



## **TINJA : UN CHENAL DE TRANSITION HYDROLOGIQUE ET GEOCHIMIQUE ENTRE LAGUNE DE BIZERTE ET GARAËT ICHKEUL (NE TUNISIEN)**

**SRARFI F.<sup>1</sup>, SAHLI H.<sup>2</sup>, TLLIG S.<sup>2</sup>, SLIM SHIMI N.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Université de Gafsa, Faculté des Sciences de Gafsa, 2100

<sup>2</sup> UR-GAMM, Université Tunis-El Manar, Faculté des Sciences de Tunis, 2092

El Manar

srarfif@yahoo.fr

### **RESUME**

Le chenal de Tinja assure sur une dizaine de kilomètres de distance, les échanges d'eaux et de matières, et donc la pérennité de l'ensemble du système hydrologique : lagune de Bizerte-Tinja-lac Ichkeul. Une étude minéralogique des sédiments et géochimique des eaux rend compte de la complexité du schéma d'échanges physico-chimiques et des interactions anthropiques avec les composantes environnementales de ces milieux.

Une évaluation comparative de la situation environnementale des deux bassins, lac Ichkeul-lagune de Bizerte, rend compte du fait que des éléments comme le fer et le zinc dans la lagune de Bizerte possèdent les valeurs les plus élevées, par rapport à celles enregistrées dans garâet Ichkeul. Ceci est dû essentiellement à un apport continu en ces éléments à partir de sources industrielles, notamment l'usine sidérurgique de Menzel Bourguiba.

Au contraire, les éléments cuivre, cadmium et nickel sont nettement plus concentrés dans les eaux de surface de garâet Ichkeul, comparativement à celles de la lagune de Bizerte. Ceci résulte d'un apport naturel de métaux dans les eaux de la garaêt par ruissellement à partir des bassins versants. Les eaux d'oueds nourriciers lessivent et drainent des haldes et terrils de mines (Pb, Zn, Fe) implantées dans les bassins versants de garâet Ichkeul, en plus de sources géothermales et d'une alimentation de nappes souterraines possiblement contaminées par une charge métallique lourde, et par des rejets anthropiques urbains et industriels en l'absence de facilités de traitement.

Le chenal de Tinja relate un phénomène singulier, assez curieux, puisque les concentrations en éléments inorganiques sont élevées et dépassent de loin les valeurs retrouvées pour les deux bassins de l'Ichkeul et lagune de Bizerte. L'enrichissement en métaux lourds de ce canal traduit son rôle capital

d'émissaire de liaison et distributaire central quant aux transferts de matières (hydrologie, minéralogie, environnement, géochimie) à la charnière des différents organes constitutifs du complexe garaêt Ichkeul-tinja-lac Bizerte.

**Mots clefs :** métaux lourds, géochimie, contamination, minéralogie, Tinja, environnement, lagune, Bizerte, Ichkeul.

### **Abstract**

Tinja's channel assures the waters and materials exchanges, and so the perpetuity of the hydrological system: Bizerte's lagoon –Tinja - Ichkeul lake for a ten kilometres distance. A mineralogical, geochemical sediments and waters study of the system formed by Bizerte's lagoon- Ichkeul lake and Tinja's channel, realizes the complexity schema of physico-chemical exchanges and anthropogenic interactions with the environmental constituents of this system. An environmental comparative valuation of two basins: Bizerte's lagoon - Ichkeul lake, realizes that elements as the iron and the zinc in the Bizerte's lagoon sediments possess the most raised values, with regard to those registered in the Ichkeul's lake deposits. This is due essentially to an industrial sources continuous contribution in these elements, notably the Menzel Bourguiba's siderurgy. On the contrary, copper, cadmium and nickel are sharply more concentrated in the Ichkeul's lake surface waters, compared with those of Bizerte's lagoon. This results from a natural contribution of metals in the lake waters by running off from river basin. The rivers feeder waters, leach and drain ore dump and refuse dump (Pb, Zn, Fe) implanted in river basin of Ichkeul lake, besides geothermal sources and a water table supply probably contaminated by a heavy metal load, and by anthropogenic urban and industrial waste. Tinja's channel tells an unusual, curious phenomenon, because inorganic elements concentrations are raised and exceed values found for the two Ichkeul and Bizerte's lagoon basins. Enrichment in heavy metals of this canal translates its major role of connection emissary as for the materials transfers (hydrology, mineralogy, environment, and geochemistry) in the various constituent organs of the complex Ichkeul lake - tinja - Bizerte's lagoon.

