

## Notions d'hydrologie comparée dans le lac de Tunis et le golfe de Tunis

Mohieddine BELKHIR\* et Mohamed HADJ ALI SALEM\*

### خلاصة

يحتوي هذا العدد على دراسة افقية وعمودية للمقاييس التالية والتي هي حرارة الماء ، ملوحته ، وصفائه في كل من بحيرة تونس وخليج تونس .  
واستعملت النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة لتقديم ملاحظات تخص كيفية دوران المياه في بحيرة تونس وخليج تونس وتبادل الطاقة بينهما كما تتعرض اكشف عن مدى تأثير اشغال تطهير البحيرة على مياه البحيرة نفسها وعلى مياه خليج تونس .

### RESUME

La présente communication concerne l'étude des variations en surface et en profondeur, de la température, de la salinité et de la transparence des eaux dont les résultats sont utilisés pour avancer quelques remarques sur la circulation des eaux dans le lac de Tunis et le golfe de Tunis, sur les échanges d'énergie entre ces deux systèmes lagunaire et marin, et sur l'impact des travaux d'aménagement effectués au lac de Tunis sur l'hydrologie dans les écosystèmes précités.

### ABSTRACT

The present study is dealing with the variations in depth and surface, of the temperature, the salinity and the turbidity of water within the lake and the gulf of Tunis.  
Collect results, are used, to put forward some remarks related to the water circulation within the lake and the gulf, to the energy exchange between them and to the impact of dredging in the lake upon the hydrology within the lagoon and marin ecosystem.

### INTRODUCTION

Le lac de Tunis et le petit golfe de Tunis (partie sud du grand golfe de Tunis délimitée au nord par l'étranglement au niveau de l'axe cap Carthage-ras Fortas et au sud par la ville de Tunis) font partie du bassin siculo-tunisien (Castany, 1955) et se trouvent au nord de la Tunisie, à la limite nord-est de l'Afrique du Nord, dans la zone définie par les méridiens 10° et 11° E et par les parallèles 36° et 37° N.

Appartenant à une plaine alluviale dont la nature sableuse est l'œuvre des oueds Medjerda et Méliane, le lac et le golfe sont relativement abrités

---

\* Institut national scientifique et technique d'océanographie et de pêche, 2025 Salammbô, Tunisie.

des vents dominants et présentent, de ce fait, un aspect sédimentologique particulier (Muraour, 1959 ; Pimienta, 1959).

Le lac de Tunis, considéré de nos jours comme étant un écosystème unique, est en fait constitué de trois unités présentant chacune un écosystème différent aussi bien sur le plan topographique que sur le plan écologique. Toutefois, ces trois systèmes (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 de la ville de Tunis qu'avec la mer (fig. 1).

Les travaux publiés antérieurement sur cette lagune dont ceux de Stirn (1968), Zaouali (1971), Baier et al. (1977), Schneider (1979) et Belkhir 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.

Dans le golfe de Tunis, cet état d'instabilité, notamment au niveau de la salinité, a été noté dans les zones d'influence des oueds Medjerda et Méliane respectivement situées au nord et au sud du lac de Tunis (Ben Alaya 1972) et dans celles sous influence océanique au large des eaux tunisiennes (Brandhorst, 1977).

En raison de cette similitude dans l'incidence des bilans hydrologique et climatique sur les facteurs écologiques des eaux du lac et du golfe et eu égard aux échanges d'énergie entre eux, principalement par les canaux de Khereddine (lac nord), de Radès (lac sud) et le canal médian servant à la navigation entre les ports de Tunis et de La Goulette, nous avons entamé cette étude, à titre de prospection, pour mettre en évidence une éventuelle incidence des rejets, dans le lac, d'eaux usées (urbaine, industrielle) sur les eaux côtières marines du golfe de Tunis.

Au cours de cette étude, nous avons enregistré une intervention de l'homme au niveau des deux écosystèmes lagunaire et marin et cela à l'occasion de l'aménagement du nouveau port aux dépens du lac sud et dans la zone proche de la mer du canal de navigation ; cette intervention s'est traduite par l'approfondissement, sur une superficie de près de 10 hectares des eaux de 0,5 à 10 m et les rejets en mer de dizaines de tonnes de sédiments de dragage accompagnés d'eau peu salée, au nord du canal de Radès et le long de l'axe allant du nouveau port à Sidi Raïs dans le golfe de Tunis.

A cet effet, nous avons procédé aux analyses des nitrites, des nitrates, des phosphates inorganiques, de l'azote total, du phosphate total, de la demande chimique en oxygène dissous en plus des mesures de la température de l'eau, de la salinité, du pH, de la turbidité et de l'indice de richesse de l'eau (biomasse phytoplanctonique).

La présente communication ne concerne que l'étude des variations spatiotemporelles de la température, de la salinité et de la transparence des eaux dont les résultats sont utilisés pour avancer quelques remarques sur la circulation des eaux dans le complexe lagunaire et le petit golfe de Tunis et sur l'impact des travaux d'assainissement effectués au lac de Tunis sur l'hydrologie dans les deux écosystèmes précités.

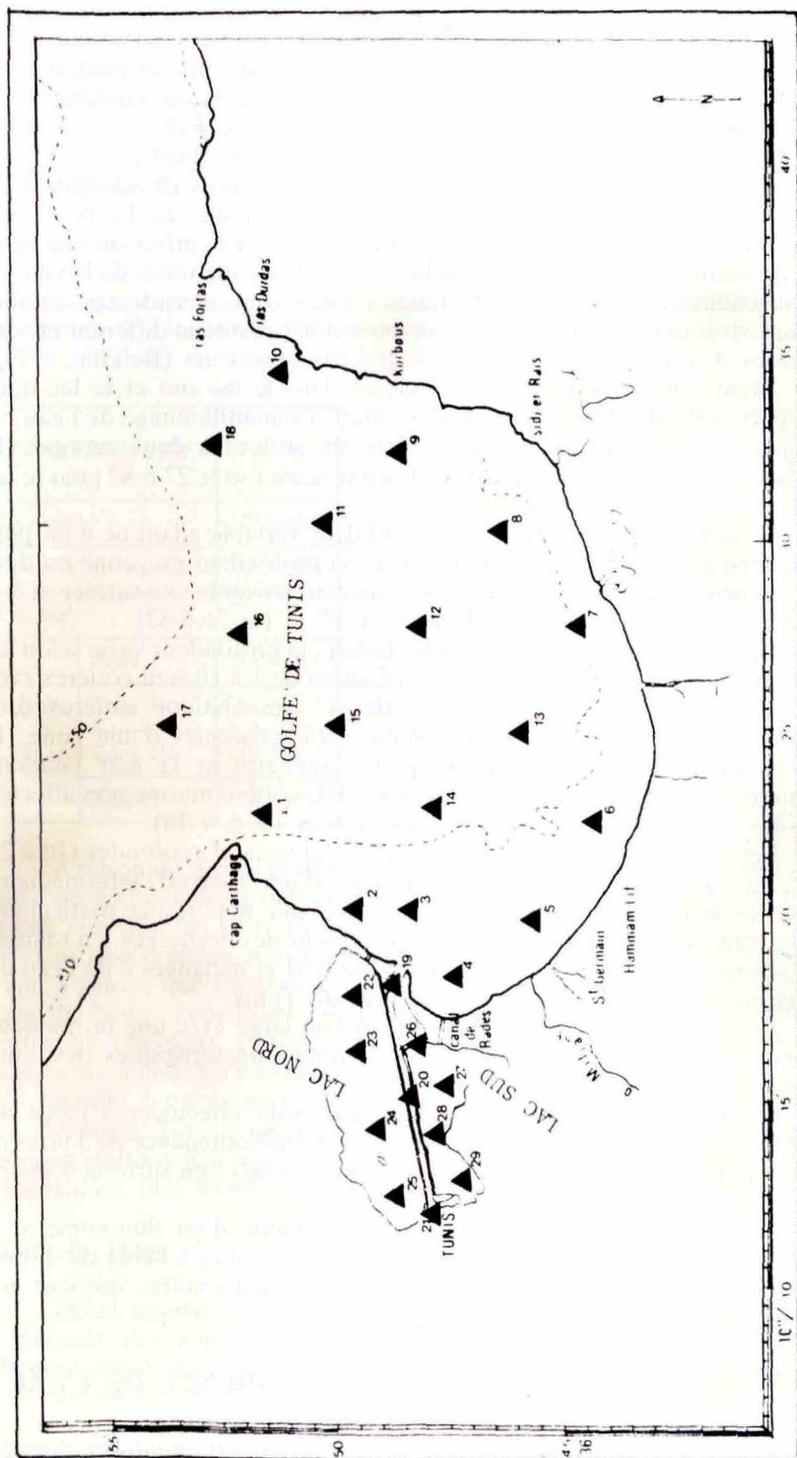


Fig. 1 : Localisation des stations d'échantillonnage dans le complexe lagunaire et le Golfe de Tunis.

