

Caractéristiques du Lac Sud de Tunis après sa restauration

Characteristics of the South Lake of Tunis after restoration

Zied Jouini *, Rafik Ben Charrada **, Mahmoud Moussa *** 1

* SEPTS, 52 rue Ibn Charaf, 1002-Tunis, Tunisie

** IHE, 8 rue Habib Chrita, 2080-Ariana, Tunisie

*** ENIT, Labo. Hydraulique, BP 37, Le Belvédère, 1002-Tunis, Tunisie

1. Correspondant : Mahmoud.moussa@enit.rnu.tn

Abstract

Jouini Z., R. Ben Charrada et M. Moussa, 2005 [Characteristics of the South Lake of Tunis after restoration]. *Mar. Life*, 15 (1-2) : 3-11.

The South Lake of Tunis is a Mediterranean Lagoon located in the Southwest of the Gulf of Tunis, on the Eastern side of the city of Tunis. All wastewater of South Tunis used to be discharged into this Lake, which, as a consequence, had reached high levels of pollution and eutrophication. In order to solve this environmental problem, a large restoration project of the lake was undertaken and, since July 2001, when it was completed, the South Lake of Tunis has evolved into a new ecosystem.

The present work consists of a brief presentation of the Lake characteristics before the restoration project, and analysis of its ecological dynamic after intervention. Over a period of 24 months (from October 2001 to September 2003), a series of ecological measurements were conducted at 9 fixed stations, 6 of which were located in the South Lake and 3 stations in the Gulf of Tunis. These measurements, reported here, are concerned with the physical characteristics (salinity, dissolved oxygen, temperature) and quality of water (total phosphorus, mineral phosphorus, nitrite, nitrate, total nitrogen, chlorophyll-*a*, transparency, pH) as well as macro-alga biomass. All analyses showed an obvious improvement in water quality, a substantial decrease in the eutrophication level of the Lagoon water, thus confirming the positive impact of the restoration project.

KEY-WORDS :

Lagoon, Tunis, physico-chemical, nutrients, macro-algae.

Résumé

Jouini Z., R. Ben Charrada et M. Moussa, 2005 Caractéristiques du Lac Sud de Tunis après sa restauration. *Mar. Life*, 15 (1-2) : 3-11.

Le Lac Sud de Tunis est situé au fond du Golfe de Tunis et à proximité de la ville de Tunis. Les différents rejets terrigènes ont conduit à l'altération de l'équilibre biologique de ce lac et à un désastre environnemental. Pour remédier à cette situation, récemment, un grand projet de sa restauration a été réalisé et, depuis juillet 2001, ce lac est totalement transformé : nous sommes en présence d'un nouvel écosystème.

Dans ce travail, nous rappelons les principales caractéristiques du Lac Sud de Tunis avant aménagement ainsi que les travaux de restauration réalisés. Nous présentons ensuite les résultats de l'analyse des caractéristiques physico-chimiques et biologiques des eaux du lac après sa restauration. Durant 24 mois (octobre 2001 jusqu'à septembre 2003), nous avons réalisé des mesures mensuelles dans 9 stations fixes : 6 stations réparties dans le Lac Sud et 3 stations dans le golfe de Tunis. Les paramètres mesurés sont les caractéristiques abiotiques (salinité, oxygène, température), la qualité des eaux (phosphore total, ortho-phosphate, azote total, nitrite, nitrate, chlorophylle-*a*, transparence des eaux, pH) ainsi que la biomasse algale.

Les différents résultats de ces mesures montrent une nette amélioration de la qualité des eaux et confirment les impacts positifs des aménagements réalisés : la mésotrophie du milieu et la disparition progressive des algues nitrophiles dans le lac.

MOTS CLÉS :

Lagune, Tunis, physico-chimie, nutriments, macroalgues.

Introduction

Les lagunes tunisiennes, sous l'effet d'une anthropisation excessive, ont connu, ou connaissent encore, des crises de dégradations environnementales. Le Lac Sud de Tunis n'a pas fait exception. De par sa situation à proximité de la ville de Tunis, il a constitué, durant des décennies, l'exutoire naturel des eaux pluviales, des eaux usées domestiques et surtout industrielles de la région. Ces actions ont engendré la dégradation de la qualité des eaux et des sédiments se matérialisant par une hyper-eutrophisation du milieu et conduisant ainsi à l'altération de l'équilibre biologique du lac et à un désastre environnemental.

En effet, l'hyper-eutrophisation de ce milieu s'est caractérisée par le développement excessif d'algues nitrophiles, l'accumulation de la matière organique et des métaux lourds dans les sédiments, l'apparition d'eaux rouges, des mortalités massives de poissons et le dégagement intense d'odeurs nauséabondes (principalement de l'hydrogène sulfuré : H_2S) irrespirables aux alentours du lac. Devant cette situation catastrophique, un grand projet de restauration du Lac Sud a été réalisé, entre avril 1998 et juillet 2001, par la Société d'Etudes et de Promotion de Tunis Sud (SEPTS). Ce projet a totalement transformé le milieu et lui a donné un caractère attractif permettant une exploitation urbanistique des berges du lac.

L'objectif essentiel de ce travail est de tenter d'analyser l'état écologique et biologique de ce nouvel écosystème. Cette analyse s'appuie sur 2 années de mesures réalisées *in situ*.

Présentation du Lac Sud de Tunis

Situation géographique

Le Lac Sud de Tunis fait partie d'un complexe lagunaire méditerranéen formé par le Lac Nord, le Lac Sud et le canal de navigation. Ce complexe appartient à l'ensemble des lagunes côtières de la Tunisie et il se trouve au fond du golfe de Tunis situé au sud du canal sicilo-tunisien. Le Lac Sud constitue la partie sud de ce complexe, et il est séparé du Lac Nord par le canal de navigation qui relie le port de la Goulette à celui de Tunis. Sur ses côtés est, sud-est et sud se trouvent la ville de Tunis et ses banlieues sud (**figure 1**).

