

## HYDROLOGIE, SEDIMENTOLOGIE ET GEOCHIMIE DE L'OUED TINJA (TUNISIE SEPTENTRIONALE)

Amor BEN GARALI<sup>1\*</sup>, M. OUKAD<sup>1</sup> et M. GUEDDARI<sup>2</sup>

1- Faculté des Sciences de Bizerte – Laboratoire de sédimentologie et géochimie marine - 7021 Zarzouna -Bizerte.Tunisie. Tél : 216 72 591 906 - Fax : 216 72 590 566

2- Faculté des Sciences de Tunis. Université El manar. 1060 Tunis. Tunisie.

\* bgamor@yahoo.fr

### ملخص

الحركة المائية، الترسبات و جيوكيمياء وادي تينجة (شمال تونس): يربط واد تينجة بحيرة إشكل ببحيرة بنزرت و تتصل هذه الأخيرة بالبحر الأبيض المتوسط عبر قناة طويلة. و تتأثر مياه هذا الوادي بمختلف الإمدادات الفصليّة العابرة له من مياه عذبة و مالحة مما يفسر التآرجح الكبير في درجة ملوحة مياهه. كانت الشبكة المائية السطحية المرتبطة ببحيرة إشكل (ذات حوض تجميحي ضخم في حدود 2080 كم<sup>2</sup>) موضوع العديد من المنشآت المائية، كبناء السدود و الأحواض التجميحية للمياه العذبة. مختلف هذه الأشغال تساهم في تغيير الخصائص المائية و الترسيبية و الجيوكيميائية لمنظومة بحيرتي بنزرت و إشكل مما يؤثر في تنوع و ثراء خصائصهما البيولوجية. يمثل واد تينجة المصبّ الطبيعي لبحيرة إشكل إذ يُعدّ أهم مصدر للمياه (10<sup>6</sup> م<sup>3</sup> 418 م<sup>3</sup>) و المواد الصلبة (10<sup>3</sup> 28 طن) و العناصر الغذائية (74، 954، 92 و 69 طن) تبعاً من نيتريت، نترات، امونيوم و فسفاط) لبحيرة بنزرت.

كما تتلقى بحيرة بنزرت العديد من المعادن الثقيلة من خلال الترسبات السطحية لواد تينجة والتي من شأنها أن تتسبب في اضطرابات شديدة، مضرّة على النباتات و الحيوانات المائية و على توازن المنظومة البيئية لهذه البحيرة.

كلمات مفاتيح : وادي تينجة - ماء - ترسبات - تدفق - نوعية

### RESUME

L'oued Tinja relie la garaet Ichkeul à la lagune de Bizerte laquelle communique avec la mer Méditerranée par un long goulet. Les eaux de cet oued dépendent à la fois des apports saisonniers des eaux marine et douce et présente de ce fait, des salinités très fluctuantes. L'important réseau hydrographique associé au plan d'eau de l'Ichkeul (avec un bassin versant très important d'environ 2080 km<sup>2</sup>) est sujet à de nombreux aménagements hydrauliques, notamment la construction de barrages de retenues d'eau douce. Ces derniers sont susceptibles de perturber les caractéristiques hydrologiques, sédimentologiques et géochimiques du système laguno-lacustre (lagune de Bizerte et garaet Ichkeul) et d'entamer par voie de conséquence sa diversité et sa richesse biologique. L'oued Tinja, exutoire naturel de la garaet Ichkeul représente la principale source d'apports liquides (418 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>), solides (28 10<sup>3</sup> tonnes) et en éléments nutritifs (74, 954, 92 et 69 tonnes respectivement de nitrite, nitrate, ammonium et phosphate) à la lagune de Bizerte. Cette dernière, reçoit des concentrations en métaux lourds à partir des sédiments superficiels de l'oued Tinja, qui risquent de provoquer des perturbations plus ou moins importantes, néfastes et irréversibles sur la faune et la flore aquatique de ce plan d'eau, par conséquent sur l'ensemble de l'équilibre écobioécologique.

Mots clés: Oued Tinja – Eau – Sédiment – Débit - Qualité

### ABSTRACT

**Hydrology, sedimentology and geochemistry of the wadi Tinja (Northern Tunisia):** The wadi Tinja connects the garaet Ichkeul to the lagoon of Bizerte which is connected to the Mediterranean Sea by a long gullet. The water of this wadi is depending at the same time on the seasonal contributions of marine and fresh waters and has very fluctuating salinities. The important hydrographical network associated with the Ichkeul stretch of water (which the pouring pool surface equals to 2080 km<sup>2</sup>) are subject to many hydraulic installations, in particular the construction of barriers of fresh water reserves. These latter are likely to disturb the hydrological, sedimentological and geochemical characteristics of the lagoon - lake system (lagoon of Bizerte and garaet Ichkeul) and consequently to damage its diversity and its biological richness.

Tinja wadi, which is the garaet Ichkeul outlet represents the principal source of liquid contributions (418 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>), solids (28 10<sup>3</sup> tons) and in nutritive elements (74, 954, 92 and 69 tons respectively of nitrite, nitrates, ammonium and phosphate) to the lagoon of Bizerte. The latter, receives concentrations in heavy metals from the surface sediments of Tinja wadi, which are likely to cause more or less important disturbances, harmful and irreversible on the fauna and the watery flora of this stretch of water, and consequently on the whole of balance ecobiologic.