## METHODE

Les stations prospectées, dans le complexe lagunaire et dans le golfe de Tunis, sont au nombre de 29, réparties de la façon suivante :

- 4 stations numérotées de 26 à 29 dans le lac sud ;
- 4 stations numérotées de 22 à 25 dans le lac nord ;
- 3 stations numérotées de 19 à 21 dans le canal de navigation ;
- 18 stations numérotées de 1 à 18 dans le golfe de Tunis.

Dans le complexe lagunaire les stations sont toutes prises sur une ligne de direction ouest-est allant des points de rejets d'eaux usées de la ville de Tunis-banlieue vers la Méditerranée ; elles sont considérées comme caractéristiques des zones à degré de pollution organique différent et sont choisies d'après les résultats de nos travaux antérieurs (Belkhir, 1979).

Etant donné les faibles profondeurs dans le lac sud et le lac nord (respectivement 0,5 m et 1 m en moyenne), l'échantillonnage de l'eau est effectué à mi-profondeur dans les stations visitées à deux reprises (le 25-3-82 et le 24-6-82) pour le lac nord et une seule fois le 27-6-82 pour le lac sud.

Le canal de navigation a une profondeur variable allant de 6 m (port de Tunis) à 12 m (port de La Goulette) ; sa profondeur moyenne est de 9 m. Les prises d'eau sont effectuées aux niveaux suivants : en surface, à 3, 6 et 9 m (le 12-2-82) et en surface, 5 et 10 m (le 26-6-82).

Dans la partie du golfe de Tunis étudiée, la profondeur varie selon les stations de 5 à 30 m. Les stations numérotées de 1 à 10 sont côtières avec une profondeur ne dépassant pas 10 m ; ces stations côtières sont considérées selon leur position comme caractéristiques d'une zone (I) d'échange d'énergie entre le complexe lagunaire et la mer (stations numérotées de 1 à 5) et d'une autre zone (III) côtière marine non affectée par les eaux lagunaires (stations numérotées de 6 à 10).

Les stations numérotées de 11 à 15, relativement profondes (10 à 20 m) sont considérées comme caractéristiques d'une zone (II) intermédiaire entre les deux précédentes ; cette zone revêt une importance particulière en ce sens qu'elle constitue un milieu récepteur des décharges, en tonnes, des sédiments de dragage tirés du nouveau port et mélangés à de l'eau de faible salinité de provenance de la ville de Tunis.

Enfin les stations 16, 17 et 18, situées au large avec une profondeur supérieure à 30 m, sont considérées comme caractéristiques des eaux franchement marines (zone IV).

Les prises d'eau à des fins analytiques sont effectuées à l'aide de bouteilles à renversement, en polyéthylène, d'une contenance de 3 litres et quand la profondeur le permet aux niveaux suivants : en surface, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m et 30 m.

La température de l'eau est relevée à l'aide d'un thermomètre à renversement non protégé. La transparence est estimée à l'aide du disque de Secchi. La salinité est mesurée par conductivimétrie utilisant un salinomètre de laboratoire type Beckman.

## TEMPERATURE, SALINITE ET TRANSPARENCE DE L'EAU

Les moyennes de la température et de la salinité montrent chacune une amplitude maximale dans le complexe lagunaire ; elles varient

respectivement de 17 à 19,5°C et de 33,3 ‰ à 38,4 ‰, les plus fortes variations se rencontrant dans le lac nord et le canal de navigation et les plus faibles dans le lac sud.

Pour le golfe de Tunis, ces variations, sensiblement réduites (température, de 15,3 à 16,92°C, salinité de 33,59 à 35,17 ‰), définissent un milieu marin relativement hyposalin et plus froid que le complexe lagunaire, au mois d'avril 1982 tabl. 1 fig 2

TABLEAU 1

Moyennes de la température (Te °C) et de la salinité (S ‰) enregistrées, pour l'ensemble du complexe lagunaire et pour l'ensemble des zones constituant le golfe de Tunis, au mois d'avril de l'année 1982.

| ZONES ETUDIEES      |          | Te °C     | S ‰         | Te °C pour l'ensemble des zones | S ‰ pour l'ensemble des zones |
|---------------------|----------|-----------|-------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Lac nord            |          | 20,0-22,0 | 34,6 -40,8  | 17,0-19,5                       | 33,3 -38,4                    |
| Canal de navigation |          | 16,0-19,5 | 34,6 -39,6  |                                 |                               |
| Lac sud             |          | 15,0-17,0 | 30,6 -34,6  |                                 |                               |
| Golfe de Tunis      | Zone I   | 14,6-16,1 | 33,12-35,68 | 15,3-16,9                       | 33,59-35,17                   |
|                     | Zone II  | 16,3-16,7 | 34,19-35,21 |                                 |                               |
|                     | Zone III | 15,9-16,8 | 33,92-34,24 |                                 |                               |
|                     | Zone IV  | 15,8-17,0 | 33,87-34,67 |                                 |                               |

En raison de la plus grande profondeur allant de 5 à 30 m, les eaux du golfe nécessitent beaucoup plus d'énergie solaire, se réchauffent donc moins vite que les eaux peu profondes du complexe lagunaire.

Ces observations rejoignent celles de Ben Alaya (1972) et démontrent, *a priori*, que les eaux côtières sont beaucoup plus chaudes que les eaux du large ; cependant l'étude hydrologique des différentes composantes de ces deux systèmes marin et lagunaire développe quelques exceptions allant à l'encontre de ces observations.

En effet, les résultats de la température et de la salinité consignés dans les tableaux 2, 3 et 4 et représentés sur les figures 3 et 4 indiquent bien qu'à certains endroits peu profonds les valeurs sont plus fluctuantes et les eaux hyposalines, plus froides.

### Golfe de Tunis

Les valeurs moyennes de chaque ensemble des stations correspondant à chacune des zones I, II, III, et IV, ne permettent pas de noter l'homothermie généralement signalée par Brandhorst (1977) ; si elle est présente cette homothermie est plutôt localisée et concerne essentiellement, avec une légère différence dans la fluctuation, les zones II et III ; elle est moins apparente, avec des amplitudes relativement élevées dans les zones IV et I.

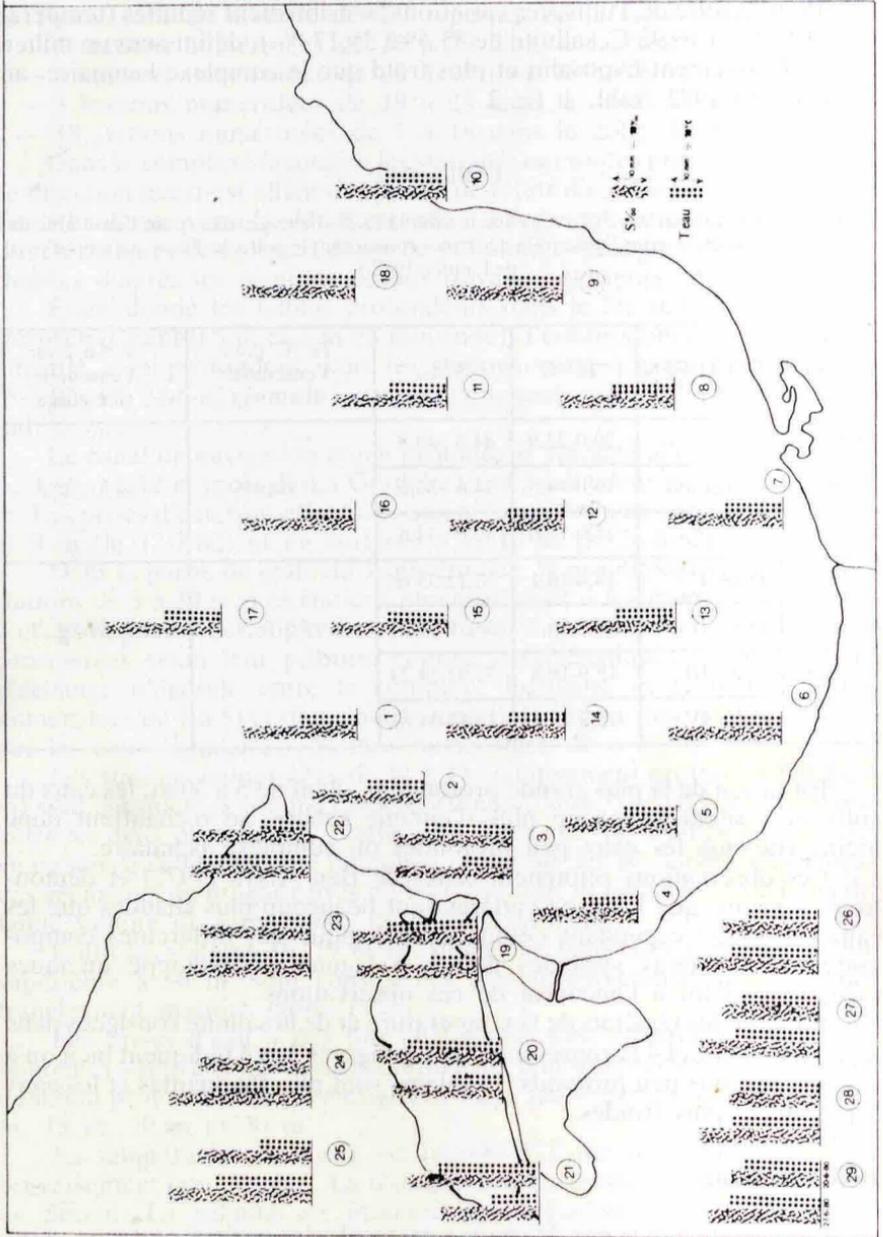


Fig. 2 : Valeurs moyennes de la salinité (S‰) et de la température (T°C) de l'eau à chacune des stations dans le lac nord, le lac sud, le canal de navigation et le golfe de Tunis.