La région de Tunis est considérée comme semi-aride, caractérisée par une pluviométrie irrégulière avec une moyenne annuelle de l'ordre de 458 mm, une évaporation annuelle moyenne de 1500 mm et une moyenne

annuelle des températures de l'ordre de $18,4^{\circ}C$ (variant entre $11,3^{\circ}C$ en janvier, et $27^{\circ}C$ en août). Les vents dominants sont du secteur ouest, leur vitesse dépasse rarement les 10 m.s⁻¹.

Le Lac Sud avant aménagement

Avant aménagement, le Lac Sud de Tunis était caractérisé par une superficie d'environ 12 km² et une hauteur d'eau variant de 0,1 m à 1 m avec une moyenne de 0,7 m seulement. Sa forme était irrégulière et il communiquait peu avec la mer et le canal de navigation : une liaison directe avec la mer par le canal de Radès, en très mauvais état du fait de son envasement, et 3 petites communications avec le canal de navigation équipées de pêcheries.

Les simulations du fonctionnement hydrodynamique de ce lac, réalisées avec un modèle 2D par SERAH-ENIT (1991), avaient montré que les échanges avec la mer étaient faibles par rapport au volume du lac (entre 127 000 et 417 000 m³.jour⁻¹), que le taux de renouvellement des masses d'eau était faible, et que la stagnation des eaux affectait la majeure partie du plan d'eau, principalement côté Tunis (le sud-ouest) et côté Radès (le sud-est). En effet, la circulation était limitée aux zones des pêcheries. Ces résultats ont été confirmés ultérieurement par LAC SUD 2000 (dans Vandebroek, Ben Charrada, 2001). Cette situation avait accéléré le processus de dégradation de la qualité des eaux. Par ailleurs, ce lac drainait un bassin versant d'environ 4000 ha dont 1500 ha occupés par les zones industrielles. Il recevait ainsi environ 5500 m³.jour⁻¹ d'eaux usées industrielles très polluées, riches en métaux lourds (chrome, cuivre, etc.) et en hydrocarbures (Jouini, 2003).

Ben Souissi (2002) a réalisé un diagnostic écologique global et détaillé de l'écosystème Lac Sud de Tunis avant sa restauration, suite à deux années de mesures (1995-1997) des caractéristiques abiotiques des eaux du lac, des caractéristiques des sédiments du fond, et des peuplements végétaux et animaux (les communautés macrobenthiques).

Les mesures réalisées par Ben Souissi (2002) montrent que la concentration moyenne annuelle des eaux en azote total était de 170 mg.m⁻³ (avec une valeur maximale de 3600 mg.m⁻³), celle du phosphore total était de 155 mg.m⁻³ (le maximum étant de 1100 mg.m⁻³) et celle de chlorophylle-*a* était de 33,6 mg.m⁻³. Cet auteur a bien noté la forte prolifération des algues nitrophiles dont la concentration atteignait 10 kg.m⁻³ (poids humide).

Les sédiments étaient très riches en matières organiques et en métaux lourds (Ben Souissi, 2002). En ce

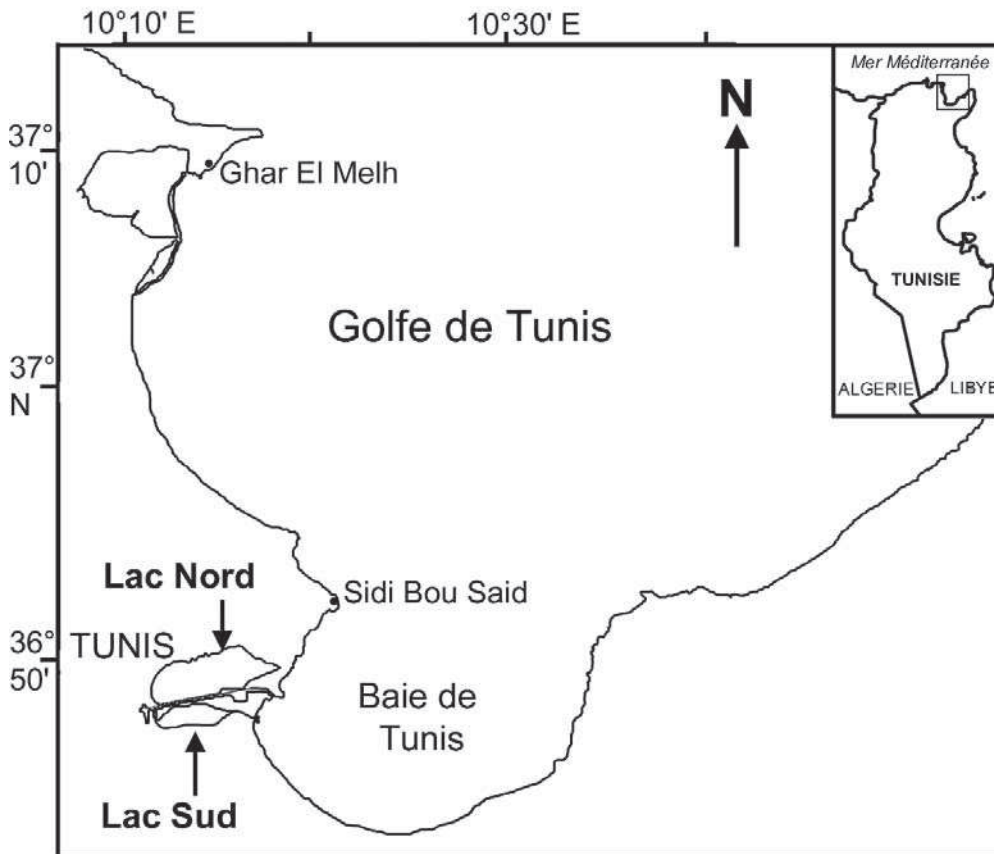


Figure 1
Situation du Lac Sud de Tunis. / *South Lake of Tunis localisation.*

qui concerne la répartition spatiale, une forte hétérogénéité du milieu a été observée. En effet, les zones concernées par la stagnation des eaux (les parties sud-ouest et sud-est du lac) étaient les plus polluées (fortes concentrations en azote, en phosphore et en macroalgues; transparence réduite et faibles concentrations en oxygène).

