

POLLUTION DES EAUX DU BARRAGE DE HAMMAM GROUZ PAR LES NUTRIMENTS (EST ALGÉRIEN).

Abderrahmane BOUDOUKHA* et Moussa BOULARAK**

RÉSUMÉ

L'accroissement de la population, le développement de l'agriculture et de l'industrie ont eu pour corollaire la dégradation de la qualité des eaux de surface. L'objectif du présent travail est d'étudier l'impact de l'agriculture, celui des eaux usées et industrielles sur la qualité des eaux du barrage de Hammam Grouz. Ainsi, l'Oued Rhumel est devenu un exutoire dans lequel sont déversés les effluents domestiques et industriels, qui aboutissent au barrage. Dans le but d'évaluer l'influence de ces rejets sur la qualité des eaux du site étudié, la composition des eaux du barrage, a été déterminée entre la période allant de février 2009 à juin 2010. Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé la méthode des tendances. La plupart des éléments qui sont en liaison avec les engrais et les effluents, ont augmenté dans l'eau du barrage pendant cette période : CE (18 %), DCO (48 %), DBO₅ (150 %), NO₃⁻ (442 %). Les plus fortes augmentations concernent les nitrates alors que le reste des nutriments (NO₂⁻, NH₄⁺ et PO₄³⁻) ont vu leur concentration baisser. Cette chute de la concentration de l'ammonium est en relation avec la nitrification de l'azote et celle des orthophosphates est en relation avec sa faible mobilité et les différents processus qui peuvent se produire dans les eaux des rivières. L'augmentation de la DCO (38 à 75 mg/l O₂), de la DBO₅ (2.1 à 9.8 mg/l O₂) et la baisse du pH, suggèrent une dégradation de la matière organique par les micro-organismes qui s'est accompagnée par une diminution de 32 % de la teneur en oxygène dissous. Une eutrophisation inquiétante des eaux de la retenue apparaît saisonnièrement après les épandages des fertilisants agricoles.

Mots-clés - Algérie - Barrage - Eau de surface - Pollution des eaux - Nutriments - Eutrophisation.

THE WATER DAM HAMMAM GROUZ POLLUTION BY NUTRIMENTS (EASTERN ALGERIA).

ABSTRACT

The population growth, the development of agriculture and industry, have been accompanied by the degradation of the surface waters quality. The objective of this work is to study the impact of agricultural activity, industrial and urban water quality on the dam of Hammam Grouz at Oued Athmania. The main river Oued Rhumel, and its tributaries have become an outlet in which effluents are discharged upstream of the dam. The region is characterized by a watershed

*Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée - Université de Batna, Route de Biskra, 05500 Batna. Algérie. E-mail : boudoukha_abderrahmane@yahoo.fr

**Laboratoire de Géologie et de l'Environnement - Université de Constantine, Route Aïn El Bey. 25000 Constantine. E-mail : boularak_moussa@yahoo.fr

. - Manuscrit déposé le 08 Mai 2012, accepté après révision le 16 Août 2012.

with an area of 1130 km². In order to evaluate the influence of these discharges on the water quality of the study site, the composition of the dam waters was determined between the period from February 2009 to June 2010. To achieve this goal, we have used the method of trends. Most items which are in conjunction with fertilizers and manure, have increased in water from the dam during this period: EC (18%), COD (48%), BOD₅ (150%), NO₃⁻ (442%). The largest increases in the nitrates while the rest of the nutrients (NO₂⁻, NH₄⁺ and PO₄³⁻) saw their concentrations drop. This drop in concentration of ammonium is related to the nitrification of nitrogen and orthophosphates which is related to its low mobility and the different processes that can occur in the rivers. The increase of COD (38 to 75 mg/l O₂), BOD₅ (2.1 to 9.8 mg/l O₂) and the negative trend of pH are suggesting a degradation of organic matter by micro-organisms. This degradation was accompanied by a decrease of 32 % of the dissolved oxygen content. A worrying eutrophication of the reservoir waters is seasonally after the spraying of agricultural fertilizers.

Keywords - Algeria - Dam - Water surface - Waters pollution - Nutriments - Eutrophisation.

INTRODUCTION

Les nutriments sont des composés chimiques qui sont souvent rencontrés en milieu aquatique en liaison surtout avec les techniques agricoles modernes et les rejets urbains et industriels. Dans le bassin versant de l'Oued Rhumel à Oued Athmania dans l'Est algérien, les concentrations en certains éléments azotés sont devenues inquiétantes, dans une zone où les ressources en eau de surface sont utilisées pour l'alimentation en eau potable. De nombreuses études locales et à travers le monde, ont montré l'effet de l'activité anthropique sur la qualité de l'eau de surface (Lake *et al.*, 2003; Widory *et al.*, 2004; Liu *et al.*, 2005; Rao, 2006 ; Gueraiche *et al.*, 2007; Kemmoukh, 2008; Belhadj *et al.*, 2011; Boudoukha et Bouguerne, 2010 et Bouguerne *et al.*, 2010). Les préoccupations à l'égard de ces substances se sont alors accrues, non seulement à cause de l'effet négatif sur la santé publique, mais aussi du fait de la complexité des problèmes environnementaux liés à l'accroissement du taux des nutriments dans la nature. C'est dans le but d'apporter une contribution à une meilleure connaissance de la typologie de ce phénomène, que ce travail qui a un intérêt intrinsèque, a été réalisé dans l'une des zones où le problème de la pollution commence à prendre de l'ampleur.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Cadre naturel

