



Essai d'évaluation de la qualite des eaux de ruissellement du bassin versant de la lagune de Bizerte

Item Type	Journal Contribution
Authors	Hammami, J.; Brahim, M.; Gueddari, M.
Citation	Bulletin de l Institut national des sciences et technologies de la Mer, 32. p. 69-77
Publisher	INSTM
Download date	06/02/2023 12:34:14
Link to Item	http://hdl.handle.net/1834/3747

ESSAI D'EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX DE RUISSELLEMENT DU BASSIN VERSANT DE LA LAGUNE DE BIZERTE

Jamila HAMMAMI ^{1*}, M. BRAHIM ² et M. GUEDDARI ¹

¹ Université de Tunis El Manar, Faculté des Sciences de Tunis, Campus universitaire, 1060 Tunis.

² Institut National des Sciences et Technologies de la Mer, 28 rue de 2 mars 1934, 2025 Salammbô, Tunisie.

*joujou_jamila@yahoo.fr

ملخص

محاولة تقييم حالة مياه مصب بحيرة بنزرت : تقع بحيرة بنزرت في الشمال التونسي وتغذيها عدة أودية تنبع من حوض يمتد على مساحة شاسعة. وتمثل التقلبات المناخية والأنشطة الاقتصادية المتزايدة في السنوات الأخيرة أهم العوامل المؤثرة في هذا الحوض وفي السيول التي تنبع منه في اتجاه البحيرة.

لقد قمنا في شهر فيفري في سنة 2003 باقتناء عينات من الماء من 15 مصب لتحليلها (درجة الحرارة، درجة الحموضة، نسبة الأكسجين، الكلوروفيل والمواد العضوية والمعدنية الأزوتية والفسفورية) قصد دراسة هذه الظاهرة. وبينت النتائج التي تم الحصول عليها بأن مياه روافد بحيرة بنزرت تتميز عموماً بنسبة عالية للأكسجين وبدرجة حموضة عادية إلى مرتفعة نوعاً ما. لكن مياه مصب وادي المرزايق وقنيش والذين يقعان بالتوالي في الشمال الغربي والجنوب الشرقي للبحيرة محملاً بأكثر نسبة من المواد الأزوتية والفسفورية. تظهر هذه النتيجة واضحة في التحاليل الإحصائية والتي تفصل بين مصب هذين الوادين ومصب بقية الأودية.

كلمات مفاتيح : مصب، عوامل ملوثة، تغييرات فيزيائية وكيميائية، كلوروفيل، أزوت، فسفور، بحيرة بنزرت.

RESUME

La lagune de Bizerte, située en Tunisie nord-orientale, constitue un bassin récepteur d'un réseau hydrographique bien développé. Afin d'apprécier l'impact des facteurs naturels et anthropiques sur les eaux de ruissellement du bassin versant de cette lagune, une campagne de prélèvement d'eau a été effectuée en février 2003 (période de crue) au niveau de la partie aval de quinze cours d'eau, à raison d'un échantillon par cours d'eau.

Les échantillons d'eau prélevés ont fait l'objet de mesure *in situ* des variables physico-chimiques (température, pH et O₂ dissous) et d'analyses au laboratoire de la chlorophylle *a* et des différentes formes organiques et inorganiques dissoutes de l'azote et du phosphore.

Les résultats obtenus ont montré que les eaux de ruissellement sont, dans l'ensemble, bien oxygénées et, sont neutres à légèrement alcalines. Celles prélevées au niveau de la partie aval des oueds Merazig et Guenniche, situés respectivement au Nord-Ouest et au Sud-Est de la lagune de Bizerte, sont généralement, les plus chargées en composés azotés et phosphorés.

L'application de l'analyse en composante principale (ACP) sur ces résultats fait apparaître, globalement, deux groupes d'eau et confirme que les eaux des oueds Merazig et Guenniche se distinguent de celles des autres cours d'eau.

Mots Clés – eaux de ruissellement, lagune de Bizerte, facteurs anthropiques, variables physico-chimiques, chlorophylle *a*, azote, phosphore.

ABSTRACT

An attempt of the assessment of the water quality of Bizerte's lagoon catchment area : The lagoon of Bizerte, located on north-eastern Tunisia, constitute a receiving basin of a well expanding hydrographic network. In order to assess the impact of natural and anthropogenic factors on the runoff water of the catchment area of this lagoon, a sampling campaign of water was carried out on February 2003 (period of the rise in the water level) on the downstream of fifteen streams.

The samples of water collected were subject to *in situ* measure of physico-chemical parameters (Temperature, pH and dissolved oxygen) and laboratory analyses of chlorophyll *a* and the different organic and inorganic dissolved forms of nitrogen and phosphorus.

Results showed that the runoff waters are, on the whole, well oxygenated and are neuter to thoughtlessly alkaline. Those sampled on the downstream of Merazig and Guenniche rivers, situated respectively on the north-west and on the south-east of Bizerte lagoon, are, on the whole, the most loaded with nitrogen and phosphorus compounds. The application of the principal component analysis (PCA) to these data showed two groups of water and confirmed that the water of Merazig and Guenniche rivers stand out from the others.

Key-Words: runoff water, Bizerte lagoon, anthropogenic factors, physico-chemical parameters, chlorophyll *a*, nitrogen, phosphorus.