TABLEAU 2

Variations de la température (°C) en surface et en profondeur dans les différentes stations du lac et du golfe de Tunis

| Date                      | Zone | Station          | Température (°C)            |                |      |      |      |      | Ecart type | Transparence |
|---------------------------|------|------------------|-----------------------------|----------------|------|------|------|------|------------|--------------|
|                           |      |                  | 0 m                         | 5 m            | 10 m | 20 m | 30 m | m̄   |            |              |
| 19 au 24<br>Avril<br>1982 | I    | 1                | 16,7                        | Golfe de Tunis |      |      | —    | 16,0 | 0,5        | 5,5          |
|                           |      | 2                | 15,9                        | 15,5           | 15,7 | —    | —    | 16,3 | 0,4        | 3,6          |
|                           |      | 3                | 14,5                        | 16,1           | 16,7 | —    | —    | 14,4 | 0,2        | 3,86         |
|                           |      | 4                | 14,2                        | 14,5           | 14,2 | 14,2 | —    | 14,5 | 0,3        | 2,2          |
|                           |      | 5                | 15,5                        | 14,8           | —    | —    | —    | 15,6 | 0,1        | 2,5          |
|                           | III  | 6                | 16,3                        | 15,9           | —    | —    | —    | 16,1 | 0,1        | 2,5          |
|                           |      | 7                | 16,5                        | 16,6           | —    | —    | —    | 16,6 | 0,1        | 2,5          |
|                           |      | 8                | 17,4                        | 16,9           | —    | —    | —    | 17,1 | 0,3        | 3,0          |
|                           |      | 9                | 17,7                        | 16,9           | 16,6 | —    | —    | 17,1 | 0,5        | 5,0          |
|                           |      | 10               | 16,8                        | 17,3           | 16,6 | —    | —    | 16,9 | 0,3        | 7,0          |
|                           | II   | 11               | 17,3                        | 15,9           | 16,8 | 16,4 | —    | 16,6 | 0,5        | 5,5          |
|                           |      | 12               | 17,1                        | 16,9           | 16,3 | 16,2 | —    | 16,8 | 0,4        | 4,5          |
|                           |      | 13               | 16,2                        | 16,4           | 16,4 | —    | —    | 16,3 | 0,1        | 4,2          |
|                           |      | 14               | 15,9                        | 16,9           | 15,7 | —    | —    | 16,2 | 0,5        | 4,5          |
|                           |      | 15               | 16,9                        | 16,8           | 16,6 | 16,1 | —    | 16,6 | 0,3        | 5,0          |
|                           | IV   | 16               | 16,5                        | 16,7           | 16,3 | 15,2 | 15,1 | 16,0 | 0,7        | 9,0          |
|                           |      | 17               | 17,2                        | 16,0           | 15,4 | 15,7 | 15,7 | 16,0 | 0,6        | 10,0         |
|                           |      | 18               | 16,7                        | 17,9           | 17,9 | 15,4 | 15,4 | 17,2 | 0,7        | 12,0         |
| 12-2-82                   |      |                  | Canal de navigation         |                |      |      |      |      |            |              |
|                           | 19   | 14,6             | 14,3                        | 14,25          | 14,5 | —    | 14,4 | 0,1  | 3,81       |              |
|                           | 20   | 16,0             | 15,5                        | 14,0           | —    | —    | —    | —    | 0,70       |              |
| 26-6-82                   | 21   | 15,3             | 15,0                        | 13,7           | —    | —    | 14,7 | 0,7  | 0,25       |              |
|                           | 19   | 27               | 27,5                        | 27,5           | —    | —    | 27,3 | 0,2  | 4,6        |              |
|                           | 20   | 28               | 29                          | —              | —    | —    | 28,5 | 0,5  | 1,0        |              |
| 25-3-82                   | 21   | 29               | 30                          | —              | —    | —    | 29,5 | 0,5  | 0,3        |              |
|                           |      |                  | Prof. (m) Lac nord de Tunis |                |      |      |      |      |            |              |
|                           | 22   | 14               | 1,0                         |                |      |      |      |      | 1,0        |              |
| 24-6-82                   | 23   | 14,8             | 1,5                         |                |      |      |      |      | 1,5        |              |
|                           | 24   | 14,0             | 0,6                         |                |      |      | 14,3 | 0,5  | 0,6        |              |
|                           | 25   | 14,5             | 1,0                         |                |      |      |      |      | 1,0        |              |
| 27-6-80                   | 22   | 32,0             | 1,2                         |                |      |      |      |      | 0,6        |              |
|                           | 23   | 29,8             | 1,0                         |                |      |      | 30,0 | 0,8  | 0,6        |              |
|                           | 24   | 29,8             | 1,0                         |                |      |      |      |      | 0,8        |              |
|                           | 25   | 29,0             | 1,0                         |                |      |      |      |      | 0,1        |              |
|                           |      | Lac sud de Tunis |                             |                |      |      |      |      |            |              |
| 27-6-80                   | 26   | 26               | 0,8                         |                |      |      |      |      | 0,2        |              |
|                           | 27   | 26,5             | 0,6                         |                |      |      |      |      | 0,2        |              |
|                           | 28   | 27               | 1,0                         |                |      |      | 26,6 | 0,2  | 0,1        |              |
|                           | 29   | 27               | 0,8                         |                |      |      |      |      | 0,16       |              |

TABLEAU 3

Variations de la salinité en surface et en profondeur dans les différentes stations du lac et du golfe de Tunis

