

République Tunisienne

ISSN 0330-0080

# BULLETIN DE L'INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LA MER



**INSTM**

Volume N°23, I 1996

République Tunisienne

ISSN 0330-0080

BULLETIN DE L'INSTITUT NATIONAL  
DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LA MER

Volume N°23, I 1996

Imp. *Signes*

13, Rue 8612 - La Charguia I - 2035 TUNIS  
Tél.: 797.072 - 798.702 - FAX : 771.133

# SOMMAIRE

Lac sud de Tunis : Vulnérabilité hydrobiologique et sédimentologie - <b>Abderrazak MASTOURI &amp; BRAHIM, M.</b> .....	5
Utilisation des déchets de biscuiterie dans l'alimentation de la daurade <i>sparus aurata</i> - <b>Béahir BRINI &amp; AYARI, A.</b> .....	30
Procédés de fabrication d'aliments semi-humides pour l'élevage du loup <i>dicentrarchus labrax</i> et de la daurade <i>sparus aurata</i> - <b>Raouf BESBES &amp; GUERBEJ, H.</b> .....	43
Effets de la température et de la lumière sur la croissance des tétraspores de la rhodophycée <i>Gracilaria verrucosa</i> (Hudson) Papenfuss - <b>Rafik BEN SAÏD</b> .....	59
Résultats de chalutages expérimentaux de Mai-Juin 1996 dans le golfe de Gabès - <b>Houcine GHARBI &amp; BEN MERIEM, S.</b> .....	77
Le lac sud de Tunis : Hydrobiologie et état de pollution - <b>Abderrazak MASTOURI ; DRIDI, K &amp; AKROUT, F.</b> .....	94
Etat environnemental du large des îles Kerkennah : Synthèse des données bibliographiques - <b>Abderrazak MASTOURI; CHOUBA, L. &amp; EL ABED, A.</b> .....	116
Etude de l'efficacité protéique de quelques régimes expérimentaux chez le jeune alevin de loup <i>Dicentrarchus labrax</i> par la méthode des bilans azotés et énergétiques - <b>Habib LANGAR</b> .....	136
Contribution à l'étude du régime alimentaire de l'uranoscope <i>Uranoscopus scaber</i> (Linnaeus, 1758) poisson téléostéen des côtes tunisiennes - <b>Bouraoui BOUNDKA &amp; KTARI, M.H.</b> .....	146

## LAC SUD DE TUNIS: VULNERABILITE HYDROBIOLOGIQUE ET SEDIMENTOLOGIE

Par

**MASTOURI Abderrazak et BRAHIM Mouldi**  
Institut National des Sciences et Technologie de la Mer  
28, rue de 2 mars 1934 2025 Salammbô  
Tunisie

### ملخص

اهتمت هذه الدراسة بتطور العوامل الهيدروبيولوجية في بحيرة تونس الجنوبية أثناء اشهر اشتداد حرارة الطقس (جويلية 1992، أوت سبتمبر 1994 وجوان 1996) بالإضافة إلى تحديد رواسها القاعية والسطحية. تحليل النتائج المتحصل عليها مكن من اكتشاف تغيرات كبيرة وغير عادية على مستوى العوامل الهيدروبيولوجية وذلك تحت تأثير الظروف المناخية الخاصة بفصل الصيف من جهة والنفائيات الصلبة والسائلة التي تصب في البحيرة بمهمة مسترسلة وبدون أية معالجة مسبقة من جهة أخرى. لقد أفرزت التغيرات المسجلة عدة مشاكل بيئية حادة، تتمثل بالخصوص في تقلص الاكسيجان المنحل، نسبة تعكر مياه عالية، احتواء البحيرة على مخزون هام من الأملاح المغذية وتجاوز التلوث العضوي حده الأقصى خاصة في ضواحيها الغربية والشرقية. المشاكل المشار إليها تسبب في اختلال التوازن البيئي الذي يبلغ ذروته مع ظهور بقاع مياه متعددة الألوان وانعدام الاكسيجان المنحل طيلة فترة ارتفاع درجة الحرارة في الصيف.

### Résumé

Ce travail s'intéresse non seulement à l'évolution des paramètres hydrobiologiques du lac sud de Tunis en période critique couvrant les mois de forte chaleur (juillet 1992, août-septembre 1994 et juin 1996), mais aussi aux caractéristiques sédimentologiques de cet écosystème.

Les résultats acquis ont permis de mettre en évidence la grande vulnérabilité hydrobiologique du lac. Celle-ci se traduit par une raréfaction de l'oxygène dissous, une opacification de l'eau, une pollution organique très importante et une eutrophisation chronique très prononcée. Il en résulte la coexistence, en période estivale, des conditions hydroclimatiques favorables à des crises dystrophiques, s'accompagnant souvent par des efflorescences algales spectaculaires et par le développement des conditions anaérobioses. Du point de vue sédimentologique, il en ressort des résultats y afférents que les particules sédimentaires ont une granulométrie de plus en plus fine des rivages vers le centre et que l'ensemble de la lagune souffre d'un problème d'envasement particulièrement grave, dans sa partie ouest et en amont du canal de Radès, ce qui réduit davantage les échanges d'eaux entre le lac et la mer

**Mots clés:** lac sud de Tunis, hydrobiologie, sédimentologie, crises dystrophiques, pollution organique et eutrophisation.

**Abstract**

The aim of this work is to study the evolution of the hydrobiological parameters of the south lake of Tunis during the critical period (july 1994, august-september 1994 and june 1996) and the sédimentological characteristics of this ecosystem.

The obtained results show us the high sensibility of the hydrobiological parameters of the lagoon. their great variations translate a rarefaction of the dissolved oxygen, an excessive turbidity, a high level of organical pollution and a very pronounced eutrofication. As a consequence, specially in the hot months of summer, dystrophical crisis are coupled with algae blooms and anaerobical conditions development.

The grains size analysis shows that the sedimentary particles are thinner in the lagoon center and coarser towards its borders. Further, the whole lagoon is subject to a silting problem, particularly in its western part and the upper waters of the Rades channel, reducing more the exchanges of waters between the lagoon and the sea.

**Key words:** south lake of Tunis, hydrobiology, sedimentology, organical pollution, eutrofication and dystrophical crisis

**I- INTRODUCTION**

Appartenant à une plaine alluviale, dont la nature sableuse est l'oeuvre des oueds Medjerdah et Meliane, le lac et le golfe de Tunis sont, relativement, abrités par des vents dominants du secteurs NE-NO, ce qui leur confère un aspect sédimentologique particulier (Muraour et Pimienta, 1959)

Le lac de Tunis est considéré de nos jours comme étant un écosystème unique. Il est en fait constitué de trois unités représentant chacune un écosystème différent aussi bien sur le plan topographique que sur le plan écologique. Toutefois, les trois systèmes y afférents (lac nord, lac sud et canal de navigation) montrent une légère interdépendance, quant-au régime hydrologique spécifique, grâce aux canaux qui lient cet ensemble lagunaire tant avec les eaux usées hyposalines émanants du District de Tunis qu'avec la mer

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

D'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 quasi-totalité de la superficie du lac sud.

Au préalable du plan de dépollution et d'aménagement du lac sud de Tunis, l'Institut National des Sciences et technologies de la Mer (INSTM) a utilisé tous ses moyens, durant les mois critiques de 1992, 1994 et 1996, en vue d'étudier et d'actualiser la situation écologique du lac sud de Tunis. C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude basée sur une approche hydrobiologique et

sédimentologique du lac sud de Tunis, site devenue très vulnérable sous la pression des plusieurs agressions d'ordre climatiques anthropiques.

## II- PRESENTATION DU SITE

Le lac sud de Tunis prolonge le golfe de Tunis, avec lequel il communique, directement, par le canal de Radès. Il communique, aussi directement, avec le canal de navigation (figure 1)

Au fil des années, la superficie du lac n'a pas cessé de diminuer, sous l'effet des pressions humaines et des aléas climatiques. Elle est passée de 2000 ha en 1965 à 1100 ha à l'heure actuelle. La profondeur moyenne y est de l'ordre de 90 cm. Les fonds du lac sont, en grande partie, tapissés par des ulves et des enteromorphes. Ce couvert végétal subit, néanmoins, une agression progressive, du fait de l'envasement et de la turbidité très forte de l'eau.

Les ressources halieutiques du lac sont exploitées par trois techniques: bordigues (au nombre de quatre), filets et nasses. Les principales espèces capturées sont les bigerons, les mulets et les anguilles. La production était de 21 tonnes, tous types de pêches confondus, en 1995. On en déduit une productivité de 19 t/ha, durant la période 1988-1993.

Enfin, il est à signaler que les moyennes annuelles de température et de la salinité sont respectivement, de l'ordre de 19°C et de 42 ‰, dans le lac sud de Tunis, qui fait l'objet d'efflorescences algales spectaculaires, au printemps et en été. En cas de persistance d'un climat excessivement chaud, ce phénomène s'accompagne d'une mortalité massive d'animaux et des émanations des sulfures d'hydrogène, du fait surtout des conditions d'anaérobie, qui apparaissent en raison de la consommation de l'oxygène dissous par les bactéries sulfato-réductrices, ainsi que de la décomposition de la matière organique.

La biodiversité et la pérennité du lac sud de Tunis sont, sérieusement, menacées par diverses agressions anthropiques et/ou naturelles, parmi lesquelles il y a lieu de souligner:

- les pollutions engendrées par les effluents de 470 unités industrielles implantées sur le bassin versant du lac, ainsi que par les apports telluriques eutrophisants.
- l'envasement des fonds sous l'effet de la sédimentation des alluvions pluviales, des rejets solides anthropiques et des matières organiques non dissoutes (exogènes et endogènes).
- le problème de déficience en oxygène ou d'anoxie découlant de la décomposition des organismes (végétaux et animaux), ainsi que de la régression de la photosynthèse.
- les crises dystrophiques inhérentes à la prolifération intense d'algues microscopiques et macroscopiques, durant la saison chaude.
- les échanges d'eau très insuffisants voire négligeables entre la mer et le lac.
- la pénétration, dans le lac, des eaux provenant du canal de navigation et des effluents de la STEG sise à Radès.
- les conditions climatiques marquées par une chaleur torride, une insolation importante et une humidité matinale très élevée.
- les principales pluviales détournées, depuis la restauration du lac nord, vers le canal de navigation et par voie de conséquence vers le lac sud.

### III- ASPECTS HYDROLOGIQUES

Les travaux d'aménagement du lac nord avaient de larges répercussions sur les caractéristiques physico-chimiques du lac sud à savoir la salinité et la température dont les études les plus récentes permettent d'observer de faibles valeurs rappelant celles enregistrées dans la zone de déversement des eaux usées et pluviales. Les valeurs de la salinité et de la température oscillent respectivement entre 33,6 ‰- 36,8 ‰ et 26°C-27°C. Les plus faibles valeurs de la salinité sont associées à une couche d'eau plus chaude et suivent une évolution antagoniste allant de la ville de Tunis vers la mer (canal de Radès).

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 le lac sud 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 par l'intermédiaire des ouvertures existant à l'Ouest entre le lac sud et le port 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 caractérisé par une colonne assez profonde (7m) empêchent toute avancée vers la mer des eaux usées domestiques à caractéristiques physico-chimiques différentes. Ainsi ces dernières 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, donc de la faible épaisseur de la colonne d'eau lagunaire l'écoulement devenant spécifique et en surface en période de temps calme, permet aux eaux urbaines de se substituer en grandes parties aux eaux lagunaires.

