A la lumière des concentrations moyennes relatives aux sels nutritifs analysés (ammonium, nitrates, nitrites et phosphates inorganiques) aussi bien à basse mer qu'en pleine mer, on peut dire que le lac sud de Tunis constitue un écosystème eutrophisé. L'enrichissement du milieu en ces nutriments est dû en grande partie aux effluents eutrophisants de certaines unités industrielles installées sur les berges du lac. Les teneurs moyennes en ammonium et en nitrates étaient respectivement de 4,26 et $2,46 \mu\text{atg/l}$ à basse mer contre 3,68 et $2,66 \mu\text{atg/l}$ en pleine mer, alors que pour les nitrites et le phosphore minéral, les concentrations moyennes y afférentes étaient respectivement de 1,07 et $3,35 \mu\text{atg/l}$ à basse mer contre 1,16 et $3,33 \mu\text{atg/l}$ en pleine mer.

Les eaux provenant du canal de navigation contribuent aussi à l'eutrophisation du milieu. Les teneurs les plus élevées pour tous les éléments considérés ont été rencontrées dans la partie ouest du lac.

Malgré leur consommation accrue par les algues microscopiques et macroscopiques, qui s'étaient développées intensément en période estivale, l'ammonium et les nitrites étaient présents à des teneurs relativement importantes (supérieures à $1 \mu\text{atg/l}$), pour l'ensemble des stations.

3.3.3) Indicateurs de pollution

3.3.3.1) Pollution organique

Les teneurs moyennes respectives à la D.C.O. (14.5 mg/l), à l'azote total ($97.8 \mu\text{atg/l}$) et au phosphore total ($17.1 \mu\text{atg/l}$), témoignent de l'importance du niveau de pollution organique dans le lac.

Ces indicateurs ont atteint des valeurs exceptionnelles aux stations n° 4, 5 et 9. Celles-ci correspondent donc aux endroits les plus pollués organiquement, à savoir le nord-est et l'ouest du lac.

3.3.3.2) Pollution métallique (tableaux n° 5 et 6)

Les métaux lourds préconisés sont connus pour être des poisons cumulatifs et donc très toxiques, en raison des préjudices qu'ils occasionnent à la santé humaine, par accumulation progressive et irréversible dans les tissus de l'organisme (du consommateur), suite à l'ingestion renouvelée de petites quantités.

D'après les résultats acquis et se rapportant à un petit nombre de mullet, on s'aperçoit que les éléments dosés y sont présents à des teneurs nettement inférieures aux seuils limites (maximales) tolérés par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) et qu'ils sont, également, accumulés de préférence et en grande partie dans le foie.

On constate, d'autre part, que les concentrations les plus importantes ont concerné les mullets échantillonnés au niveau de la bordigue n° 7, qui est installée dans la partie nord-ouest du lac. Ceci ne semble pas être surprenant, étant donné que cette partie est soumise à l'influence des eaux provenant de la partie ouest du canal de navigation, où se trouve le port de commerce de Tunis, ainsi qu'à celle des rejets issus des zones industrielles de Tunis marine et de Djebel Djelloud.

Dans l'ensemble, les valeurs obtenues sont très faibles. Ceci pourrait être expliqué par le fait que les poissons analysés séjournèrent dans le lac, depuis un temps relativement court.

En ce qui concerne les sédiments, on y a relevé des concentrations très élevées, pour l'ensemble des stations et en particulier celles n° 6, 8 et 9. On en déduit que les sédiments du centre, du nord-est et du nord-ouest ont un niveau de pollution métallique plus important que ceux du reste du lac. De même il est à signaler que les sédiments du lac sud présentent des teneurs en cadmium, cuivre et plomb comparables à celles obtenues dans les sédiments du lac nord, avant que ce dernier

fasse l'objet des travaux d'assainissement et d'aménagement, à partir de 1982 (INSTOP/EPA, 1977).

En comparaison avec les résultats enregistrés dans le cadre des programmes "MED-POL", respectifs aux années 1991, 1992 et 1993, on constate que les sédiments superficiels du lac sud de Tunis sont plus contaminés par le cadmium et le plomb que ceux prélevés à l'est du canal de navigation et dans le petit golfe de Tunis.