D'après l'abaque de l'OCDE (1982), ces valeurs indiquent que le milieu était hypereutrophe avec une probabilité de 70%. Cette hypereutrophie se manifestait, principalement en été, par des mortalités massives de poissons, l'apparition d'eaux rouges et les dégagements fréquents d'odeurs pestilentielles. Cette situation du lac est comparable actuellement à celle de la lagune de Ghar El Melh, située au nord-est de la Tunisie (Ben Khemis, 2003). Cet état catastrophique du Lac Sud de Tunis est à l'origine de son projet de restauration récemment réalisé.

Le projet de restauration du Lac Sud

Le projet de restauration et d'aménagement du Lac Sud de Tunis a été réalisé entre avril 1998 et juillet 2001 par la Société d'Etudes et de Promotion de Tunis

Sud (SEPTS). Ce grand projet consiste notamment à (Moussa, 1992; Jouini, 2003):

...détourner tous les rejets des eaux usées industrielles et domestiques vers la station d'épuration de Ben Arous, et détourner les rejets des eaux pluviales vers le port de Tunis;

...draguer les sédiments du fond, riches en nutriments et en métaux lourds, jusqu'à la cote moyenne de ..2,4 m (soit un volume total de dragage d'environ 9 300 000 m³). Les sédiments contaminés par les métaux lourds (soit environ un million de m³) ont été refoulés dans une zone de dépôt préalablement isolée par des géomembranes et des digues argileuses imperméables, et ils ont été ensuite recouverts par des sédiments non pollués;

...réduire la surface du lac à 7 km² seulement, avec des berges rectilignes, et remblayer le reste. Ainsi, certains faciès vaseux et riches en matières organiques ont été remplacés par des terrains urbanisables;

...fermer les pêcheries et aménager les canaux de Radès et de Tunis (largeur 60 m; profondeur 3,4 m);

...installer un système de fonctionnement hydraulique permettant un renouvellement fréquent des eaux du

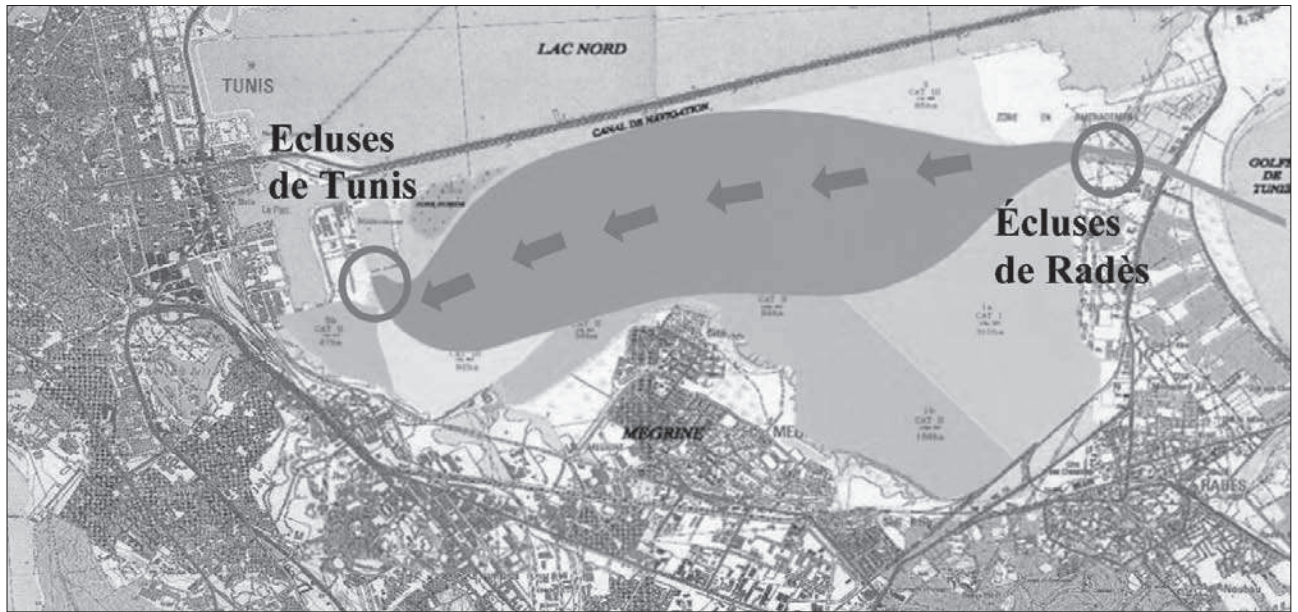


Figure 2

Configuration du Lac Sud de Tunis après sa restauration. / *The South Lake of Tunis configuration after its restoration.*

lac et l'élimination des zones de stagnation des eaux. Il s'agit d'imposer un sens unique de circulation des eaux dans le lac de Radès, à l'est, vers Tunis, à l'ouest, par l'installation d'écluses à marée : écluses à Radès permettant seulement l'entrée des eaux du golfe vers le lac en marée ascendante, et écluses de Tunis permettant seulement la sortie des eaux vers le canal de navigation en marée descendante (**figure 2**).

Les travaux, qui ont été réalisés par le groupement d'entreprises LAC SUD 2000, ont coûté environ 60 millions d'euros. La carte bathymétrique du Lac Sud après les aménagements, en 2002, montre que la bathymétrie est actuellement plus homogène : la cote du fond varie de ..1,7 à ..4,0 m, avec une moyenne de ..2,4 m. Le volume moyen d'eau dans le lac est alors de l'ordre de 17 300 000 m³. Notons que, avant aménagement, le volume d'eau dans le lac était environ 7 700 000 m³ (SERAH-ENIT, 1991).