Les travaux publiés antérieurement sur cette lagune dont ceux de Stirn (1968) Zaouali (1971), Baïer et al. (1977), Schneider (1979) et Belkir et Hadj Ali Salem (1981) mettent en évidence une instabilité permanente des paramètres physico-chimique et biologique qui sont eux-mêmes fonction des bilans hydrologique et climatique.

Les observations faites par Pimienta (1954) et Ben Alaya (1972) ainsi que les travaux de recherche effectués par Brandhorst (1977) et Baier et al (1977), relatives à l'étude hydrologique dans le complexe lagunaire et dans le golfe de Tunis, permettent de retenir deux principaux modes de circulation des eaux.

- En période de vents forts, la circulation des courants est très influencée par la direction et le régime des vents qui se caractérisent par leur fréquence et leur intensité. Les vents dominants soufflant du secteur NO-NE, provoquant des houles et permettent, de ce fait même, un brassage énergétique des masses d'eau aussi bien dans le complexe lagunaire que dans le golfe de Tunis.

- En période de temps calme, la circulation des courants est pratiquement inexistante, ou si elle est présente, elle se fait timidement sous l'effet de la marée.

En ce qui concerne la circulation des courants dans le complexe lagunaire et notamment dans le lac sud, le schéma est beaucoup plus simple et limité, par temps d'absence de vents, à des échanges d'eau très localisés aux points de communication entre le lac nord et le canal de navigation d'un côté et entre ce dernier et le canal sud de l'autre. Il en est de même pour les échanges d'eau s'effectuant entre le système lagunaire et la mer dont les eaux à caractéristiques physico-chimiques différentes (Belkhir, 1979) se freinent les unes les autres et ne s'éloignent de part et d'autre des canaux dont les plus importants sont ceux dits de Kheireddine, de Radès et du port de la goulette. Les canaux constituent l'écrin, des points de balancement d'eaux, tantôt lagunaires et tantôt marines, qui ne s'éloignent guère de ces canaux.

#### IV- MATERIELS ET METHODES

Pour les besoins de l'approche hydrobiologique, des échantillons d'eau ont été prélevés en surface des stations, dont le nombre et l'emplacement varient en fonction de l'ampleur de la crise dystrophique (figure 2) qui s'est déclenchée au courant de juillet 92 août et septembre 94 et juin 96. Le nombre total des stations étudiées s'élève à 21, y comprise la station hydrobiologique de référence ( station C ), choisie à l'entrée du canal de navigation liant La Goulette à Tunis. Il s'agit d'une zone particulière où l'influence marine est très dominante. Leur répartition par mission de terrain est représentée dans le tableau 1.

Dates	StationS
31-7-1992	S1, S2 et S3
10-08-1994	S4 et S5
26-09-1994	S6, S7, S8, S9, S10, S11, S12, S13, S14 et S15
20-06-1996	S16, S17, S18, S19, S20 et C

**Tableau 1:** Répartition des stations étudiées par mission de terrain

Cette échantillonnage a nécessité le recours à un seau et une bouteille à renversement. S'agissant des sédiments qui ont été récoltés à l'aide d'une benne, les points de prélèvement correspondent avec les stations hydrologiques, étudiées en septembre 1994, soit consécutivement à la mortalité massive observée chez des organismes zoologiques vivant dans le lac sud de Tunis durant le mois d'août 1994. Ces stations au nombre de dix ont couvert l'ensemble du lac. Elles ont été choisies au centre et aux endroits sensibles, de leur emplacement en face des pêcheries fixes (bordigues, n° 3, 4, 5 et 7), des zones industrielles (de Radès, de Mégrine et de Tunis -Marine), du "Sebkha" et près de port de commerce de Radès.

Les données hydrobiologiques recueillies se rapportent à quatre missions de terrain effectuées les 31 juillet 1992, 10 août 1994, 26 septembre 1994 et 20 juin 1996 et ce à bord, d'une embarcation motorisée, mise à notre disposition par l'INSTM ou le cas échéant par l'ONP.

Les données recherchées diffèrent d'une mission à l'autre, mais dans l'ensemble, il s'agit des paramètres tels que: Chlorophylle-a, phosphate minéral ( $PO_4^{=}$ ), phosphore total (Pt), ammonium ( $NH_4^+$ ), nitrate ( $NO_2^-$ ), nitrite ( $NO_3^-$ ), azote total (Nt), demande chimique en oxygène (DCO) ,

oxygène dissous ( $O_2$ ), sulfate ( $SO_4^{2-}$ ), potentiel hydrogène (pH), Salinité de l'eau (S‰) , température de l'eau ( $T^\circ C$ ) et transparence.

Compte tenu des profondeurs très faibles 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 de l'eau ont été mesurées in situ, moyennant respectivement deux thermomètres (à renversement et ordinaire gradués au 1/10 de  $^\circ C$ ) et un disque de Sec chi perforé et de 20 cm de diamètre.

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 et les composés aussi bien azotés que phosphorés ont été dosés colorimétriquement au moyen d'un spectromètre UV-visibles. La détermination de l'oxygène dissous a nécessité le recours à la méthode de "Winkler". Pour déduire les taux de saturation correspondant aux teneurs obtenues par cette méthode, on s'est référé à la table océanographique de saturation en fonction de la température et de la salinité. Pour la chlorophylle-a, on a opté pour la méthode d'extraction au moyen de l'acétone à 90 %. La DCO 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; FAO, 1975; Klaus, 1976 et Aminot 1983)

Pour les matières en suspension, chaque échantillon d'eau a été filtré sur un filtre millépoire de  $0,45 \mu m$ . Le filtre a été séché dans une étuve à une température de  $60^\circ C$  pendant quelques heures. Le filtre est pesé ensuite par une balance de précision à 0,1 mg près.

L'analyse des sédiments a été effectuée au laboratoire. L'échantillon est séché à  $105^\circ C$ . Il est ensuite passé au tamisage. Une série de tamiseurs superposés de type 4188 et de diamètres différents (2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,2 mm, 0,1 mm, 0,063 mm et 0 mm) est liée à un moteur de type 03 502. La totalité de l'échantillon est passée par petites quantités sur le tamis de 2 mm. Le tamisage s'effectue pendant 30 mn avec une amplitude de 5. La fraction sédimentaire recueillie dans chaque tamis est pesée avec une précision de 0,01 g. La granulométrie et la nature des sédiments sont déduites par le pourcentage des particules sédimentaires recueillie sur l'ensemble des tamiseurs (Rodier 1994).

## V- RESULTATS ET DISCUSSIONS

### V-1- SEDIMENTOLOGIE

A côté des matières dissoutes, les eaux contiennent plus particulièrement des particules en suspension. Ces particules, dont la taille varie des dimensions des colloïdes à quelques centaines de  $\mu m$ , sont constituées d'éléments minéraux et organiques en provenance des sols ou des résidus d'activités humaines.

Ces particules sont susceptibles d'adsorber une grande variété de substances (toxiques ou non) ainsi que des éléments microbiens. Les matières en suspension à caractère amorphe ou cristallin peuvent être composées d'argiles, d'hydroxydes de fer ou d'alumine, de quartz, de carbonates, de grès, ainsi que de matière organiques plus au moins dégradées d'origine animale ou végétale. Tous

ces éléments particuliers en provenance du lessivage ou de l'érosion des sols sont transportés par l'eau jusqu'à ce qu'ils se déposent par sédimentation.

Il est bien connu que la concentration de la plupart de polluants est plus importante dans les sédiments des cours d'eau, des lacs, des barrages, de la mer que dans l'eau elle-même. Suivant les conditions du milieu, les sédiments, qui ont pu servir de vecteurs pour le transport des composés toxiques, peuvent les relâcher dans l'environnement et contribuer ainsi à des phénomènes de reconcentration.

Les matières humiques (acides fulvique et humique) qui enrobent, très souvent, les éléments minéraux constituent un moyen supplémentaire aidant à la fixation et à l'adsorption des polluants. Ceci aboutit à la formation des complexes, dont la capacité d'échange est importante. Il est donc intéressant de connaître la granulométrie et la nature des sédiments, qui sont responsables du transport des polluants et l'échange entre les sédiments et l'eau environnante (Ben Brahim, 1988).

L'analyse granulométrique a concerné dix échantillons prélevés pendant la campagne du 26 septembre 1994 ont permis de révéler une variabilité spatiale de la nature des sédiments du lac sud. Il en découle qu'au niveau des stations S11, S13 et S14 (tableaux 2), le fond est sablo-vaseux (Fraction supérieure à 0,5  $\mu\text{m}$  représente plus de 50 % du poids sec de

Stations	Maille du tamis (mm)	Rétention du tamis (g)	Masse cumulée (g)	% de retenue	% cumulé
S7	2	407,7	407,7	29,52	29,52
	1	100,3	508	7,26	36,78
	0,5	139,3	647,3	10,09	46,87
	0,2	507	1 154,3	36,71	83,58
	0,1	204,7	1 359	14,82	98,4
	0,06	13,2	1 372,2	0,96	99,36
	0	8,8	1 381	0,64	100
S8	2	215,1	215,1	22,02	22,02
	1	80,1	295,2	8,2	30,22
	0,5	112,3	407,5	11,5	41,72
	0,2	287,3	694,8	29,42	71,14
	0,1	255,1	249,9	26,12	97,26
	0,06	17,4	967,3	1,78	99,04
	0	9,4	976,7	0,96	100
S11	2	62,2	62,2	12,5	12,5
	1	68,3	130,5	13,73	26,23
	0,5	118,3	248,8	23,78	50,01
	0,2	125,9	374,7	25,31	75,32
	0,1	79,2	453,9	15,92	91,24
	0,06	19,6	473,5	3,94	95,18
	0		497,5	4,82	100
S13	2	219,3	219,3	50,23	50,23
	1	100,8	320,1	23,09	73,32
	0,5	53,5	373,6	12,25	85,57
	0,2	49,1	422,7	11,25	96,82
	0,1	12	434,7	2,75	99,57
	0,06	1	435,7	0,23	99,8
	0	0,9	436,6	0,2	100
S14	2	242,2	242,2	34,9	34,9
	1	188,8	431	27,2	62,1
	0,5	178,5	609,5	25,72	87,82
	0,2	47,4	656,9	6,83	94,65
	0,1	24,5	681,4	3,53	98,18
	0,06	7,6	689	1,1	99,28
	0	5	694	0,72	100
S15	2	93,9	93,9	10,05	10,05
	1	42,4	136,3	4,54	14,04
	0,5	153,3	289,6	16,4	30,99
	0,2	402,4	692	43,06	74,05
	0,1	224,5	916,5	24,02	98,07
	0,06	9,4	925,9	1	99,07
	0	8,7	934,6	0,93	100

Tableau 2: Résultats des analyses sédimentologiques

l'échantillon) et présente des débris de coquilles. Au niveau de la station S8 (tableau 2), les sédiments avaient des granulométries plus fines mélangées avec beaucoup d'algues dégradées et des tests carbonatés. Les sédiments sont donc de nature vaso-sableuse. Un passage à un fond vaso-sableux est observé au niveau des stations S7, S8 et S15 (tableaux 2). Au niveau de ces points les sédiments sont mélangés avec de nombreuses algues mortes. Les sédiments prélevés au niveau des stations S6, S9, S10 et S12 sont devenus compacts après leur passage à l'étuve. Ces sédiments sont de couleur noirâtre et sont constitués par des fines particules. La nature du fond est vaseuse (fraction inférieure à 0,5 µm représente plus de 80 % de l'échantillon total) au niveau de ces stations.