3.3.4) Sulfates

Les concentrations moyennes sont estimées à 2,24 g/l à basse mer et 0,02 g/l en pleine mer. L'écart y afférent n'est pas significatif.

Les eaux les plus chargées en sulfates sont celles de la station n° 2. Ceci laisse supposer que les apports issus de la zone industrielle de Radès sont riches en soufre. Par contre, les teneurs les plus faibles (inférieures à 1,5 g/l) ont été relevées aux stations n° 4, 5 et 9. Il en ressort que l'activité des bactéries réductrices de sulfates est assez importante dans ces endroits de très faibles profondeurs, où l'eau est pratiquement quasi stagnante et où débouchent des apports telluriques (industriels et urbains), sans le moindre traitement préalable.

3.3.5) pH et salinité

Le lac sud de Tunis est caractérisé par un pH à tendance basique assez nette. Les valeurs moyennes enregistrées étaient de 9,19 à basse mer et 9,10 en pleine mer. Les stations n° 4, 5 et 9 détenaient les valeurs du pH les plus élevées. Ces valeurs exceptionnelles (oscillant entre 9,22 et 9,62) reflètent surtout l'importance du niveau de pollution organique atteint par le lac dans ses parties nord-est et ouest.

Par ailleurs, pour l'ensemble des stations, on constate que le brassage des eaux du lac avec celles du golfe de Tunis en pleine mer, n'était pas suffisant pour ramener le pH à des valeurs proches de la normale (8,2).

Quant à la salinité, les valeurs moyennes y afférentes s'élevaient à 37,2‰ à basse mer et 36,0‰ en pleine mer, accusant ainsi une différence de 1,2‰. Il en ressort que ce paramètre ne subit pas de grandes variations sous l'action du régime hydrologique auquel le lac est actuellement soumis.

4) Conclusions et recommandations

Au terme de la présente étude, on peut dire que la situation du lac sud de Tunis est alarmante et risque d'être catastrophique, si le site en question est abandonné tel qu'il est encore quelques années, sans faire l'objet d'un plan de dépollution et de restauration de grande envergure.

En effet, l'analyse des résultats acquis met en exergue la grande vulnérabilité de l'écosystème, en raison des problèmes environnementaux (chroniques et conjoncturels), dont il souffre. Il s'agit essentiellement d'eutrophisation, de pollution organique, de déficience en oxygène dissous, de stagnation des eaux, d'envasement des fonds et de turbidité des eaux. Ces problèmes touchent

l'ensemble du lac et en particulier ses parties nord-est, ouest et la "Sebkha" (située entre Megrine et Radès).

Les écarts enregistrés entre les résultats afférents à la basse mer et à la pleine mer sont faibles, pour l'ensemble des paramètres et toutes stations confondues. Ceci montre bien que les échanges d'eaux entre le lac et la mer sont très réduits.

D'autre part, les résultats d'analyses portant sur les métaux lourds retenus, montrent que les sédiments superficiels du lac sud de Tunis constituent une source potentielle de pollution métallique

pour la faune et la flore. Les sédiments les plus contaminés sont ceux qui proviennent du nord-est, du nord-ouest et du centre du lac. Il en ressort, également, que les polluants quantifiés sont accumulés dans les mulets à des teneurs très largement en dessous des seuils tolérés par l'OMS. Cette bioaccumulation semble être proportionnelle à la durée de séjour des poissons dans les secteurs les plus pollués du lac.

Quant à la résolution des problèmes, ici cernés, elle réside dans l'exécution du plan d'aménagement et d'assainissement arrêté par son Excellence Monsieur le Chef de l'Etat, lors du CMR (Conseil Ministériel Restreint) datant du 21/09/94, au profit du lac sud de Tunis. Néanmoins, la réalisation de ce plan nécessite la prise d'un certain nombre de mesures d'accompagnement destinées à limiter les effets nuisibles, en raison surtout à la forte turbidité inhérente aux travaux de dragage. Il faudrait, également, empêcher l'entrée des eaux chaudes déversées par la STEG dans le lac. Pour le court terme, il est impératif de procéder au dragage du canal reliant directement le lac à la mer, ainsi qu'à l'évacuation des macroalgues au fur et à mesure qu'elles envahissent le plan d'eau du lac.