INTRODUCTION

Le bassin versant de la lagune de Bizerte, située au nord-est de la Tunisie (Fig. 1), occupe une superficie d'environ 380 km² dont 150 km² de plan d'eau et présente en affleurements des terrains d'âge Eocène à Quaternaire (Soussi, 1981). Il constitue un pôle de développement socio-économique à caractère national et se caractérise par une concentration démographique importante, dépassant les 273 000 habitants en 2000. En outre, il supporte d'importantes unités industrielles importantes qui se concentrent essentiellement dans la ville de Bizerte et ses environs (84 industries), Zarzouna (32 industries), Menzel Abderrahmen (10 industries), Menzel Jemil (71 industries) et Menzel Bourguiba et ses environs (48 industries) couvrant divers secteurs (métallurgie, cimenterie, agroalimentaire, sidérurgie, textile, raffinerie de pétrole, confection, matériaux de construction, délavage des jeans, huiles et graisses, traitement des produits de mer...) (DGEQV, 2003). De plus, le bassin est le siège d'une agriculture intensive, avec une fertilisation minérale excessive, comprenant essentiellement les grandes cultures (7800 ha), les cultures maraîchères (3400 ha) et les arboricultures (500 ha) (Mansouri, 1996) et de plusieurs zones militaires dans la région de Sidi Hmed et Menzel Bourguiba.

Le bassin versant de la lagune de Bizerte contient un réseau hydrographique assez bien développé comprenant les oueds Merdj et Abbès au Nord, qui drainent un bassin versant de 48 km², Merazig (48 km²) et Halima (100 km²), au Nord-Ouest, Soula et Tinja, à l'Ouest, Guennine (22 km²), Ben Hassine (45 km²), Douamis, El Gouraya, Garek, Tliba et

Chegui (28 km²) au Sud et Guenniche, El Hella, Djedara (91 km²) et El Khima (14 km²), à l'Est. Ces oueds alimentent la lagune de Bizerte en eau douce surtout pendant la saison pluvieuse (ANPE, 1990). L'oued Tinja, chenal sinueux, peu profond de quelques mètres de large et de 5 km de long, représente le principal cours d'eau qui débouche dans la lagune de Bizerte. Son écoulement se fait dans les deux sens : courant sortant du lac Ichkeul vers la lagune de Bizerte en période hivernale et courant entrant de la lagune de Bizerte vers l'Ichkeul en saison estivale (Lemoalle et al., 1996).

La majorité de ces cours d'eau ont constitué des sites privilégiés des rejets des agglomérations urbaines avoisinantes, des rejets des eaux usées traitées des deux stations d'épuration de Bizerte et de Menzel Bourguiba et des eaux de lessivage des terres agricoles surfertilisées.

Le réseau hydrographique constitué par l'ensemble de ces cours d'eau contrôle, en partie, la dynamique sédimentaire et hydraulique de la lagune de Bizerte et représente une source de nuisance qui contribue à la dégradation de la qualité des eaux de cet écosystème et à la perturbation de ses caractéristiques hydrologiques. Pour ces raisons, un essai d'évaluation de la qualité des eaux de ruissellement du bassin versant de la lagune de Bizerte, en particulier les paramètres physico-chimiques et les différentes formes organiques et inorganiques dissoutes de l'azote et du phosphore a été entrepris pour mieux apprécier l'impact des facteurs naturels et, essentiellement, anthropiques sur ces eaux et avoir une idée sur le degré d'influence de ces eaux sur celles de la lagune de Bizerte à fin de définir une stratégie pour sa sauvegarde.

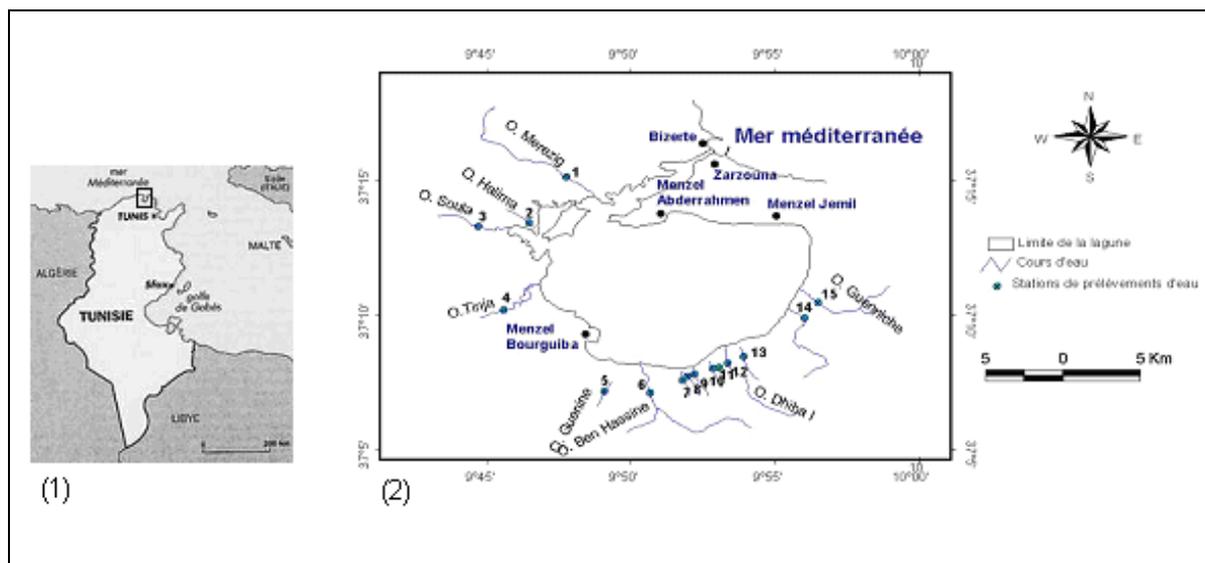


Fig. 1- Carte de situation géographique de la zone d'étude (1) et de localisation des stations de prélèvements des eaux de ruissellement du bassin versant de la lagune de Bizerte en février 2003 (2).