D'après les différents résultats obtenus, nous pouvons déduire qu'il y a une évolution de la granulométrie des sédiments qui deviennent de plus en plus fins en allant des côtes vers le centre du lac. En effet, le fond est exclusivement vaseux au centre du lac alors qu'il est sableux près des rivages. Toutefois, nous avons noté une forte concentration des sédiments à granulométrie fine en face de l'amont du canal de Radès (station 6) et au niveau de la station 10. Dans ces endroits, affectés par une faible hydrodynamisme, les particules en suspension se déposent par décantation. Les sédiments du lac peuvent être remis en suspension sous l'effet des courants dus aux vents de secteurs NO-NE. De même, l'augmentation de la température de l'eau peut également favoriser la remobilisation des sédiments de la couche superficielle du fond.

## **V-2- HYDROBIOLOGIE**

### **V-2-1- Turbidité de l'eau**

Elle est due à la présence des matières en suspension finement divisées: argiles, limons, grains de silice, matières organiques non dissoutes, etc. L'appréciation de l'abondance de ces matières mesure son degré de turbidité. Pour se faire nous avons opté pour la quantification des matières en suspension recueillies sur des filtres millépores de 0,45 µm de porosité et pour la mesure de la transparence de l'eau à l'aide d'un disque de Secchi.

#### **a- Matières en suspension**

Le transport et la sédimentation de matières en suspension dans l'eau dépend essentiellement des paramètres physiques du milieu et des particules à partir desquelles sont calculés le flux de sédimentation, le temps de résidence dans l'eau ou bien la capacité d'échange entre les particules et l'eau environnante.

Les teneurs en matières en suspension oscillent entre deux extrêmes minimum de 60 mg.l<sup>-1</sup> à la station S15 et maximum de 306 mg.l<sup>-1</sup> à la station S9 (tableau 3). Les fortes concentrations (supérieures à 200 mg.l<sup>-1</sup>) ont été enregistrées aux stations S8, S9 et S14. Ce constat dénote bien l'importance quantitative des rejets anthropiques provenant des zones

Stations	Profondeur (cm)	Température (°C)	Salinité (‰)	pH	Transparence (cm)	MES (mg/l)	O <sub>2</sub> (ml/l)	DCO (mg/l)
S1	60	28,5	29,9	7,80	50	120,50	0,52	14,9
S2	60	29,0	40,0	8,20	50	112,47	1,19	14,3
S3	40	30,0	37,0	8,30		98,35	2,37	14,0
S4	30	35,0	44,0	9,12	10	95,27	0,49	9,5
S5	50	34,3	43,0	9,21	10	226,25	0,56	12,9
S6	30	25,5	36,5	9,10	20	107,62	3,77	10,2
S7	40	29,6	40,0	9,11		75,34	4,61	13,2
S8	25	29,8	37,5	9,18		206,47	4,38	15,8
S9	60	30,0	38,0	9,62	10	306,00	2,08	31,6
S10	60	29,7	36,5	9,34	25	151,11	3,15	27,9
S11	65	29,5	38,0	9,15	35	84,19	4,05	10,7
S12	70	29,4	36,5	9,07	40	98,33	4,28	11,2
S13	90	29,7	36,0	9,12	35	145,29	3,10	10,4
S14	60	29,8	38,5	9,32	25	216,08	2,53	20,1
S15	70	27,5	34,5	8,96	40	59,50	3,74	7,41
S16	70	26,5	34,8	9,11	5		2,96	41,5
S17	60	27,5	35,2	9,06	10		2,57	37,4
S18	50	27,0	35,9	9,12	10		3,20	44,8
S19	50	28,5	37,2	9,26	20		1,98	50,1
S20	40	28,0	36,9	9,30	10		3,00	32,0
Moyenne	51	29,3	37,8	9,02	23,3	140,18	2,73	21,5
C	1300	27,0	34,0	8,12	200		6,81	0,5

**Tableau 3:** Résultats relatifs aux paramètres physico-chimiques retenus

industrielles de Mégrine et de Radès, d'une part, et la grande disponibilité des particules sujettes à une remise en suspension, sous l'effet des courants de marées et de vents, d'autre part.

Dans l'ensemble et au vu des résultats acquis, on peut dire que le lac sud de Tunis se distingue par des concentrations en matières en suspension assez élevées, comme en témoigne la moyenne y afférente ( $140,27 \text{ mg.l}^{-1}$ ), durant la période critique (allant de juin à septembre) où l'écosystème subit des crises dystrophiques et de graves perturbations conduisant souvent à la mortalité de poissons, de crustacés, de coquillages et d'autres invertébrés. Il en résulte un flux de sédimentation très important, en présence d'une faible colonne d'eau (0,5 m de profondeur), ce qui entraîne, inéluctablement, un comblement progressif de la lagune, de ses bordures et du canal de sa liaison directe avec le golfe de Tunis (canal de Radès).

### b- Transparence

Les résultats y afférents (tableau 3) montrent que la transparence de l'eau diminue considérablement, du fait des efflorescences phytoplanctoniques se traduisant par la manifestation des nappes d'eaux colorées, de teinte brune essentiellement. Cette teinte était très prononcée aux stations S14 et S9. En effet, ce phénomène spectaculaire a été observé lors de la mission de terrain du 26-09-1994, où l'on a noté la disparition du disque de Secchi à 10 cm au-dessous de la surface de l'eau à la station S9, qui présentait l'eau la plus turbide en raison de la présence, en grande quantité, des matières organiques non dissoutes dans la partie ouest de la lagune. On y a pu également

détecter un gradient croissant de turbidité du nord vers le sud et de l'est vers l'ouest (figure 4). Partout, au niveau des stations relativement profondes (colonne d'eau de plus de 60 cm), le disque de Secchi n'était plus visible au delà de 50 cm de profondeur.

Le rôle du phénomène d'eaux colorées dans la régression de la transparence de l'eau a été mis en évidence de façon très nette au cours de la mission de terrain de 20 juin 1996. En effet l'émergence des nappes d'eaux colorées était de grande envergure, dans la mesure où elle a touché tout la plan d'eau de la lagune et même certains parages du canal de navigation. On a aisément déceler des couleurs variables en fonction du lieu et plus au monis prononcée, allant du brun foncé au rouge-rouille (rosâtre) en passant par la teinte brune verdâtre (figure 3). La distinction de ces couleurs dominantes est un indice aussi bien du milieu très réduit d'échange d'eaux entre la mer et le lac que de l'absence de vents de nature à agiter les masses d'eaux de la lagune. Elle conforte également l'hypothèse attribuant l'origine du phénomène observé à un bloom phytoplanktonique plurispécifique.

De même, il ressort des résultats acquis que partout le disque de Secchi n'était plus visible au-delà de 20 cm de profondeur. L'eau la plus turbide a été observée à la station S16, où le disque de Secchi reste perceptible à l'oeil nu jusqu'à 5 cm au-dessous de la surface de l'eau, d'où l'importance de l'intensité de la coloration rouge-rouille observée en face de la bordigue n°4. Par contre le disque de Secchi est resté repérable à l'oeil nu jusqu'à 2 m de profondeur à la station C qui avait gardée la teinte normale de l'eau de mer.

Enfin, on remarque que durant la période critique, la limite moyenne de disparition du disque de Secchi se situe à 23,3 cm au-dessous de la surface de l'eau dans la lagune, ce qui réduit considérablement la hauteur de la couche euphotique et par voie de conséquence, l'activité photosynthétique, qui joue un rôle majeur dans l'oxygénation des masses d'eaux en période estivale.

### V-2-2- Oxygène dissous

Il s'agit de l'élément le plus vital pour le maintien de l'équilibre de tout écosystème marin ou lagunaire. Il est indispensable à la vie ainsi qu'au développement de la faune et de la flore aquatiques. Son évolution à la baisse constitue un signe de dégradation de la situation écologique du milieu en question. Sa solubilité est fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité. Les fluctuations de la teneur en oxygène sont aussi fonction de la présence des végétaux, des matières organiques oxydables, des organismes et des germes aérobies, ainsi que de la perturbation des échanges atmosphériques à l'interface (présence de graisses, d'hydrocarbures, de détergents etc.). Des variations importantes peuvent se produire au cours d'une même journée entre périodes diurne nocturne. Dans les milieux à faible hydrodynamisme tel que le lac sud de Tunis, la teneur en oxygène dissous subit une diminution considérable, allant jusqu'au développement des phénomènes anaérobies, en période critique qui est marquée par un climat excessivement chaud. En effet quand la température s'élève énormément, la concentration en oxygène diminue en raison de sa faible solubilité, mais aussi à cause de la consommation accrue par les êtres vivants et les bactéries qui se multiplient.

L'examen des résultats afférents à ce paramètre (tableau 3) permet de découvrir des pics critiques représentés par des niveaux d'oxygénation très bas (concentrations nettement inférieures à 1 ml.l<sup>-1</sup>). Ces niveaux diurnes, en s'effondrant davantage pendant la nuit faute de photosynthèse,

gènèrent dans le lac des conditions d'anoxie susceptibles de persister même tout au long de la journée, ce fut la cause principale de la mortalité massive observée chez les animaux vivants dans le lac sud de Tunis au cours des mois de juillet 1992 et août 1994.

Les résultats obtenus indiquent également que le lac sud de Tunis souffre, de façon chronique, d'un déficit en oxygène dissous durant la période critique, où l'on a enregistré une moyenne de  $2,73 \text{ ml.l}^{-1}$ . Ce déficit s'accroît énormément au point de devenir total, sous l'effet de la stabilité des masses d'eaux et d'une dégradation bactérienne intense du phytoplancton et des macroalgues envahissant la lagune, en période estivale. La forte turbidité de l'eau ne fait qu'inhiber la photosynthèse et aggraver, par conséquent, le problème de désoxygénation des masses d'eaux de la lagune. L'absence de vents de nature à aérer le milieu accentue davantage ce problème, qui prend une grande ampleur en été.

Par ailleurs, au vu des résultats obtenus, on remarque que les teneurs en oxygène dissous ont atteint des pics maxima (compris entre 4 et  $4,7 \text{ ml.l}^{-1}$ ) aux stations S7, S8, S11 et S12. Ce constat peut être expliqué par la transparence relativement importante de l'eau de S7 et S8, d'une part, et par l'emplacement des stations S11 et S12 devant deux chenaux de communication d'eau entre la lagune et le canal de navigation, d'autre part. A l'entrée de celui-ci (station C), nous avons pu relever un taux d'oxygène dissous assez important (de l'ordre de  $6,9 \text{ ml.l}^{-1}$ ) et nettement supérieur aux teneurs détectées dans la lagune. Ceci est attribué à l'hydrodynamisme assez fort affectant les masses d'eaux de la partie-est du canal.

### V-2-3- Eutrophisation

Les sources d'éléments eutrophisants peuvent être diffuses (apports terrigènes et éoliens) ou ponctuelles. Dans ce cas, il s'agit surtout des déchets domestiques et industriels, qui contiennent, en quantités très importantes, des matières organiques. L'effet de tels rejets est d'autant plus marqué, s'ils sont pratiqués dans des zones semi-fermées et peu propices à un renouvellement des masses d'eau et où sont créées, des conditions anaérobioses, comme c'est le cas du lac sud de Tunis, en période critique (de très forte chaleur).