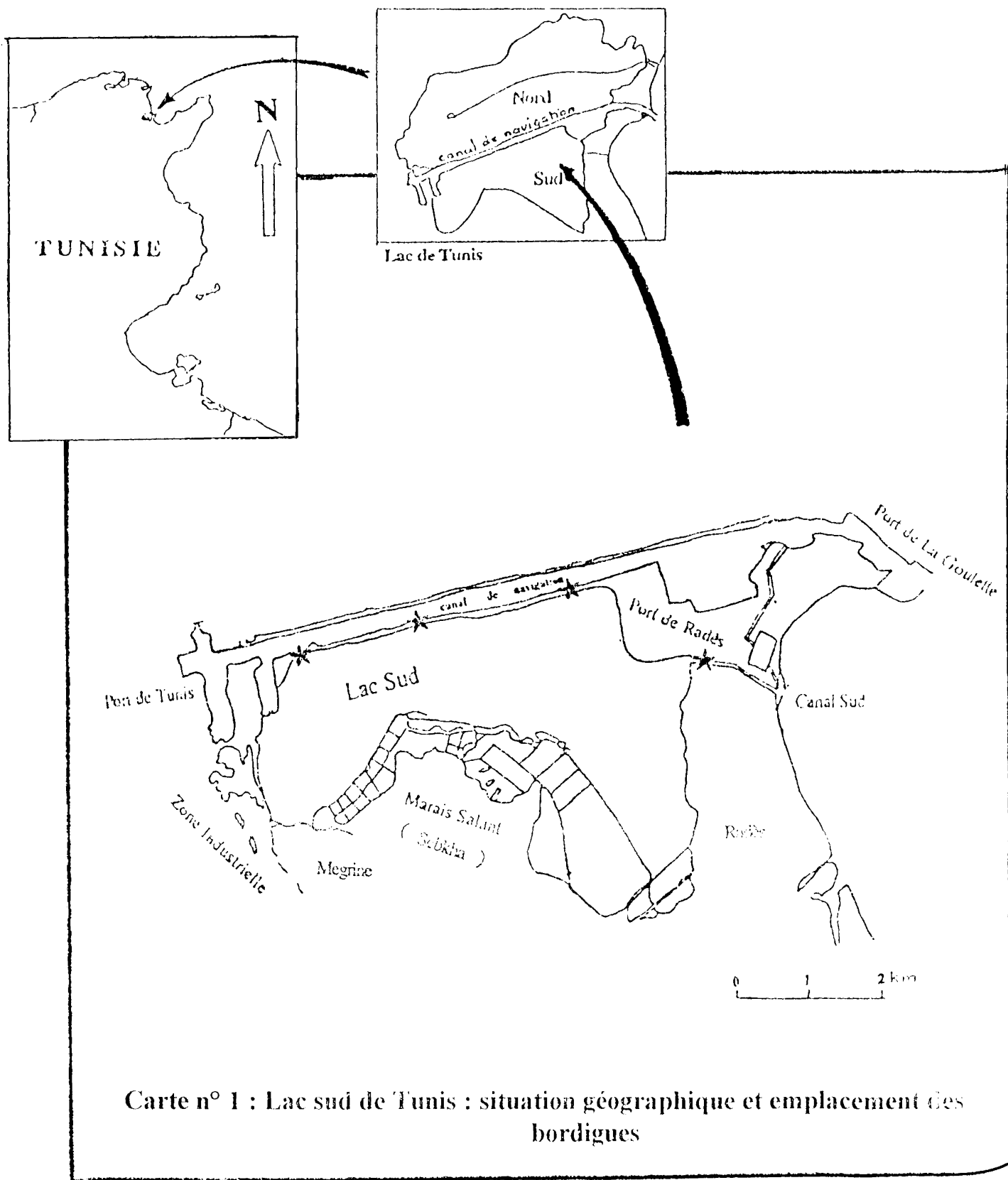
Enfin, cette étude a eu le mérite d'actualiser et de faire connaître certaines données hydrobiologiques et indicateurs de pollution spécifiques au lac sud de Tunis. De surcroît, il s'agit là d'une étude de référence sur la base de laquelle il sera possible d'appréhender l'évolution de l'écosystème, dans son ensemble, suite aux travaux d'assainissement et de restauration, qui y seront entrepris.