Caractéristiques hydrauliques

Au niveau du canal de Radès, à l'entrée du lac, la marée est faible. Les mesures ainsi que l'analyse harmonique de la marée que nous avons réalisées ont montré que la marée dominante est de type semi-diurne et d'amplitude variant de 0,09 m à 0,26 m, avec un marnage moyen ne dépassant pas 0,20 m. Le niveau moyen de la mer est à +0,08 m.

De par sa configuration, le fonctionnement hydrodynamique du Lac Sud de Tunis est principalement contrôlé par la marée et le vent. En effet, la marée et

le vent, par la variation du niveau d'eau, actionnent l'ouverture et la fermeture des écluses. Les campagnes de mesures hydraulique que nous avons réalisées *in situ* montrent le bon fonctionnement des écluses en fonction de la marée : entrée des eaux du golfe vers le lac en marée ascendante, et sortie des eaux vers le canal de navigation en marée descendante. Les valeurs maximales des débits mesurés sont de 102 m³.s⁻¹ et 128 m³.s⁻¹, respectivement, dans les écluses de Radès et de Tunis. Avec une marée moyenne, le débit échangé avec la mer est de l'ordre de 80 m³.s⁻¹ ; le volume total des échanges est de 2 570 000 m³.jour⁻¹, ce qui donne un temps de renouvellement moyen des eaux du lac de 6,8 jours. Ce renouvellement affecte toutes les masses d'eau du lac puisque la forme actuelle du Lac Sud et les écluses à marée font qu'il n'y a plus de zones de stagnation des eaux. Le renouvellement rapide des eaux signifie que toute pollution éventuellement rejetée dans le lac, notamment celle ramenée par le système de drainage des eaux pluviales, est rapidement évacuée vers la mer.

Le vent, par le basculement du plan d'eau et les vagues générées en surface, peut modifier le fonctionnement des écluses et ainsi les échanges avec la mer. Néanmoins, compte tenu de la forme du lac, seul l'effet des vents des secteurs est et ouest est important, les autres vents ont des fetchs courts : le vent de l'est favorise les échanges avec la mer, et avec une vitesse de 10 m.s⁻¹ il peut les augmenter d'environ 10% ; alors que le vent de l'ouest agit dans le sens inverse (Jouini, 2003).

État écologique de la lagune

Localisation et fréquence des mesures de terrain

Durant 24 mois (doctobre 2001 jusqu'à septembre 2003), nous avons réalisé des mesures mensuelles dans 9 stations fixes : 6 stations réparties dans le lac et 3 stations dans le golfe de Tunis. Les stations du lac sont notées de SL1 à SL6 en suivant le sens de l'écoulement (**figure 3**). Ces stations sont marquées par des piquets dans le lac, et localisées par GPS dans le golfe. Pour l'accès à ces stations, deux bateaux ont été utilisés dont un à fond plat adapté à la navigation dans le lac. Ces campagnes d'analyse consistent en des :
...mesures hebdomadaires des paramètres abiotiques : salinité, oxygène, température ;
...mesures bimensuelles de la qualité des eaux : phosphore total, ortho-phosphate, azote total, nitrite, nitrate, chlorophylle-*a*, transparence des eaux et du pH ;
...mesures mensuelles de la biomasse algale.

Matériel et méthodes de mesures

Nous distinguons les mesures *in situ* et les analyses de laboratoire.

Mesures *in situ*

Les mesures de terrain concernent la température, la transparence et la salinité des eaux ainsi que la concentration en oxygène dissous et le pH. La température des eaux, à environ 10 cm de la surface, est mesurée à l'aide d'un thermomètre électronique de précision gradué au 1/10^e de °C. La transparence de l'eau du lac est évaluée à l'aide du disque de Secchi. La salinité des eaux, la teneur de l'eau en oxygène dissous et le pH sont mesurés *in situ*, respectivement, à l'aide d'un salinomètre de type WTW.LF 197, d'un oxymètre de terrain de type WTW.OXI 197 et d'un pH mètre

électronique portable de type WTW.pH 197 qui ont été préalablement étalonnés.

Analyses de laboratoire

Dans chaque station, une fois les mesures *in situ* réalisées, nous procédons à un prélèvement d'eau pour les différentes analyses de laboratoire. Pour cela, deux bouteilles d'un litre, en plastique opaque, sont immergées à 10 cm de la surface de l'eau, remplies puis placées dans une glacière. En laboratoire, les analyses chimiques concernent les paramètres suivants : nitrite (N-NO₂), nitrate (N-NO₃), azote ammoniacal (N-NH₃), azote total, orthophosphate et phosphore total. Tous ces paramètres sont analysés au laboratoire en passant par une méthode photométrique qui utilise comme réactifs des tests kits préalablement préparés par le fournisseur des équipements. L'outil de base de la méthode photométrique est un photomètre *Photolab 512* type WTW muni d'un thermoréacteur CR3000 type WTW. Bien que les analyses concernent le nitrite, le nitrate, l'azote ammoniacal et l'azote total, pour l'azote, et l'orthophosphate et le phosphate total pour le phosphate, nous nous limitons, dans la suite de cet article, à la présentation des résultats d'analyse de l'azote total et du phosphore total seulement.

Mesures de la chlorophylle-*a*

La mesure de la concentration en chlorophylle-*a* est réalisée par une méthode fluorimétrique basée sur la mesure de la fluorescence de la chlorophylle-*a* extraite à l'acétone. Le fluorimètre est à chaque fois calibré à partir de solutions standards. L'échantillon d'un litre d'eau prélevé est conservé à l'obscurité. Les procédures d'analyse de la chlorophylle-*a* sont entamées rapidement (dans moins de 3 heures après le prélèvement).