MATERIELS ET METHODES

(a) campagnes d'échantillonnage

Des échantillons d'eau ont été prélevés en février 2003 (période de crue) au niveau de la partie aval de quinze cours d'eau alimentant la lagune de Bizerte en eau douce (Fig. 1). Ces stations ont été échantillonnées pendant une seule campagne puisqu'en période d'étiage la majorité des cours d'eau sont à sec. Les positions des stations de prélèvements ont été déterminées à l'aide d'un GPS radar et chaque cours d'eau a fait l'objet d'un seul prélèvement.

Les échantillons ont été prélevés dans des bouteilles en polyéthylène et conservés dans des glacières. Ils ont fait l'objet de mesure *in situ* des paramètres physico-chimiques (Température, pH et O₂ dissous) et des analyses au laboratoire de la chlorophylle *a* et des différentes formes organiques et inorganiques dissoutes de l'azote et du phosphore.

(b) Mesures in situ

Les paramètres physico-chimiques ont été mesurés sur le terrain, directement après chaque prélèvement, en utilisant les matériaux suivants :

- pH mètre digital étalonné à lecture numérique directe, ayant une électrode avec capteur de température.

- Oxy mètre portatif de type WTW Oxi 340.

(c) Analyses au laboratoire

Les éléments nutritifs ont été dosés en se référant aux méthodes d'analyses chimiques décrites par Rodier en 1996 :

- **Les ions ammonium** ont été dosés par la méthode au bleu d'indophénol dont le principe consiste au traitement des ions ammonium, en milieu alcalin et en présence de nitroprussiate, par une solution d'hypochlorite de sodium et de phénol. Les lectures se font au colorimètre UV visible à une longueur d'onde de 630 nm.

- **Les nitrites** ont été dosés selon la méthode à la sulfanilamide. En milieu acide, les nitrites réagissent avec la sulfanilamide formant un composé diazoïque qui réagit à son tour avec la N-naphtyl-éthylènediamine donnant ainsi un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage colorimétrique au spectrophotomètre à la longueur d'onde 543 nm.

- Le dosage des **nitrates** s'effectue par réduction des ions nitrates en nitrites dosés ensuite par colorimétrie à une longueur d'onde de 543 nm. La réduction a été effectuée par passage de l'échantillon sur une colonne de cadmium traité au cuivre.

- Pour l'**azote kjeldhal** on procède d'abord par la minéralisation des composés organiques d'un échantillon d'eau puis au dosage de l'ammonium par la méthode au bleu d'indophénol déjà décrite. La minéralisation s'effectue dans un matras type kjeldhal de 500 ml, en présence de 0,5 g de catalyseur de minéralisation et 5 ml d'acide sulfurique.

- Le principe du dosage de l'**azote total** consiste en premier lieu à l'oxydation, dans un autoclave et en présence d'une solution alcaline de persulfate, des composés azotés en nitrates. Ces derniers sont ensuite réduits en nitrites dosés par colorimétrie selon la méthode à la sulfanilamide décrite précédemment pour le dosage des ions nitrites.

- Les **ions orthophosphates** réagissent avec le molybdate d'ammonium formant un complexe phosphomolybdique qui réagit à son tour avec l'acide ascorbique. La forme réduite, de coloration bleue, est susceptible d'un dosage colorimétrique à une longueur d'onde de 881 nm.

- Pour le dosage du **phosphore total**, on commence par la minéralisation de 25 ml d'échantillon dans un autoclave en présence de 0,5 g de persulfate de potassium (K₂S₂O₈) puis on procède comme pour le dosage des orthophosphates.

- La **chlorophylle a** est dosée après filtration de l'échantillon sur membrane en fibre de verre (type GF/C Whatman) et après dissolution du filtre dans 10 ml d'acétone 90% (solvant d'extraction) et sa centrifugation à 4000 tr/min pendant 10 minutes.

Les lectures d'absorbances des surnageant se font au spectrophotomètre aux longueurs d'onde 665 et 750 nm avant et après acidification.

(d) Analyses statistiques

Pour mieux interpréter les résultats obtenus relatifs aux paramètres physico-chimiques, aux éléments nutritifs et à la chlorophylle *a* et pour mieux apprécier le comportement géochimique de ces éléments, une étude statistique a été faite à travers deux méthodes d'analyses multivariées : l'analyse en composante principale (ACP) et les corrélations inter-élémentaires et ceci en utilisant le logiciel ANDAD 7.1.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

(a) Paramètres physico-chimiques

Les eaux de ruissellement du bassin versant de la lagune de Bizerte, prélevées en février 2003, se caractérisent par des températures qui fluctuent entre 8,6 et 13,7 °C (Tab. I) et qui sont liées à une température de l'air relativement faible, pendant ce mois.

Tab. I – Statistiques général des paramètres mesurés dans les eaux de ruissellement du bassin versant de la lagune de Bizerte (février 2003).