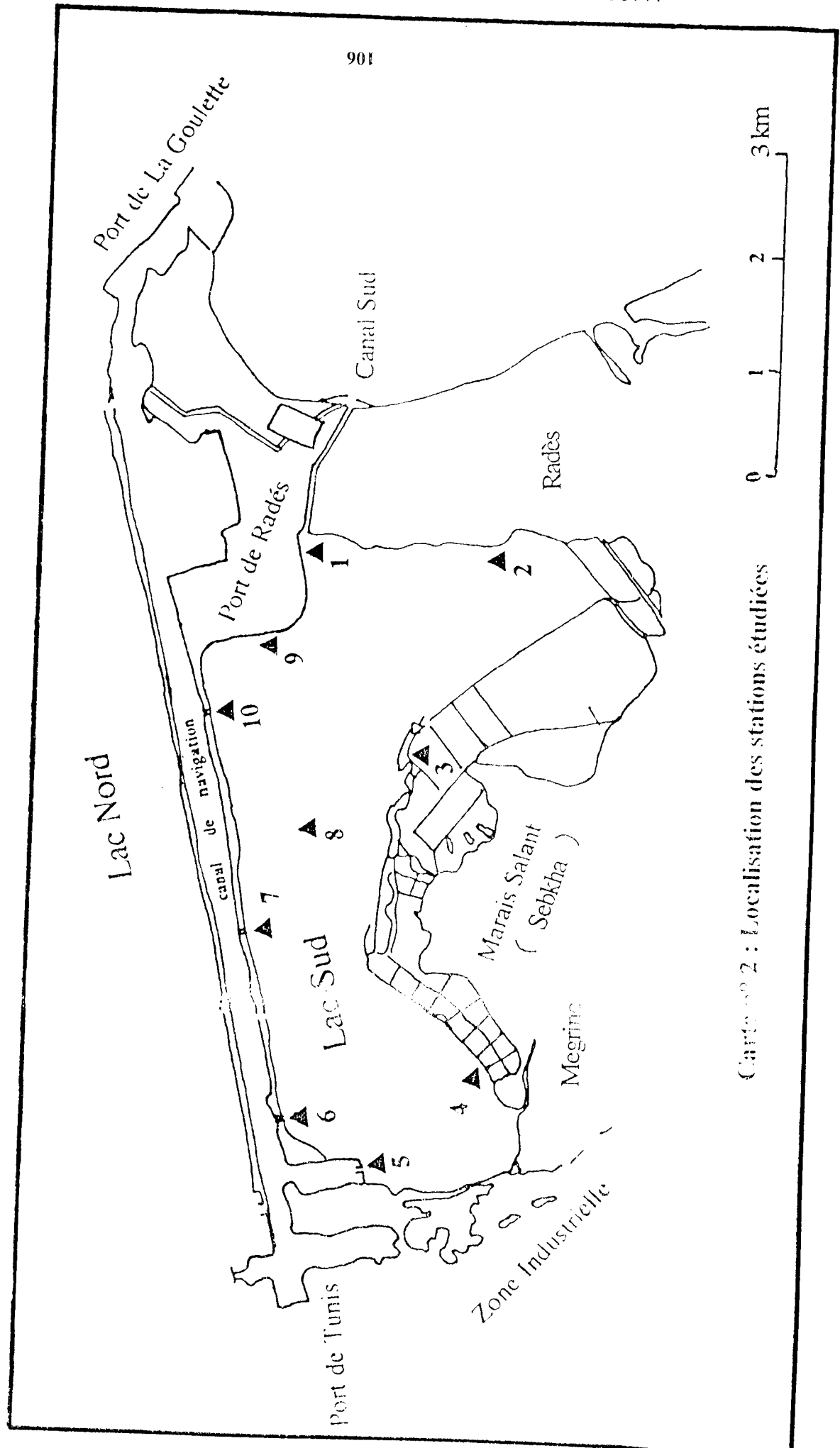
REMERCIEMENTS

Ce travail a été ordonné par Monsieur le Directeur Général de l'INSTM à la demande de Monsieur le Gouverneur de Ben Arous, suite au problème de mortalité affectant de façon spectaculaire la faune du lac sud de Tunis en août 1994. Il nous est très agréable de leur adresser ici notre profonde gratitude.

Nos vifs remerciements sont également adressés à mes collègues Mouldi Brahim et Khaled Sami pour leur participation à la mission de terrain du 26/09/1994.

Nous ne pouvons, enfin, oublier de remercier vivement l'ONP et la SEPTS pour respectivement le soutien logistique et la documentation qu'ils nous ont fournis.