| Date                      | Zone                | Station        | Salinité (‰) |      |      |      |      |           | Ecart type |
|---------------------------|---------------------|----------------|--------------|------|------|------|------|-----------|------------|
|                           |                     |                | 0 m          | 5 m  | 10 m | 20 m | 30 m | $\bar{m}$ |            |
| 19 au 24<br>Avril<br>1982 | I                   | Golfe de Tunis |              |      |      |      |      |           |            |
|                           |                     | 1              | 34,6         | 34,6 | 34,6 | —    | —    | 34,6      | 0,0        |
|                           |                     | 2              | 34,6         | 34,6 | 34,6 | —    | —    | 34,6      | 0,0        |
|                           |                     | 3              | 36,4         | 36,7 | 36,5 | 36,6 | —    | 36,5      | 0,1        |
|                           |                     | 4              | 32,5         | 32,5 | —    | —    | —    | 32,5      | 0,0        |
|                           | 5                   | 34,0           | 34,0         | —    | —    | —    | 34,0 | 0,0       |            |
|                           | III                 | 6              | 34,0         | 34,0 | —    | —    | —    | 34,0      | 0,0        |
|                           |                     | 7              | 34,0         | 34,0 | —    | —    | —    | 34,0      | 0,0        |
|                           |                     | 8              | 34,0         | 34,0 | —    | —    | —    | 34,0      | 0,0        |
|                           |                     | 9              | 34,0         | —    | 34,0 | —    | —    | 34,0      | 0,0        |
|                           |                     | 10             | 34,0         | 34,6 | 34,6 | —    | —    | 34,4      | 0,3        |
|                           | II                  | 11             | 34,6         | 34,2 | 33,6 | 34,2 | —    | 34,2      | 0,4        |
|                           |                     | 12             | 34,8         | 35,0 | 34,0 | 34,2 | —    | 34,5      | 0,4        |
|                           |                     | 13             | 34,6         | 34,2 | 34,2 | —    | —    | 34,3      | 0,3        |
|                           |                     | 14             | 34,6         | 34,6 | 37,6 | —    | —    | 35,6      | 1,4        |
| 15                        |                     | 35,0           | 35,6         | 34,6 | 34,6 | —    | 34,9 | 0,5       |            |
| IV                        | 16                  | 34,6           | 34,6         | 34,6 | 34,6 | 34,6 | 34,6 | 0,0       |            |
|                           | 17                  | 34,2           | 34,6         | 34,6 | 34,6 | 34,6 | 34,5 | 0,2       |            |
|                           | 18                  | 33,6           | 33,0         | 34,0 | 34,0 | 34,0 | 33,7 | 0,4       |            |
| 12-2-82                   | Canal de navigation |                |              |      |      |      |      |           |            |
|                           | 19                  | 34,4           | 35,5         | 36,2 | —    | —    | 36,3 | 0,7       |            |
|                           | 20                  | 31,6           | 34,5         | 35,5 | —    | —    | 33,9 | 0,7       |            |
| 26-6-82                   | 19                  | 37,6           | 37,6         | 37,6 | —    | —    | 37,6 | 0,0       |            |
|                           | 20                  | 38,4           | 38,4         | —    | —    | —    | 38,4 | 0,0       |            |
|                           | 21                  | 40,6           | 42,6         | —    | —    | —    | 41,6 | 1,0       |            |
| 25-3-82                   | Lac nord de Tunis   |                |              |      |      |      |      |           |            |
|                           | 22                  | 35,6           |              |      |      |      |      |           |            |
|                           | 23                  | 33,6           |              |      |      |      |      |           |            |
|                           | 24                  | 34,4           |              |      |      |      | 34,6 | 0,8       |            |
| 24-6-82                   | 22                  | 37,6           |              |      |      |      |      |           |            |
|                           | 23                  | 38,2           |              |      |      |      |      |           |            |
|                           | 24                  | 42,8           |              |      |      |      | 40,4 | 2,4       |            |
|                           | 25                  | 42,8           |              |      |      |      |      |           |            |
| 27-6-80                   | Lac sud de Tunis    |                |              |      |      |      |      |           |            |
|                           | 26                  | 36,8           |              |      |      |      |      |           |            |
|                           | 27                  | 36,8           |              |      |      |      |      |           |            |
|                           | 28                  | 36,8           |              |      |      |      | 36,0 | 1,4       |            |
| 29                        | 33,6                |                |              |      |      |      |      |           |            |

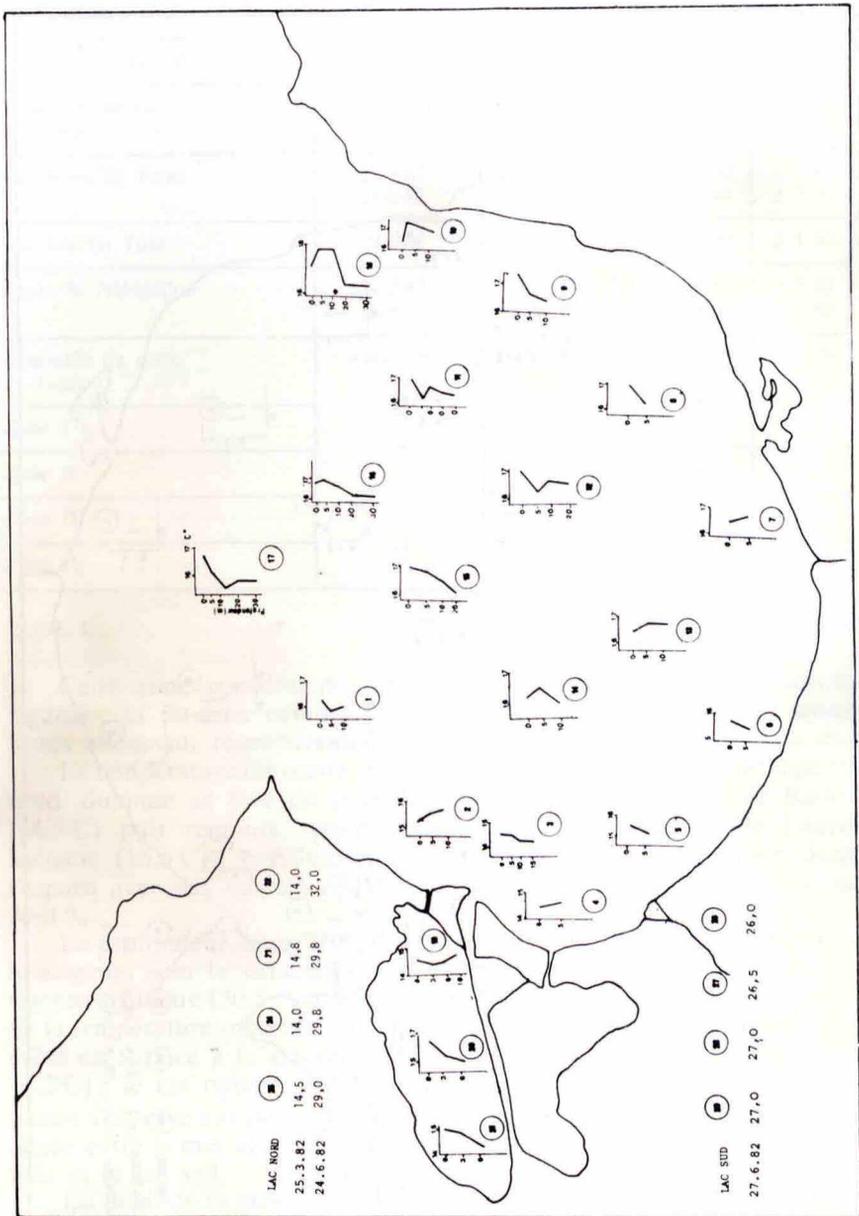


Fig. 3 : Variations horizontale et verticale de la température de l'eau (T eau °C) dans le lac nord (LNT), le lac sud (LST), le canal de navigation et le golfe de Tunis.

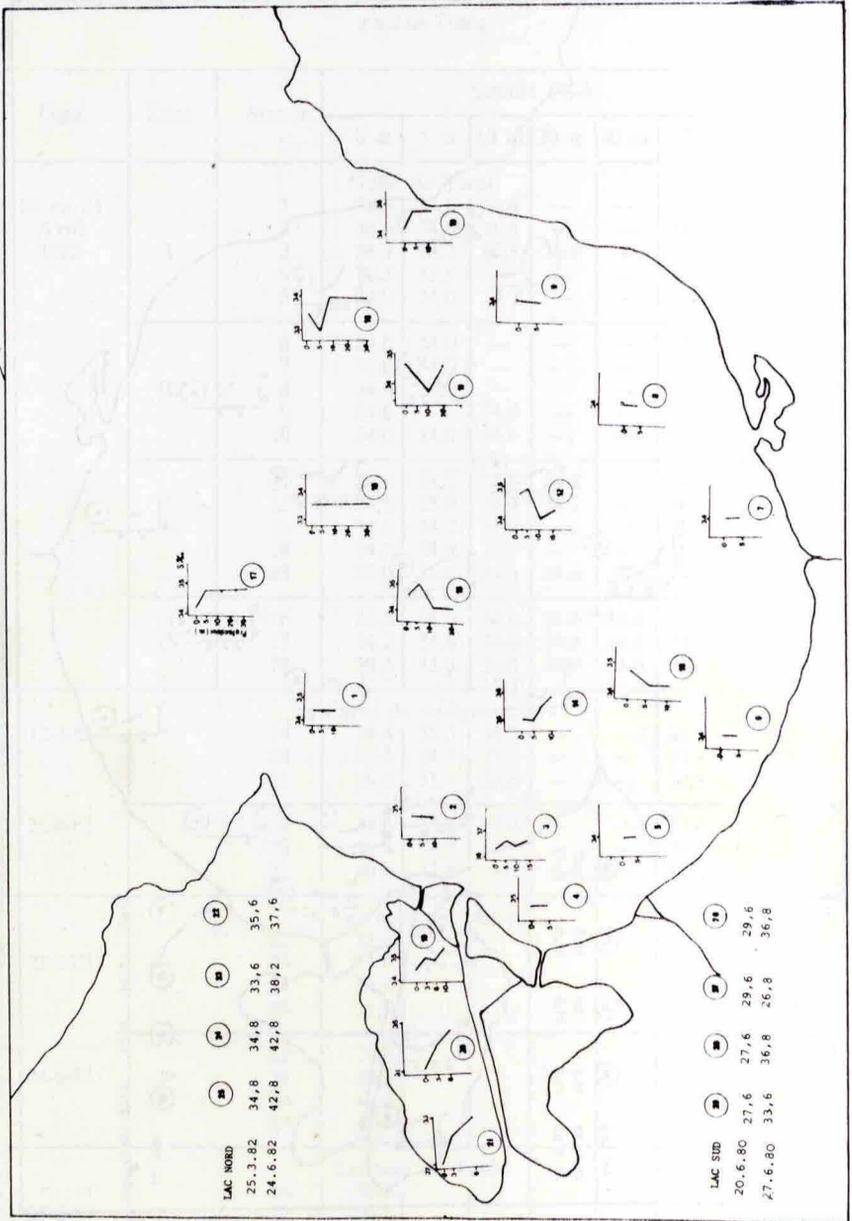


Fig. 4 : Variations horizontale et verticale de la salinité de l'eau (S‰<sub>00</sub>) dans le lac nord (LNT), le lac sud (LST), le canal de navigation et le golfe de Tunis.