Identifiant	n	Média	Mode	Minimum	Maximum	Variance
T°C	15	11.8200	N/A	8.6000	13.7000	2.6303
O ₂	15	8.0007	N/A	6.4100	9.0700	0.9102
pH	15	7.9107	N/A	7.2300	8.7800	0.1591
NH ₄ ⁺	15	0.0569	N/A	0.0060	0.2150	0.0042
NO ₂ ⁻	15	0.0865	N/A	0.0350	0.3210	0.0078
NO ₃ ⁻	15	1.2093	N/A	0.3760	1.7830	0.1534
Nkj	15	0.2227	N/A	0.1670	0.5080	0.0082
Norg	15	0.1657	N/A	0.0800	0.2930	0.0021
Ntot	15	0.6653	N/A	0.5020	1.0170	0.0248
Ortho-P	15	0.0773	N/A	0.0420	0.3310	0.0057
Ptot	15	0.1089	N/A	0.0600	0.4060	0.0078
Porg	15	0.0316	N/A	0.0040	0.0780	0.0005
Chlorophylle <i>a</i>	15	6.0811	N/A	4.2720	8.3070	1.3826

Ces eaux sont, dans l'ensemble bien oxygénées avec des teneurs d'O₂ dissous qui varient entre 6,41 et 9,07 mg/l. Ceci serait lié à la diffusion de l'oxygène de l'air et au brassage des masses d'eau par les vents forts et fréquents qui soufflent dans la région de Bizerte pendant le mois de prélèvement. Les eaux les moins oxygénées sont celles des oueds Guenniche (15) et Hathat (8). Ceci serait dû à la présence, dans ces eaux, d'une charge de matière organique qui consomme de l'oxygène pour sa dégradation par voie biologique. En effet, l'oued Guenniche reçoit les rejets d'origine industrielle, urbaine et agricole de la plaine et de la ville d'El Alia (DGEQV, 2003), et l'oued Hathat avait un débit très faible et ses eaux sont stagnantes lors de la période de prélèvement.

Quant au potentiel d'hydrogène, les valeurs s'échelonnent entre 7,23 et 8,78, ce qui indique que les eaux de ruissellement sont neutres à légèrement alcalines. La variation spatiale du pH des eaux est, dans l'ensemble, très faible. Ceci s'explique, d'une part, par la faible variation de la température, qui contrôle avec la concentration de CO₂ dissous les valeurs du pH et, d'autre part, par la nature des affleurements traversés qui sont essentiellement carbonatés.

La valeur la plus élevée du pH est enregistrée dans les eaux de l'oued Guennine (5), qui reçoit directement les eaux traitées de la station d'épuration de Menzel Bourguiba. La valeur la plus faible est enregistrée dans les eaux de l'oued Guenniche (15).

Les éléments nutritifs

L'azote

a- L'ion ammonium

Les teneurs de l'ion ammonium sont comprises entre 0,006 à 0,215 mg/l. Les plus fortes teneurs ont été enregistrées au niveau des oueds Merazig (1) et Guenniche (15) (Fig. 2).

Elles seraient liées aux rejets des eaux usées des agglomérations urbaines qui se concentrent aux voisinages de ces oueds (El Alia, El Khetmine, Ben Nefâa, Tagherman, cités militaires) et qui sont dans la majorité non raccordées au réseau de l'ONAS (DGEQV, 2003).

Les teneurs les plus faibles caractérisent les eaux de l'oued Tinja (4) et celles prélevées dans la partie méridionale (10 et 13) qui ne reçoivent pas de rejets directs d'effluents urbains.

b -Les nitrites

Les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète des ions ammonium, soit d'une réduction des nitrates (Rodier, 1996). A l'exception des oueds Merazig (1) et Guenniche (15) qui se caractérisent par de très fortes concentrations en nitrites (0,321 et 0,280 mg/l, respectivement), les teneurs en NO₂⁻ des eaux de ruissellement sont faibles et sont comprises entre 0,035 et 0,078 mg/l (Fig. 2).

Ces faibles teneurs sont dues au fait que les valeurs du pH et de l'O₂ dissous des eaux étudiées favorisent la réaction de nitrification dont l'optimum est atteint pour des valeurs de pH comprises entre 7 et 8 et des