Les caractéristiques principales de l'eutrophisation sont:

- l'enrichissement excessif du milieu en sels nutritifs
- la multiplication intense des algues et du plancton, ce qui a pour effet de réduire le passage de la lumière, d'accroître la consommation d'oxygène et d'entraîner une modification qualitative et quantitative, plus au moins profonde, de la faune, voire la cessation, le cas extrême, de la vie aquatique.
- le changement des paramètres physico-chimiques au point de favoriser la transformation du milieu en un système eutrophique caractérisé par une anaérobiose généralisée.

Les nitrates participent au phénomène d'eutrophisation, en période de faible oxygénation (saison chaude), où elles peuvent également jouer le rôle de donner d'oxygène et atténuer, voire éviter dans certains cas, l'anaérobiose.

Le phosphore, pour sa part, joue un rôle important dans le développement des algues; il favorise leur multiplication, dans les eaux du lac, où il contribue à l'eutrophisation, phénomène

évolutif au cours duquel le milieu s'enrichit d'une manière excessive en matières nutritives et par voie de conséquence en algues et plancton aquatique. Il en résulte une véritable dégradation du milieu, qui peut devenir irréversible. Les éléments responsables de cet enrichissement sont essentiellement le phosphore et l'azote, pour lesquels il est difficile de fixer des limites de concentration au-delà desquelles l'eutrophisation est certaine, car des facteurs morphométriques, hydrologiques, optiques et climatiques entrent en jeu. D'autres éléments, tels que le potassium, le magnésium, les sulfates et certains oligo-éléments, peuvent, également, y prendre une part active. Comme les rejets telluriques eutrophisants, l'accroissement de la pollution atmosphérique contribue à l'enrichissement des eaux du lac en composés azotés et phosphorés.

### a- Chlorophylle-a

D'après les résultats y afférentes (tableau 4), on constate que les teneurs les plus importantes (supérieures ou égales à  $100 \text{ mg.m}^{-3}$ ) correspondaient aux stations S5, S9 et S10. Conjugées à des facteurs climatiques caractéristiques d'un été excessivement chaud, les conditions biotiques y étaient favorables à un développement intense et exceptionnel du phytoplancton, au point de conférer au plan d'eau de la lagune de teintes spectaculaires et inhabituelles. Ces conditions maximales se sont traduites par la teinte brune la plus foncée, que l'eau de la lagune présentait au cours des mois d'août et septembre 1994.

Pour ce qui est du phénomène d'eaux colorées observé pendant le mois de juin 1996, les teneurs maximales enregistrées étaient de l'ordre de  $73 \text{ mg.m}^{-3}$  à S16 et  $85,5 \text{ mg.m}^{-3}$  à S19. On en déduit qu'à la coloration rouge-rouille correspondait une concentration en chlorophylle-a moins importante que celle respective à la teinte brune.

Il ressort, de l'ensemble de résultats acquis, que l'ouest, le nord-est et le sud de la lagune se distinguent par une forte production primaire, durant la période critique (figure 4). Il s'agit des secteurs récepteurs, en grandes quantités, des rejets anthropiques et des eaux de lessivage très riches en éléments nutritifs. Pour ce qui est de son évolution temporelle, la chlorophylle-a a atteint un pic maximum très net, au mois d'août 1994, ceci reflète bien l'importance du rôle que joue l'élévation de la température de l'eau dans l'activation du développement du phytoplancton. Il en ressort, d'un autre côté, que la concentration moyenne en chlorophylle-a est assez élevée, dans la lagune, en période critique. Elle est de l'ordre de  $62,08 \text{ mg.m}^{-3}$ , soit 23 fois plus que la teneur relevée à la station de référence C.

Par ailleurs, il y a lieu de signaler que l'examen des résultats respectifs aux MES et à la chlorophylle-a permet de déduire une nette corrélation positive (proportionnalité) entre les deux paramètres. Un tel constat laisse penser que, durant la période critique où l'accalmie est fréquente, les MES sont en grande partie constituées de particules vivantes ou d'origine organique à cause surtout de la dégradation du phytoplancton, qui y abonde à l'état vivant ou dégradé.

Enfin, il faut dire, que comparativement avec la mer de Boughrara (Mastouri, 1991 et Brahim, 1996), le lac sud de Tunis se caractérise par des teneurs en chlorophylle-a plus importantes, et que de ce fait, il fait l'objet des crises dystrophiques plus aiguës et des phénomènes d'eaux colorées plus spectaculaires et plus fréquents en période critique (Mastouri, 1994). Signalons, d'un autre côté qu'en cas de persistance d'un climat excessivement chaud, la biomasse phytoplanctonique

disponible subit une intense décomposition bactérienne, qui a pour conséquences l'épuisement du milieu en oxygène dissous et l'accroissement du niveau de pollution organique.

### b- Sels nutritifs

A la lumière des concentrations moyennes respectives à l'ammonium, aux nitrates, nitrites et phosphore minéral (tableau 4), on peut aisément constater que le lac sud de Tunis est soumis à une forte eutrophisation, en période critique, où les sels nutritifs, ont tendance, dans les conditions normales, à chuter à des niveaux très bas (inférieurs à  $0,05 \mu\text{atg.l}^{-1}$ ). On en déduit, également, que le sel nutritif la plus abondant dans le milieu est l'ammonium, dont la teneur moyenne est de l'ordre de  $6 \mu\text{atg.l}^{-1}$  (figure 5). Ce taux important témoigne surtout de la déficience en oxygène, dont souffre la lagune, ainsi que de degré élevé de pollution organique, auquel l'ensemble de l'écosystème est soumis. En oscillant de  $0,38 \mu\text{atg.l}^{-1}$  à  $14,67 \mu\text{atg.l}^{-1}$ , l'ammonium subit les variations les plus larges par rapport aux autres éléments analysés. Dans le lac sud de Tunis, la fixation de l'azote atmosphérique grâce à certaines algues et bactéries peut avoir un caractère significatif. Les eaux de pluies sont aussi susceptibles de transporter différentes substances azotées, dont l'ammoniacque, vocable conramment utilisé pour désigner les formes ionisées ( $\text{NH}_4^+$ ) et non ionisées ( $\text{NH}_3$ ). Dans les eaux marines, lagunaires et estuariennes l'ammonium est très prédominant, c'est pourquoi ce terme est souvent employé pour désigner l'azote ammoniacal. Ce dernier provient des excréctions animales et de la décomposition bactérienne des composés organiques azotés. Il est utilisé par le phytoplancton comme source d'azote et oxydé par les bactéries nitrifiantes. Les concentrations sont très variables en fonction du lieu et de la saison. En eaux côtières non polluées et en milieu océanique, les concentration sont généralement inférieures à  $1 \mu\text{mol.l}^{-1}$ . Lorsque l'on se rapproche des émissaires urbains, les concentrations peuvent atteindre plusieurs dizaines, voire centaines de micromoles par litre (Aminot, 1983). En effet, les concentrations en nitrates varient de  $0,52$  à  $4,62 \mu\text{atg.l}^{-1}$ , alors que les nitrites et les phosphates inorganiques fluctuent respectivement de  $0,16$  à  $3,5$  et de  $0,70$  à  $9,39 \mu\text{atg.l}^{-1}$ . D'une façon générale les nitrites sont présents dans l'eau de mer à des faibles doses. Ils proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniacque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous une influence d'une action de nitrifiante.

Malgré leur concentration accrue par le phytoplancton et les macroalgues particulièrement abondantes durant la période critique, les sels nutritifs n'ont subi de baisse significative, autrement dit révélatrice de leur régression à des seuils limitant la production primaire. Une telle consommation se trouve largement compensée par les apports anthropiques (fluides et solides) très riches en composés azotés et phosphatés. Les processus de dégradation bactérienne de la faune et de la flore dessiminées et la resuspension des particules du fond d'origine détritique et organique.

En conclusion, on peut dire que le lac sud de Tunis est particulièrement riche en éléments nutritifs, dont la principale source sont les effluents telluriques, qui s'y déversent de façon chronique ou accidentelle, notamment lors des fortes précipitations atmosphériques. Les eaux provenant du canal de navigation contribuent aussi à l'eutrophisation du milieu. Cette eutrophisation revêt un caractère chronique, en égard aux effluents eutrophisants émanant de certaines unités industrielles installées sur les berges du lac.

Enfin, il faut indiquer que l'évolution spatiale des résultats obtenus fait ressortir un gradient d'enrichissement très net de l'est vers l'ouest, où l'on a relevé les concentrations les plus importantes (figure 4).

#### V-2-4- Pollution organique

Mis à part l'ammonium, nous avons considéré comme indicateurs de pollution organique la demande chimique en oxygène (DCO) ainsi que l'azote et le phosphore sous leur forme totale et dissoute.

L'examen des résultats relatifs à la DCO (tableau 3) montre que la moyenne y afférente est estimée à  $21,5 \text{ mg.l}^{-1}$ . Il s'agit là d'un taux caractéristique d'un milieu très pollué organiquement et où une part importante d'oxygène dissous est consommée par les bactéries intervenant activement dans le processus de dégradation de la matière biologique (d'origine animale ou végétale) morte en période estivale. Les valeurs les plus élevées (comprises entre 32 et  $50,1 \text{ mg.l}^{-1}$ ) ont été enregistrées au mois de juin 1996 qui était marqué par des conditions climatiques favorables à l'accélération, du rythme de la décomposition de la biomasse algale, envahissant toute l'étendue de la lagune. Par contre à la station de référence C, qui était épargnée par les processus de dégradation inhérentes aux efflorescences phytoplanctoniques, nous avons noté le taux de DCO le plus faible ( $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Les eaux très pures (indemnes de toutes sortes de pollution) ont généralement une DCO, exprimée en terme de consommation en oxygène, inférieure à  $1 \text{ mg.l}^{-1}$  (Rodier, 1984).

Quant à l'azote et le phosphore totaux et dissous, leurs concentrations moyennes sont respectivement de l'ordre de  $129,9$  et  $17,8 \mu\text{atg.l}^{-1}$ , alors qu'à la station de référence C, les teneurs observées étaient de  $20 \mu\text{atg.l}^{-1}$  (soit le 1/6) pour l'azote total et  $5,2 \mu\text{atg.l}^{-1}$  (soit le 1/3) pour le phosphore total. Ces éléments contribuent beaucoup et de façon significative à la pollution organique du milieu, étant donné la dominance de la fraction organique dans leur composition respective. D'après Rodier (1984), il est considéré que  $1 \text{ mg}$  de phosphore peut contribuer à l'élaboration de  $70$  à  $80 \text{ mg}$  de matière organique, à savoir les cycles de l'azote et du phosphore basés sur la dégradation de la matière organique contenue dans les organismes végétaux ou animaux en voie de pétrification, d'une part, et la redissolution d'une partie de la vase piégée et absorbée au niveau des sédiments du fond, d'autre part.

S'agissant de l'évolution spatiale de différents indicateurs retenus, les résultats obtenus confirment nos investigations de terrain, selon lesquelles nous avons pu distinguer trois secteurs soumis à une pollution organique très manifeste, de par les émanations d'odeurs nauséabondes, l'aspect noirâtre de l'eau et la hauteur de la couche de vase dépassant largement  $50 \text{ cm}$ . Il s'agit des parties Ouest, Nord-Est et Sud-Est, soit les mêmes zones marquées par une forte densité phytoplanctonique. Ceci met en évidence le rôle majeur que joue la dégradation de la masse phytoplanctonique dans l'accroissement de la pollution organique (Figure 4).