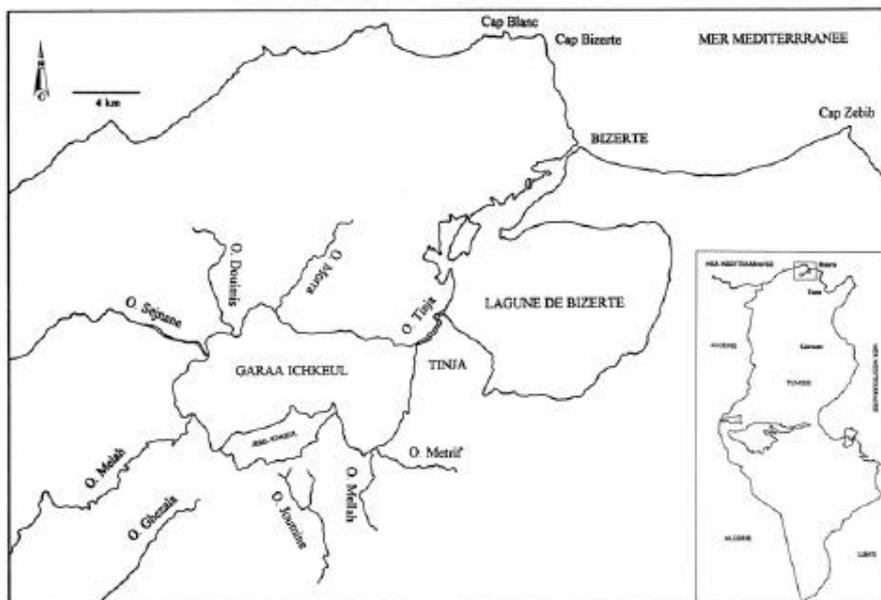
**Keywords:** heavy metals, geochemistry, contamination, mineralogy, Tinja, environment, lagoon, Bizerte, Ichkeul.

## INTRODUCTION

Dans les milieux naturels, les équilibres ne sont pas fixés et il existe toujours une dynamique plus ou moins importante selon la nature propre des écosystèmes considérés. En effet, les variations bio-géochimiques dans un lac sont liées principalement au changement de paramètres hydrodynamiques ou à une activité anthropique ponctuelle. Dans l'oued Tinja, les paramètres physico-chimiques et biologiques sont beaucoup plus importants et peuvent varier sensiblement même à l'échelle des saisons. De plus, en raison d'une forte présence anthropique les apports en métaux lourds et des matières organiques y sont importants (Hamouda, 1996; Chrouda, 2003; Essid et al., 2004; Hamdi et al., 2004; Hammami et al., 2005; Hassen et al., 2004; Yoshida et al., 2004a). Comme dans les estuaires le mélange entre eau douce et eau salée engendre des variations physico-chimiques et biologiques importantes (conductivité, pH, nutriments, alcalinité, DCO...), les complexes métal-ligands organiques sont affecté et il y'a une redistribution du stock métalliques entre les matrices aqueuse et sédimentaire.

## CONTEXTE HYDRO-GEOCHIMIQUE

La lagune de Bizerte fait partie d'un grand système hydrologique (lagune de Bizerte-Tinja-garâet Ichkeul), pour cette raison on ne peut pas étudier une composante de ce système indépendamment des autres (figure1).



**Figure 1 :** Localisation de la zone d'étude

L'étude de garâet Ichkeul, du chenal de Tinja et de la lagune de Bizerte (Soussi, 1981; Ouakad, 1982 ; 2007; Ben M'barek, 1995 ; 2001; Srarfi, 2007) nous permettent de comprendre sommairement le schéma d'échange physico-chimique et les interactions entre ces milieux. Le tableau 1 représente des données analytiques des eaux et des sédiments de surface ainsi que les matières en suspension de ces derniers. Ces valeurs nous montrent que le bassin versant de la garâet Ichkeul subit un apport assez important en métaux lourds et contaminants inorganiques indépendamment des entrées à partir de la lagune de Bizerte. En effet, même si la gestion de l'écluse installée sur le chenal de Tinja est en mode fermé, les concentrations en éléments inorganiques sont assez importantes et dépassent parfois celles enregistrées dans lagune de Bizerte (Srarfi, 2007).

**Tableau 1 :** Concentrations de quelques éléments inorganiques (ppm) dans le système lagunolacustre Ichkeul- Tinja- Bizerte.