Le bassin versant de l'Oued Rhumel à Oued Athmania qui draine une grande partie du bassin versant méridional du Tell sétifien (fig.1), fait partie de la zone amont du bassin versant du Kébir-Rhumel. Ce sous-bassin est contrôlé par le barrage de Hammam Grouz se trouvant à la limite sud du village de Oued Athmania. D'une superficie de 1130 km², il est limité par une ligne de crête dont les sommets culminent entre 1048 et 1276 m. La plaine étagée entre 970 m au sud-ouest et 920 m au nord-est, a une pente qui n'excède pas 2%. Cette plaine est recouverte en grande partie par les sédiments du Mio-Plio-Quaternaire formés par des argiles, des marnes, des limons, des alluvions et de la croûte calcaire. Ce recouvrement peut atteindre une épaisseur de 500 m par endroit (Boudoukha *et al.*, 1997). On signale également la présence de quelques affleurements de calcaires de l'Eocène de la nappe tellienne, du Cénomaniens de la nappe néritique constantinoise et des grès et calcaires du Barrémien de l'ensemble sud sétifien (Vila, 1980). La majeure partie de la superficie du bassin versant (80%), est occupée par des argiles très peu sableuses de perméabilité faible à moyenne, le reste (20%) est

POLLUTION DES EAUX DU BARRAGE DE HAMMAM GROUZ PAR LES NUTRIMENTS
(EST ALGÉRIEN)

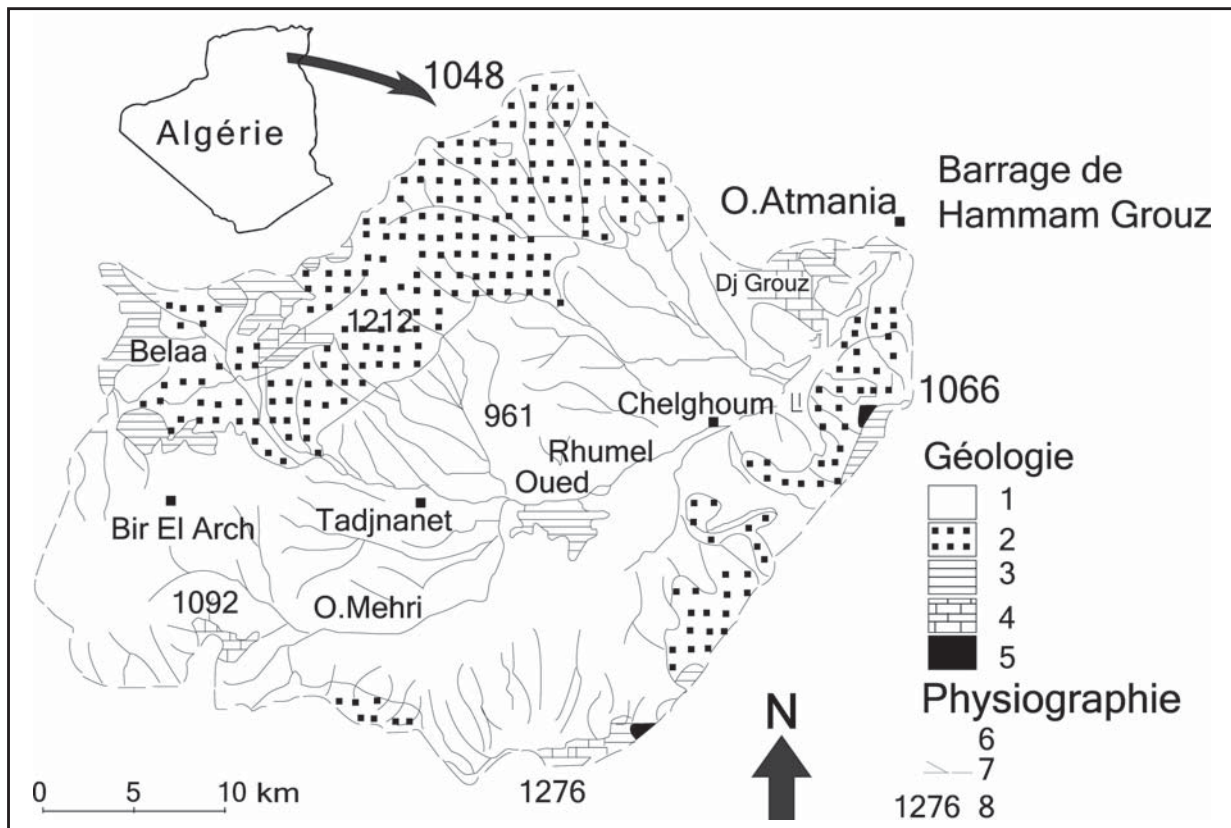


Fig. 1 - Carte géologique et de situation du barrage de Hammam Grouz (in : Mebarki, 2009).

Geological map and location of the dam Grouz Hammam (in: Mebarki, 2009).