En conclusion, on peut dire qu'en dehors des pollutions résultant des activités humaines, les matières organiques rencontrées en grandes quantités dans le Sud de Tunis, sont constituées des produits de décomposition d'origine animale ou végétale, élaborés sous l'influence des microorganismes. Un tel constat fait suspecter une forte contamination microbienne de l'écosystème.

Stations	Chl.a mg/m <sup>3</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µatg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µatg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µatg/l)	PO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (µatg/l)	Nt (µatg/l)	Pt (µatg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (g/l)
S4	83,43	0,50	0,99	0,17	1,73	195,25	18,41	1,73
S5	125,38	0,38	0,52	0,16	1,09	218,51	19,72	1,45
S6	20,50	1,63	1,29	0,61	0,97	87,85	9,35	1,90
S7	13,40	2,51	1,34	0,39	0,70	98,15	10,53	4,02
S8	25,90	3,94	1,79	1,01	2,93	110,60	20,28	2,46
S9	111,00	11,05	4,62	1,57	9,39	171,10	29,86	1,20
S10	100,00	9,83	4,46	1,42	8,45	155,80	27,63	1,98
S11	30,70	2,29	2,97	1,09	2,76	73,68	15,26	2,51
S12	33,30	2,11	4,78	0,96	1,84	71,32	13,72	2,03
S13	89,20	2,93	1,84	1,17	2,42	69,52	12,53	2,35
S14	66,00	4,25	3,47	1,59	3,08	103,4	20,45	1,47
S15	12,40	2,01	1,07	0,87	0,92	65,40	8,40	2,39
S16	72,60	12,45	4,01	2,96	2,01	170,30	17,00	1,32
S17	68,10	10,29	3,76	2,65	1,94	165,00	15,30	1,56
S18	85,20	14,67	5,38	3,50	3,00	182,10	20,70	1,78
S19	63,80	13,55	4,73	2,10	2,57	160,80	19,20	1,95
S20	56,40	7,46	2,18	1,97	1,68	109,30	13,50	2,30
<b>Moyene</b>	<b>62,08</b>	<b>5,99</b>	<b>2,72</b>	<b>1,42</b>	<b>2,79</b>	<b>129,89</b>	<b>17,17</b>	<b>2,02</b>
<b>C</b>	<b>2,70</b>	<b>1,07</b>	<b>1,29</b>	<b>0,51</b>	<b>0,87</b>	<b>20,00</b>	<b>5,12</b>	<b>2,50</b>

**Tableau 4** : résultats d'analyses des paramètres hydrobiologiques.

#### V-2-5- Sulfates

La concentration en ions sulfates (SO<sub>4</sub><sup>=</sup>) dans les milieux aquatiques semi-fermés et à faible hydrodynamisme est sujette à des grandes variations. Sous l'action de bactéries sulfitoréductrices, des sulfures peuvent se former et donner, en définitive, lieu à des précipités de sulfure de fer. En s'oxydant dans les milieux suffisamment oxygénés, les sulfures métalliques (de fer, de nickel, de cuivre, etc...) peuvent aboutir à la formation des sulfates. Quant à l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) et aux sulfures aisément détectables dans le lac Sud de Tunis de par les émanations d'odeurs désagréables en période estivale, ils proviennent soit d'eau usée ( d'origine urbaine ou agricole), soit d'effluents industriels (issus d'usines chimiques, électroniques, agro-alimentaires, papeteries etc.). Dans les eaux bien aérées et oxygénées, ce qui n'est pas le cas du lac de Tunis, ils se transforment en sulfates.

D'après les résultats obtenus (Tableau 4), on s'aperçoit que la concentration moyenne en sulfates est de 2,02 g.l<sup>-1</sup> dans le lac de Tunis durant la période critique. Il s'agit là d'un taux légèrement inférieur à celui rencontré à la station de référence C. Ceci laisse suspecter un rapport non négligeable du soufre lié au transport de certains minerais par les navires fréquentant le canal de navigation, qui relie La Goulette à Tunis.

La déficience du lac en oxygène dissous a fait qu'une majeure partie des sulfures et d'hydrogène sulfuré ne s'oxydent pas pour donner lieu à des sulfates. Celles-ci étaient présentes dans le lac à des teneurs inférieures à  $2,4 \text{ g.l}^{-1}$ , sauf à la station S7, où le taux maximum ( $4,02 \text{ g.l}^{-1}$ ) a été notée. Cette concentration élevée est caractéristique d'un secteur en l'occurrence l'extrême sud-est du lac, récepteur d'effluents telluriques particulièrement chargés en composées à base du soufre. Par contre les stations S5, S9, S14 et S16 se distinguent par les concentrations les plus faibles (inférieures à  $1,5 \text{ g.l}^{-1}$ ). Ces dernières représentent le signe d'une réduction importante de sulfates disponibles par les bactéries sulfito-réductrices, a qui de ce fait sont très abondantes au nord-est, sud-est et sud-ouest du lac. Il s'agit là des endroits, à fond essentiellement vaseux de très faibles profondeurs, où l'eau est pratiquement stagnante et où débouchent de façon continue des rejets anthropiques (surtout industriels et urbains) sans le moindre traitement préalable.

### V-2-6- Rapports Nt/Pt

Les phosphates font partie des anions facilement fixés sur le sol ; leur présence dans l'eau est liée à la nature des terres traversées et à la décomposition de la matière organique. Les phosphates échappent en majeure partie (80%) au traitement des stations d'épuration biologique classique (Rodier, 1984), et de ce fait, se retrouvent dans les rejets. Le phosphore est présent dans l'eau de mer ou lagunaire sous différentes formes, dont la plus stable étant les orthophosphates ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), c'est cette forme qui domine dans l'eau de mer à pH normal. Concernant les nitrates, toutes les formes d'azote (azote organique, ammoniacque, nitrites, etc.) sont susceptibles d'être à l'origine de cet élément par un processus d'oxydation biologique.

Dans la présente partie, nous nous sommes intéressés, dans un premier lieu, à l'analyse du rapport nitrates/phosphates inorganiques, et ce dans le but d'avoir une idée sur l'importance quantitative de ces sels nutritifs indispensables au développement de la flore, des macroalgues et de phytoplancton. La courbe y afférente (Figure 6) fait état d'une faible variabilité d'une station à l'autre. On en déduit que ces éléments sont répandus sur l'ensemble de l'écosystème dans des proportions presque constantes et qu'ils ne sont pas affectés, en raison de leur consommation accrue pendant les mois particulièrement chauds de l'année.

Les valeurs les plus basses (inférieures à 1,15) ont été rencontrées aux stations S4 et S20, qui sont principalement soumises à l'influence des eaux marines acheminées directement vers le lac Sud de Tunis par le biais du canal de Radès. De même, la courbe en question nous a permis de découvrir une dominance assez nette des nitrates vis-à-vis des phosphates inorganiques, exception faite de la station S4 où ce constat s'inverse avec un rapport de l'ordre de 0,6, mais la valeur moyenne étant de 1,92.

S'agissant du rapport azote total /phosphore total, la courbe de son évolution (Figure 6) présente 2 pics maxima bien distincts aux stations S5 et S17, où l'on a noté des valeurs supérieures à 10. Il en découle l'enrichissement excessif de leur eau en composées azotées (sous forme minérale et organique). Les deux autres constatations qui méritent d'être évoquées sont :

- l'abondance absolue et considérable de l'azote total par rapport au phosphore total et ce pour toutes les stations, sans aucune exception. En effet, le quotient le plus faible était de l'ordre de

5 et correspondait à la station S14, qui subit une grande influence des eaux marines véhiculées par le canal de Radès.

- Aux stations S8, S9, S10, S12, S13 et S14, le rapport  $Nt/Pt$  accuse une variabilité non significative, en se maintenant presque stationnaire aux alentours de 5.5. En moyenne ce rapport est de 7,56.

Pour conclure, et à la lumière de toutes les constatations précitées, on peut affirmer que les effluents telluriques débouchant dans le lac Sud de Tunis sont largement plus chargés en composés azotés que phosphorés. Ceci est valable pour l'ensemble de l'écosystème, exception faite de l'amont du canal de Radès et les parties avoisinantes. Une telle exception mène à incriminer les rejets hydriques émanant des installations de la société Tunisienne de l'Electricité et du Gaz (STEG) et pénétrant en partie dans le lac moyennant le canal de Radès.

### V-2-7- Physico-chimie

Notre préoccupation a porté sur l'évolution des facteurs physico-chimiques les plus sensibles à l'eutrophisation et aux conditions météorologiques spécifiques aux mois les plus chauds et à très faible pluviométrie. Il s'agit du pH de la température de l'eau et de la salinité (Tableau 3). Les périodes de fortes chaleurs, très fréquentes en été, s'accompagnent de grandes modifications de ces paramètres qui peuvent ainsi atteindre des seuils intolérables, voire léthaux pour la faune vivant de façon autochtone ou transitoire, dans les zones littorales fragiles et semi-fermées, dont fait partie le lac Sud de Tunis.

L'examen des résultats relatifs à la température de l'eau montre que celle-ci varie de 27 à 35°C, avec une moyenne de 29,3°C durant la période critique. Les valeurs extrêmes ont été obtenues en août 1994 à la station S4 pour le maximum et en Juin 1996 aux stations S18 et C pour le minimum. Hormis le climat excessivement chaud et sec marquant le mois d'août, l'échauffement exceptionnel de l'eau à la station S4 peut être expliqué par l'influence des eaux relativement chaudes rejetées par la STEG et pénétrant dans le lac, en pleine mer, à travers le canal de Radès. Mais faute d'hydrodynamisme important, la pollution thermique, qui en résulte, reste très limitée et n'affecte que la partie amont de ce canal.

S'agissant du pH, la moyenne y afférente est de 9,02 alors que la station de référence C présente une valeur proche de la normale (8,12) et révélatrice d'un écosystème marin soumis à des courants locaux assez forts et permanents. La tendance basique du pH des eaux du lac est un indice d'accroissement de la pollution organique, durant la période critique, dans l'ensemble de l'écosystème et en particulier dans ses parties ouest, nord-est et sud-est. Les valeurs les plus faibles (oscillant entre 7,8 et 8,3) ont été rencontrées aux stations S1, S2 et S3, en pleine mer à la fin du mois de Juillet 1992. Elles laissent présager un certain brassage de l'eau de l'extrêm-nord-est du lac avec celle de la mer et font suspecter l'influence d'apport tellurique à pH proche de la neutralité, dans cette partie.

Pour ce qui est de la salinité, dont les fluctuations sont largement tributaires des conditions hydrodynamiques et climatiques (températures, précipitations atmosphériques et ensoleillement), nous avons obtenu comme moyenne 37,8 pour mille, soit une valeur inférieure à celle observée durant la même période de l'année 1993 dans la mer de Boughrara (Brahim, 1996). Elle est, en

revanche, nettement supérieure à la salinité de l'eau de la station de référence C (34 pour mille). Ce paramètre évolue dans le lac Sud de Tunis entre deux valeurs maximale et minimale qui sont respectivement de 44 pour mille à la station S4 et 34,5 pour mille à la station S15. Il en ressort, également, que le lac en question entretient des faibles échanges d'eaux avec la mer. La salinité évolue à la hausse durant la période critique s'étalant du mois de Juin à Septembre. Elle a atteint son maximum au mois d'août 1994, mois réunissant toutes les conditions climatiques favorables à l'évaporation (température de l'air dépassant 47°C à l'ombre, persistance d'une vague de chaleur torride, forte insolation, pluviométrie nulle, accalmie et vent de type sirocco fréquent). Du point de vue de la répartition spatiale, les salinités les plus importantes ont été rencontrées en amont du canal de Radès et ses alentours. Il s'agit d'une zone où la pollution thermique inhérente au rejet d'eau chaude de la STEG, active et accentue davantage le processus de l'évaporation de l'eau. Enfin, il y a lieu de signaler que le lac Sud de Tunis n'est pas confronté au problème de dessalure de ses eaux, en raison de l'absence d'un réseau hydrographique alimentant de façon permanente cet écosystème en eau douce.