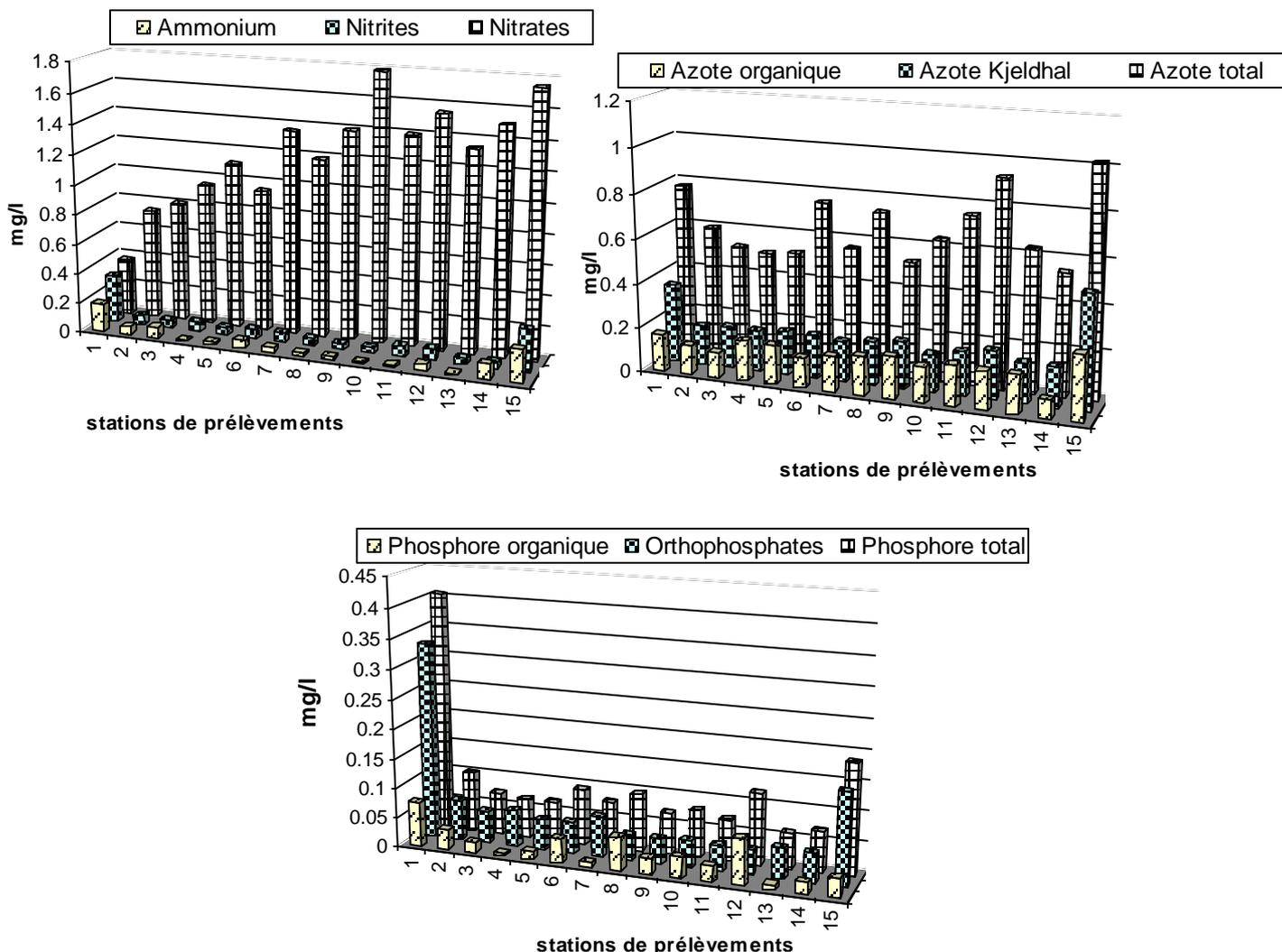


Fig. 2 – Teneurs en éléments nutritifs des eaux de ruissellement du bassin versant de la lagune de Bizerte (février 2003).

teneurs en O₂ dissous oscillant entre 5 et 10 mg/l (Shaher et al., 1993). Les concentrations relativement élevées qui caractérisent les eaux de l’oued Merazig au Nord-Ouest et celles de l’oued Guenniche au Sud-Est sont, essentiellement, en relation avec les rejets directs des eaux usées des agglomérations avoisinantes.

c - Les nitrates

Les nitrates sont les formes les plus stables de l’azote inorganique dissous. Leurs concentrations dans les eaux de ruissellement du bassin versant de la lagune de Bizerte sont largement plus élevées que celles des nitrites. Ces teneurs varient entre 0,376 mg/l, au niveau de l’oued Merazig et 1,744 mg/l, au niveau de l’oued Guenniche (Fig. 2).

Les fortes teneurs enregistrées dans les eaux étudiées, seraient liées aux eaux de drainage des terrains agricoles du bassin versant, aux eaux usées des agglomérations urbaines, surtout celles des voisinage de l’oued Merazig (1) et de l’oued Guenniche (15)

qui déversent leurs eaux usées à l’état brut (DGEQV, 2003) et aux eaux usées de la station d’épuration de Menzel Bourguiba déversées dans l’oued Guennine après traitement. Les analyses de ces eaux traitées en février 2003 (période de prospection) révèlent un DBO₅ de 18 mg/l et un DCO de 78 mg/l ce qui témoigne d’une forte charge en matières organiques biodégradables (ONAS, 2003).

d - L’azote Kjeldhal

Les teneurs en azote Kjeldhal des eaux des oueds drainant le bassin versant de la lagune de Bizerte sont comprises entre 0,167 et 0,508 mg/l.

Les concentrations les plus fortes ont été enregistrées dans les eaux des oueds Merazig (1) et Guenniche (15), avec des valeurs respectives de 0,355 et 0,508 mg/l (Fig. 2). Ces oueds reçoivent directement ou indirectement les eaux usées domestiques des agglomérations non assainies avoisinantes.

L’oued Merazig reçoit aussi les eaux usées déversées à l’état brut par les établissements militaires et les

eaux usées traitées de la station d'épuration de Bizerte localisée à Sidi Hmed. L'analyse de ces eaux traitées en février 2003 (période de prospection) montre un DBO₅ de 17 mg/l et un DCO de 61 mg O₂/l (ONAS, 2003), témoignant d'une charge assez importante de matière organique biodégradable.

Les teneurs de l'azote Kjeldahl sont bien corrélées positivement avec celles l'azote organique ($R^2=0,53$), d'une part, et de l'ion ammonium ($R^2=0,76$), d'autre part (Fig. 3).