1 Srarfi, 2007 ; 2 Ben M'barek, 2001 ; 3 Ouakad, 1982, 2007 ; 4 Soussi, 1981

	Lagune <sup>1</sup> (eau)	Tinja <sup>2</sup> (eau)	Ichkeul <sup>2</sup> (eau)	Ichkeul <sup>3</sup> (sédiment )	Lagune <sup>1</sup> (sédiment )	Lagune <sup>3,4</sup> (MES)	Tinja <sup>3</sup> (MES)
<b>Fe</b>	0 - 0,46	0,31- 0,46	0,11 – 0,18	2,6-3,4 %	0,15 – 9,95 %	0,11-3,30 %	1,35 %
<b>Pb</b>	0 - 0,24	0,21 – 0,34	0,11 – 0,15		11,88 – 426,48		
<b>Zn</b>	0 - 0,14	0,10 – 0,21	0,02 – 0,06	240 -340	44,82 - 1955,64		
<b>Cu</b>	<0,01	0,041 – 0,14	0,02 – 0,05	20 -32	1,12 – 169,16	42- 855	1625
<b>Cd</b>	<0,02	0,36 – 0,48	0,13 – 0,20		0,04-2,9		
<b>Ni</b>	0,03 – 0,09	0,32 – 0,43	0,13 – 0,18		7,94-44,1		
<b>Mn</b>				260 - 400	51,9 – 368,55	47- 425	48
<b>Cr</b>					3,23 – 85,98	222- 851	43

En comparant la situation au niveau des deux dépressions, on remarque que pour les éléments fer et zinc dans les eaux de surface, la lagune de Bizerte montre des valeurs plus importantes que celles enregistrées dans la garâet Ichkeul. Ceci est dû à un apport continu en ces éléments à partir des lixiviats de la décharge de Menzel Bourguiba, de la décharge de Bizerte, des rejets hydriques et atmosphériques de la sidérurgie et de la cimenterie.

Par contre les éléments cuivre, cadmium et nickel sont largement plus concentrés au niveau des eaux de surface de garâet Ichkeul que pour la lagune de Bizerte. Ce qui prouve l'effet de l'apport naturel des métaux par le biais des eaux de ruissellement. Celles-ci lessivent des déblais des différentes mines (Pb, Zn) qui se trouvent dans le bassin versant de garâet Ichkeul (Sainfeld, 1952), des sources géothermiques (Meddeb, 1993) et de l'alimentation des nappes

souterraines contaminées par les éléments inorganiques métalliques (Saad, 2003). Aussi l'apport anthropique urbain et industriel non traité (ANPE, 1995; Alatiri, 2003 ; Ouakad, 2007).

Le chenal de Tinja présente un phénomène assez curieux puisque les concentrations en éléments inorganiques sont assez importantes et dépassent parfois celles des deux dépressions (Ichkeul et Bizerte). En effet, d'après le tableau 1, et des cartes d'isoteneurs (figure 2) l'oued Tinja manifeste un enrichissement en métaux au niveau des deux matrices (eau et sédiment). Ce schéma trop simple montre un bilan matière excédent au niveau du chenal.

Un apport direct dans le chenal de Tinja par des rejets urbains non traités pourrait expliquer ce phénomène, sauf que ces rejets ne présentent pas une contamination métallique importante dans cette zone non assainie (MAERH, 2004), excepté pour l'élément zinc (Ouakad, 2007). Alors les matières en suspension jouent un rôle très important dans la création d'un nouvel équilibre dans cette zone de transition où des conditions physico-chimiques locales sont à l'origine de la redistribution des éléments chimiques entre la phase solide (sédiment) et la phase liquide (eau).