Mesures de la biomasse algale

La mesure mensuelle de la concentration de la végétation benthique au niveau de six à sept points

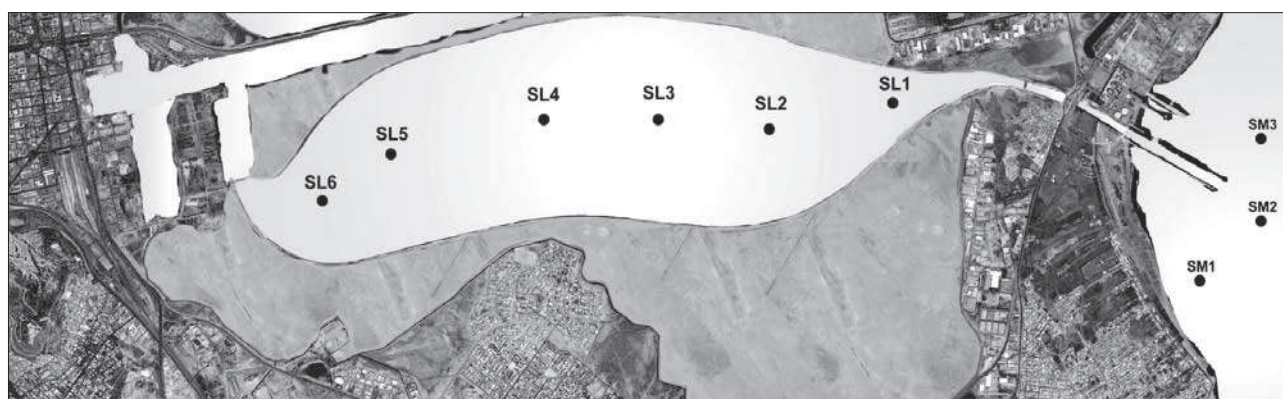


Figure 3

Localisation des stations de mesure dans le Lac Sud et le golfe de Tunis. / Measuring stations localisation in the South Lake and the Tunis Gulf.

autour de chacune des 6 stations de mesure de la qualité des eaux dans le lac (soit au total environ 40 mesures par campagne mensuelle). La collecte de la végétation, pour l'estimation de la concentration benthique par m^2 , est faite par plongée avec l'utilisation d'un cadre $0,8\text{ m} \times 0,8\text{ m}$ avec estimation du pourcentage de recouvrement dans le cadre. Les échantillons d'algues collectés sont ensuite séchés à l'étuve à une température de 110°C pendant une durée de 24 heures. Après mesure du poids, la concentration en matières sèches d'algues au m^2 est reportée pour chaque station.

Les principaux résultats des deux années de mesures sont présentés ci-dessous.

Résultats des mesures et interprétation

Les mesures montrent que, globalement, la qualité des eaux du lac est proche de celle des eaux du golfe de Tunis. Par ailleurs, les eaux du lac sont presque homogènes, néanmoins, un léger gradient entre l'est et l'ouest est observé (Jouini, 2003).

Température des eaux

La température des eaux de surface du lac varie de 10°C à 32°C en fonction de la saison, avec une moyenne totale, sur les 2 années de mesures, de $20,1^\circ\text{C}$. En moyenne, les températures des eaux de SL1 sont de 1°C plus faibles que celles des eaux du golfe de Tunis, et de 1°C plus élevées que celles des eaux de SL6. Ainsi, en traversant le lac, les eaux se refroidissent en moyenne de 1°C par échange avec l'atmosphère. Notons que les eaux du golfe sont relativement chaudes sous l'effet des rejets des centrales électriques de Radès, situées à proximité de l'entrée des eaux vers le lac, et qui rejettent environ $60\text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ d'eau chaude.

Salinité

En ce qui concerne les salinités, elles sont homogènes dans le lac et très proches de celles du golfe. En effet, les eaux entrent dans le lac avec une salinité moyenne annuelle de 37,2 PSU et en sortent avec une salinité moyenne annuelle de 37,4 PSU. Ceci est principalement dû à la rapidité du renouvellement des eaux du lac, ce qui rend l'effet de l'évaporation dans le lac relativement faible. Néanmoins, la salinité maximale mesurée en été est de 38,6 PSU. Notons que, avant l'aménagement, la salinité estivale atteignait 51,9 PSU (Ben Souissi, 2002).

pH des eaux

Le pH enregistré dans les six stations du lac varie entre 7,8 et 9,0. Les valeurs extrêmes sont enregistrées dans la partie ouest du lac (stations SL4, SL5 et SL6), ce qui montre que ce paramètre est lié à la croissance des

macroalgues. En période de croissance végétale, il y a dégagement de CO_2 qui a tendance à augmenter le pH, alors qu'en période de mortalité algale, la décomposition bactériologique des algues induit un milieu acide à pH relativement bas. Cependant, la moyenne sur les deux années avec 8,4, est la même pour les 6 stations. Ceci montre que le milieu est fortement marinisé puisque le pH moyen du lac est proche de celui du golfe qui est de 8,3.

Transparence des eaux

La moyenne de la transparence enregistrée pour les six stations du lac varie entre 1,7 m et 2,1 m. La transparence maximale observée correspond à toute la hauteur d'eau (les sédiments du fond sont visibles). Notons que la transparence moyenne des eaux dans le lac est de l'ordre de 2,0 m. Néanmoins, une valeur minimale de 0,4 m, due à un fort vent, a été enregistrée. En effet, un fort vent, par la turbulence induite, génère une remise en suspension des sédiments fins du fond et augmente la turbidité de l'eau.

Azote total

La concentration moyenne, sur les deux années, des eaux du lac en azote total est de l'ordre de $635\text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$, celle des eaux du golfe est de $555\text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ qui est une valeur relativement élevée. Ainsi, une grande partie de l'azote total provient du golfe de Tunis (Ben Charrada, Moussa, 1997) avec les eaux qui entrent au lac par le canal de Radès en marée ascendante.