Key words: Wadi Tinja – Water – Sediment – Debit - Quality

### INTRODUCTION

L'oued Tinja (Tunisie septentrionale), sinueux, peu profond et long de 5 km relie la garaet Ichkeul (la plus grande surface d'eau douce en Tunisie) à la lagune de

Bizerte. Celle-ci s'ouvre largement sur la mer par un canal rectiligne. En hiver, les fortes précipitations, entraînent une évacuation de l'excédent d'eau douce vers la lagune de Bizerte via l'oued Tinja (période du courant sortant). Durant la saison estivale, suite à la forte

évaporation et à un apport en eau douce très faible ou nul, le niveau d'eau dans la garaet Ichkeul s'abaisse entraînant l'entrée, par l'oued Tinja, des eaux marines compensatrices de la lagune de Bizerte (période du courant entrant).

De ce fait, les paramètres physico-chimiques, ainsi que les teneurs en ions majeurs et en éléments nutritifs des eaux de l'oued Tinja sont alors influencés par celles des eaux de la lagune de Bizerte en période de courant entrant (en été) ou celles de la garaet Ichkeul en période de courant sortant (en hiver).

Le suivi des paramètres du milieu, ainsi que les apports liquides et solides et en éléments nutritifs de la garaet Ichkeul vers la lagune de Bizerte à travers l'oued Tinja ont été évalués à partir des relevés mensuels. Des observations régulières de quelques variables sur l'oued Tinja donne des informations importantes sur l'évolution saisonnière des conditions du milieu dans la garaet Ichkeul, ainsi que sur les possibilités de migration des poissons (muges et anguilles) (Chaouachi *et al.*, 1995). Les débits liquides et solides, corrélés positivement, sont influencés par les conditions environnementales et par les aménagements hydrauliques.

Pour ces raisons, plusieurs études d'impact ont été entreprises afin d'étudier le fonctionnement de cet écosystème fluvial et de définir une stratégie pour sa sauvegarde. C'est dans ce contexte que le suivi continu des paramètres hydrologiques, sédimentologiques et géochimiques de cet oued est rendu nécessaire pour la bonne gestion et le bon fonctionnement de ce système fluvial dynamique.

## MÉTHODOLOGIE

### 1- Echantillonnage et analyses

Des échantillons mensuels d'eau et de sédiment de surface ont été prélevés au niveau de l'oued Tinja (station

Sidi Hassoun) durant l'année hydrologique 2004-2005 (Figure 1). Ils ont fait l'objet des analyses physico-chimiques, des paramètres sédimentologiques, granulométriques et géochimiques. Les mesures journalières de certains paramètres au niveau de l'oued Tinja réalisées par (Chaouachi *et al.*, 1995), ont permis de constater une fluctuation plutôt saisonnière. C'est dans ce contexte que nos campagnes ont été réalisées chaque mois.

Un salinomètre microprocesseur type WTW LF 197 pour les mesures de la salinité, de la température et de la conductivité. Un oxymètre type WTW OXI 330/set, pour mesurer l'oxygène dissous. Les éléments majeurs dans les eaux ont été analysés par la méthode de (Rodier,1975) et celles des éléments nutritifs par la méthode (d'Aminot et Chaussepied, 1983). L'ensemble de ces analyses a été effectué au laboratoire de sédimentologie et géochimie marine (Département de géologie, Faculté des Sciences de Bizerte). La détermination de la matière en suspension est assurée par filtration de deux litres d'eaux sur des filtres millipores de porosité 45 µm.

L'étude du cortège argileux a été faite par diffractomètre de rayons X (RX) au laboratoire de ressources minérales et environnement (Département de géologie, Faculté des sciences de Tunis). Des analyses granulométriques ont été réalisées afin de déterminer l'origine, la nature et le faciès de ces sédiments.

Ces derniers ont fait l'objet d'une succession d'attaques chimiques totales à l'aide des acides forts pour minéralisation (Martin, 1998). Dans ces conditions les teneurs sédimentaires en métaux lourds et en fer sont déterminées à l'aide d'appareil d'absorption atomique de type THERMO-ELEMENTAL-SOLAAR-S4 (Laboratoire de ressources minérales et environnement (Département de géologie, Faculté des sciences de Tunis)..

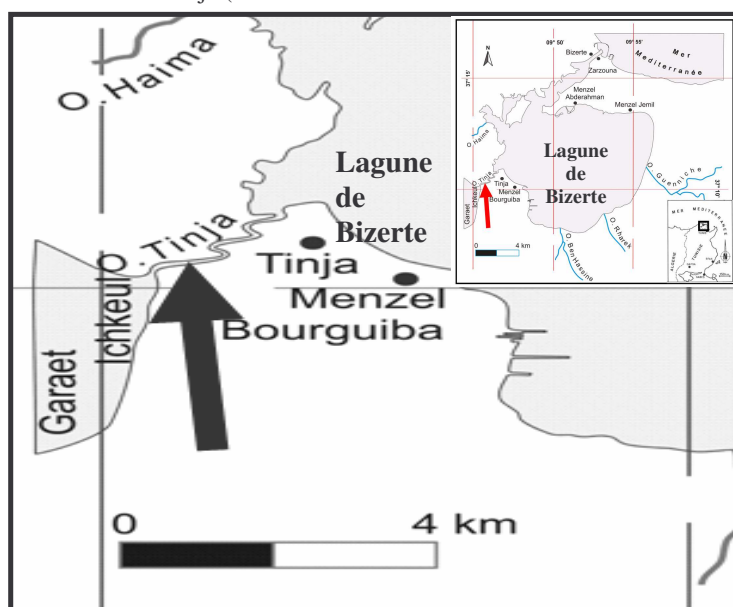


Figure 1: Localisation du site de prélèvements au niveau de l'oued Tinja.