Carte n° 2 : Localisation des stations étudiées

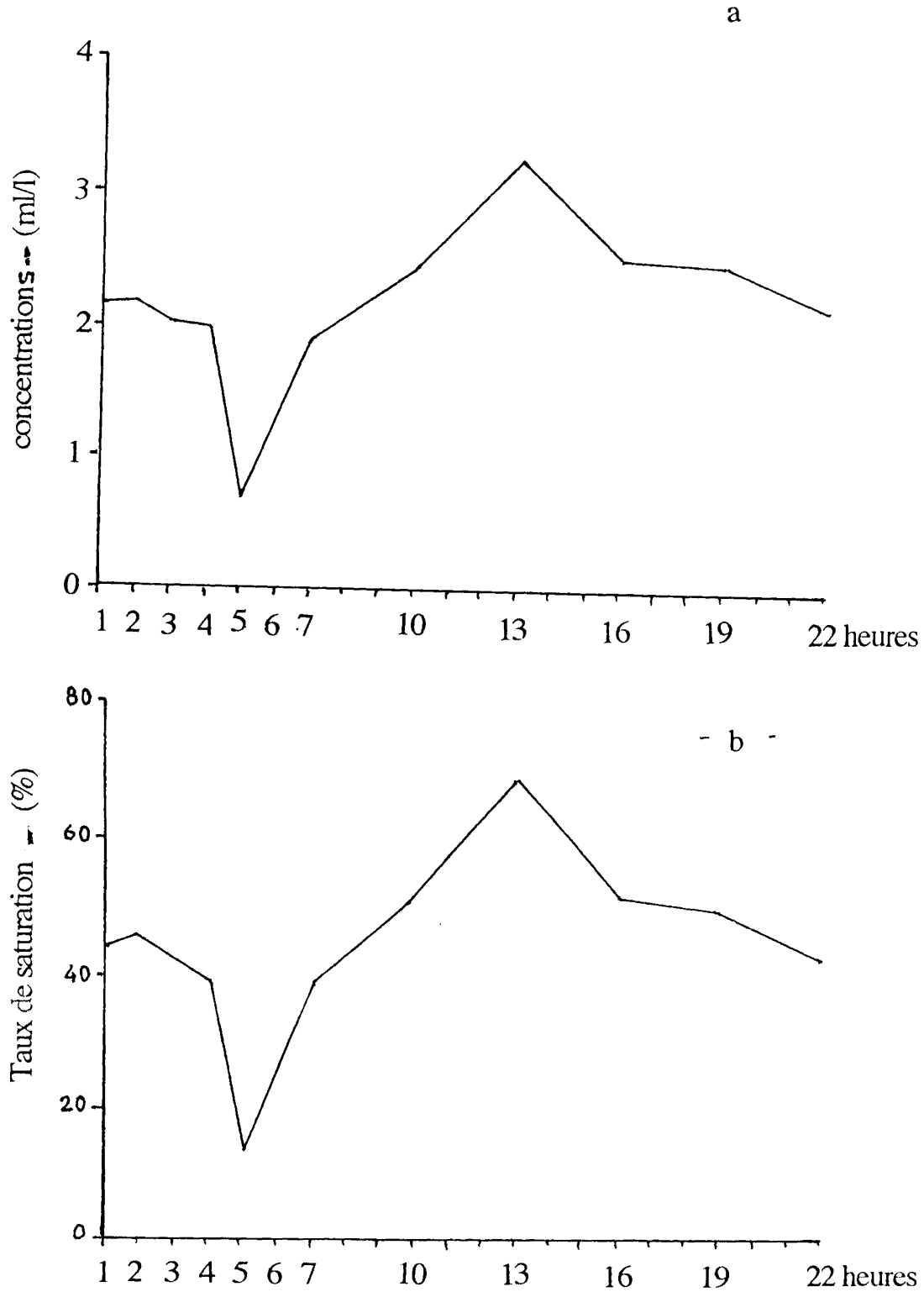


Figure n° 1 : Fluctuations des teneurs en oxygène dissous (a) et des taux de saturation y afférents (b).

Tableau n° 1 : Résultats afférents aux mesures faites in-situ lors de la mission du 26/09/1994 (à basse mer)

Station n°	Profondeurs (cm)	T ° C de l'air	T ° C de l'eau	Transparence (cm)	Observations
1	30	30	29,5	20	eau brunâtre
2	40	30	29,6	fond visible	Enteromorpha, Ulva et coquillage perceptibles sur le fond, eau assez claire
3	25	30,2	29,8	fond visible	fond sablo-vaseux, algues très ou moins dégradées flottant en surface, eau assez claire
4	60	30,4	30	10	eau très brune, stagnante et dégageant une odeur nauséabonde
5	60	30,5	29,7	25	eau brune et dégageant une odeur nauséabonde
6	65	30,3	29,5	35	eau sortant du lac via la bordigue n° 7
7	70	30,3	29,4	40	eau sortant du lac via la bordigue n° 5
8	90	30,2	29,7	35	eau brunâtre
9	60	30	29,8	25	eau brune et stagnante