Les valeurs extrêmes sont enregistrées dans la SL6 : un minimum de $152\text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ en mars et un maximum de $1378\text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ en octobre (**figure 4**). Les valeurs maximales sont dues à la mortalité massive des macroalgues en octobre. En effet, la forme organique de l'azote constitue environ 89% de la moyenne de l'azote total. En moyenne, les nitrates représentent 8% de l'azote total, les nitrites en représentent seulement 3% alors que l'azote ammoniacal est négligeable, ce qui montre que le milieu est bien oxygéné.

Phosphore total

Les concentrations en phosphore total dans les stations de mesures varient de 7 à $90\text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (**figure 5**). Ces mesures montrent que la teneur moyenne dans le lac est de $31\text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ et celle du golfe est de $29\text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Les pics sont dus soit à la mortalité des macroalgues, soit correspondent aux pics dans les eaux du golfe qui entrent dans le lac par le canal de Radès. Notons que, en moyenne annuelle, les orthophosphates représentent 59% du phosphore total.

Oxygène dissous

Les teneurs en oxygène dissous des eaux varient de 55 à 150% de la saturation, alors que celles du golfe

Figure 4
 Variation de l'azote total dans le lac (SL1 et SL6) et dans le golfe de Tunis.
 Total nitrogen variation in the Lake (SL1 and SL6) and in the Tunis Gulf.

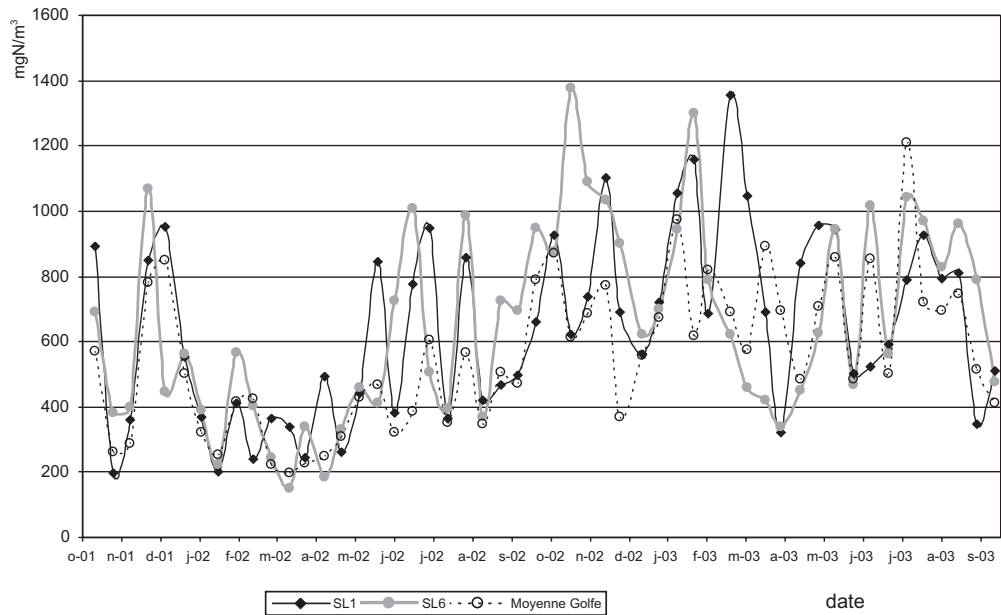
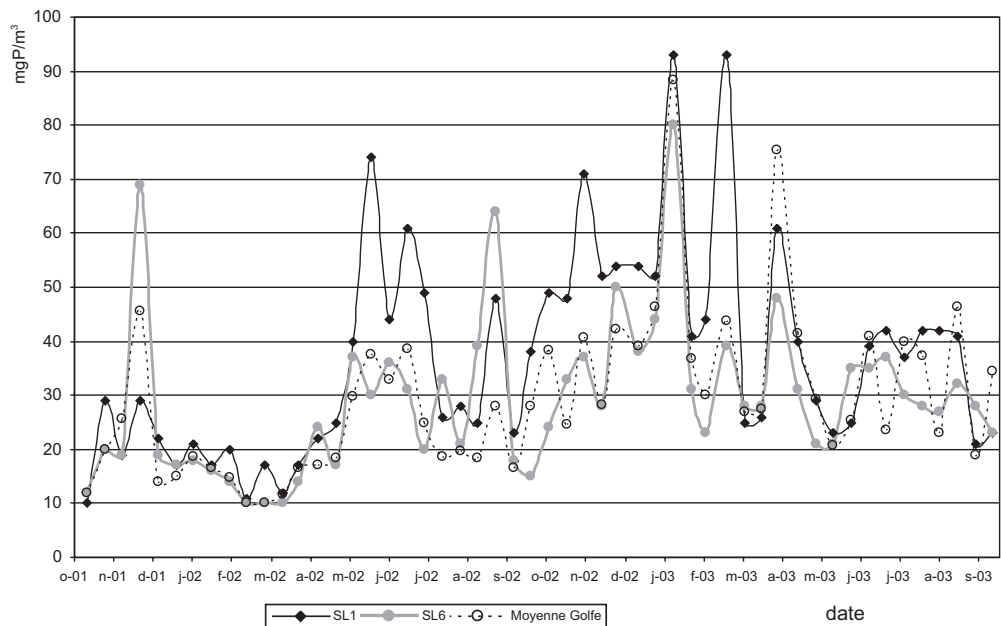


Figure 5
 Variation du phosphore total dans le lac (SL1 et SL6) et dans le golfe de Tunis.
 Total phosphorus variation in the Lake (SL1 and SL6) and in the Tunis Gulf.



varient de 60 à 114% (figure 6). La moyenne des deux années de mesures dans le lac étant de 90%. Les valeurs maximales observées sont certainement dues à la production oxygène par photosynthèse des macroalgues ; les valeurs minimales observées en septembre sont très probablement dues à la minéralisation de la matière organique issue de la mortalité massive des algues nitrophiles (figure 8).