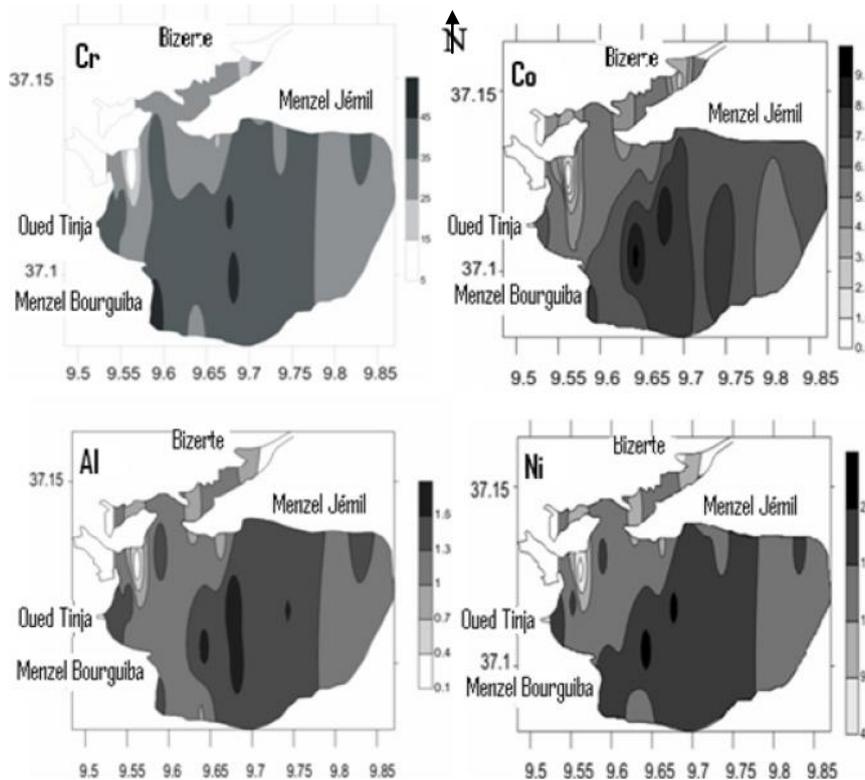


Figure 2 : Répartition spatiale des éléments métalliques dans les sédiments de la lagune de Bizerte (en ppm)

## ETUDE GEOCHIMIQUE DE GARAET ICHKEUL

Dans la zone d'interface entre garâet Ichkeul et Tinja, il y'a présence de matériel détritique fin de type silto-argileux. Les phyllites ont tendance à s'associer avec des filaments organiques et éventuellement des oxydes/hydroxydes métalliques pour donner naissance à des agglomérats en flocons. Avec la présence des cristaux authigènes de carbonates calcimagnésiens (Soussi, 1981; Ouakad, 1982 ; 2007).

La comparaison entre les teneurs en carbone organique du sédiment et de la matière en suspension montrent des écarts assez importants qui seraient dus à un apport de matière organique provenant du tapis phanérogamique des zones prodeltaïques ou de l'incursion d'eau marine enrichies en matière organique algale à travers l'oued Tinja (Corg : 0,8-0,9 %, Ouakad, 2007).

L'étude géochimique des sédiments de surface a montré que la distribution des éléments métalliques se fait en face de l'oued Tinja et au milieu de la dépression où l'effet de l'incursion marine est très net.

## ETUDE GEOCHIMIQUE DE LA LAGUNE DE BIZERTE

La géochimie des cations métalliques dans la phase aqueuse est influencée par les phénomènes d'atténuation naturelle telle que la dispersion, l'adsorption ou la bioconcentration. En effet, les éléments Zn, Ni, Co, et Pb se trouvent avec des concentrations assez faibles par contre le Cu et le Cr se trouvent à des teneurs inférieures aux limites de détection de l'appareil de mesure.

Dans les sédiments superficiels de la lagune de Bizerte, la matière organique influe aussi sur la forme de l'élément dans le sédiment. Qu'il a une forme sulfurée ou simplement adsorbée sur la matière organique, cela influe sur sa concentration (Yoshida, 2004b), sa répartition spatiale, ainsi que sur les associations qu'il édifie avec les autres éléments métalliques.

Le matériel fin participe aussi à la répartition des éléments métalliques dans les sédiments de surface. En effet, une proportion non négligeable des métaux s'adsorbe sur les colloïdes et les particules argileuses. Le centre de la lagune est occupé essentiellement par des smectites qui présentent des valeurs élevées d'échange cationique et un dépôt organo-minéral important. Ce qui augmente la rétention des éléments métalliques par la formation de complexes stables entre métal – argile- matière organique ou bien, métal - matière organique – argile.

Par contre, sur les bordures, ces minéraux sont dominés par la kaolinite (entre 60% et 80 %). Une argile caractérisée par une surface spécifique et un échange cationique faible. Associés au quartz et aux carbonates de calcium, leur capacité d'échange diminue encore. Les colloïdes, (chargés négativement) s'agglomèrent dans la zone de mélange d'eaux de salinités différentes, ce qui entraîne leur précipitation. Cette floculation est à l'origine de la sédimentation par gravité des floes fraîchement formés dans la colonne d'eau. D'ailleurs, sur les bordures, le

matériel argileux est dominé par la kaolinite, indicatrice d'une sédimentation rapide par floculation (Soussi, 1981).