## VI- CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

A la lumière des données recueillies et analysées dans cette étude, il apparaît clairement que la situation écologique du lac sud de Tunis subit en période critique (allant de juin à septembre) une dégradation alarmante, et risquant d'être irréversible si l'écosystème ne fait pas l'objet, dans les prochains mois à venir, d'un plan de dépollution et d'aménagement approprié.

Les analyses hydrobiologiques se rapportant à cette étude ont aboutit à des résultats reflétant sans aucune ambiguïté l'eutrophisation très prononcée et l'accroissement spectaculaire de la pollution organique, dont souffre le lac sud de Tunis, pendant les mois critiques (juillet, 1992, août-septembre 1994 et juin 1996) dont en particulier le mois d'août qui est marqué par des conditions climatiques exceptionnelles (pluviométrie nulle, forte insolation, élévation très importante de la température et accalmie). Ces résultats ont, également, mis en exergue la grande vulnérabilité hydrobiologique de l'écosystème, en raison des crises dystrophiques, s'accompagnant souvent de problème de mortalité plus au moins massive touchant la faune du lac lors des périodes de forte chaleur persistante.

Du point de vue biologique, les résultats d'analyse de la chlorophylle-a ainsi que des investigations de terrain ont permis d'attribuer l'origine de teintes inhabituelles observées dans le lac durant la période estivale, à des efflorescences phytoplanctoniques plurispécifiques et très spectaculaires, comme en témoigne des teneurs en chlorophylle-a. Celles-ci étaient en moyenne de 62,08 mg.m<sup>-3</sup>. Les concentrations maximales (supérieures ou égales à 100 mg.m<sup>-3</sup>) se sont traduites par la teinte brune la plus foncée observée aux mois d'août et de septembre 1994.

En dépit de leur consommation très accrue et accélérée des poussées phytoplanctoniques et macroalgales, les sels nutritifs (nitrites, nitrates, ammonium et phosphore minéral) se sont maintenus, tout élément confondu, à des taux relativement élevées (supérieurs à 1,4 µatg.l<sup>-1</sup> en moyenne). Ce constat laisse déduire l'importance quantitative des apports eutrophisants que reçoit le lac par voies terrestre et marine. Le rapport nitrates/phosphates inorganiques est en moyenne de 1,92. Ceci montre bien la dominance des nitrates vis-à-vis du phosphore minéral.

Le pH a tendance basique des eaux du lac (9.02) et les taux élevés du DCO (21.5 mg.l<sup>-1</sup> en moyenne) sont révélateurs d'un écosystème lagunaire très pollué organiquement surtout dans ses parties ouest, nord-est et sud-est. Un tel constat est, également, confirmé par les niveaux d'autres indicateurs tels que l'ammonium, le phosphore total et l'azote total dont les moyennes étaient respectivement de 6 µatg.l<sup>-1</sup>, 17.17 µatg.l<sup>-1</sup> et de 129.89 µatg.l<sup>-1</sup>. Cette pollution organique excessive est la conséquence de l'accumulation dans le milieu de grandes quantités de matières organiques d'origine exogène et endogène. L'analyse du rapport azote/phosphore sous leur forme totale (variant de 4,82 à 11,08) indique que le lac sud de Tunis est le réceptacle des apports telluriques largement plus chargés en composés azotés que phosphorés.

S'agissant de l'oxygène dissous, les teneurs diurnes rencontrées sont assez faibles (de l'ordre de 2,7 ml.l<sup>-1</sup>, en moyenne). Les échanges négligeables des eaux entre le lac et la mer, la décomposition intense de la biomasse algales (phytoplancton et macroalgues) particulièrement abondante durant la période critique, la persistance de la chaleur et la forte turbidité de l'eau (MES estimées en moyenne à 140,2 mg.l<sup>-1</sup> et la disparition du disque de Secchi à 23,3 cm en moyenne) sont les principaux facteurs responsables de la raréfaction de l'oxygène dissous dans les eaux du lac. Ce phénomène fait que les sulfures et l'hydrogène sulfuré ne s'oxydent pas pour donner lieu à des sulfates. Celles-ci, atteignant en moyenne 2,02 g.l<sup>-1</sup>, subissent donc une réduction importante sous l'action des bactéries sulfato-réductrices, qui sont particulièrement abondantes et actives sur l'ensemble de l'étendu de la lagune, et préférentiellement dans ces parties nord-est, sud-est et sud-ouest. L'appauvrissement du milieu en oxygène dissous explique, également, le taux moyen élevé de l'ammonium (6 µatg.l<sup>-1</sup>)

La température et la salinité moyennes s'élèvent respectivement à 29,3 °C et 37,8 ‰. Elles accusent leur variation la plus importante au mois d'août, notamment en amont du canal de Radès, soit la partie où se fait sentir une certaine pollution thermique, ayant pour origine les rejets d'eaux relativement chaudes émanant de la STEG.

La carence du milieu en oxygène dissous peut s'aggraver et conduire, en période de forte chaleur persistante, au développement des conditions anaérobioses, qui représentent la cause principale de la mortalité plus au moins massive frappant les organismes faunistiques du lac en été. Cette situation d'anoxie résulte de la conjugaison et de la simultanéité de plusieurs facteurs tels que l'évolution vers la hausse de la température et de la salinité, l'inhibition de la photosynthèse en raison de l'opacification des eaux du lac, la stagnation des eaux et la décomposition bactérienne de la biomasse algales envahissant l'ensemble de l'écosystème en période critique.

La turbidité des eaux du lac évolue selon un gradient croissant de l'est vers l'ouest et du nord vers le sud. Quant aux sels nutritifs, leur répartition spatiale obéit à un gradient d'enrichissement progressif de l'est vers l'ouest où se déversent les flux les plus importants d'effluents anthropiques (d'origine urbaine et industrielle).

A la lumière des résultats sédimentologiques, nous avons noté une évolution de la granulométrie des sédiments, qui deviennent de plus en plus fins des côtes vers le centre du lac, où le fond est exclusivement vaseux alors qu'il a une nature principalement sableuse près des rivages. Il en résulte par ailleurs, que le lac est en voie de comblement; sous l'action de l'accumulation des sédiments fins (essentiellement vaseux), surtout à l'amont du canal de Radès et à l'ouest de la lagune. Ceci a pour effet de diminuer davantage la circulation des eaux et par conséquent leur échange entre

le lac et la mer. De par leur abondance généralisée, ces sédiments en majeure partie vaseux constituent une source de pollution chimique pour l'ensemble de l'écosystème. Leur remise en suspension s'accompagne d'une augmentation des taux de certains polluants nocifs pour la faune et la flore.

Outre la connaissance des caractéristiques sédimentologiques des sédiments de la couche superficielle (30 premiers centimètres) du fond et la confirmation de la vulnérabilité hydrobiologique très aigue du lac sud en période critique (allant de juin à septembre), notre étude a permis la distinction de trois zones particulières, marquées par une dégradation très poussée, voire irréversible. Il s'agit du nord-est, sud-est et sud-ouest. Cela mène à présager leur remblaiement dans le cadre de la mise en valeur des berges du lac.

Enfin, nous tenons à souligner que les résultats aussi bien hydrobiologiques que sédimentologiques s'accordent pour mettre en évidence la grande vulnérabilité et la précarité de l'équilibre écologiques du lac sud de Tunis, qui est en train de perdre actuellement sa vocation d'écosystème favorable au recrutement et à la croissance de plusieurs espèces faunistiques et floristiques, et ce sous l'effet des crises dystrophiques très aiguës en période critique ainsi que d'une multitude d'agressions anthropiques. La sauvegarde de cet espace lagunaire et de sa biodiversité passe inévitablement par la mise en oeuvre dans les plus brefs délais du plan d'aménagement et de dépollution arrêté à son profil. Cela exige néanmoins la prise de certaines mesures d'accompagnement destinées à limiter les effets nuisibles de la turbidité imputable aux travaux de dragage, à éviter l'érosion, à empêcher les eaux relativement chaudes issus de la STEG et enfin à faire acheminer les eaux pluviales vers la mer. De même, il est opportun de rappeler la nécessité de soumettre le lac à une surveillance pluridisciplinaire et continue avant, pendant et après les travaux d'aménagement et d'assainissement. Une telle approche s'impose si l'on veut cerner les transformations que l'écosystème subira.

## Remerciements –

Il nous est agréable de remercier vivement Monsieur le Directeur Général de l'INSTM pour l'intérêt particulier et l'encouragement qu'il n'a pas cessé de réserver à toute étude traitant des problèmes environnementaux du lac sud de Tunis

Nos vifs remerciements s'adressent également à l'Office National des Pêches, qui nous a soutenu sur le plan logistique, ainsi qu'à Monsieur Akrouf Fourat, pour sa contribution appréciable aux analyses hydrologiques