Chlorophylle-a

La concentration en chlorophylle-a varie de 0 à 15 mg.m⁻³. La moyenne des deux années dans tout le lac est relativement faible à 2,1 mg.m⁻³. La courbe de variation de la concentration en chlorophylle-a (figure 7)

montre que cette évolution suit globalement celle du golfe de Tunis où la moyenne est de 2,2 mg.m⁻³.

Macroalgues

Au début de la période des mesures (octobre 2001), les macroalgues étaient quasi absentes et, à partir de novembre 2001, nous avons remarqué le développement d'une algue filamenteuse brune dans toute la partie ouest du lac. Trois autres espèces sont apparues progressivement dans le lac au début de l'année 2002, qui sont, par ordre d'importance : *Enteromorpha* sp., *Cladophora* sp. et *Ulva rigida*. Nous avons remarqué ensuite une diminution progressive des espèces nitrophiles comme les ulves et le développement des

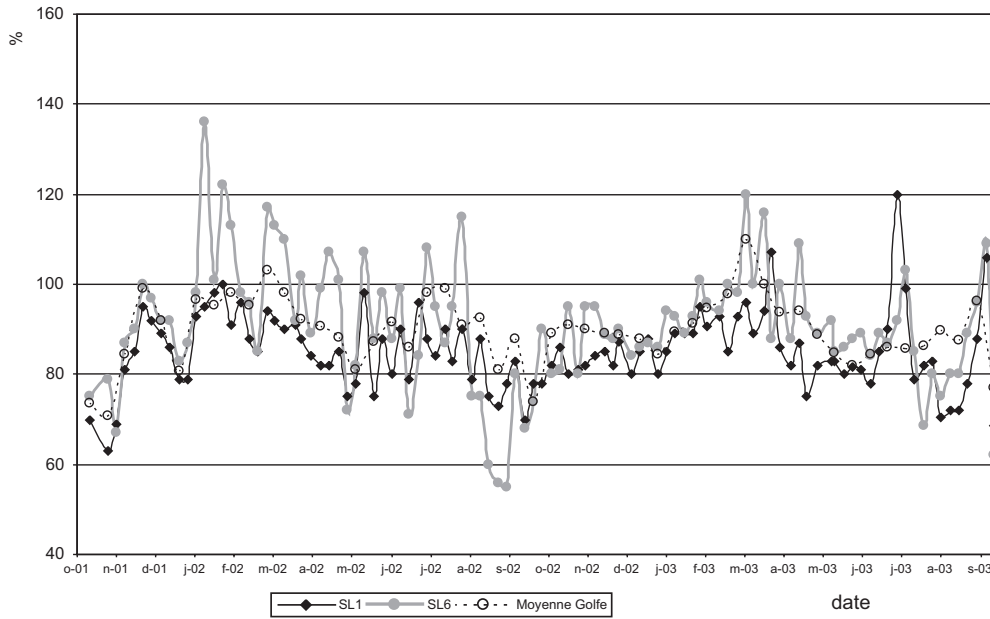


Figure 6
Variation de l'oxygène dissous dans le lac (SL1 et SL6) et dans le golfe de Tunis.
Dissolved oxygen variation in the Lake (SL1 and SL6) and in the Tunis Gulf.

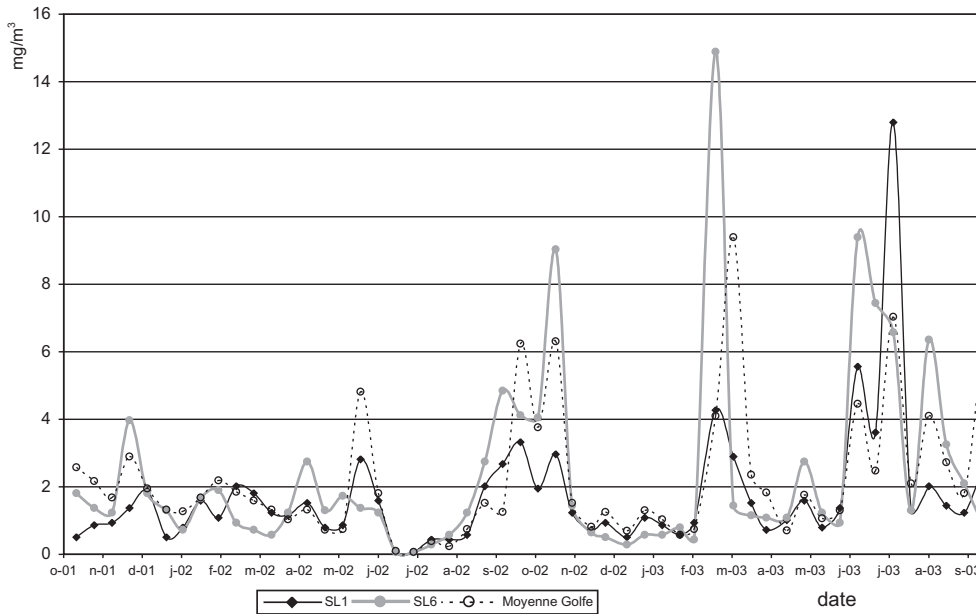


Figure 7
Variation de la Chlorophylle-a dans le lac (SL1 et SL6) et dans le golfe de Tunis.
Chlorophyll-a variation in the Lake (SL1 and SL6) and in the Tunis Gulf.