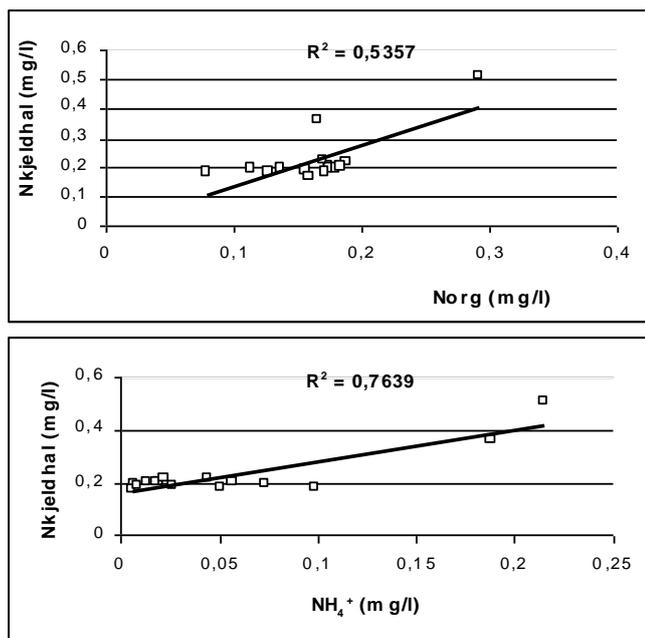


Fig. 3– Corrélation des teneurs (mg/l) de l'azote Kjeldahl avec celles de l'azote organique et l'ammonium.

Ceci prouve que l'azote ammoniacal aurait pour principale origine la dégradation de la matière organique contenue dans le cours d'eau et les rejets urbains qui amènent l'azote essentiellement sous forme d'ammonium.

e - L'azote organique

Les teneurs en azote organique des eaux de ruissellement du bassin versant de la lagune de Bizerte varient de 0,080 mg/l à 0,293 mg/l. La teneur la plus élevée en cet élément a été enregistrée dans les eaux de l'oued Guenniche (15) et la plus faible dans les eaux de l'oued Khima (14) (Fig. 2)

Ces concentrations seraient liées aux matières organiques biodégradables issues des effluents urbains.

f- L'azote total

Les concentrations en azote total, enregistrées dans les eaux de ruissellement du bassin versant de la lagune de Bizerte varient de 0,502 à 1,017 mg/l.

La concentration la plus faible a été mesurée au niveau de l'oued Tinja (4) et la plus élevée a caractérisée les eaux de l'oued Guenniche (15) (Fig. 2). Ce sont les ions nitrates qui forment la fraction la plus importante de l'azote total. Les teneurs enregistrées reflèteraient l'effet du lessivage des terres agricoles du bassin versant, l'effet des rejets d'eaux usées des agglomérations urbaines, surtout celles des voisinage de l'oued Merazig (1) et de l'oued Guenniche (15) et d'eaux usées de la station d'épuration de Menzel Bourguiba déversées dans l'oued Guennine après traitement.

Le phosphore

a- Les orthophosphates

Les teneurs d'orthophosphates enregistrées dans les eaux de ruissellement du bassin versant de la lagune de Bizerte sont comprises entre 0,042 et 0,331 mg/l. Le pH légèrement alcalin de ces eaux, indique que les orthophosphates sont présents essentiellement sous forme d'ion HPO_4^{2-} .

Les concentrations les plus élevées caractérisent les eaux des oueds Merazig (1) et Guenniche (15) avec des valeurs respectives de 0,331 et 0,153 mg/l (Fig. 2) La variation de ces teneurs montre que cet élément a, en plus de l'origine naturelle, une source anthropique, en particulier les rejets des eaux usées domestiques de quelques agglomérations urbaines dans les oueds Merazig et Guenniche.

b- Le phosphore organique

Les concentrations du phosphore organique des eaux étudiées varient de 0,004 mg/l à 0,078 mg/l. La teneur minimale est enregistrée dans les eaux de l'oued Tinja (4) et la plus élevée caractérise les eaux de l'oued Merazig (1) (Fig. 2).

c- Le phosphore total

Les teneurs en phosphore total des eaux des oueds drainant le bassin versant de la lagune de Bizerte, varient de 0,060 mg/l à 0,406 mg/l.

Au niveau de l'oued Guenniche (15) et de l'oued Merazig (1), les concentrations sont les plus importantes, avec des valeurs respectives de 0,185 et 0,406 mg/l (Fig. 2). Ces valeurs seraient liées, d'une part, aux eaux de lessivage des terres cultivées et, d'autre part, aux effluents urbains, surtout ceux déversés directement, sans traitement, dans les oueds Merazig au Nord-Ouest et Guenniche au Sud-Est (DGEQV, 2003).

La chlorophylle a

Les teneurs en chlorophylle *a* des eaux de ruissellement sont comprises entre 4,272 et 8,307 mg/m³. La concentration la plus élevée caractérise les eaux de l'oued Merazig (Fig. 4) qui se caractérise par des teneurs en azote et en phosphore relativement élevées.

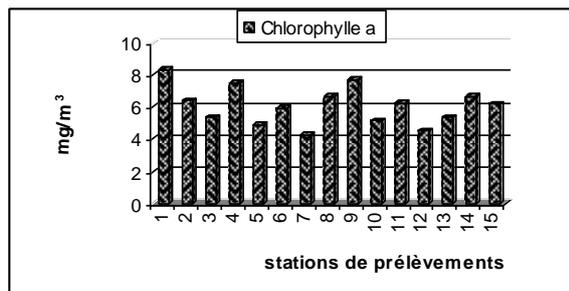


Fig. 4– Teneurs en chlorophylle a des eaux de ruissellement du bassin versant de la lagune de Bizerte (février 2003).

Etude statistique

L'ACP a pour objectif de présenter, sous une forme graphique le maximum de l'information contenue dans un tableau de données (Maliki, 2000), basé sur le principe de double analyse d'un nuage de points, de recherche des axes d'inertie de ce nuage et de double projection sur les axes factoriels (Lagarde, 1995).