D'autres analyses tel que le taux de matières organiques (COT, azote total) ont été également effectuées sur les sédiments de surface. La détermination de la teneur en carbone est assurée l'aide d'un appareil ELTRA CS-2000 par combustion à haute température (supérieure à 1200°C), dans un courant d'oxygène, effectué au laboratoire de contrôle de qualité au sein de l'usine "Cimenterie de Bizerte-Tunisie". L'azote total est directement lié à la quantité matière organique (Gadel, 1975). La méthode de Kjeldahl permet de doser la somme de l'azote organique et ammoniacal. Les étapes de minéralisation et de distillation ont été réalisées respectivement par les unités suivantes : KJELDATHERM KB/KBL et VAPODES 30 type Gerhardt au sein du laboratoire éco-physiologie végétale (Département de biologie, Faculté des Sciences de Bizerte). Comme l'oued Tinja est la principale source d'apports d'eau et de matières pour la lagune de Bizerte à partir de la garaet Ichkeul, il est utile d'analyser les aspects physico-chimiques, sédimentologiques et géochimiques de ces apports. Ainsi, le suivi de la qualité des eaux et des sédiments hérités est nécessaire pour la sauvegarde et le bon fonctionnement du système lagunaire de Bizerte d'un grand intérêt économique, en particulier aquacole

## 2- Quantification des apports

Suite à la construction de l'écluse sur l'oued Tinja, et en l'absence de nouvelle courbe de tarage, le flux liquide est déterminé par la relation établie par (Hollis, 1983), qui tient compte de la hauteur de l'eau dans l'oued (station Sidi Hassoun) (H exprimé en cm, mesuré chaque jours) en période de courant sortant du garaet Ichkeul vers la lagune de Bizerte:

$$\text{Si } 47\text{cm} < H < 96\text{cm} : Q \text{ (m}^3/\text{s)} = 0,588 H - 27, 94$$

$$\text{Si } H > 96\text{cm} : Q \text{ (m}^3/\text{s)} = 0,302 H - 0, 49$$

**H:** hauteur d'eau journalière (une moyenne mensuelle est utilisée pour le calcul).

**Q:** flux liquide journalier déduit en m<sup>3</sup>/s

Le flux liquide mensuel est donc :

$$Q_{\text{lm}} = Q \times 24 \times 3600 \times 30 \text{ (m}^3 \text{ ou l)}$$

Ainsi, on peut quantifier les flux mensuels, solides et en éléments nutritifs déversés dans la lagune de Bizerte, exprimés selon la relation suivante:

$$Q_i \text{ (en grammes où en tonnes)} = C_i \times Q_{\text{lm}}$$

Avec, **C<sub>i</sub>** : concentration de *i* (MES, nitrite, nitrate, ammonium ou phosphate) en mg/l.

**Q<sub>lm</sub>** : débit liquide mensuel.

## RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### 1- Paramètres physico-chimiques

Les eaux de l'oued Tinja montrent deux saisons bien distinctes en termes de paramètres physico-chimiques:

\* Une saison hivernale où la température des eaux oscille autour de 20°C et la salinité oscille entre 1,3 et 3,2 g/l, traduisant l'apport des eaux douces de la garaet Ichkeul vers la lagune de Bizerte par l'intermédiaire de l'oued Tinja (Tableau 1). Les teneurs en oxygènes dissous sont importantes, oscillant entre 7,9 et 9,5 mg/l. Le maximum

de la teneur des eaux de l'oued Tinja en matières en suspension, a été enregistré durant le mois de décembre (178,5 mg/l). (Labbaradi et al., 2005) montrent des teneurs élevées en MES (252 mg/l) au niveau de l'oued Drader (nord-est de la lagune Moulay Bousselham), ce qui contribue au comblement de cette dernière. Au cours du reste de l'année (saison estivale), les teneurs en matières en suspension demeurent plus faibles avec un minimum de 11,5 mg/l.

\* Une saison estivale, allant de mai à octobre, où la température des eaux est assez élevée, au-delà de 25°C, avec un maximum de 32,6°C au mois de juillet. La salinité des eaux varie entre 35,5 et 38,9 g/l, dénotant le phénomène d'intrusion d'eaux marines dans la garaet Ichkeul à partir de la lagune de Bizerte à travers l'oued Tinja. Les teneurs en oxygène dissous sont faibles, avec un minimum de 3,2 mg/l.

(Chaouachi et al., 1995), indique que la température des eaux de l'oued Tinja varie durant l'année de 7 à 29°C. Les variations de la température de l'eau sont les mêmes que celles de l'air, dénotant une corrélation étroite ( $r = 0,93$ ), ce qui permet d'estimer la température de l'eau à partir des températures atmosphériques ( $y = 0,987x - 0,787$ ) dont les relevés sont disponibles en permanence.

La fluctuation saisonnière de la salinité conditionne les possibilités de germination et de croissance de *Potamogeton pectinatus*, qui forme une part importante de la nourriture de l'avifaune aquatique qui séjourne en hiver dans la garaet Ichkeul.

### 2- Faciès géochimiques

Durant la saison hivernale, les teneurs en sodium dans les eaux oscillent entre 0,1 et 0,26 g/l. Ces concentrations montrent l'apport des eaux douces de la garaet Ichkeul vers la lagune de Bizerte par l'intermédiaire de l'oued Tinja (Tableau 1).