## **ETUDE GEOCHIMIQUE DU CHENAL DE TINJA**

Dans le chenal, la structure des matières en suspensions est très différente de celles des deux dépressions décrites précédemment.

Les suspensions dans l'oued Tinja montre l'abondance de particules argileuses isolées et de quelques cristaux de quartz, de gypse de silicates riches en magnésium type chlorite ainsi que des feldspaths et de cristaux de calcite magnésienne avec une absence d'agglomérats et de microorganismes. La matière organique est essentiellement d'origine planctonique, de pelotes fécales et d'autres substances organiques biodégradables (Soussi, 1981; Ouakad, 2007). Il y a quasi-absence d'assimilation des métaux par les diatomées et les autres microorganismes à cause du caractère non organogène du milieu.

Ces phénomènes bio-physicochimiques sont en faveur d'un enrichissement du matériel sédimentaire en éléments métalliques au niveau du chenal par l'extraction de ces derniers de la colonne d'eau.

En plus la défloculation est à l'origine de la libération des métaux adsorbés sur ses particules formées dans la zone de mélange de salinités différentes. En effet, à mesure que la salinité augmente il y'a saturation des sites d'adsorption par les ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{K}^+$  sur les particules en suspensions ou les flocons. Cette coagulation adsorptive obéit à des relations stoechiométriques, la présence de cations en concentrations importantes est à l'origine d'une défloculation des particules agglomérées et la suspension revient alors stable.

En outre l'élément calcium déstabilise les matières en suspension par association chimique avec les colloïdes humiques hydrophiles (Raïs, 1999).

Ces phénomènes sont à l'origine d'une libération importante des cations métalliques associés aux particules en suspension, on a alors un enrichissement de la matrice eau et sédiment par rapport aux matières en suspension.

L'examen des différentes étapes analytiques montre que tous les échantillons aqueux sont soumis à une étape de filtration (0.45 $\mu\text{m}$ ). Ceci a pour objectif l'analyse du matériel dissous seulement (élémentaire ou complexé), et aussi pour protéger le matériel analytique. Sauf que l'étude microscopique de Soussi (1981) a révélé une particularité de cette zone, c'est l'abondance des particules en suspension de diamètre inférieur à 0.125  $\mu\text{m}$ . Ces particules minérales argileuses sont porteuses des éléments métalliques adsorbés à leur surface. Une fois les échantillons sont filtrés, ils vont garder ces particules qui seront analysées ensuite comme faisant partie du matériel dissous. Ce qui augmente la concentration des échantillons aqueux au niveau du chenal de Tinja.

## **CONCLUSION**

Le changement brusque des conditions physico-chimiques dans le chenal de Tinja est à l'origine de l'augmentation des concentrations en éléments inorganiques en traces au niveau de deux matrices eau et sédiment localement dans cette zone de transition. La reprise du matériel sédimentaire du fond au niveau de Tinja et la remobilisation des sédiments de surface favorisent le passage des métaux associés aux phases minérales et/ou organiques vers l'eau. Le remaniement peut atteindre même les niveaux plus profonds que celle de la couche superficielle des oxydes. Les métaux y se trouvent associés aux sulfures. On assiste alors à une libération des éléments métalliques tels que le Cd, Ni et le Co.

En plus la remise en suspension des sédiments de surface et le passage du métal de sa forme oxydée ou même sulfurée à une autre forme plus soluble est en faveur d'une migration des éléments métalliques du réservoir sédimentaire vers la colonne d'eau.

L'augmentation de la salinité et de la charge ionique, induit la désorption des éléments métalliques adsorbés sur les colloïdes en faveur d'autres cations et la défloculation des agglomérats formés au niveau des zones d'embouchures de Tinja. Se trouvant libres, ces éléments métalliques qui étaient associés aux matières en suspensions, enrichissent les autres environnements.

## **REMERCIEMENTS**

A Monsieur Hédi Zarrouk, ex Directeur de l'Institut National de Recherche et d'Analyses Physico-chimiques pour son soutien financier, logistique et scientifique.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- AGENCE NATIONALE DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ANPE), 1996. Etude pour la sauvegarde du parc national de l'Ichkeul, Rapport, 291p.
- ALATIRI R. (2003). L'assainissement agricole impact sur le fonctionnement de l'écosystème de l'Ichkeul. Actes., Atelier sur la gestion intégrée du bassin versant de l'Ichkeul, Vol 1.
- BEN M'BAREK N. (1995). Impacts des ouvrages sur l'équilibres de l'écosystème « lac Ichkeul » : suivi mensuel des principaux paramètres physico-chimiques, DEA, Univ. Tunis., 67p.
- BEN M'BAREK N. (2000). Etat d'évolution de l'écosystème du lac Ichkeul et de son bassin versant, Th. Doct. Univ. Tunis II., 182p.