Le traitement des données par l'analyse en composante principale, en utilisant comme variables la T°C, le pH, l'O₂ dissous, les éléments nutritifs (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻, Nkj, Norg, Ntot, Ortho-P, Porg, Ptot) et la chlorophylle a et comme individus les 15 échantillons prélevés à partir des 15 cours d'eau prospectés, révèle plusieurs axes d'inertie dont les pourcentages d'explication sont répartis de façon inégale. Les trois premiers axes expriment le maximum de la variance (79 %). L'information donnée par l'axe 1, appelé aussi axe d'inertie

principale, correspond à 47 % de la variance, l'axe 2 représente 21% et l'axe 3 représente 9%.

On donne dans le tableau II les coefficients de corrélation entre les variables et les trois premiers axes.

Ces axes montrent une bonne répartition et représentation des variables étudiés. L'axe 1, est exprimé vers son pôle négatif par le pH et l'oxygène dissous et vers son pôle positif par les teneurs en NH₄⁺, NO₂⁻, Nkj, Ntot, Norg, Porg, Ptot, Ortho-P et en chlorophylle a, qui présentent de bonnes corrélations entre eux (Fig. 5 et Tab. III). L'axe 2 est défini par la température et les teneurs en nitrates.

La représentation graphique individus (échantillons ou unités statistiques) fait apparaître, globalement, deux groupes d'eau (Fig. 6):

- des eaux ayant les plus fortes valeurs de pH et d'oxygène dissous, prélevées au niveau des oueds Halima (2), Soula (3), Tinja (4) et Guennine (5).
- des eaux marquées par des teneurs élevées en nitrates et de fortes températures. Il s'agit des eaux prélevées au niveau des stations 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14.

La carte factorielle des échantillons confirme que les eaux prélevées au niveau de la partie aval des oueds Merazig (1) et Guenniche (15) se distinguent des autres cours d'eau. Elles sont les plus riches en différentes formes organiques et inorganiques dissoutes de l'azote (à l'exception des nitrates), en phosphore et en chlorophylle a

Tab. II – Corrélations entre les variables et les axes principaux

	Axe 1 (47 %)	Axe 2 (21 %)	Axe 3 (9 %)
T°C	-0.008600	0.777900	-0.270400
O ₂	-0.535100	-0.510000	0.059900
pH	-0.685200	-0.300900	0.322500
NH ₄ ⁺	0.879100	-0.132600	0.150900
NO ₂ ⁻	0.957600	-0.163700	0.181800
NO ₃ ⁻	-0.136700	0.907000	0.204100
Nkj	0.895900	0.124600	0.397500
Norg	0.521100	0.429900	0.566500
Ntot	0.755900	0.527500	-0.141700
Ortho-P	0.843000	-0.437900	0.020700
Ptot	0.885300	-0.348700	-0.162500
Porg	0.632300	0.100900	-0.695500
Chlorophylle a	0.416400	-0.469000	-0.014600

Tab. III – Matrice des corrélations inter-élémentaires

	T°C	O ₂	pH	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Nkj	Norg	Ntot	orth	Ptot	Porg	chlo
T°C	1.0000												
O ₂	-0.3373	1.0000											
pH	-0.2197	0.3647	1.0000										
NH ₄ ⁺	-0.1741	-0.4136	-0.5691	1.0000									
NO ₂ ⁻	-0.1604	-0.3982	-0.5114	0.8913	1.0000								
NO ₃ ⁻	0.6540	-0.4184	-0.1293	-0.1618	-0.2394	1.0000							
Nkj	-0.0277	-0.4709	-0.5616	0.8740	0.9025	0.0653	1.0000						
Norg	0.1899	-0.3419	-0.3013	0.3087	0.5168	0.3548	0.7319	1.0000					
Ntot	0.3606	-0.6215	-0.7111	0.5485	0.6190	0.2615	0.6924	0.5864	1.0000				
orth	-0.2553	-0.2347	-0.3569	0.7770	0.9182	-0.4802	0.6820	0.2455	0.3586	1.0000			
Ptot	-0.1681	-0.3034	-0.4689	0.7605	0.9043	-0.4522	0.6626	0.2307	0.4793	0.9729	1.0000		
Porg	0.1946	-0.3957	-0.6308	0.3685	0.4568	-0.1590	0.3044	0.0792	0.6656	0.4515	0.6455	1.0000	
chlo	-0.2052	-0.1182	-0.1671	0.3442	0.4025	-0.4293	0.2862	0.0776	-0.0372	0.4981	0.4756	0.1901	1.0000

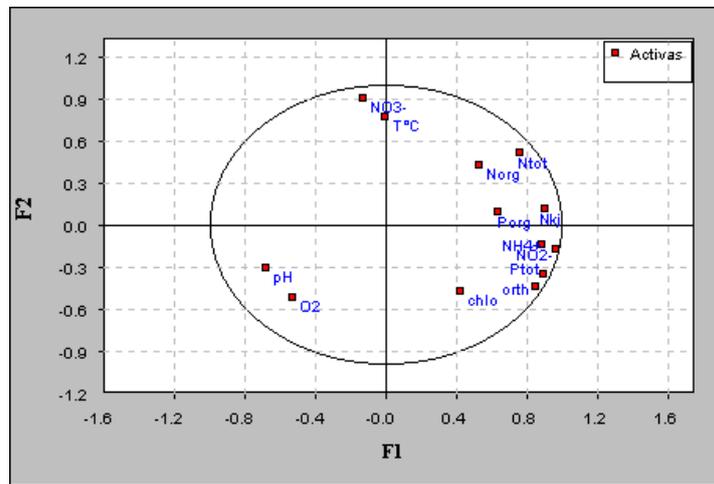


Fig. 5 – Projection des variables dans l'espace des axes (F1, F2)