(Boulaâba, 2005), montre que les teneurs en sodium des eaux de l'oued Sejenane (affluent de la garaet Ichkeul) durant la même période sont proche de nos valeurs variant de 0,12 à 0,2 g/l.

Les teneurs en magnésium et en calcium sont faibles et varient respectivement entre 0,03 et 0,08 g/l et entre 0,11 et 0,29 g/l. De même, les teneurs des eaux en potassium, sont faibles. Ils varient entre 6,5 à 16 mg/l.

Les teneurs des chlorures et des sulfates dans les eaux sont aussi faibles dont ils oscillent respectivement, entre 0,21 et 0,53 g/l et entre 0,26 et 0,32 g/l, traduisant l'apport des eaux douces de la garaet Ichkeul vers la lagune de Bizerte par l'intermédiaire de l'oued Tinja. Les teneurs des eaux en bicarbonates sont importantes et varient entre 0,23 et 0,29 g/l. Ces teneurs résultent du lessivage des terrains géologiques carbonatés avoisinants (Jbels Kchabta et Messeftine) (Crampon, 1971 ; Soussi, 1981).

Au cours de la saison estivale, Les teneurs en sodium et en chlorures dans les eaux de l'oued Tinja varient respectivement, de 10,9 à 12 g/l et de 19,7 à 21,6 g/l, dénotant le phénomène d'intrusion d'eaux marines vers la garaet Ichkeul à partir de la lagune de Bizerte à travers

l'oued Tinja. Les teneurs en magnésium, en calcium, en potassium et en sulfate sont importantes. Ils oscillent respectivement, entre 0,35 et 1,43 g/l, entre 0,42 et 0,46 g/l, entre 110 et 430 mg/l et entre 2,75 et 3,02 g/l. Ces teneurs résultent en fait du phénomène de l'intrusion d'eaux marines. Cependant, les teneurs en bicarbonates sont faibles. Ils oscillent entre 0,13 et 0,15 g/l.

Ces teneurs en ions majeurs sont concordantes aux variations de la salinité déjà décrite, confirmant ainsi leur classification parmi les eaux ayant une très forte minéralisation à excessive. Selon (Nisbet et Verneaux, 1970), ces teneurs varient avec la nature des terrains traversés et s'échelonnent par plusieurs classes dès que le parcours de l'oued soit suffisamment long. Les eaux de l'oued Tinja montrent:

\* au cours de la saison hivernale, un faciès plutôt équilibré *sulfato-chloruré calcique et magnésien* (qui montre la présence des eaux douces) (Figure 2a).

\* un faciès *chloruré-sodique* durant la période estivale, montrant l'intrusion des eaux marines à partir de la lagune de Bizerte vers la garaet Ichkeul (Figure 2b)

### 3- Géochimie des éléments nutritifs

Au cours de la saison hivernale, les eaux de l'oued Tinja, montrent des teneurs élevées en nitrites variant entre 0,17 et 0,37 mg/l. Pour le reste de l'année, les teneurs sont assez faibles et oscillent entre 0,03 et 0,056 mg/l.

Les teneurs en nitrates dans les eaux de l'oued Tinja sont importantes durant presque toute l'année d'étude, oscillant entre un minimum 0,4 mg/l au cours du mois de septembre et un maximum de 1,37 mg/l au mois de juillet (Tableau 1).

Les eaux de l'oued Tinja, montrent deux saisons en termes d'ammoniums et d'orthophosphates:

\* Une saison hivernale allant de décembre à avril, avec des teneurs importants en ammonium et qui oscillent

entre un minimum de 0,13 mg/l au mois d'avril et un maximum de 0,48 mg/l durant le mois de février. Les teneurs en orthophosphate sont importantes. Ils varient entre 0,11 mg/l au mois de décembre et 0,39 mg/l durant le mois de février.

Hammami (2005), montre un maximum de nitrates au niveau des eaux de l'oued Tinja au cours du mois de février avec 1,744 mg/l. Ce même auteur, montre aussi un maximum d'azote total dans les mêmes eaux avec 0,502 mg/l au cours du même mois, ce sont les ions nitrates qui forment la fraction la plus importante de l'azote total.

\* Une saison estivale, avec des teneurs faibles en ammoniums et d'orthophosphates, qui varient respectivement, entre 0,01 et 0,08 mg/l et entre 0,01 et 0,09 mg/l.

Les fortes teneurs en nitrites ne sont alors enregistrées au niveau des eaux de ruissellement que durant la saison pluvieuse où le phénomène de lessivage des terrains agricoles est maximal (Hammami, 2005). Durant le reste de l'année, les nitrites sont présents en faibles teneurs et qui sont dues au fait que les valeurs du pH et de l'O<sub>2</sub> dissous des eaux favorisent la réaction de nitrification dont l'optimum est atteint pour des valeurs de pH entre 7 et 8 et des teneurs en O<sub>2</sub> dissous entre 5 et 10 mg/l (Diab, 1993).

Le phosphore organique montre une certaine corrélation positive avec l'azote organique dans les eaux de ruissellement du bassin versant de la lagune de Bizerte, ce qui indique que ces deux éléments ont pour principale origine la dégradation de la matière organique (Hammami, 2005).