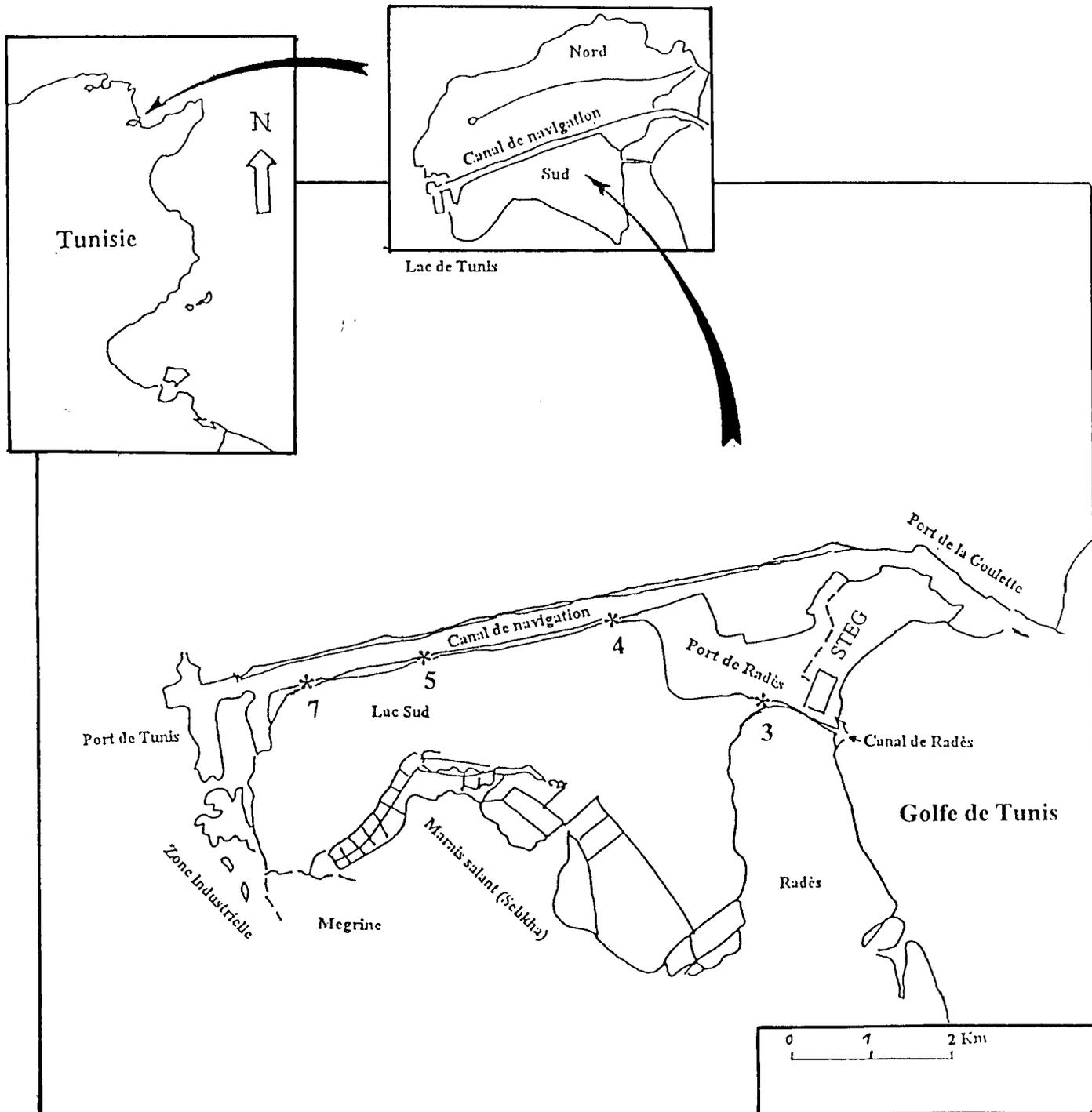


Figure 1: Lac sud de Tunis et emplacement des bordigues (\*)

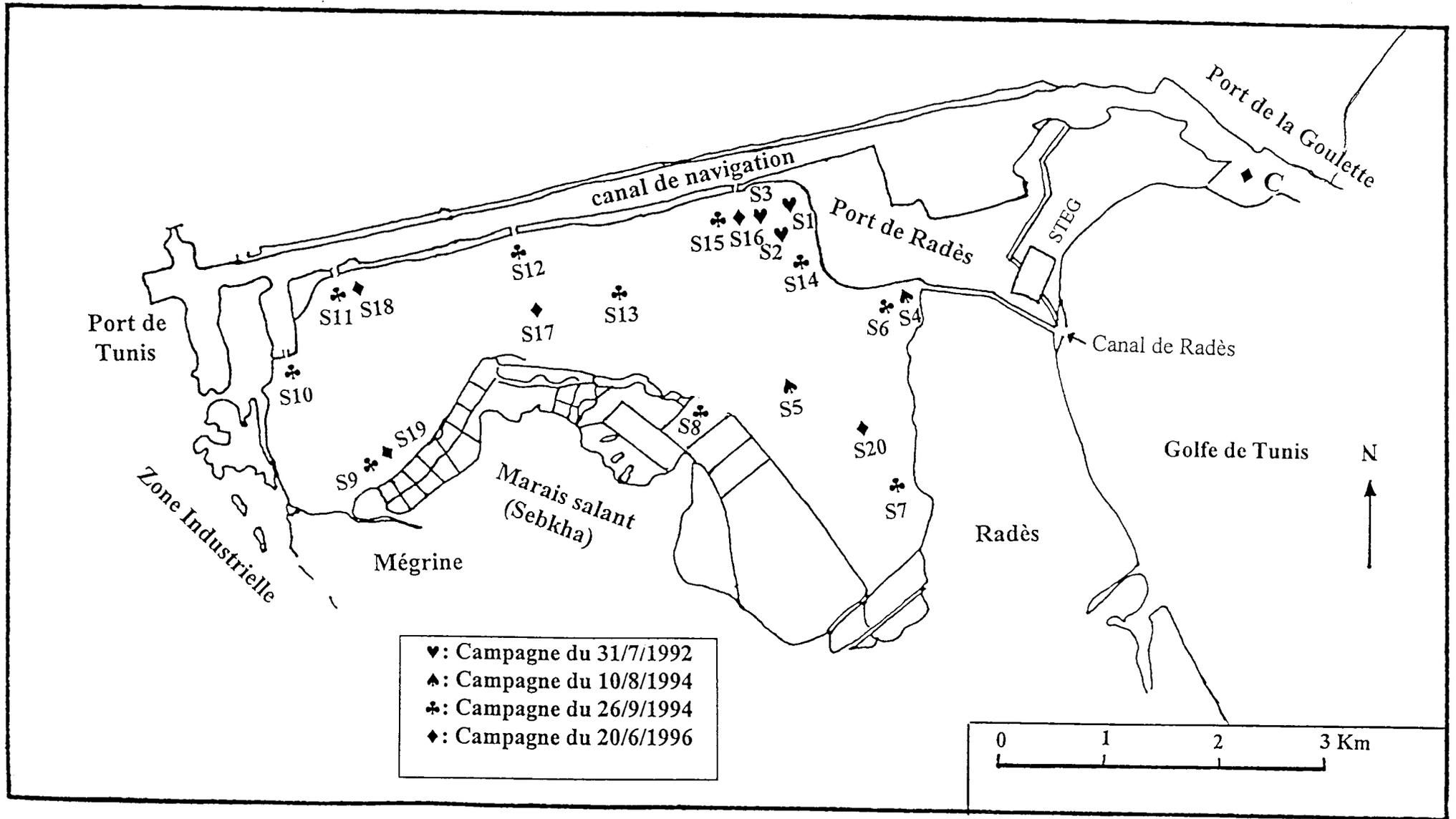


Figure 2: Localisation des stations étudiées

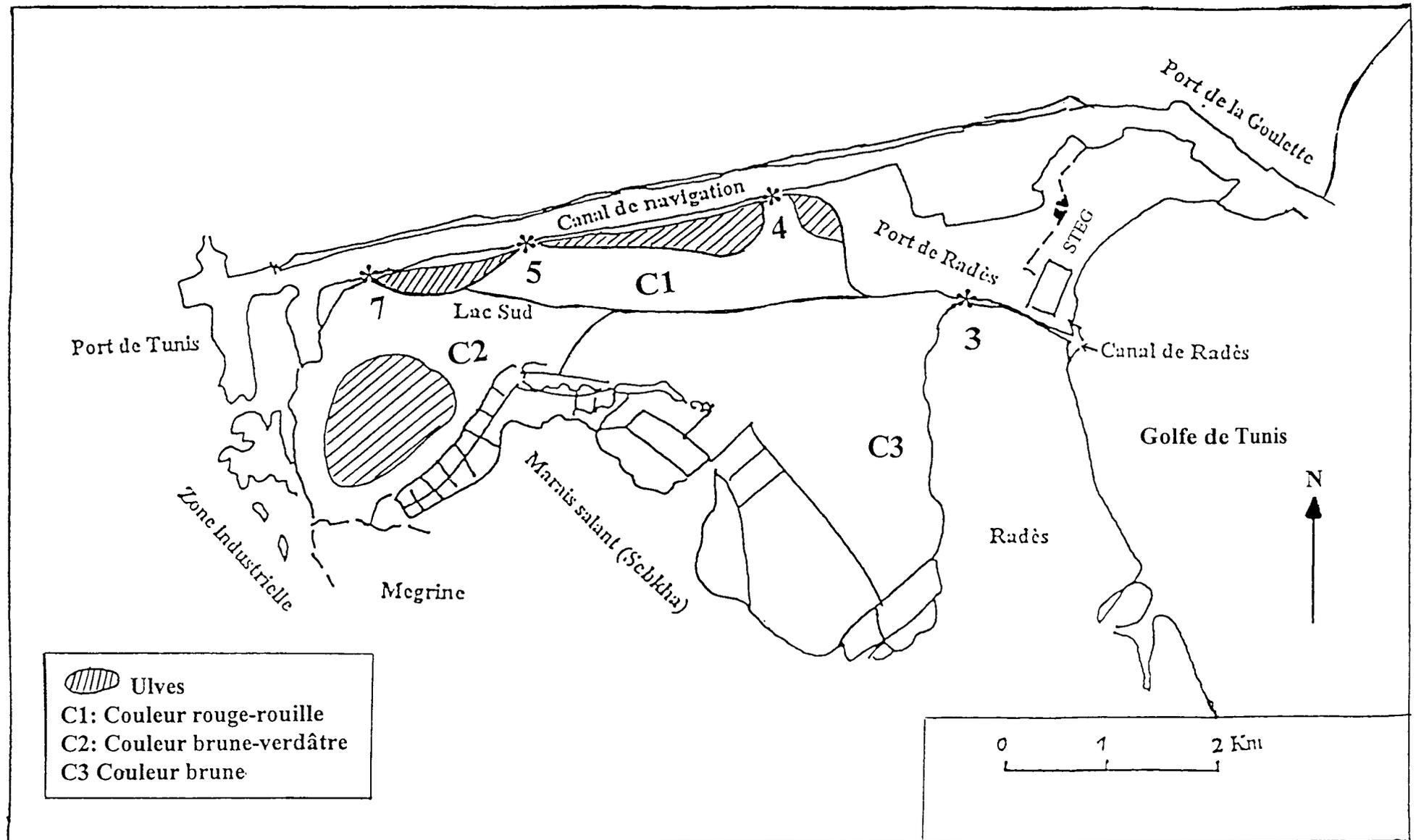


Figure 3: Répartition des nappes d'eaux colorées et des ulves observées en juin 1996