- CHIFFOLEAU J. F., GONZALEZ J. L., MIRAMAND P., TOUVENIN B. (1999). Le cadmium : comportement d'un contaminant métallique en estuaire, Rapport, programme Seine-Aval, 31p.
- CHROUDA D. (2003). Identification des polluants inorganiques par ICP/MS dans les eaux de la lagune de Bizerte, mémoire P.F.E, Faculté des Sciences de Tunis, université El Manar, Tunisie, 75p.
- ELLWOOD M.J., VANDER BERG M.G. (2001). Determination of organic complexation of cobalt in sea water by cathodic stripping voltammetry. *Marine Chemistry*, N°75, 33-47.
- ESSID N., MAHMOUDI E., BOUFAHJA F., BEYREM H., AISSA P. (2004). Pollution impact of municipal landfills on meiobenthic assemblages of Bizerte lagoon during Spring 2002, Final report research promotion programme, 21-30.
- HAMDI H., JEDIDI N., YOSHIDA M., HASSEN A., GRABI A. (2004). Effect of bio-physico-chemical properties of surficial lower layer sediments of mercury distribution in Bizerte lagoon, Final report research promotion programme, 71-80.
- HAMMAMI J. (2005). Géochimie des éléments nutritifs dans les eaux de la lagune de Bizerte (Tunisie Nord-Orientale), DEA, Université El Manar, Tunis, 132p.
- HAMOUDA R. (1996). Etude des hydrocarbures dans les sédiments superficiels de la lagune de Ghar el Melh et de la lagune de Bizerte, DEA, Univ. Tunis II, 126p.
- HASSEN A., CHERIF K., BELGOUTH A., SAIDI N., AOUNI M., YOSHIDA M. (2004). Polymerase chain reaction technique for microbial and environmental investigations, Final report research promotion programme, 103-114.
- MEDDEB M.N. (1993). Potentialités géothermiques de la Tunisie Septentrionale, Th. Univ. Tunis II, 192p.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES RESSOURCES HYDRAULIQUES (MAERH). (2004). Etude sur la dépollution industrielle dans le bassin versant du lac de Bizerte, Rapport phase II version provisoire, 236p.
- OUAKAD M. (1982). Evolution sédimentologique et caractères géochimiques des dépôts récents de la Garaet el Ichkeul (Tunisie septentrionale), Th. Doct. 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Perpignan, 166p.
- OUAKAD M. (2007). Genèse et évolution des milieux laguno-lacustres du Nord-Est de la Tunisie (Garaet el Ichkeul, lagune de Bizerte et de Ghar el Melh), Thèse d'état. Univ. Tunis el Manar, 461p.
- RAÏS M. (1999). Géochimie des métaux lourds (Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Ni, et Cd) dans les eaux de surface du golfe de Tunis. Mobilité et Impact des activités anthropiques, Thèse de doctorat, Université Tunis II, 211p.
- SAAD S. (2003). Géologie, Ressources et qualité des eaux du bassin versant de l'Ichkeul, DEA, Université El Manar, Tunis, 167p.

- SAINFELD P. (1952). Les gîtes plombo-zincifères de Tunisie, Annales des mines et de la géologie N°9, 281p.
- SOUSSI N., (1981). Mécanisme de sédimentation et évolution paléogéographique de la lagune de Bizerte (Tunisie) durant le Quaternaire récent, Thèse de doctorat 3<sup>ème</sup> cycle, Université Paul Sabatier de Toulouse, 229p.
- SRARFI F. (2007). Etude géochimique et état de pollution de la lagune de Bizerte, Thèse de Doctorat, Université El Manar Tunis, 122p.
- YOSHIDA M., HAMDI H., ABDUL NASSEUR I., JEDIDI N. (2004a). Contamination of potentially toxic elements in Bizerte Lagoon sediments, surface sediment and sediment repository, Final report research promotion programme, 31-54.
- YOSHIDA M., SHIPBOARD SCIENTISTS TEAM. (2004b). Mobility of potentially toxic element from the bottom sediment of Bizerte lagoon-sequential leaches and acid extraction, Final report research promotion programme, 55-70.