TABLEAU 4

Comparaison des valeurs moyennes des températures de l'eau (T°C) et écart type (St) et des salinités (S ‰) et écart type (Ss) dans le lac de Tunis et le golfe de Tunis

| Zones d'étude              | Date             | Te°C  | St°C   | S‰    | Ss‰    |
|----------------------------|------------------|-------|--------|-------|--------|
| Ensemble du lac de Tunis   | Avril 1982       | 18,25 | ± 1,25 | 35,85 | ± 2,55 |
| Lac Nord de Tunis          | 25-3-82          | 14,30 | ± 0,5  | 34,60 | ± 0,80 |
|                            | 24-6-82          | 30,00 | ± 0,8  | 40,40 | ± 2,40 |
| Lac Sud de Tunis           | 27-6-80          | 26,60 | ± 0,4  | 36,00 | ± 1,40 |
| Canal de Navigation        | 12-2-82          | 14,80 | ± 0,9  | 33,50 | ± 2,70 |
|                            | 26-6-82          | 29,10 | ± 1,1  | 39,00 | ± 1,80 |
| Ensemble du golfe de Tunis | Avril 1982       | 16,11 | ± 0,81 | 34,38 | ± 0,79 |
| Zone I                     | du 19 au 24-4-82 | 15,36 | ± 0,78 | 34,44 | ± 1,28 |
| Zone II                    |                  | 16,50 | ± 0,22 | 34,70 | ± 0,51 |
| Zone III                   |                  | 16,32 | ± 0,44 | 34,08 | ± 0,16 |
| Zone IV                    |                  | 16,40 | ± 0,57 | 34,27 | ± 0,40 |

#### ZONE I

Cette zone constituant une région d'influence à la fois marine, lagunaire et fluviale, connaît des amplitudes thermique et saline assez fortes atteignant respectivement 2,5°C et 4,2 ‰.

La température moyenne, élevée (16°C) au niveau du cap Carthage au nord, diminue en face du port de La Goulette et du canal de Radès (14,5°C) puis remonte sensiblement devant l'embouchure de l'oued Méliane (15,6°C) ; parallèlement, la salinité suit cette évolution dans l'espace avec des valeurs respectivement égales à 34,6 ‰, 32,5 ‰ et 34,0 ‰.

En profondeur, la répartition de la température et de la salinité, plutôt homogène, semble caractériser, d'après les mesures trouvées, une influence lagunaire (36,5 ‰), marine (34,6 ‰) ou pluviale (32,5 ‰) ; celle de la température présente une légère différence avec un léger réchauffement en surface à la station 1 (16,7 - 15,7°C) et à la station 3 (14,5 - 14,2°C) ; le cas opposé avec des températures en surface relativement basses s'observe aux points d'échanges d'énergie à la station 2 (15,9 - 16°C) située entre la mer et le lac nord et à la station 4 (14,2 - 14,8°C), entre la mer et le lac sud.

En dépit de sa position abritée, la zone I connaît, le long de l'année, une turbidité quasi permanente. Au mois d'avril, il a été observé une disparition du disque de Secchi à une profondeur moyenne de 3,5 m dans une colonne d'eau de 11 m de haut. Au nord, la transparence des eaux est 2 à 3 fois plus élevée que celle notée au sud où les apports d'eaux lagunaires opaques (La Goulette, Radès et Khéreddine) et fluviales chargées en alluvions (oued Méliane) augmentent leur turbidité.

Généralement les eaux fluviales, moins salines, sont déviées vers le nord par les courants marins (Chambost, in Ben Alaya, 1972) ; elles expliquent, de ce fait, la présence d'une couche d'eau à très faible salinité (32,5 ‰) attribuable à leur action dessalante.

### ZONE III

Malgré sa position littorale et sa faible profondeur (5 à 10 m) la zone III se caractérise, pour le mois d'avril, par des amplitudes thermique égale à 1,8°C et saline, 0,6 ‰, inférieures à celles observées dans la zone I avec toutefois une salinité moyenne plus basse (34,08 ‰) et une température moyenne plus élevée (16,32°C).

Dans l'espace, les moyennes de la température et de la salinité évoluent parallèlement en allant du sud vers le nord de la station 6 à la station (10) avec respectivement un minimum de 16,1°C, et 34 ‰, enregistré au voisinage de Hammam-Lif et un maximum de 17°C et 34,4 ‰, entre Korbous et ras Dourdas.

En profondeur, la répartition de la salinité et de la température est pratiquement homogène pour les stations situées au sud et ne dépassant pas 5 m de profondeur.

Au nord où la colonne d'eau dépasse 10 m de haut, on observe une diminution nette de la température permettant de relever une thermocline au niveau de 5 m de la surface (station 9, fig. 3).

Un cas particulier s'observe à la station 10 située entre Korbous et ras Dourdas, où la couche d'eau la plus chaude (17,3°C) s'intercale entre la couche de surface (16,8°C) et celle de fond (16,6°C). Il semble que les eaux thermales plus chaudes rejetées au niveau de Korbous, se mélangent lentement avec les eaux marines formant une nappe d'eau à caractéristiques physico-chimiques différentes, s'isolent sous l'effet des courants et plongent au large de la côte.

Enfin, si la zone III se distingue de la zone I par les données hydrologiques moins fluctuantes, elle s'en rapproche par la transparence des eaux ; le disque de Secchi disparaît à 2,5 m et 6 m, respectivement pour les stations de faible profondeur situées au sud, et de plus grande situées au nord.

### ZONE II

De par sa profondeur relativement plus élevée et sa position située entre la zone I et la zone III, la zone II présente des caractéristiques hydrologiques intermédiaires (tabl. 2 et 3) ; les amplitudes absolues de la température et de la salinité sont respectivement égales à 1,6°C et 4 ‰ et leurs valeurs moyennes de l'ordre de 16,5°C et 34,7 ‰.

Dans l'espace, les valeurs moyennes calculées pour la colonne d'eau, oscillant entre 16,2 et 16,8°C avec des écarts types variant de 0,1 à 0,5°C, les plus fortes valeurs sont notées aux stations 11 et 12, à proximité de la zone III (eau chaude) et les plus faibles aux stations 13 et 14 au voisinage de la zone I (eau moins chaude).

Pour la salinité, les valeurs moyennes varient de 34,2 ‰, 35,6 ‰ et les écarts types, de 0,3 à 1,4 ‰ la minimale est enregistrée à la station 11 et la maximale à la station.

A chaque station, les tracés des profils de la salinité et de la température (fig. 2 et 3) démontrent deux évolutions : similaires pour les stations 11 et 15 situées relativement plus au large, et antagonistes pour celles situées à proximité de la côte sud. Ils permettent, en outre de relever un état de stratification généralement net des eaux.

En effet, une thermocline a été fréquemment observée à 5 m de la surface caractérisant deux couches superposées à température et à salinité différentes ; par exemple, la station 11 montre une température élevée en surface (17,3°C), plus froide (15,9°C) à 5 m, relativement moins élevée que la superficielle mais plus chaude que la deuxième à 10 m (16,8°C) et au voisinage du fond (16,4°C).

Il en est de même pour la station 10, qui indique la présence d'une couche d'eau plus chaude (16,9°C) située à mi-profondeur.

En ce qui concerne la salinité, tous les tracés des profils, exception faite de celui obtenu à la station 14, indiquent la présence d'une salinité plus faible en profondeur qu'en surface.

Ben Alaya (1972), observant ce phénomène, formule deux hypothèses : possibilité d'existence d'une nappe phréatique tendant à diluer les eaux du fond ou présence d'un courant atlantique de retour longeant la côte dans la direction S-N.

En raison de la très faible salinité 33,6 et 34,2 ‰ rencontrée au voisinage du fond, la deuxième hypothèse est peu probable car la salinité des eaux atlantiques définies en Méditerranée oscille entre 37,1 et 37,3 ‰ (Brandhorst, 1977).

Quant à la première hypothèse, l'existence d'une remontée d'eau sous-marine hyposaline reste possible jusqu'à preuve du contraire ; pour nous, compte tenu des observations de températures très élevées caractéristiques des eaux thermales hyposalines rejetées en mer au voisinage de Korbous et des apports d'eaux fluviales par les cours d'eau dont le plus important est l'oued Méliane, il semble que les eaux profondes relativement chaudes et hyposalines peuvent être expliquées par une plongée d'eaux superficielles venant du côté de Korbous sous l'effet d'un mode particulier de circulation des courants.