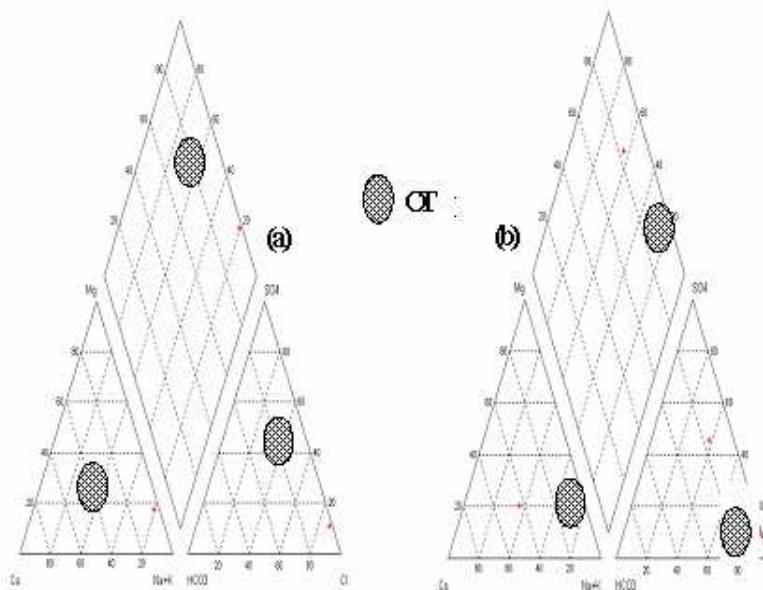


Figure 2: Faciès géochimiques des eaux de l'oued Tinja durant les saisons hivernale (a) et estivale (b).

Tableau 1: Paramètres physico-chimiques, sédimentologiques et géochimiques des eaux et des sédiments superficiels de l'oued Tinja.

	10/04	11/04	12/04	01/05	02/05	03/05	04/05	05/05	06/05	07/05	08/05	09/05
<i>T</i> (°C)	25.1	16.6	13.3	11.8	17.8	20.4	20.6	29	29.1	32	26.1	23.6
<i>S</i> (g/l)	38.9	13.3	9.5	2.6	1.3	1.5	1.6	1.6	3.2	35.5	36.5	37.2
<i>O</i> <sub>2</sub> (mg/l)	6.2	8.2	9.5	9.4	9.2	8.5	7.9	6.7	5.2	4.7	4.6	4.2
<i>MES</i> (mg/l)	58.4	77.3	178.5	46.3	27.7	23.8	21.2	19.7	19	16	12.1	11.5
<i>Na</i> <sup>+</sup> (g/l)	12	4.1	2.93	0.26	0.1	0.12	0.13	0.13	0.26	10.9	11.2	11.4
<i>Mg</i> <sup>++</sup> (g/l)	1.43	0.49	0.35	0.06	0.03	0.03	0.04	0.04	0.08	1.31	1.35	1.37
<i>Ca</i> <sup>+</sup> (g/l)	0.46	0.16	0.11	0.23	0.11	0.13	0.14	0.14	0.29	0.42	0.43	0.44
<i>K</i> <sup>+</sup> (mg/l)	430	150	110	13	6.5	7.5	8	8	16	400	410	410
<i>Cl</i> (g/l)	21.6	7.39	5.28	0.44	0.21	0.25	0.26	0.26	0.53	19.7	20.2	20.6
<i>SO</i> <sub>4</sub> <sup>-</sup> (g/l)	3.02	0.93	0.64	0.7	0.26	0.3	0.32	0.32	0.94	2.75	2.83	2.88
<i>HCO</i> <sub>3</sub> <sup>-</sup> (g/l)	0.15	0.15	0.14	0.27	0.23	0.27	0.29	0.29	0.28	0.13	0.14	0.14
<i>NO</i> <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0.02	0.03	0.04	0.37	0.38	0.17	0.04	0.05	0.01	0.02	0.03	0.03
<i>NO</i> <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	0.89	1.87	1.99	2.6	2.8	2.29	2.12	2.02	1.87	1.37	0.61	0.4
<i>NH</i> <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	0.01	0.04	0.26	0.31	0.31	0.24	0.2	0.07	0.06	0.04	0.03	0.02
<i>PO</i> <sub>4</sub> <sup>---</sup> (mg/l)	0.06	0.07	0.11	0.21	0.33	0.13	0.09	0.07	0.05	0.03	0.02	0.01
<i>FF</i> (%)	85	88	88	92	94	90	89	88	86	85	85	85
<i>FG</i> (%)	15	12	12	08	06	10	11	12	14	15	15	15
<i>K</i> (%)	47			50			48			55		
<i>S</i> (%)	21			22			15			20		
<i>I</i> (%)	21			20			22			20		
<i>C</i> (%)	11			11			15			05		
<i>COT</i> (%)	2.08	2.22	1.11	1.23	1.31	1.1	1.17	1.42	2.49	2.01	2.58	2.1
<i>Nt</i> (%)	0.87	0.87	1.57	1.22	1.22	1.75	1.57	1.75	1.92	1.22	0.7	0.87

*T*(°C): Température, *S* (g/l): Salinité, *O*<sub>2</sub> (mg/l): Oxygène dissous, *MES* (mg/l): Matières en suspension, *Na*<sup>+</sup> (g/l): Sodium, *Mg*<sup>++</sup> (g/l): Magnésium, *Ca*<sup>+</sup> (g/l): Calcium,

*K*<sup>+</sup> (mg/l): Potassium, *Cl* (g/l): Chlorure, *SO*<sub>4</sub><sup>-</sup> (g/l): Sulfate, *HCO*<sub>3</sub><sup>-</sup> (g/l): Bicarbonate, *NO*<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l): Nitrite, *NO*<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l): Nitrate, *NH*<sub>4</sub><sup>+</sup> (mg/l): Ammonium,

*PO*<sub>4</sub><sup>---</sup> (mg/l): Phosphate, *FF* (%): Fraction Fine, *FG* (%): Fraction Grossière,

*K* (%): Kaolinite, *S* (%): Smectite, *I* (%): Illite, *C* (%): Chlorite,

*COT* (%): Carbone Organique Total, *Nt* (%): Azote total.