1 : Formations quaternaires (**Quaternary formations**); 2 : Argiles et marnes, calcaires lacustres et grès mio-pliocènes (**Clays and Marls, lacustrine limestones and Mio-pliocene sandstones**); 3 : Calcaire, marne, marno-calcaires (Jurassique–Crétacé–Eocène) (**limestone, marl, marly-limestones (Jurassic-Cretaceous-Eocene)**); 4 : Calcaire de la nappe néritique constantinoise (Jurassique–Crétacé) (**Limestone of the Constantine neritic sheet (Jurassic-Cretaceous)**); 5 : Formations à dominance gypseuse (Trias) (**Dominated gypsum formation (Triassic)**); 6 : Limite du bassin versant du Haut Rhumel (**Watershed boundary of the High Rhumel**); 7 : Réseau hydrographique (**River network**); 8 : Côte topographique (m) (**Shelf number (m)**).

occupé par des formations de bonne perméabilité représentées par des calcaires et des calcaires lacustres. L'Oued Rhumel reçoit quelques affluents importants, entre autres, l'Oued El Mehri sur la rive droite et l'Oued Boumrah et l'Oued Dekri sur la rive gauche. Le cours d'eau principal, l'Oued Rhumel ne coule qu'à la faveur des précipitations et draine une bonne partie des eaux usées de la région. Les précipitations moyennes annuelles enregistrées à la station du barrage, atteignent 372 mm. L'infiltration et le ruissellement totalisent respectivement 6 et 24 mm (Khedidja, 2001).

1.2. Echantillonnage et méthodes analytiques

Depuis une dizaine d'années, de nombreuses données hydrochimiques (suivis prolongés et analyses ponctuelles), ont été acquises sur les eaux de surface du bassin versant de l'Oued Rhumel et du barrage de Hammam Grouz (Bouguerne, 2001; Khedidja, 2001; Boudoukha et Bouguerne, 2010; Bouguerne et al., 2010). Ces résultats ont largement contribué à la compréhension du fonctionnement hydrochimique de ce système hydrologique. Nombreux sont les polluants qui sont déversés directement dans le lac du barrage, entre autre ceux de

l'usine de fabrication de peinture (SNIC), mais dans cet article, nous nous sommes intéressés uniquement à la pollution organique d'origine urbaine et agricole. Pour caractériser cette pollution, nous avons procédé à une série de prélèvements dans le but de contrôler la qualité des rejets dans le milieu récepteur, d'étudier la variation temporelle des nutriments de ces eaux et de comprendre les mécanismes de pollution. La fréquence d'échantillonnage adoptée durant la dernière période d'observation (février 2009 à juin 2010) était d'un prélèvement par mois. Cette stratégie a permis de prélever 16 échantillons d'eau dans des flacons en polyéthylène par remplissage en subsurface. Les échantillons conservés à 4°C, sont transportés au laboratoire dans un délai ne dépassant pas 4 heures (conformément à Rodier, 1996). Le pH, la conductivité électrique de l'eau (CE en $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) et l'oxygène dissout ($\text{O}_{2\text{dis}}$) ont été mesurés in situ au moyen d'un multiparamètre de

terrain, type WTW. Les précisions respectives avec lesquelles ont été mesurés ces paramètres sont de ± 0.1 , ± 1 et $\pm 0.1\%$. Les concentrations en nitrates (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), ammonium (NH_4^+), orthophosphates (PO_4^{3-}), la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biochimique en oxygène au bout de 5 jours (DBO_5), ont été déterminées au laboratoire de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de Constantine selon les techniques standards d'analyse (Rodier, 1996). Les résultats sont donnés au tableau I.

1.3. Méthode des tendances

Une série chronologique appelée encore série temporelle, est constituée d'un ensemble d'observations d'une grandeur quelconque effectuées au cours du temps à intervalles réguliers. Ces séries sont caractérisées par une certaine structure

Tableau I - Analyses chimiques des eaux du barrage de Hammam Grouz ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$).

Chemical analyzes of water from the Hammam Grouz Dam ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$).

Date	Mesure	pH	CE ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	PO_4^{3-}	N/P	DCO	DBO_5	$\text{O}_{2\text{dis}}$
22/02/2009	1	8,1	920	3,8	0,29	0,4	0,2	22.5	38	2,9	8,7
25/03/2009	2	8.0	930	2,7	0,57	0,9	0,4	10.4	42	5.0	10.0
18/04/2009	3	8.0	980	4,9	0,09	0,5	0,3	18.3	48	3,9	9,6
03/05/2009	4	8,1	910	4,9	0,45	1.0	0,4	15.9	54	2,9	8,2
13/06/2009	5	7,9	900	1,5	0,2	0,2	0,2	9.5	63	2,1	10.0
19/07/2009	6	8.0	930	7,2	0,1	0,2	0,2	37.5	64	3,7	8,8
08/08/2009	7	8,1	910	5,2	0,25	0,15	0,3	18.7	65	5,4	13.0
01/10/2009	8	7,9	960	2,1	0,2	0,18	0,1	24.8	60	4,5	7,6
05/11/2009	9	8.0	980	5,3	0,1	0,25	0,05	113	50	9,8	9,6
06/12/2009	10	7,8	900	5,2	0,5	0,2	0,3	19.7	54	7,3	5,4
05/01/2010	11	7,8	1000	4.0	0,3	0,6	0,2	24.5	55	7,5	7,2
08/02/2010	12	7,7	1030	5.0	0,2	0,4	0,3	18.7	65	6,9	8,4
07/03/2010	13	7,7	1080	9,8	0,2	0,5	0,2	52.5	67	7,1	8.0
05/04/2010	14	7,6	1030	12.0	0,1	0,25	0,2	61.8	52	6,5	8,4
03/05/2010	15	7,7	1080	12,5	0,2	0,2	0,2	64.5	70	6,5	6,3
14/06/2010	16	7,5	1120	12,1	0,2	0,2	0,2	62.5	75	7,1	5,3

qu'il s'agit de mettre en évidence et d'étudier de façon positive. Ces séries univariées ou multivariées, linéaires ou non linéaires sont traitées par de nombreux modèles numériques (David et al., 1983). Le modèle de Mayer (Mayer, 1748) consiste à ajuster le nuage de points ($t; Y_t$) par une droite passant par deux points calculés. La série est divisée en deux sous-ensembles de même effectif. Pour chacun des deux sous-ensembles, on calcule la moyenne des " t " et la moyenne des " Y_t ". On obtient ainsi deux points ($t_1; Y_1$), ($t_2; Y_2$) appelés points moyens par lesquels passe la droite de tendance. On peut calculer les points médians au lieu des points moyens ce qui permet de limiter l'influence des valeurs aberrantes.