10	70	29,8	27,5	40	l'inversion du courant d'eau entre le lac et le canal de navigation s'est fait sentir au niveau de la bordigue n° 4

Tableau n° 2 : Résultats afférents aux mesures faites in-situ lors de la mission du 28/09/1994 (en pleine mer)

Stations	Profondeurs (cm)	T° C de l'air	T° C de l'eau	Transparence (cm)	Observations
10	80	28,2	27,6	60	eau sortant dans le lac via la bordigue n° 4
9	70	28,2	27,9	30	eau brune et stagnante
1	40	28,1	29,7	25	température de l'eau avoisinant les 30 °C du fait des eaux de la STEG qui entraînent dans le lac eau brunâtre
2	45	28	27,8	fond visible	Enteromorpha, Ulva et coquillage perceptibles sur le fond eau assz claire
3	40	28	27,6	20	eau brune
4	70	28,1	27,2	15	eau très brune et assez stagnante, dégagement d'odeur très nauséabonde
5	70	27,6	26,9	30	eau brune, dégagement d'odeur nauséabonde, eau entrant dans le lac
6	80	27,6	26,2	35	eau entrant dans le lac via la bordigue n° 7
7	80	27,2	26	35	eau entrant dans le lac via la bordigue n° 5
8	110	26,6	25,7	40	eau brunâtre