Un phénomène similaire permettant d'expliquer la présence, en profondeur des eaux océaniques moins denses a été rapporté par Brandhorst (1977) au large des côtes tunisiennes.

#### ZONE IV

Cette zone plus profonde, située plus au large est considérée comme étant franchement marine ; elle ne semble toutefois pas échapper à l'influence des eaux côtières de provenance des zones I et III.

En effet, l'étude de la salinité et de la température (tabl. 2 et 3) montre une amplitude thermique (2,8°C) trois fois plus élevée que celle de la salinité (1 ‰).

D'autre part, l'observation, à l'est (station 18) d'eaux chaudes (17,2°C) à salinité moyenne égale à 33,7 ‰ et à l'ouest d'eaux relativement plus froides (16°C) à salinité supérieure (34,6 ‰) indique bien la présence de deux catégories de masses d'eau ; cette observation, permet de confirmer la possibilité d'un écoulement, en surface, des eaux thermales à la fois chaudes hyposalines et leur éloignement, par temps calme à une

distance de plus de 1.000 m des points de rejets situés sur les côtes de Korbous.

La présence à la station 18 d'une eau chaude (17,9°C) située à 5 - 10 m entre une couche superficielle peu épaisse, et une autre profonde plus épaisse, mais toutes deux plus froides, de températures correspondant respectivement à 16,7°C et 15,4°C, rappelle, une fois de plus, l'hypothèse de la plongée des eaux thermales sous l'effet des courants.

En ce qui concerne l'état des eaux dans la zone IV, on constate une transparence maximale avec une disparition à 9 - 12 m du disque de Secchi sur une profondeur de 30 m ; la mer est généralement de couleur bleuâtre et assez agitée avec une houle fréquente s'observant par temps de vent peu fort à fort au cours de l'année.

### **Complexe lagunaire**

Les prospections faites à deux périodes de l'année différentes, l'une printanière, l'autre estivale revêtent un intérêt particulier en ce sens que les résultats collectés peuvent être utilisés pour avancer quelques remarques sur l'incidence des travaux d'aménagement et de dragage sur le complexe lagunaire et les échanges d'énergie entre ce dernier et la mer.

#### **LAC NORD**

Dans le cadre du programme d'assainissement du lac nord de Tunis, des vannes sont installées au niveau de 3 canaux de communication dites Tunis-marine, pont Chechly et canal Kheireddine ; ces vannes ne sont autre que des portes métalliques ouvrables à volonté dont le principal but est d'orienter la circulation des courants dans une direction à sens unique, schématisée par une entrée d'eau marine à Kheireddine et une sortie par Tunis-marine et pont Chechly. Le mode de circulation imposé au lac nord n'a été jusqu'à nos jours qu'une vue d'esprit et la fermeture des canaux de communication, en période de temps calme, n'a fait qu'aggraver le déficit hydrique déjà indiqué par Stirn (1968) et Baier et al. (1977) donc favoriser, en la rendant précoce, la crise dystrophique.

En effet, l'absence de vents et la réduction des échanges d'eau entre le canal de navigation et le lac et entre ce dernier et la mer, font du lac un milieu aux eaux très calmes devenant très transparentes (avril) et traduisant ainsi une forte et rapide sédimentation. Durant toutes nos sorties printanières, le disque de Secchi n'a été point utilisé et le fond a été d'une visibilité jamais notée au préalable d'une façon généralisée dans le lac même à l'esplanade considérée comme la zone la plus turbide en permanence.

Ce phénomène constitue le premier signal d'alarme et ne doit en aucun cas être pris pour un indice de bonne santé pour un système lagunaire très peu profond et chargé en matière organique tapissant le fond ; effectivement en période de forte insolation, en plus du déficit des eaux en oxygène, suite à une consommation accrue en cet élément par la biocénose d'une part et sa réduction par l'action combinée de la température et la salinité (Belkhir et Hadj Ali Salem, 1981), d'autre part, il se produit une minéralisation des substances organiques qui est traduite par une libération des sels minéraux et la formation d'une pellicule blanchâtre tapissant le sédiment de fond ; plus tard, cette pellicule,

caractéristique d'un début de crise dystrophique, envahit toute la couche d'eau, augmente son opacité et lui affiche une couleur laiteuse évoluant plus tard en rouge sang.

Ainsi, en juin, il a été noté sur une profondeur de 1 m, une disparition du disque de Secchi à 0,6 m au centre du lac et au voisinage de la mer et à 0,1 m du côté ville de Tunis.

En ce qui concerne l'incidence des travaux d'aménagement sur la température et la salinité, on constate que pour la même période de mars et de juin, le lac connaît une homothermie presque généralisée avec des valeurs plus élevées (29°C à 32°C) en juin 1982 qu'en mars 1982 (14°C à 14,8°C) ; la répartition de la température dans l'espace, rappelle pour la même période, celle enregistrée en 1976 (Belkhir, 1979), avec toutefois un léger réchauffement des eaux à l'avantage de mars 1977 (14°C à 17°C) mais plus réduit (25 à 30°C) au mois de juin 1977.

La forte amplitude (3°C) enregistrée au mois de mars 1982 rappelle donc celle obtenue pour la même période de l'année 1977, à l'opposé du mois de juin où l'amplitude thermique est plus élevée (5°C) en 1977 qu'en 1982 et semble être attribuée à l'absence des eaux usées urbaines dont les rejets ne s'effectuent plus dans le lac nord, mais plutôt dans le canal de navigation (port de Tunis). Ces eaux usées étant relativement moins chaudes et moins salines abaissent, en les diluant, la température et la salinité des eaux lagunaires dans les parties ouest et nord du lac nord (Belkhir, 1979).

L'impact des travaux d'aménagement du lac de Tunis se traduit aussi par l'augmentation de la salinité des eaux et le déplacement vers l'ouest des foyers à forte salinité.

L'installation des vannes et la cessation des rejets d'eaux usées urbaines dans la partie ouest caractérisée généralement par des salinités basses variant de 30 ‰ en mars à 32 ‰ en juin 1977 (Belkhir, 1979), ont eu des répercussions indirectes sur la salinité des eaux lagunaires en l'augmentant : 34,8 ‰ en mars et 42,8 ‰ en juin de l'année 1982.

Ces fortes valeurs, jamais enregistrées pour l'Esplanade dans l'histoire du lac nord de Tunis, démontrent, en juin 1982, une décroissance graduelle de la salinité en allant non pas de la mer (38 ‰) vers la ville de Tunis (32 ‰) (Belkhir, 1979) mais en sens inverse, de la ville de Tunis (42,8 ‰) vers la mer (37,6 ‰).

Ce schéma inversé est tributaire de certaines mesures prises pour assainir le lac à savoir l'arrêt des apports d'eaux usées urbaines dans le lac dont l'action de dessalement est bien visible sur les eaux du canal de navigation où elles se rejettent actuellement.

En dépit de ce détournement vers le canal de navigation des eaux urbaines, une quantité de ces dernières pénètrent dans le lac nord par le biais de la centrale thermique ; située à l'est du lac, cette centrale thermique, par le pompage dans le canal de navigation des eaux relativement hyposalines (résultat d'un mélange d'eaux résiduares et marines) (33,9 ‰ + 0,7 ‰) (présent travail) et leur rejet après refroidissement dans le lac nord, contribue à abaisser de 2 ‰ la salure des eaux lagunaires avoisinantes et explique de ce fait la faible salinité (33,6 ‰) trouvée au mois de mars 1982 dans ce lac.

## Canal de navigation

Le canal de navigation constitue actuellement, dans sa partie proche de la ville de Tunis (port de Tunis), le milieu récepteur de toutes les eaux usées et pluviales de la ville de Tunis et ses banlieues (débit variant de 500 m<sup>3</sup>/j en période d'étiage à 60.000 m<sup>3</sup>/j en période de crue).

Ce volume rejeté en totalité dans le lac nord avant 1982, est véhiculé vers le port de Tunis par l'intermédiaire d'un grand collecteur à ciel ouvert longeant la côte ouest, puis évacué après brassage des eaux grâce à d'énormes vices dites d'Archimèdes installées au niveau de la communication entre le lac nord et le canal de navigation située à Tunis marine.

L'étude de la répartition de la salinité et de la température montre des variations de ces deux facteurs aussi bien en profondeur et dans l'espace qu'au cours du temps.