Le modèle de Régnier (Régnier, 1965) basé sur les équations des moindres carrés, cas de la tendance linéaire, permet d'ajuster une série chronologique (Y_t), avec la fonction $C_t = at + b$. On détermine la droite (de tendance) des moindres carrés ($y = at + b$) du nuage de points ($t; Y_t$) qui minimise la distance $\sum (Y_t - (at + b))^2$. Cette méthode permet d'avoir un meilleur ajustement de la droite de tendance, mais la présence d'une valeur aberrante dans la série, limite son efficacité.

Pour la plupart des cas, la pente de la droite diffère de zéro. Si cette pente est positive, elle traduit une augmentation du paramètre en question, on parle alors d'une tendance positive, dans le cas contraire, on parle d'une tendance négative.

L'utilisation de cette technique permet de compenser les effets de "bruit de fond" produit par les variations à court terme et de distinguer les effets de ruissellement, les changements saisonniers et de mettre ainsi en évidence les effets possibles de la pollution d'origine anthropique à long terme. Cette méthode permet également de détecter les ruptures dans les séries chronologiques. Dans le cas où l'on a plusieurs changements qui se présentent dans la série, il est nécessaire d'adopter des techniques qui permettent d'analyser séparé-

ment les différentes sous-séries du signal original (Etchanchu et Probst, 1988).

En ce qui nous concerne, nous avons utilisé Excel 2010 pour la détermination de la droite de tendance, basée sur la méthode des moindres carrés.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION.

2.1. Caractérisation des eaux du barrage

Selon l'enquête menée sur le terrain, le barrage de Hammam Grouz est destiné uniquement à l'alimentation en eau potable de la ville de Constantine avec un débit de 500 l/s et constitue donc, une ressource importante d'eau potable pour cette agglomération. Il est donc impératif pour cette région, d'évaluer l'effet de la pollution anthropique sur la qualité physico-chimique des eaux de ce barrage. Cette caractérisation sera faite à l'aide de l'examen de la tendance des paramètres de la pollution (fig. 2). Ces tendances de la qualité de l'eau peuvent être détectées en se basant sur les variations de la moyenne des concentrations sur une longue période. De nombreuses études sur la qualité des eaux de surface, ont été menées dans l'Est algérien (Bouguerne, 2001; Mekaouci, 2003; Belhadj, 2007; Kemmoukh, 2008; Gagai, 2009; Tiri, 2010), mais aucun auteur n'a utilisé la technique des tendances.

L'application de cette méthode montre que la valeur du pH est à la baisse de 7% alors que la CE a enregistré une augmentation de 18 %.

La DCO et la DBO₅ présentent une augmentation de 48 et 150 % respectivement, alors que la plus forte augmentation a été enregistrée pour les nitrates avec 442 %. Par contre, les nitrites et l'ammonium, ont enregistré une baisse plus faible allant de 44 % pour NO₂⁻ à 62 % pour NH₄⁺. Cette forte baisse des nutriments s'est accompagnée par une baisse de l'oxygène dissous de 32 %. Les orthophosphates ont également baissé de 92 %.

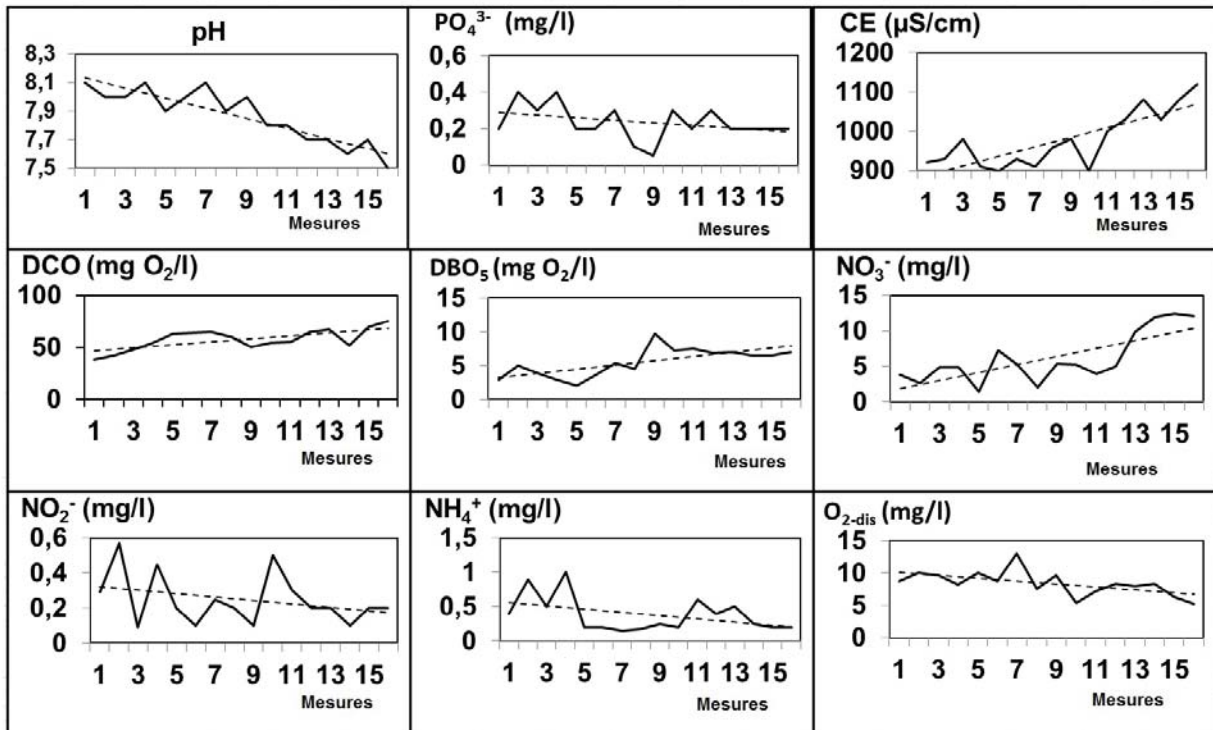
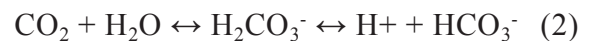