N.B : Les stations sont classées dans l'ordre chronologique de leur étude

Tableau n° 3 : Résultats d'analyses correspondant à la mission du
26/09/1994

Station	Chlo.a mg/l ³	O ₂ ml/l	D.C.O mg/l	SO ₄ ²⁻ g/l	Composés azotés et phosphorés (µatg/l)						PH	S‰
					NH ₄ ⁺ N	NO ₃ ⁻ N	NO ₂ ⁻ N	NT	PO ₄ ³⁻ P	PT		
1	20.5	3.77	10.2	1.9	1.63	1.29	0.61	87.65	1.47	9.35	9.1	35.5
2	13.4	4.61	13.2	4.02	2.51	1.34	0.39	98.15	1.7	10.53	9.11	40
3	25.3	4.38	15.8	2.46	3.94	1.79	1.01	110.6	1.2	20.28	9.15	34.5
4	111	2.08	31.6	1.2	11.05	4.62	1.57	171.1	1.8	20.86	9.6	36
5	103	3.15	27.9	1.93	9.83	4.46	1.42	155.8	2.05	27.63	9.34	36.5
6	30.7	4.05	10.7	2.51	2.29	2.97	1.09	13.68	2.78	15.26	9.05	36
7	33.3	4.28	11.2	2.03	2.11	1.78	0.96	71.32	0.4	13.72	9.07	36.5
8	89.2	3.1	10.4	2.35	2.93	1.84	1.17	69.52	2.42	12.53	9.12	36
9	66	2.53	20.1	1.47	4.25	3.47	1.59	103.4	1.28	20.45	9.32	36.5
10	12.4	3.74	7.41	2.39	2.01	1.07	0.87	65.43	0.92	8.4	8.96	34.5
Moy.	50.5	3.57	15.9	2.23	4.26	2.46	1.07	100.7	1.35	16.5	9.19	37.2

Tableau n° 4 : Résultats d'analyses correspondant à la mission du
28/09/1994

Station	Chloro.a mg/m ³	O ₂ ml/l	D.C.O mg/l	SO ₄ ⁼ g/l	Composés azotés et phosphorés (µatg/l)						PH	S‰
					NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	NT	PO ₄ ⁼ -P	PT		
1	17,62	5,45	8,92	1,79	1,25	0,94	0,57	83,6	0,9	9,21	8,95	38
2	11,37	6,78	12,63	3,76	2,15	1,32	0,31	95,25	0,67	10,09	9,09	39,5
3	23,4	5,03	15,09	2,31	3,86	1,53	0,97	105,01	2,91	19,82	9,07	35,5
4	98,44	3,51	29,74	0,998	10,93	4,01	1,38	165,2	3,07	30,01	9,55	36
5	101,08	5,93	24,55	1,23	7,11	5,42	2,73	160,73	3,55	28,34	9,27	34,5
6	27,36	5,52	9,28	2,45	2,14	2,85	0,97	71,92	3,02	16,2	8,96	36
7	30,45	5,71	9,73	1,94	2,06	2,18	1,07	69,52	1,83	14,67	8,94	35
8	87,93	5,23	9,15	2,4	2,1	2,89	1,17	63,24	2,4	12,63	9,03	35,5
9	60,27	4	18,9	1,36	3,47	3,05	1,59	101,34	3,1	19,77	9,22	37
10	9,22	6,67	6,97	2,19	1,73	2,45	0,85	65,87	0,87	10,41	8,9	34
Moyennes	46,71	5,38	14,5	2,04	3,63	2,66	1,16	97,77	2,33	17,12	9,1	36

Tableau n° 5 : Concentrations en µg/kg du poids frais de mulets

<i>Stations</i>	<i>Partie du corps analysée</i>	<i>Cadmium</i>	<i>Plomb</i>	<i>Cuivre</i>	<i>Nickel</i>	<i>Observations</i>
Bordigue n° 7	muscle	7,2 0,4	63 13	521 20	155 7	Kakulu et al. 1987
Bordigue n° 3	muscle	2,05 0,2	58,5 4,9	77,5 18	6,5 1,9	
Milieu du lac	muscle	2,5 0,4	40,5 2,1	146,5 13,4	132 13	
	Foie	7,8 1,3	186 9	4621 348	266 54	
	Branchie	2,2 0,1	650 16	1558 101	277,5 7,8	
Seuils OMS		2000	2000	30000		