Prises pour l'ensemble de la colonne d'eau, en une station donnée, les valeurs moyennes de la température et de la salinité, montrent pendant la saison estivale, une évolution similaire avec des valeurs décroissantes sur une direction ouest-est (port de Tunis - port de La Goulette) oscillant respectivement entre 29,5°C et 41,6 ‰ (ouest du canal ; St 21) à 28,5°C et 38,4 ‰ (centre du canal ; St 20) et 27,3°C et 37,6 ‰ (est du canal ; St 19)

A l'opposé du mois de mars 1982, on observe sur la même direction ouest-est une évolution croissante de la salinité dont les valeurs varient de 30,8 ‰ (St. 21), 33,9 ‰ (St. 20) à 36,3 ‰ (St. 19) ; quant à la température, les relevés moyens pour le mois de mars montrent une évolution antagoniste à celle de la salinité et oscillent entre 14,7°C (St. 21) et 14,4°C (St. 19) avec un maximum (15,1°C) noté au milieu du canal de navigation (St. 20).

Le tracé des profils à chacune des stations données montre une stratification nette de la température et de la salinité avec la superposition de deux couches, l'une mince superficielle du côté mer devenant plus épaisse et gagnant de volume aux dépens de la couche profonde au fur et à mesure qu'on s'approche de la ville de Tunis où se font les rejets d'eaux usées urbaines et pluviales.

Au printemps, la couche d'eau superficielle associe les fortes températures aux faibles valeurs de la salinité, et celle de fond les plus faibles températures aux plus fortes salinités. L'été, la description devient plus simple et se limite à deux couches superposées dont la superficielle jouit de valeurs de température et de salinité plus faibles et celle profonde, les plus fortes

Cette nette stratification estivale est tributaire des apports d'eaux lagunaires très salines qui sont pompées à l'aide de 5 pompes puissantes situées au niveau du collecteur principal nouvellement construit par l'Office national de l'assainissement (ONAS). Ce pompage ne s'effectuant que l'été (période d'étiage) pour diluer les eaux d'égouts surchargées en matière organique solide permet l'introduction dans le port de Tunis (St. 21) des eaux lagunaires qui sont plus salines (42,8 ‰) et plus chaudes (29°C) donc plus denses que les eaux résiduaires ; ces eaux lagunaires se retrouvent en profondeur à la station 21 avec une salinité (42,6 ‰) et une température (29 - 30°C) pratiquement non modifiées, permettant de confirmer l'absence presque totale d'un mélange d'eaux lagunaires et des eaux résiduaires dans le collecteur, donc l'insuffisance voire l'inefficacité des eaux de pompage dans le brassage et l'aération des eaux usées

urbaines : lequel pompage se réduit à un schéma d'écoulement dans le collecteur de deux masses d'eau à caractéristiques physico-chimiques différentes se mélangeant, timidement au niveau des vices d'Archimède et se retrouvant au port de Tunis sous forme de deux couches d'eau dont l'une mince en surface (eau dégoût) est superposée à l'autre profonde (eau du lac nord).

#### LAC SUD DE TUNIS

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 pénétraient le lac sud par les canaux de communication.

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

Les travaux d'aménagement décrits ci-dessus ont eu de larges répercussions sur les caractéristiques physico-chimiques du lac sud à savoir la salinité et la température dont la présente étude permet d'observer de faibles valeurs rappelant celles enregistrées dans la zone de déversement des eaux usées et pluviales (St. 21, canal de navigation).

Les valeurs de salinité et de 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). (tableau 2, 3 ; fig. 3).

Ainsi, les eaux du lac sud, comparées à celles du lac nord et du canal de navigation sont moins salines et moins chaudes l'été.

D'autre part, l'observation dans le lac sud d'une masse d'eau généralisée tantôt hyposaliné 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 d'eau assez profonde (7 m) 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 grande partie aux eaux lagunaires.

Au cours de nos sorties, l'observation sur de grandes étendues d'eau de faible salinité, très turbide et de couleur brun marron, indique bien la présence des eaux usées du grand Tunis dans le lac.

## CONCLUSION

Les amplitudes spatio-temporelles très fortes, enregistrées dans la période suivant les travaux d'aménagement de la lagune de Tunis demeurent inchangées et rappellent celles trouvées, avant l'assainissement, par Stirn (1968), Crouzet (1972) et Belkhir (1979).

Dans le golfe de Tunis, les valeurs faibles de température (15,9°C à 16,92°C) associées généralement à une couche hyposaline (33,59 ‰ à 35,17 ‰) sont intermédiaires de celles obtenues par Ben Alaya (1972) (13,4 - 23,2°C) et (35,5 ‰ - 37,47 ‰) et s'accordent avec les résultats notés par Brandhorst (1977) (15 - 16°C) et (35 - 36 ‰).

Ces auteurs signalent, pour la zone littorale du golfe de Tunis, des salinités très basses variant de 32,5 à 35,5 ‰ et indiquent, d'autre part, qu'au cours de l'année, il existe une amplitude très forte concernant aussi bien la salinité que la température. Ils attribuent ce phénomène à l'action dessalante des apports d'eaux fluviales (oued Medjerda au nord et oued Méliane au sud) qui, au moment des crues, réduisent de 4 ‰ la salinité de l'eau marine dans le golfe de Tunis (Ben Alaya, 1972).

## APPROCHES EN COURANTOLOGIE

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, provoquent 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 par le phénomène de convection traduisant un déplacement des eaux les plus froides vers les moins chaudes.

Dans cette étude, nous nous sommes limités à l'utilisation des résultats de la salinité et de la température pour avancer quelques remarques sur la circulation des courants dans le golfe de Tunis et entre les trois unités du complexe lagunaire d'un côté et entre ce dernier et la mer de l'autre.

Les figures 5 et 6 représentent respectivement, pour le mois d'avril 1982, les schémas des mouvements et de la couleur des eaux dans le golfe de Tunis. Au cours de nos sorties, les vents peu forts, soufflant du secteur N-NE ont tendance à pousser les eaux marines du large vers les côtes S-SO. Les eaux marines rencontrent au milieu de l'axe joignant Cap-Carthage à ras Dourdaz un courant d'eau plus chaud et hyposalin venant du secteur littoral opposé S.O. Ce flux côtier prend naissance au voisinage de l'oued Méliane, longe les côtes ouest du golfe de Tunis jusqu'à cap Carthage où il rencontre les eaux marines qui le divisent en deux branches dont l'une remonte vers le N.O. et surmonte une couche d'eau de direction opposée traduisant un contre-courant profond venant du N.O. ; ce contre-courant renforce la deuxième branche du flux côtier, lui imposant sa

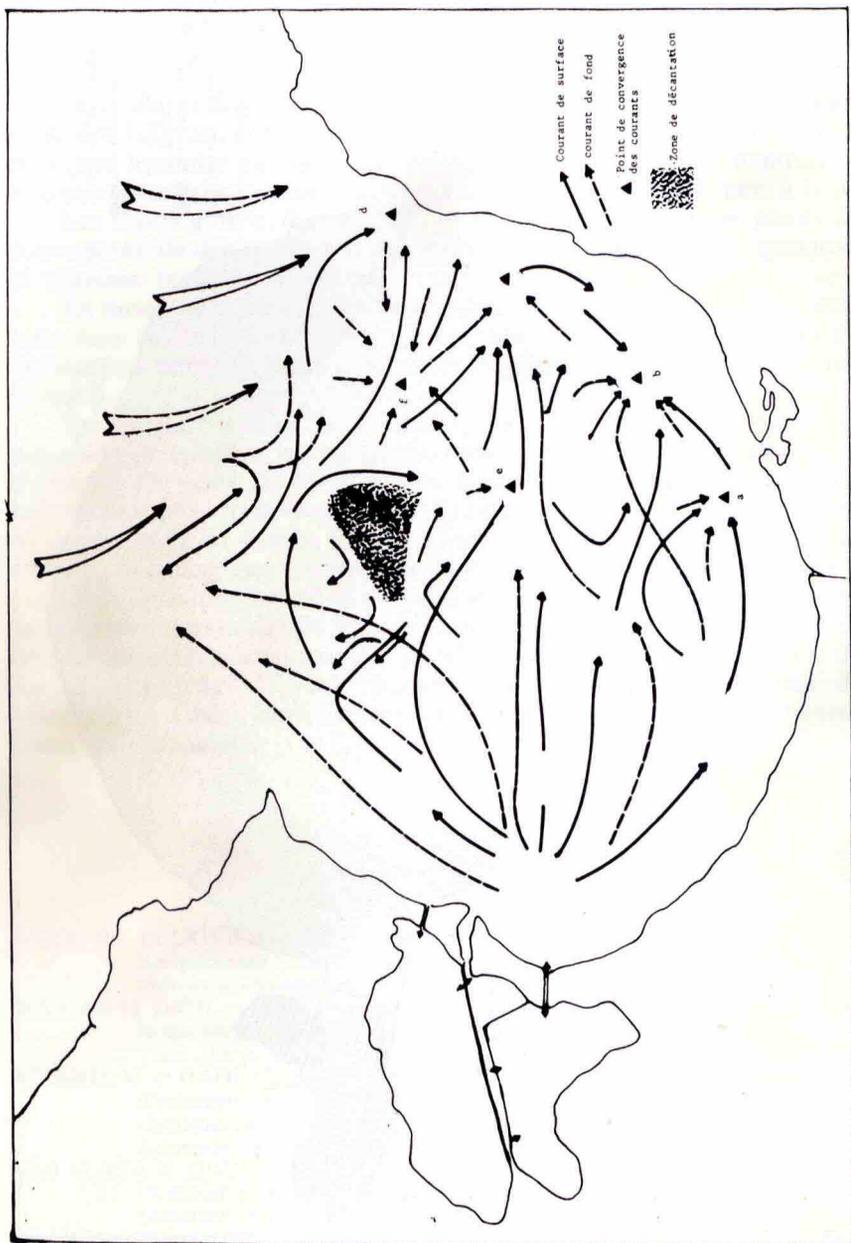


Fig. 5 : Schéma de la circulation des eaux induite par des vents faibles soufflant du secteur N-NE dans le complexe lagunaire et le golfe de Tunis (avril 1982).