Fig. 2 - Variation des paramètres de la pollution des eaux du barrage de Hammam Grouz.

Parameters variation of the Hammam Grouz Dam water pollution.

2.2. La matière organique

L'absence de mesures de la matière organique ne permet pas de faire une analyse de la variation de ce paramètre. Néanmoins, les fluctuations de la DCO et de la DBO₅ peuvent être utilisées pour estimer l'évolution de la matière organique totale contenue dans l'eau (Etchanchu et Probst, 1988). Les valeurs de la DCO (38 à 75 mg/l O₂) montrent que la charge en matière oxydable stockée au niveau du barrage est considérable. L'augmentation de la DBO₅ (2.1 à 9.8 mg/l O₂) peut être expliquée par l'instauration de conditions de dégradation de la matière organique par les micro-organismes. Cette dégradation s'est accompagnée par une diminution de l'oxygène dissous de 32 %. Ceci est en accord avec la baisse du pH qui pourrait être liée à l'oxydation de la matière organique selon la réaction (1) ou à l'augmentation de la pression du CO₂ qui conduit à une diminution du pH selon la formule (2) (Kemp, 1982).



2.3. L'azote

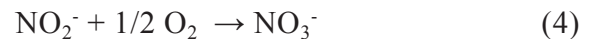
La pollution par l'azote (NO₃⁻, NO₂⁻ et NH₄⁺) dépend de l'approvisionnement des terres agricoles en nutriments (épandage, rejets d'élevages et engrais) et du déversement des eaux usées. Dans le bassin versant de l'Oued Rhumel, les engrais les plus couramment employés sont le nitrate d'ammonium, l'urée de phosphore et de potassium, les superphosphates, le chlorure de potassium et dans une moindre mesure, le sulfate d'ammonium, de sodium, le nitrate de calcium et le sulfate de potassium. Cette catégorie d'azote est la plus importante en masse et la plus difficile à évaluer. L'absence de recensements fiables, ne permet pas une analyse exhaustive de ce phéno-

POLLUTION DES EAUX DU BARRAGE DE HAMMAM GROUZ PAR LES NUTRIMENTS
(EST ALGÉRIEN)

mène. Néanmoins, cette pollution sera mise en évidence par les tendances générales et par la détermination des relations possibles entre ces éléments et l'oxygène dissous (Debieche, 2002; El Achheb, 2002; Fischer *et al.*, 2000; Grenz, 1992; Travi et Mudry, 1997). La forte augmentation (442 %) de NO_3^- enregistrée dans les eaux du barrage, est à mettre en relation avec : (i) la présence d'un fort pourcentage (80%) de terrains agricoles dans le bassin versant et de terres irriguées près du barrage soit 900 000 hectares, (ii) l'utilisation des fertilisants sur ces sols agricoles et (iii) le déversement des eaux usées sans aucun traitement préalable, aussi bien dans la nature que dans le cours d'eau principal. Ce débit est estimé entre $2500 \text{ m}^3/\text{j}$ et $3500 \text{ m}^3/\text{j}$ (Boumlih, 2006).

La relation nitrate-nitrite et nitrate-ammonium, montre une évolution inverse des nitrates par rap-

port aux deux autres formes de l'azote (fig. 3). L'ammonium et les nitrites représentent la forme réduite de l'azote, par contre les nitrates représentent la forme oxydée de ce dernier. Cette transformation est favorisée par la présence de l'oxygène qui favorise une nitrification de l'ammonium. Cette transformation se fait par voie aérobie selon les réactions (3) et (4) (Martin, 1979).



Ce passage est marqué par la forte diminution des formes ammonium et nitrite dans les eaux du barrage, indiquant un changement de forme. Ces réactions sont accompagnées par une diminution de l'oxygène dans le milieu aquatique qui pourrait aboutir à son asphyxie (fig. 4).