10/04: Octobre 2004, 09/05: Septembre 2005.

#### 4- Quantité et Qualité des apports

Les débits liquides et solides de l'oued Tinja varient dans le même sens, surtout durant la période de forte précipitation. Ces débits fluctuent d'un mois à l'autre. Ils dépendent des conditions hydroclimatiques. L'oued Tinja (OT), montre des débits liquides et solides annuels très importants, respectivement 418,2 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> et 28,14 10<sup>3</sup> tonnes.

De même cet oued est considéré la principale source en

ces éléments avec 74,56 ; 954,4 ; 92,1 et 69,7 tonnes respectivement en nitrite, nitrate, ammonium et en orthophosphate (Figure 3). Comme les alentours de la garaet Ichkeul, ne présentent pas d'activités industrielles ni d'agglomérations importantes, ces apports sont le résultat d'une culture intensive nécessitant souvent des fertilisants à base d'azote mais aussi de phosphore qui sont entraînés par lessivage, drainage ou ruissellement.

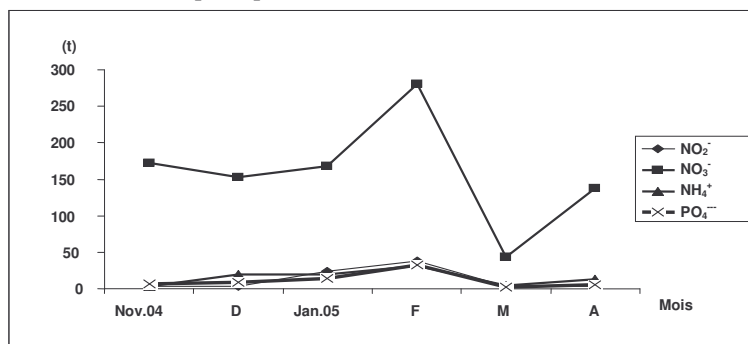


Figure 3: Variation mensuelle des apports en éléments nutritifs par l'oued Tinja.

Par comparaison aux données des travaux antérieurs (Tableau II) concernant les apports liquides et solides au niveau de l'oued Tinja, nous avons enregistré des valeurs similaires pour les débits liquides, sauf qu'ils sont plus importantes que celles trouvées par (Chaouachi et al., 1996), et qui peuvent être

expliquées par la pluviométrie exceptionnelle de l'année hydrologique 2004-2005 (845,6 mm). Alors que les apports solides sont moins importants et qui sont le résultat des aménagements hydrauliques à l'amont des oueds du bassin versant de la garaet Ichkeul, ainsi qu'au phénomène du comblement du lit de l'oued Tinja par les sédiments.

Tableau II: Comparaison des débits liquides et solides annuels de l'oued Tinja.

Année hydrologique	Débit liquide annuel (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Débit solide annuel (10 <sup>3</sup> t)	Référence
1955-1956	438	756	(Chaumont, 1956)
1979	93	-	(Zaouali, 1979)
1981-1982	351	62	(Lemoalle et al., 1984)
1984-1985	498	113	(Lemoalle, 1986)
1990	- Avant construction des barrages : 165 -Après constructions des barrages : 20	- -	(ANPE, 1990)
1992-1993	311	38	(Chaouachi et al., 1996)
2004-2005	418	28	Présent travail

#### 4- Lithologie, minéralogie et géochimie organique

Durant toute l'année d'étude les sédiments de l'oued Tinja, montrent un faciès vaseux (85 à 89% de fraction fine) (Tableau 1), riches en débris de coquilles et en fins végétaux filamenteux.

La fluctuation saisonnière des minéraux argileux au niveau des sédiments de surface de l'oued Tinja, n'est plus significative et la répartition temporelle est généralement homogène, entre 47 et 55% pour la kaolinite, 15 et 21% pour la smectite et entre 20 et 22% pour l'illite. De même 5 à 15% de chlorite sont enregistrés au niveau des sédiments de surface de l'oued Tinja (Tableau 1).

(Soussi, 1981), souligne que les minéraux argileux présents dans les sédiments de l'oued Tinja et dans d'autres affluents de la lagune de Bizerte, montrent une certaine monotonie et leurs proportions ne varient presque pas, dont l'association minéralogique est la suivante : smectite (10 à 15%), illite (15 à 20%), kaolinite (60 à 75%) et chlorite (2 à 7%). Ces alluvions possèdent donc une certaine affinité avec les dépôts continentaux, notamment le villafranchien et les paléosols entaillés par les différents oueds.

Les teneurs en matières organiques dans les sédiments de surface de l'oued Tinja, montrent deux périodes en termes de carbone organique total (COT) et en azote total (Nt):

\* Une période allant de décembre au mai, durant laquelle les teneurs sont inférieures à 2% et oscillent entre 1,11 et 1,42% pour le COT et entre 1,22 et 1,92% pour l'Nt.

\* Une seconde période durant les mois de juin à novembre où les teneurs en COT sont au-delà de 2%, variant entre 2,01 et 2,58% et entre 0,7 et 0,87% pour l'Nt.

L'action de la matière organique sur le comportement dynamique des minéraux argileux et plus

particulièrement la smectite n'est pas à écarter, dont-il y a une bonne corrélation entre la concentration du sédiment en COT et sa richesse en smectite (Soussi, 1981).