Tableau n° 6 : Concentrations en mg/kg du poids sec de sédiments

Stations N°	nature d'échantillon	Cadmium	Plomb	Cuivre	Nickel	Observations
2	Fraction 100 µm	0,246 + 0,005	37,2 + 1,2	10,7 + 0,4	25,8 + 2,3	
3	"	0,132 + 0,005	25,5 + 0,4	12,3 + 0,4	16,2 + 0,3	
6	"	0,416 + 0,004	58,8 + 0,9	29,6 + 0,2	37,8 + 0,3	
8	"	0,845 + 0,007	77,7 + 1,2	38,2 + 0,1	59,7 + 1,4	
9	"	0,737 + 0,006	79,7 + 0,8	35,2 + 0,1	53,8 + 0,5	
10	"	0,26 + 0,005	26,1 + 0,2	18,8 + 0,2	24,5 + 0,2	
eaux intérieures	sédiments non pollués	0,11	19	33		Gesamp 1982
eaux marines	sédiments non pollués	0,2 - 5,0	8 - 60			Gesamp 1985, 1988

BIBLIOGRAPHIE

- AMINOT A. ET M. CHAUSSEPIED**, 1983 - Manuel des analyses chimiques en milieu marin. *CNEXO*. 395p.
- BAIER R., BELKHIR M., JOHNSON R., KEEN W. ET RILEY O.**, 1977 - Recherche sur l'eutrophisation du lac de Tunis : géologie, biologie, chimie et hydrologie - Volume II. *Inst. nat. scien. techn. océanogr. et Pêches-Salammbô et Agence Américaine pour la Protection de l'Environnement. EPA/INSTOP*.
- BELKHIR M. ET HADJ ALI SALEM M.**, 1983 - Notions d'hydrologie comparée dans le lac de Tunis et le golfe de Tunis. *Bull. Inst. nat. scien. techn. océanogr. Et Pêches-Salammbô*. Volume n° 10 : 5-26.
- BJRK S.**, 1972 - Projet de restauration du lac de Tunis (Etude exécutée sur la demande du Ministère de l'Agriculture). *Institution de Limnologie. Univer. de Lund*. Suède : 1-29.
- F.A.O.**, 1975 - Manual of methods in aquatic environment research. Part 1 -Methods for detection, measurement and monitoring of water pollution. FRI/T 137.
- GESAMP : IMO/FAO/UNESCO/WHO/IAEA/UNEP**, 1982, 1985 et 1986 - Atmospheric transport of contaminants into the mediterranean region. London. WHO.
- Kakula et al.**, 1987 - Toxicologie et sécurité des aliments ; technique et documentation. OMS.
- Klaus G.**, 1976 - Methods of seawater analysis. 317p.
- Pillai T. G.**, 1975 - Possibilités de l'aquaculture et développement de la pêche en eaux douce et saumâtre en Tunisie. *Bull. des Pêches* n° 2 (Ministère de l'Agriculture): 69-131.
- RODIER J.**, 1975 - L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod Technique. Paris. vol. 1. 630p.
- RODIER J.**, 1985 - L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer. 7^{ème} édition. Dunod. Paris. 1365p.
- SERAH et SOTINFOR**, 1990 - Etude d'aménagement du lac sud de Tunis : Campagnes des prélèvements de matériaux du fond et de mesure des paramètres physico-chimiques des eaux. 34p.
- SEPTS**, 1994 - Etude préliminaire pour l'élimination des rejets industriels dans le lac sud de Tunis. Rapport de synthèse. 22p.
- TRITAR B.**, 1971 - Etude expérimentale de la survie du genre Mugil en fonction de la teneur en oxygène dissous. *Bull. Inst. nat. scien. techn. océanogr. et Pêches-Salammbô*. 2 (2) : 209-215.

UNEP/FAO/IAEA/IOC, 1984 - Sampling of selected marine organisms and sample preparation for trace metal analysis. *Reference methods for marine pollution studie*. n° 7. UNEP, Athènes.

ZAOUALI J., 1971 - Etude de l'écologie du lac de Tunis et de la mer de Boughrara (Tunisie) : leurs peuplements malacologiques. Univer. de Caen. UER des Sciences de la vie et du comportement des êtres vivants. 121p.