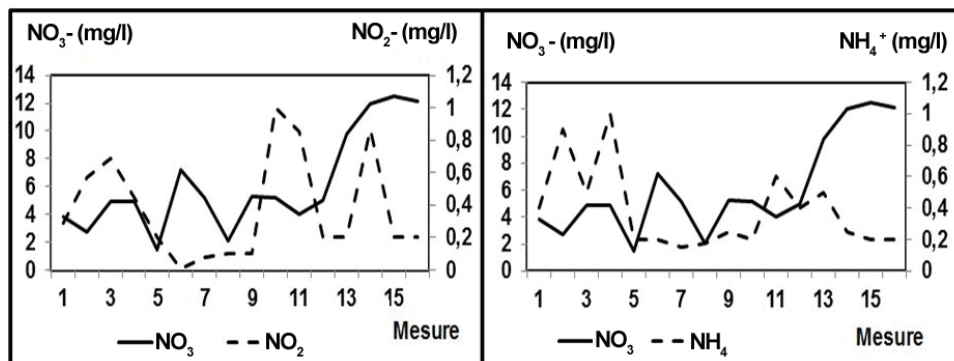


Fig. 3 - Relation nitrate-nitrite et nitrate-ammonium.

Nitrate-nitrite and ammonium-nitrate relation.

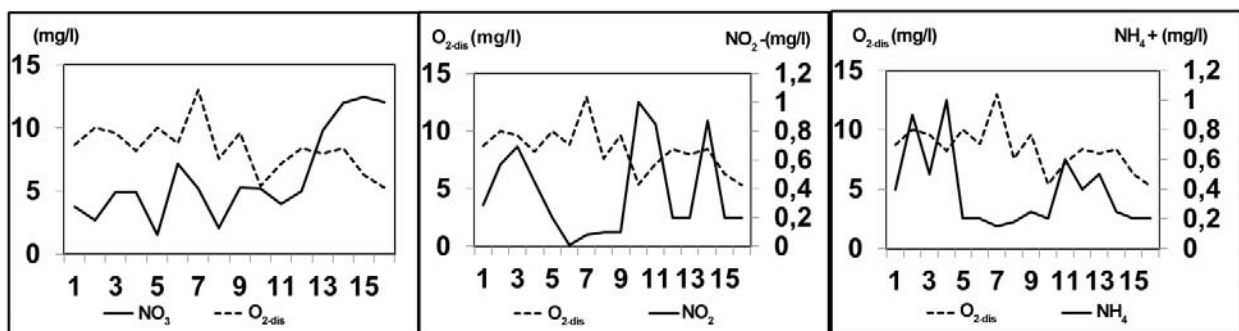


Fig. 4 - Relation azote-oxygène.

Nitrogen-oxygen relation.

2.4. Phosphates

L'augmentation de NO_3^- n'est pas accompagnée par une augmentation de la concentration en PO_4^{3-} malgré l'utilisation des engrais phosphatés, mais on a enregistré une baisse globale de 92 %. Cette situation peut être expliquée de deux manières : (i) le phosphore n'est pas très mobile et il est facilement adsorbé par les colloïdes du sol et donc éliminé par les processus d'érosion mécanique (Holt et *al.*, 1970; Sharpley, 1980), (ii) les concentrations en phosphore sont régulées dans l'eau de rivière par plusieurs processus biogéochimiques comme la précipitation sous forme d'apatite [$(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})\text{Ca}_5$] (Golterman et Meyer, 1985) et la consommation par les plantes aquatiques (Johnson et *al.*, 1976; Probst, 1985; Kattan et *al.*, 1987; Pilleboue et Dorioz, 1986).

2.5. Eutrophisation

Les valeurs du rapport N/P, indicateur d'état d'eutrophisation de l'eau (Seip, 1994) renseignent sur la présence probable des algues fixatrices d'azote atmosphérique pour des valeurs du rapport inférieures à 29 (Downing et McCauley, 1992). En effet, les rapports N/P, calculés durant tout le suivi (tab. I) sont parfois inférieurs à la valeur de 29; le 18/04/2009 (N/P= 18.3), le 5/01/ 2010 (N/P= 24.5) et le 8/02/2010 (NP=18.7) avec apparition probable de Cyanophycées dans la retenue du Grouz. Ce n'est pas le cas le 07/03/2010 (N/P= 52.5), le 05/04/2010 (N/P=61.7), le 3/05/ 2010 (N/P=64.5) et au début de l'été le 14/06/ 2010 (N/P=62.5). Le phosphore joue le rôle du facteur limitant dans les eaux, ce que confirment les apports en phosphates à la fin de l'hiver et au printemps. Les micro-organismes se développent alors rapidement et peuvent conduire à l'apparition d'écumes en surface. De nombreuses souches de Cyanophycées ont une capacité à produire des toxines dangereuses pour l'alimentation en eau potable ou la baignade (Duchemin, 2010). Un seuil de 100 000 cyanobactéries/ml déclenche la recherche et le dosage des toxines pour vérifier que

la concentration en microcystines ne dépasse pas 1 $\mu\text{g/l}$, comme il a été préconisé par l'Organisation Mondiale de la Santé (Who, 2011).

CONCLUSION

Dans le but de déterminer l'influence des rejets urbains, agricoles et industriels sur les eaux du barrage de Hammam Grouz, la composition chimique de ces eaux a été déterminée. L'évolution temporelle de quelques paramètres physico-chimiques a été suivie pendant près de deux ans. Les résultats obtenus montrent que la plupart des éléments et paramètres qui sont en liaison avec les engrais et les effluents, ont augmenté dans l'eau du barrage pendant cette période : CE (18%), DCO (48 %), DBO_5 (150 %), NO_3^- (442 %). Cette dégradation de la qualité de l'eau est due à la décomposition de la matière organique qui est accompagnée par une baisse du pH de 7 %. L'augmentation des nitrates est due à l'apport par les engrais et à la nitrification de l'ammonium qui a été accompagnée par une baisse de l'oxygène dissous de 32 %. La baisse de la teneur des phosphates de 92 % est due à sa faible mobilité et aux différents processus biogéochimiques qui peuvent se produire dans les eaux des rivières comme la précipitation sous forme d'apatite et la consommation par les plantes aquatiques du barrage. Les eaux du barrage de Hammam Grouz semblent devenir de plus en plus polluées comme la plupart des eaux de surface de l'Est de l'Algérie. 93 % des échantillons dépassent la teneur de 0.1 mg/l en NO_2^- et 31 % des échantillons dépassent la teneur de 0.5 mg/l en NH_4^+ préconisées par la norme algérienne. Un suivi attentif des paramètres caractéristiques d'une eutrophisation des eaux de la retenue (azote, phosphore) doit être mis en place afin de détecter la présence saisonnière de cyanobactéries.