#### 5- Géochimie minérale

Les particules fines, les argiles et la matière organique, sont en effet capables de piéger et de concentrer les métaux lourds par des mécanismes d'adsorption et de complexation (Jain, 2004).

La teneur élevée en Pb (122,8 ppm) au niveau des sédiments superficiels de l'oued Tinja est une conséquence probable du matériel détritique riche en plomb des terrains géologiques des Jbels Khabta et Messeftine avoisinantes (Crampon, 1971 ; Soussi, 1981 ; Mathlouthi, 1985 et Ouakad, 2007). Ces sédiments sont ainsi considérés contaminés par le plomb si on considère la valeur adoptée par le (RNO, 1997 in Claisse et Beliaeff, 2000), avec 30 ppm (Tableau III).

Selon les normes adoptées par le (RNO, 1997 in Claisse et Beliaeff, 2000) et (US NOAA, 1999), on note l'absence de toute contamination significative par le cadmium, puisque les teneurs en Cd prélevées dans les sédiments sont inférieures à 2 et 3 ppm.

Selon la valeur admissible par le (RNO, 1997 in Claisse et Beliaeff, 2000), avec 90 ppm, les sédiments de surface au niveau de l'oued Tinja sont considérés contaminés par le zinc (180,4 ppm) (Tableau 3), alors que selon les normes adoptés par (US NOAA, 1999) à savoir 720 ppm, ces sédiments sont révélés non contaminés par le zinc.

(Ben Mbarek, 2005), mentionne que les fortes teneurs en plomb et en zinc rencontrées au niveau des sédiments de surface de la garaet Ichkeul, peuvent être liées aux traces d'activités minières dans le bassin versant de l'Ichkeul, en particulier celles des mines de Bechateur et de Bazina.

Le nickel est faiblement répondu au niveau des sédiments de surface de l'oued Tinja (46,4 ppm), ainsi,

Tableau III. Teneurs des métaux lourds et du fer dans les sédiments superficiels de l'oued Tinja.

	<b>Pb</b> (ppm)	<b>Cd</b> (ppm)	<b>Zn</b> (ppm)	<b>Ni</b> (ppm)	<b>Cu</b> (ppm)	<b>Mn</b> (ppm)	<b>Fe (%)</b>
<b>O. Tinja</b>	<b>122,8</b>	<b>0,27</b>	<b>180,4</b>	<b>46,4</b>	<b>38,2</b>	<b>92,8</b>	<b>1,86</b>
<b>US NOAA</b> <b>(1999)</b>	300	1	720	110	390	260	0,75
<b>RNO</b> <b>(1997)</b>	30	1	90	-	30	-	0,75

selon la valeur admissible par (US NOAA, 1999), avec 110 ppm, ces sédiments sont considérés non contaminés par le nickel.

Une légère contamination des sédiments superficiels de l'oued Tinja par le cuivre est enregistrée (38,2 ppm) par rapport à la valeur admissible par le (RNO, 1997 in Claisse et Beliaeff, 2000), avec 30 ppm (Tableau 3).

La teneur sédimentaire en manganèse enregistrée (92,8 ppm) est inférieure à 260 ppm (valeur admissible par (US NOAA, 1999)), et donc ne révèle pas de contamination significative des sédiments par ce métal (Tableau 3).

A pH alcalin, le fer précipite très rapidement sous forme d'oxyde (hématite  $Fe_2O_3$ ) et d'hydroxyde (goethite  $FeOOH$ ). Selon (Izquierdo et al., 1997), des sédiments contenant des concentrations moyennes en fer de 0,75% peuvent être considérées comme non pollués. Ce qui signifie que les sédiments de surface de l'oued Tinja sont considérés peu pollués en fer. Ces valeurs n'ont pas dépassées la norme de 22% adoptée par l'(US NOAA, 1999) (Tableau 3).

(Aldrich et al., 2002), justifient la présence de cuivre et de zinc dans les sédiments, par le drainage des eaux de pluies de ces métaux à partir des terrains agricoles où il y a usage des produits chimiques fertilisateurs, fongicides et phytosanitaires d'origine minérale (Cu, Mn, Zn) et organique associés à une exploitation intensive de certaines cultures. Cet auteur confirme l'impact des activités agricoles sur la mobilité des métaux lourds, qui ne sont pas sans conséquences pour le milieu environnant.

## CONCLUSION

L'observation des paramètres physico-chimiques et géochimiques des eaux de l'oued Tinja permet de contrôler la qualité de ces eaux ainsi que celles de la garaet Ichkeul. Le suivi des variables comme la salinité, est important pour le développement des phanérogames et la capacité d'accueil des oiseaux aquatiques hivernants. Au total, des mesures réalisées facilement dans l'oued permettent de suivre des variables clés pour le fonctionnement écologique de la garaet Ichkeul et également de la lagune de Bizerte.

La majorité des éléments métalliques analysés au niveau des sédiments de surface de l'oued Tinja sont "argilophiles" sauf le zinc et le manganèse qui sont argilo-organophiles. Ces résultats montrent que la lagune de Bizerte reçoit des concentrations en métaux à partir de l'oued Tinja, qui risquent de provoquer des perturbations plus ou moins importantes sur la faune et la flore

aquatique de ce plan d'eau et sur l'équilibre écobioécologique.