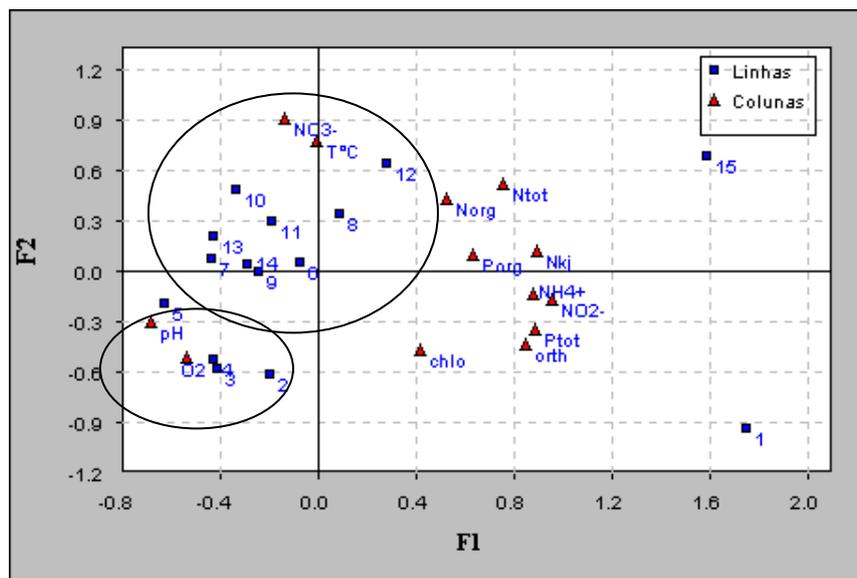


Fig. 6 – Représentation graphique des variables et des individus dans l'espace des axes (F1, F2)

CONCLUSION

Les résultats relatifs aux eaux de ruissellement du bassin versant de la lagune de Bizerte, prélevées en février 2003, montre que:

- Les teneurs des différentes formes, organiques et inorganiques dissoutes, de l'azote et du phosphore varient en fonction de la charge polluante contenue dans les eaux usées domestiques et dans les eaux de lessivage des terres agricoles et, en fonction des conditions climatiques.

- Les eaux des oueds Merazig (1) et Guenniche (15), situés respectivement au Nord-Ouest et au Sud-Est de la lagune de Bizerte, sont, dans l'ensemble, les plus chargées en composés azotés et phosphorés et en biomasse chlorophyllienne. Ceci serait lié aux rejets, à l'état brut, des eaux usées de quelques agglomérations urbaines non assainies, localisées à proximité de ces oueds (Béni Nefâa et El Alia), aux rejets dans l'oued Merazig des eaux usées traitées de la station d'épuration de Bizerte et aux eaux de lessivage des terres agricoles surfertilisées.

- L'analyse en composante principale appliquée aux eaux de ruissellement fait apparaître, globalement, deux groupes d'eau : des eaux ayant les plus fortes valeurs de pH et d'oxygène dissous, prélevées au niveau des oueds Halima (2), Soula (3), Tinja (4) et Guennine (5) et des eaux marquées par de fortes teneurs en nitrates et des températures les plus élevées (eaux prélevées au niveau des stations 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 et 14). L'ACP confirme que les eaux des oueds Merazig (1) et Guenniche (15) se distinguent de celles des autres cours d'eau.

BIBLIOGRAPHIE

ANPE (1990) - Etude préliminaire de l'écologie du lac de Bizerte. 100 p.

Direction Generale de l'Environnement et de la Qualité de la Vie (2003) – Etude sur la dépollution industrielle dans le bassin versant du lac de Bizerte. Min. Agric. 200 p.

Lagarde J. (1995)- Initiation à l'analyse des données. Ed. DUNOD. Paris, 157 p.

Maliki A. M. (2000) – Etude hydrogéologique, hydrochimique et isotopique de la nappe profonde de Sfax (Tunisie). Thèse de Doct. Fac. Sci. Sfax, 301 p.

Mansouri T. (1996) - Application de la télédétection et des systèmes d'information géographique à l'étude du fonctionnement hydrologique du lac de Bizerte et de son bassin versant. DEA. Fac. Sci. Tunis, 93 p.

ONAS (2003) – Station d'épuration de Bizerte : Journal d'exploitation du mois de mars 2003, Rapp. Int, 5 p.

ONAS (2003) – Station d'épuration de Bizerte : Journal d'exploitation du mois de juin 2003, 5 p.

ONAS (2003) – Station d'épuration de Bizerte: Journal d'exploitation du mois de février 2003, 5 p.

ONAS (2003) – Station d'épuration de Menzel Bourguiba : Journal d'exploitation du mois de février 2003, 5 p.

ONAS (2003) – Station d'épuration de Menzel Bourguiba: Journal d'exploitation du mois de mars 2003, 5 p.

ONAS (2003) – Station d'épuration de Menzel Bourguiba: Journal d'exploitation du mois de juin 2003, 5 p.

Rodier J. (1996) - L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer 8^{ème} édition, DUNOD. Paris, 1383 p.

Shaher D., Malka K. Et Yoram A. (1993) – Nitrification pattern in a fluctuating anaerobic – aerobic pond environment. *Wat. Res.* Vol 27. N°9, Pergamon, pp. 1469-1475.

Soussi N. (1981) - Mécanismes de la sédimentation et évolution paléogéographique de la lagune de Bizerte (Tunisie) durant le quartenaire récent. Thèse de Doct. Spéc. Uni. Toulouse, 229 p.