Remerciements : Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une thèse de Doctorat. Les auteurs remercient vivement les reviewers J. Mania et H. Bendjoudi pour leurs remarques qui ont permis d'améliorer la première version du manuscrit.

POLLUTION DES EAUX DU BARRAGE DE HAMMAM GROUZ PAR LES NUTRIMENTS
(EST ALGÉRIEN)

BIBLIOGRAPHIE

- BELHADJ, M.-Z. 2007.** Étude de la pollution des eaux de surface du barrage de Zit El Anba. Région est de Skikda. NE algérien. *Mémoire de Magister Dép. Hydraul. Univ. Batna*, 225 p.
- BELHADJ, M.-Z., BOUDOUKHA, A. ET MEZEDRI, L. 2011.** Qualité des eaux de surface et leur impact sur l'environnement dans la wilaya de Skikda (Nord-est de l'Algérie). (Contamination naturelle par le mercure). *European Journal of Scientific Research*, 56 (2), pp. 204-211.
- BOUDOUKHA, A. ET BOUGUERNE, A. 2010.** Les métaux lourds dans les eaux de surface de l'Oued Bousselem; discussion des données analytiques. *Geomagreb*, 6, pp. 97-104
- BOUDOUKHA, A., KOWALSKI, W.-M. ET PHARISAT, A. 1997.** Évolution des sédiments lacustres plio-villafranchiens des dépressions fermées d'El Eulma. Est algérien. *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles du Pays Montbéliard*, pp. 187-200.
- BOUGUERNE, A. 2001.** Étude comparative par analyse hydrologique et hydrochimique des eaux de surface des bassins versants d'Oued Bousselem et Oued Rhumel. *Mémoire de Magister, Dép. Hydraul. Univ. Batna*, 252 p.
- BOUGUERNE, A., BOUDOUKHA, A. ET TIRI, A. 2010.** Évaluation des eaux de surface à l'échelle des bassins versants par le code HBV light et risque de pollution par les métaux lourds: cas de deux bassins versants de l'Est algérien. *Journal International Network Environmental Management Conflicts, Santa Catarina – Brazil*, 1(1), pp. 120-127
- BOUMLIH, M. 2006.** Pollution du barrage Hammam Grouz. Le Constantinois sous une menace réelle. *Journal quotidien El Watan du 31-01-2006*.
- DAVID, M., BONNIEUX, F. ET RAINELLI, P. 1983.** Introduction au traitement des séries chronologiques. *Economie rurale*, n°157, pp. 49-56.
- DEBIECHE, T.-H. 2002.** Évolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle: Application à la basse plaine de la Seybouse, Nord-Est algérien. *Thèse de Doct., Univ. de Franche-Comté*, 276 p.
- DOWNING, J.-A. AND MC CAULEY, E. 1992.** The nitrogen: phosphorus relationship in lakes. *Limnology and Oceanography*, 37, pp. 936-945.
- DUCHEMIN, J. 2010.** Algues bleu-vertes, cyanophycées, cyanobactéries. Eau et Santé. *Eau seine Normandie*, 22 p.
- EL ACHHEB, A. 2002.** Essai de bilan des flux azotés percolant vers les eaux souterraines sous climat semi-aride (cas des périmètres irrigués des Doukkala, Maroc). *Revue française de Géotechnique*, 101, pp. 105-111.
- ETCHANCHU, D. AND PROBST, J.-L. 1988.** Evolution of the chemical composition of the Garonne River water during the period 1971–1984. *Journal des Sciences Hydrologiques*, 33, 3, pp. 243-256
- FISCHER, J.-C., BOUGHRIET, A., OODANE, B. ET BODINEAU, L. 2000.** Comportement des polluants métalliques et de la matière organique en Manche. *Revue Océans*, 23 (1), pp. 89-111.
- GAGAI, I. 2009.** Étude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de Babar sur Oued El Arab, Région de Khenchela. *Mémoire de Magister. Dép. Hydraul. Univ. Batna*, 186 p.
- GOLTERMAN, H.-L. AND MEYER, M.-L. 1985.** The geochemistry of two hard water rivers, the Rhine and the Rhone: part 4: the determination of the solubility product of hydroxy-apatite. *Hydrobiologia*, 126, pp. 25-29.
- GRENZ, C., ALLIOT, Z., BAUDINET, D., HELIS, L. ET MASSE, H. 1992.** Influence des opérations de dévasage sur les flux de nutriments à l'interface eau-sédiment (bassin de Thau, France). *Revue vie milieu*, 42 (2), pp. 157-164.
- GUERAICHE, Z., BOUDOUKHA, A. ET MEKAOUCI, H. 2007.** Qualité minérale des eaux de surface en zone aride : cas de Oued El Hai, barrage Fontaine des Gazelles. Région de Biskra, SE algérien. *Physical and Chemical News*, 38, pp. 112-121.
- HOLT, R.-F., TIMMONS, D.-R. AND LATTERELL, J.-J. 1970.** Accumulation of phosphates in water. *Agricultural and Food Chem.*, 18 (5), pp. 781-784.