## BIBLIOGRAPHIE

- A.N.P.E., 1990. Diagnostic préliminaire pour l'étude de l'équilibre écologique du lac de Bizerte. *Rapport, synthèse et conclusion*, 72p.
- Aldrich A.P. ; Kistler D. et Sigg L., 2002. Spéciation of Cu and Zn in drainage water from agricultural soils. *Environ. Sci. Technol*, 36 (22) : 4824-4830.
- Aminot A. et Chaussepied M. 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marins. Ed. CNEXO. Paris. 395 p.
- Ben Mbarek M. 2001. Etude de l'écosystème de lac Ichkeul et de son bassin versant: Caractéristiques physiques et géochimiques des eaux et des sédiments. *Th. Doct. Univ. Tunis II*, 231 p.
- Boulâaba S. 2005. Distribution écologique des insectes holométaboles dans l'oued Sejenane (affluent du lac Ichkeul). *Mastère en Sci. Env. Fac. Sci. De Bizerte.*, 90p.
- Claisse, D. et Beliaeff, B. 2000. Tendances temporelles des teneurs en contaminants dans les mollusques du littoral français. *In Surveillance du Milieu Marin*. Travaux du Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin (RNO, 1997). *Édition 2000. Ifremer et Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement*. 9-32. ISSN 1620-1124.
- Chaouachi B., Ben Hassine O. K. et Lemoalle J. 1995. Evolutions saisonnières de la température et de la salinité dans l'oued Tinja (Ecosystème Ichkeul). *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologie de la Mer (INSTM)*, n. sp. :2, pp. : 113-116.
- Chaouachi B., Ben Hassine O. K. et Lemoalle J. 1996. Variation saisonnières des débits liquides et solides de l'oued Tinja (écosystème Ichkeul). *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer (INSTM)*, n. sp. : 3, pp. : 32-35.
- Chaumont M. 1956. Etude hydrologique du versant du Lac Ichkeul pendant l'année agricole 1955 - 56. *BIRH, Tunis*, pp83.
- Crampon, N. 1971. Etude géologique de la bordure des Mogods du « pays de Bizerte » et du Nord de Hedil (Tunisie septentrionale). *Thèse ès. Sc. Nat, Nancy I*, 3 Vol, t. 1 *stratigraphie*. 228 p.

- Diab S. 1993. Nitrification pattern in a fluctuating anérobic-aérobic pond environment, water reserch. V : 27, n° 9. 1469-1475 pp.
- Gadel F. 1975. La matière organique et la sédimentation récente dans le golfe du lion. Distribution, nature et évolution. *Thèse d'état. Univ. Paris.* pp 263
- Hammami J., 2005. Géochimie des éléments nutritifs dans les eaux de la lagune de Bizerte (Tunisie Nord-orientale). D.E.A. Fac. Sc. Tunis. 130 p.
- Hollis G. E., 1983. The modelling and management of the internationally important wetland at garaet el Ichkeul. *IWRB Special publication n° 4*, 121 p.
- Izquierdo, C., Usero, J. and Garcia, I. 1997. Speciation of heavy metals in sediments from salt marshes on the southern atlantic coast of spain. *Mar. Poll. Bull.* 2 (34): pp. 123-128.
- Jain, C.K. 2004. Metal fractionation study on bed sediments of rivers Yamuna, *India. Water Res.*, 38 (3) : 569-578.
- Labbradi H., Ettahiri O., Said L., Massik Z. et El anti S. 2005. etude de la variation spatio-temporelle des paramètres physicochimiques caractérisant la qualité des eaux de la lagune cotières et ses zonations écologique: cas de Moulay Bouselham, Maroc. *C. R. Geosciences* 337 (2005). 505-514 pp.
- Lemoalle J. 1986. L'oued Tinja : Observations en 1981 - 82. *Rapport d'activité. ORSTOM*, pp. 12.
- Lemoalle J., Vidy G. et Franc J. 1984. Rapport d'étude sur la lagune El Biban et le lac Ichkeul. Quatrième partie : Etude du lac Ichkeul. Minist. Agr. Tunis. 64 p.
- Martin B. R. 1998. Répartition et fractionnement géochimique des éléments traces dans les sédiments marins. Applications à la marge continentale du golfe de Lion. *Th. Doct. Océanologie. Univ. Perpignan.* pp 393.
- Mathlouthi, S. 1985. Etude géomorphologique des environs du système lacustre de Bizerte. *Thèse de doctorat de Spécialité. Fac. Let. Sci. Hum. Tunis*, 287 p.
- Nisbet M. et Vernaux J. 1970. Composantes chimiques des eaux courantes, discussions et proportion de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Annales limnol.*, 6 (2) : 161-190.
- Ouakad M. 2007. Genèse et évolution des milieux laguno-lacustres du nord-est de la Tunisie (Garaet Ichkeul, Lagunes de Bizerte et Ghar el Melh). *Thèse Doct. Es. Sci. Géol., Univ. Tunis el Manar.* pp 453.
- Rodier J. 1975. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 7<sup>ème</sup> édition. DUNOD. Paris. 183 p.
- Soussi N. 1981. Mécanismes de la sédimentation et évolution paléogéographique de la lagune de Bizerte (Tunisie) durant le quaternaire récent. *Thèse 3 cycle de géol struct. Univ. Paul Sabatier, Toulouse.* pp 229.
- US NOAA. 1999. Screening Quick Reference Tables (SQiRTs). Coastal protection and restoration division. National Marine Fisheries Service (NMFS). Our Living Oceans. Report on the status of U.S. living marine resources, 1999. *U.S. Dep. Commer. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Tech. Memo.*
- Zaouali J. 1979. Etude écologique du Lac de Bizerte. *Bull. Office National des Pêches, Tunisie*, pp. 107 - 140.