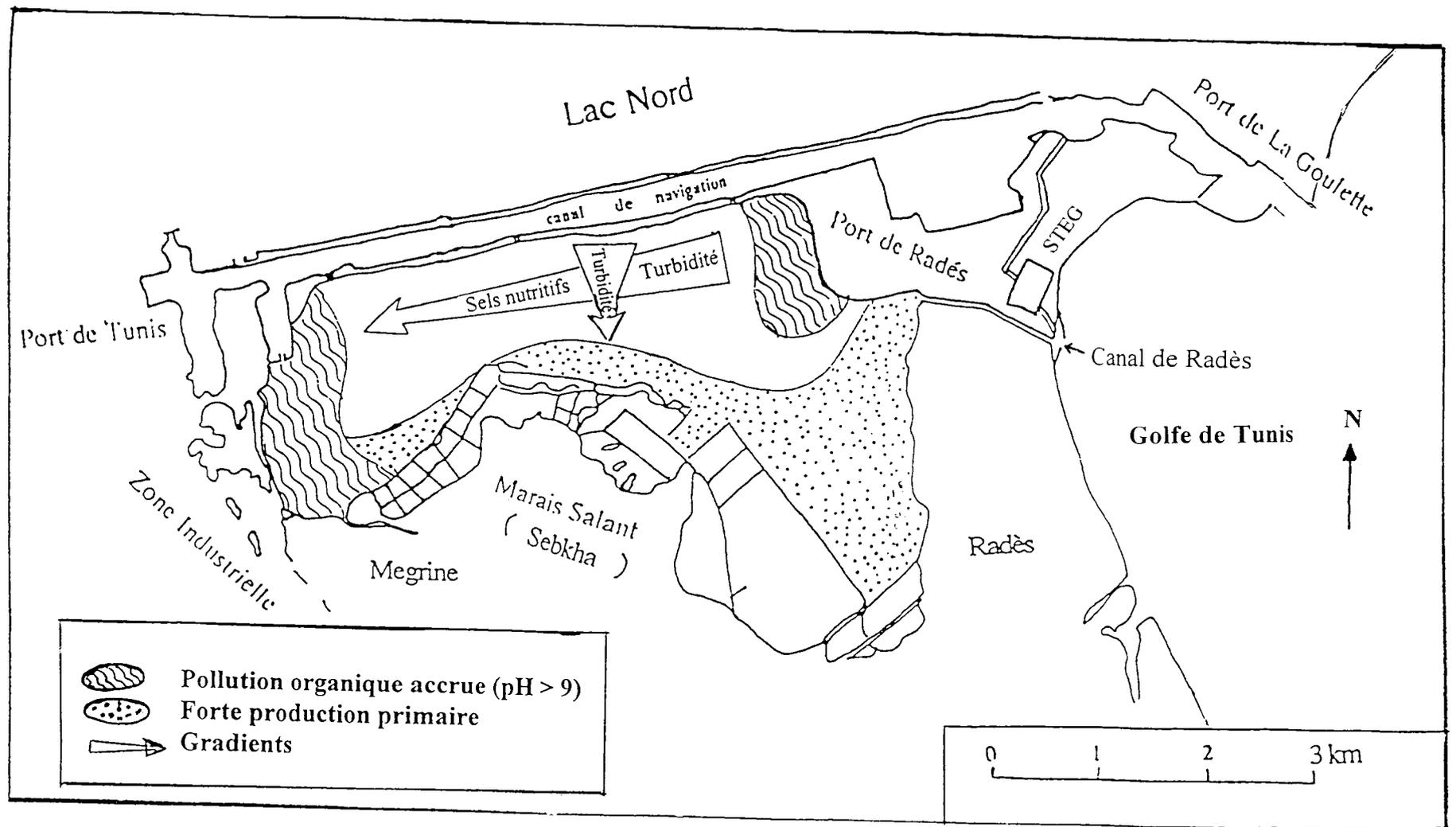
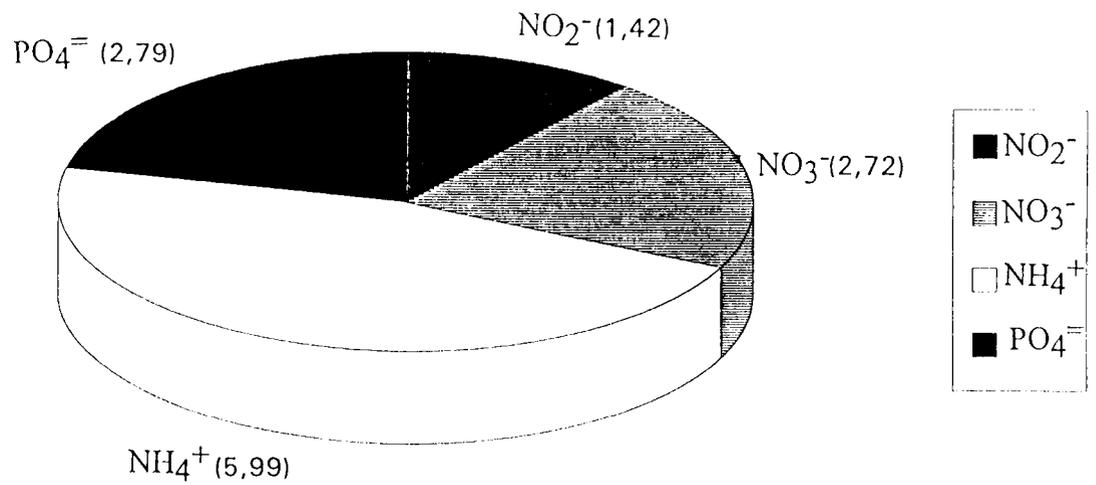


Figure 4 : Répartition spatiale de certains indicateurs de pollution



**Figure 5:** Importance relative des teneurs moyennes en sels nutritifs (µatg/l)

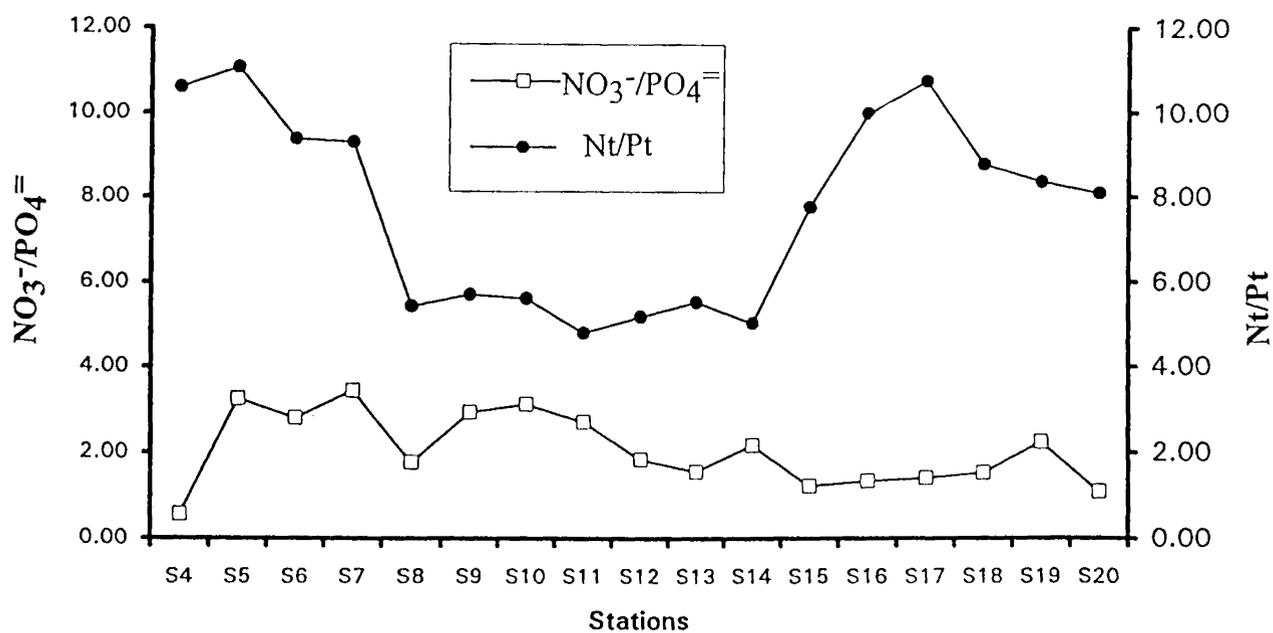


Figure 6: Evolution spatiale des rapports  $\text{Nt/Pt}$  et  $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4^{=}$

## BIBLIOGRAPHIE

- Aminot A. et M. Chaussepied**, 1983: Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO. 395 p.
- Baier R., Belkhir M., Johnson R., Keene W. et Pilkey O.**; 1979: Recherche sur l'eutrophisation du lac de Tunis 2. Géologie, biologie, chimie et hydrologie. Salammbô: INSTOP/EPA. 65p.
- Belkhir M.**; 1979: Eutrophisation du lac nord de Tunis. Etudes physico-chimiques et biomasses phytoplantonique et macroalgale. Thèse 3ème cycle, Université de Tunis 194p
- Belkhir Mohieddine et Mohamed Hadj Ali Salem**, 1983: Notion d'hydrologie comparée dans le lac de Tunis et le Golfe de Tunis. Bull. Inst. nat. scient. tech. Océanogr. Pêche Salammbô. 10: 5-26.
- Belkhir Mohieddine et Mohamed Hadj Ali Salem**; 1981: Contribution à l'étude des mécanismes d'eutrophisation dans le lac de Tunis: évolution des paramètres physico-chimiques et biologiques. Bull. Inst. Nat. Scient. Tech. Océanogr. Pêche Salammbô, 8: 81-98.
- Ben Alaya H.**; 1972: Répartition et conditions d'installation de *Posidonia oceanica* Dellile et *Cymodocea nodosa* Asherson dans le golfe de Tunis. Bull. Inst. natn. scient. tech. Océanogr. Pêche Salammbô, 2(3): 331-416.
- Ben Brahim Mouldi**, 1988: Le transport et la sédimentation de la matière en suspension dans l'Atlantique Nord-Est et dans la Baie de Seine. Doctorat (nouvelle thèse). Université Pierre et Marie, France, 200 p
- Brahim M., Mastouri A et Akrouf F.**, 1996: Lagune de Boughrara.: Bilan d'une année de surveillance hydrobiologique. Bull. Inst. natn. scient. et tech. de la Mer-Salammbô, n°24, 1997.
- Brandhorst W.**; 1977: Les conditions de milieu au large de la côte tunisienne. Bull. Inst. natn. scient. tech. Océanogr. Pêche Salammbô, 4 (2-4): 129-220.
- Castany G.**; 1955: Le haut bassin siculo-tunisien. Etude de morphologie et géologie sous marines. Bull. Inst. natn. scient. tech. Océanogr. Pêche Salammbô. 52: 3-17.
- Crouzet P.**; 1972: Contribution à la connaissance de la physico-chimie et de la production primaire du lac nord de Tunis, Tunisie. Thèse 3ème cycle Univ. Paris 94p.
- F.A.O.**, 1975: Manual of methods in aquatic environment research. Part 1: Methods for detection, measurement and monitoring of water pollution. FIRI/T 137.

- Ivanoff A.**, 1972-1975: Introduction à l'océanographie. Propriétés physiques et chimiques des eaux de mer. Paris. Wuibert, vol.1. 208p. vol.2. 240p.
- Klaus G.**, 1976: Methods of seawater analysis. 317p
- Mastouri A.**, 1991: Crise dystrophique survenue dans la mer de Boughrara durant l'été 1991. Rapport technique de mission. INSTOP-Salammbô.
- Mastouri A., Dridi K., Amara H. et Akrouf F.**,1994: Lac sud de Tunis: Hydrobiologie et état de pollution. Bull. Inst. natn. scient. tech. Océanogr. Pêche Salammbô. 52: 3-17. ,n°8.
- Muraour P.** 1959: Etude séismique par réfraction au large du bassin de la Medjerdah. Bull. Inst. natn. scient. tech. Océanogr. Pêche Salammbô, 53: 1-23.
- Pimienta J.** 1959: Le cycle pléocène actuel dans les bassins paralliques de Tunis. Mém. Soc. Géol. Fr., 38(1): 1-76.
- Rodier J.**, 1975: L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 630p
- Rodier J.**, 1984: L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduelles et eau de mer. 7 ème édition, Dunod. 1365 p., Paris.
- SEPIA International**, 1983: Commissariat Général à la Pêche. Mise en valeur de la Bahira el Boughrara. Pêche et Aquaculture (Rapport final)
- Schneider W.** 1978: Bilan des substances nutritives du lac de Tunis 1976/1977. Rapport effectué par l'Institut Fresenius pour le Ministère de l'Agriculture. 2vol. 787p.
- Stirn J.** 1968: Lac de Tunis (partie nord). Assainissement (Rapport Rudis au Sous secrétariat d'Etat à l'Agriculture). 68p.

الجمهورية التونسية

ردم د - 0080 - 0330

# نشرة المعهد الوطني لعلوم و تكنولوجيا البحار



INSTM

عدد 23، I سنة 1996