- JOHNSON, A.-H., BOULDIN, D.-R., GOYETTE, E.-A. AND HEDGES, A.-M. 1976.** Phosphorus loss by stream transport from a rural watershed: quantities, processes and sources. *Environmental Journal Quality*, 5 (2), pp. 148-157.
- JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE (JO N° 51/00). 2000.** Arrêté du 26 juillet 2000 relatif aux caractéristiques de qualité d'une eau minérale naturelle et d'une eau de source. 4 p.
- KATTAN, Z., SALLERON, J.-L. ET PROBST, J.-L. 1987.** Bilans et dynamique de transfert de l'azote et du phosphore sur le bassin de la Moselle (Nord-est de la France), *Sciences de l'Eau*, 5 (4), pp. 437-461.
- KEMMOUKH, S. 2008.** Dégradation de la qualité des eaux du barrage de Zerdazas suite à une pollution naturelle. (W. de Skikda, Est algérien). *Mémoire de Magister, Dép. Hydraul., Univ. Batna*, 215 p.
- KEMPE, S. 1982.** Long-term records of the CO₂ pressure fluctuations in fresh water. *Mediterranean Geology Palaontology Institut*, 52, pp. 291-332.
- KHEDIDJA, A. 2001.** Étude de la vulnérabilité de l'aquifère des calcaires lacustres de la région de Bir El Arch, W. de Sétif. *Mémoire de Magister, Dép. Sc. Ter. Nat., Univ. Tébessa, Algérie*, 210 p.
- LAKE, I.-R., LOVETTE, A.-A., HISCOCK, K.-M., BETSON, M., FOLEY, A., SÜNNENBERG, G., EVERS, S. AND FLETCHER, S. 2003.** Evaluating factors influencing groundwater vulnerability to nitrate pollution: developing the potential of GIS. *Journal Environmental Management*, 68(3), pp. 315-328.
- LIU, A., MING, J. AND ANKUMAH, R.-O. 2005.** Nitrate contamination in private wells in rural Alabama, United States. *Sciences Total Environmental*, 346, pp. 112-120.
- MARTIN, G. 1979.** Le problème de l'azote dans les eaux. *Technique et Documentation, Paris éd.*, 279 p.
- MAYER, J.-T. 1748.** Abhandlung über die Umwälzung des Mondes um seine Axen und die scheinbare Bewegung der Mondflecken. *Kosmographische Nachrichten und Sammlungen auf das Jahr*, n°1, pp. 52-183.
- MEBARKI, A. 2009.** Ressources en eau et aménagement en Algérie. Les bassins hydrographiques de l'est. *Office des Publications Universitaires, Algérie*, 389 p.
- MEKAOUCI, H. 2003.** Étude hydrochimique du bassin versant du barrage de la Fontaine des Gazelles. *Mémoire de Magister, Dép. Hydraul. Univ. Batna*, 185 p.
- PILLEBOUE, E. AND DORIOZ, J.-M. 1986.** Mass balance and transfer mechanisms of phosphorus in a rural watershed of lac Lemman. *Proceedings of the third International Symposium on interactions between sediments and water, Geneva, Switzerland, August 27-31-1986*, pp. 91-102.
- PROBST, J.-L. 1985.** Nitrogen and phosphorus exportation in the Garonne Basin (France). *Hydrology*, 76, pp. 281-305.
- RAO, N. 2006.** Nitrate pollution and its distribution in the groundwater of Srikakulam district, Andhra Pradesh, India. *Environmental Geology*, 51, pp. 631-645.
- REGNIER, S. 1965.** Sur quelques aspects mathématiques de problèmes de classification automatique. *Mathématiques et Sciences humaines*, 82, pp. 13-29.
- RODIER, J. 1996.** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^e édition, *Dunod, Paris, France*.
- SEIP, K.-L. 1994.** Phosphorus and nitrogen limitation of algal biomass across trophic gradients. *Aquatic Sciences*, 56 (1), pp. 16-28.
- SHARPLEY, A.-N. 1980.** The enrichment of soil phosphorus in runoff sediment. *Journal Environmental Quality*, 9(3), pp. 521-526.
- TIRI, A. 2010.** Pollution urbaine et industrielle des eaux de surface. Cas du barrage de Koudiat Medaouar. Batna. Est algérien. *Thèse de Doctorat. Dép. Hydraul., Univ. Batna*, 265 p.
- TRAVI, Y. ET MUDRY, J. 1997.** Méthode pour l'évaluation du risque nitrate dans les aquifères de socle de la zone sahélienne d'Afrique de l'Ouest. *Revue hydrogéologie*, 1, pp. 13-21.

POLLUTION DES EAUX DU BARRAGE DE HAMMAM GROUZ PAR LES NUTRIMENTS
(EST ALGÉRIEN)

- VILA, J.-M. 1980.** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. *Thèse de Doctorat en Sciences Naturelles, Paris VI*, 665 p.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO) 2011.** Guidelines for drinking-water quality - 4th ed., Geneva. 564 p.
- WIDORY, D., KLOPPMANN, W., CHEY, L., BONNIN, J., ROCHDI, H. AND GUINAMANT, J.-L. 2004.** Nitrate in groundwater: an isotopic multi-tracer approach. *Journal Contamination Hydrology*, 72, pp. 165-188.