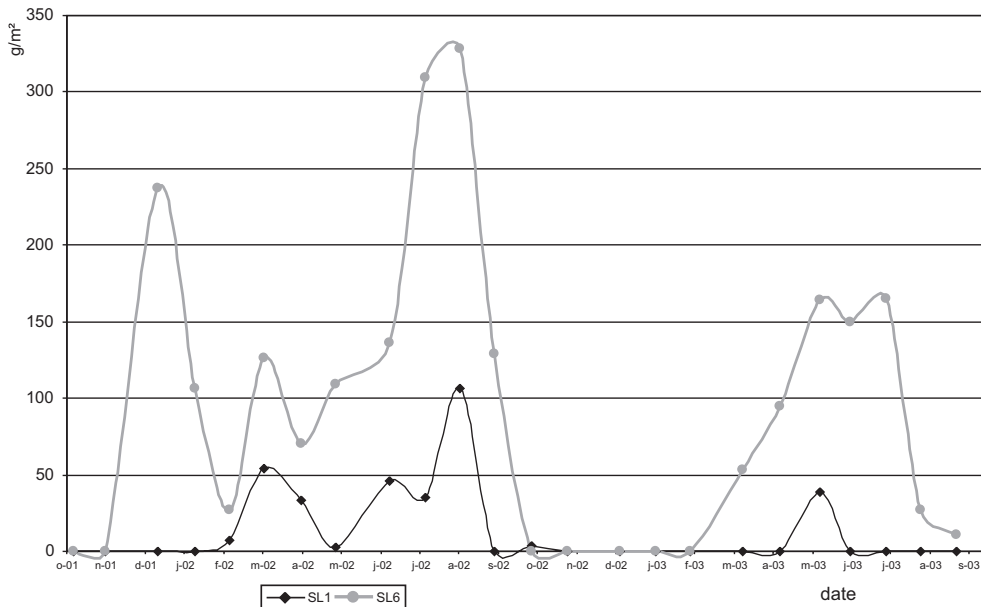


Figure 8
Variation des macroalgues dans le Lac Sud de Tunis (SL1 et SL6).
Macro-algae variation in the Lake (SL1 and SL6).

Caulerpa prolifera et des deux phanérogames *Ruppia cirrhosa* et *Cymodocea nodosa*. Notons que ces deux phanérogames n'existaient pas à l'intérieur du lac avant les aménagements (Ben Souissi, 2002).

Durant les deux années de mesures, les concentrations en macroalgues dans le lac varient de 0 à 328 g.m⁻², en poids sec. Trois pics ont été observés dans la partie ouest du lac (**figure 8**): le premier, en hiver (237 g.m⁻²), est dû à la prolifération de l'algue filamenteuse brune, et le deuxième, en été (328 g.m⁻²), est dû à la prolifération des *Cladophora* sp., et le troisième, en été de la deuxième année, est de 166 g.m⁻² seulement. La deuxième année de mesures, comme le montre la figure 8, a été caractérisée par une diminution sensible de la biomasse macroalgale dans tout le lac. En effet, la concentration annuelle moyenne dans le lac est passée de 77 g.m⁻², durant la première année, à seulement 40 g.m⁻², lors de la deuxième année.

Interprétation des résultats

Avec une moyenne annuelle de la teneur en phosphore total de 31 mg.m⁻³ dans le Lac Sud de Tunis, l'abaque de l'OCDE (1982) indique que le milieu est mésotrophe à une probabilité de 65%. En se basant sur la concentration moyenne en chlorophylle-*a* (soit 2,1 mg.m⁻³), cet abaque indique que le milieu est même oligotrophe à 60%. Par ailleurs, lors de la deuxième année de mesures, nous avons remarqué une importante diminution des macroalgues nitrophiles. En effet, les nouvelles conditions du milieu ne sont plus propices au développement de ces espèces d'algues.

Conclusion

Nous avons constitué une première banque de données de terrain concernant les caractéristiques physico-chimiques et biologiques du Lac Sud de Tunis après sa restauration. Les mesures montrent que le milieu n'est plus eutrophe. En effet, l'arrêt des déversement des eaux usées, l'élimination des sédiments du fond très riches en nutriments, l'augmentation des échanges avec la mer et l'absence de zones de stagnation d'eau ont entraîné une disparition sensible des algues nitrophiles en faveur d'espèces marines.

Ainsi, le milieu est totalement marinisé, comme le témoigne le développement de la phanérogame *Cymo-*

docea nodosa et de la chlorophycée *Caulerpa prolifera* à l'intérieur du lac. Ce qui montre la réussite totale du projet d'aménagement, et le caractère attractif actuel de ce plan d'eau justifie l'urbanisation de ses berges. Néanmoins, l'urbanisation des berges devrait être réalisée avec beaucoup de prudence pour garantir le maintien de l'équilibre de l'écosystème.

Par ailleurs, actuellement, nous continuons les mesures dans le lac pour suivre et surtout surveiller l'évolution de l'écosystème.

Bibliographie

Ben Charrada R., M. Moussa, 1997 - Modélisation hydrodynamique et écologique des eaux côtières du golfe de Tunis. *La Houille Blanche*, **6** : 66-78.

Ben Khemis R., 2003 - *La lagune de Ghar El Melh : Diagnostic Environnemental et Modélisation Ecologique*. Mémoire de Mastère, Inst. Nat. Agronomique, Tunisie, 100 pp.

Ben Souissi J., 2002 - *Impact de la pollution sur les communautés macrobenthiques du Lac Sud de Tunis avant sa restauration environnementale*. Thèse Doct., Fac. Sci. de Tunis, 266 pp.

Jouini Z., 2003 - *Le fonctionnement hydrodynamique et écologique du Lac Sud de Tunis après les aménagements*. Mémoire de Mastère, Ecole Nat. Ing. de Tunisie, 175 pp.

Moussa M., 1992 - *Hydrodynamique de la variante d'aménagement du Lac Sud de Tunis*. Rapport pour la SEPTS (Ministère de l'Équipement et de l'Habitat), Tunisie, 38 pp.

OCDE, 1982 - *Eutrophisation des eaux : Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte*. Organisation pour la Coopération et le Développement économique, 164 pp.

SERAH-ENIT, 1991 - *Etude d'aménagement du Lac Sud de Tunis : Rapport hydraulique*. Rapport d'étude pour la SEPTS (Ministère de l'Équipement et de l'Habitat), Tunisie, 105 pp.

Vandenbroeck J., R. Ben Charrada, 2001 - Restoration and development project of South Lake of Tunis and its shores. *Terra Aqua*, **85** : 11-20.

Reçu en mai 2004 ; accepté en janvier 2005.
Received May 2004 ; accepted January 2005.