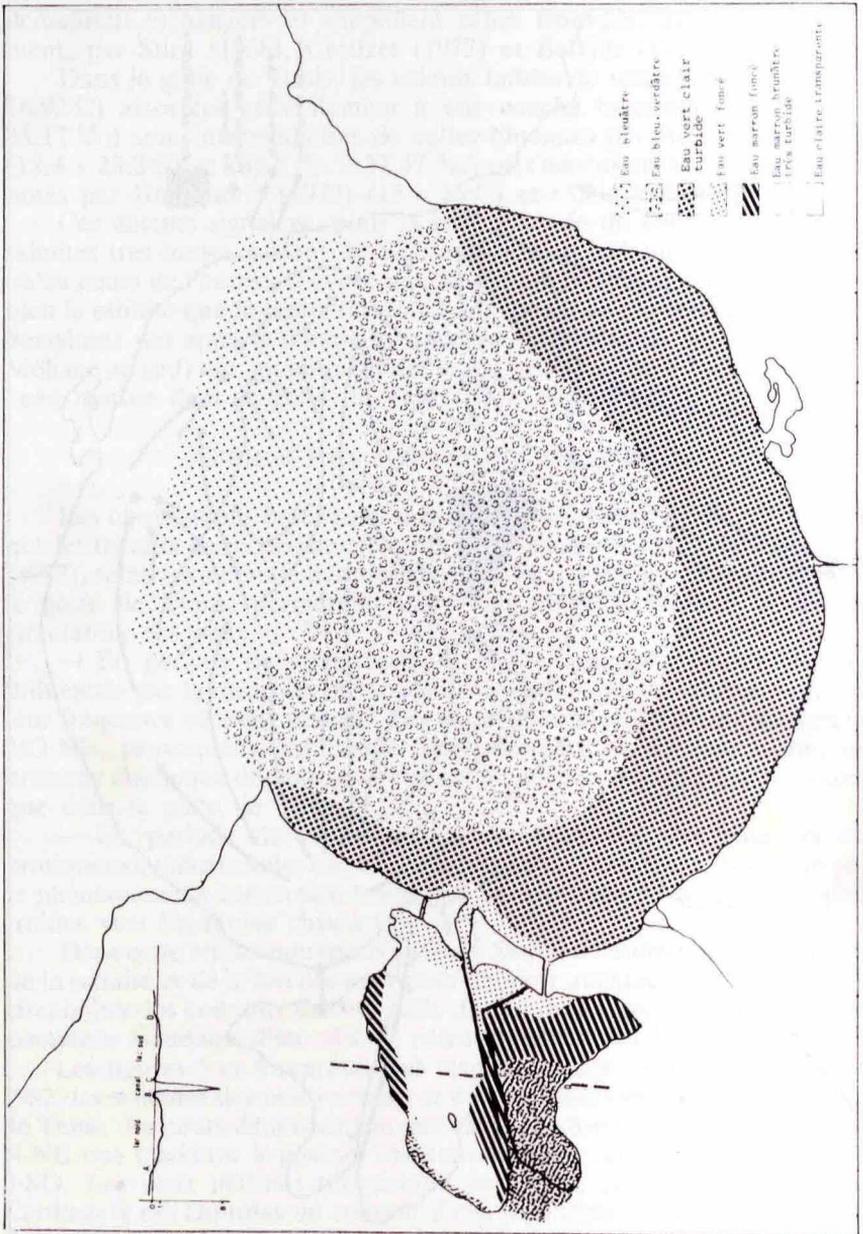


Fig. 6 : Schéma comparatif relatif à la couleur des eaux dans le complexe lagunaire et dans le golfe de Tunis (avril 1982).

direction N.O. - S.E. vers les côtes de Sidi Erraïs - Korbous où il remonte avec une force suffisante pour pousser les eaux chaudes thermales hyposalines qui, à leur tour, rencontrent au large le flux d'eau marine. Arrivées au large, les eaux thermales rencontrent un flux d'eau marin de sens opposé induit par les vents N-N.E. plongent en profondeur et expliquent, de ce fait la présence d'une couche d'eau plus chaude et moins saline détectée à une profondeur de 5 - 10 m dans la zone II.

Deux autres flux dont l'un côtier longe la côte sud à partir de Radès jusqu'à Sidi Erraïs, et l'autre situé plus au large, décrivent un déplacement des eaux littorales sur un trajet allant de la zone I (zone d'influence lagunaire et marine) située à l'ouest vers les zones II et III, plus à l'est.

Les foyers a, b, c, d et e (fig. 5) semblent constituer des points de convergence de divers flux à la fois marins (venant du large) et lagunaires et pluviaux (venant du littoral).

En raison de la forte turbidité fréquemment notée en période de vents forts dans ces foyers, ces derniers sont considérés comme des zones de décantation donc de forte sédimentation alluviale en période des eaux calmes.

En ce qui concerne la circulation des courants dans le complexe lagunaire, 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 lac 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 point de part et d'autre des canaux dont les plus importants sont ceux dits de Kheireddine, de Radès et du port de La Goulette (fig. 1) ; les canaux constituent l'étiage, des points de balancement d'eaux, tantôt lagunaires et tantôt marines, qui ne s'éloignent guère de ces canaux.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BAIER R., BELKHIR M., JOHNSON R., KEENE W. et PILKEY O. (1977). — Recherche sur l'eutrophisation du lac de Tunis 2. Géologie, biologie, chimie et hydrologie. *Salammô* : INSTOP / EPA. 65 p.
- BELKHIR M. (1979). — Eutrophisation du lac nord de Tunis. Etudes physico-chimiques et biomasses phytoplanktonique et macroalgale. Thèse 3ème cycle, Université de Tunis 194 p.
- BELKHIR M. et HADJ ALI SALEM M. (1981). — Contribution à l'étude des mécanismes d'eutrophisation dans le lac de Tunis : évolution des paramètres physico-chimiques et biologiques. *Bull. Inst. natn. scient. tech. Océanogr. Pêche, Salammô*, 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. Océanogr. Pêche Salammô*, 2 (3) : 331 - 416
- BRANDHORST W. (1977). — Les conditions de milieu au large de la côte tunisienne. *Bull. Inst. Océanogr. Pêche Salammô*, 4 (2-4) : 129-220
- CASTANY G. (1955). — Le haut bassin siculo-tunisien. Etude de morphologie, et géologie sous-marines. *Bull. Stn océanogr. Salammô*. 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 94 p.

- F.A.O. (1975). — Manual of methods in aquatic environment research. Part 1. Methods for detection, measurement and monitoring of water pollution *FAO Fish. tech. Pap.* 137 : 1-238.
- MURAOUR P. (1959). — Etude séismique par réfraction au large du bassin de la Medjerdah. *Bull. Sm. océanogr. Salammbô*, 53 : 1-23.
- PIMIENTA J. (1959). — Le cycle pléocène actuel dans les bassins parallèles de Tunis. *Mém. Soc. Géol. Fr.*, 38(1) : 1-76.
- SCHNEIDER W. (1978). — Bilan des substances nutritives du lac de Tunis 1976/77. Rapport effectué par l'Institut Fresenius pour le Ministère de l'Agriculture. 2 vol. 787 p.
- STIRN J. (1968). — Lac de Tunis (partie nord). Assainissement (Rapport Rudis au Sous-secrétariat d'Etat à l'Agriculture). 68 p.
- ZAOUALI J. (1971). — Etude de l'écologie du lac de Tunis et de la mer de Bougrara (Tunisie) ; leurs peuplements malacologiques. Thèse 3ème cycle Univ. Caen. 129 p.