



## **CONTRIBUTION A LA CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DU LAC RESERVOIR DU BARRAGE HASSAN II (PROVINCE DE MIDELET, MAROC)**

**CHAHBOUNE M.\*, CHAHLAOUI A., ZAID A., BEN MOUSSA A.**

Équipe de Gestion et Valorisation des Ressources Naturelles, Laboratoire de l'Environnement et Santé, Faculté des Sciences de Meknès, Département de Biologie, Université Moulay Ismail, BP 11 201 Zitoune Meknès, Maroc.

\* chahboune20@gmail.com

### **RÉSUMÉ**

Le barrage Hassan II, inclus dans le bassin versant de la Moulouya, constitue l'une des plus grandes retenues marocaines avec une capacité de stockage maximale de 400 millions de mètres cubes (Mm<sup>3</sup>). Il contrôle un bassin versant de 3300 km<sup>2</sup> et permet d'assurer une régularisation annuelle de 100 Mm<sup>3</sup> des débits de l'oued Moulouya naturellement irréguliers dans sa partie amont. Il a comme vocations principales l'alimentation en eau potable, l'irrigation, la protection des zones et barrages situés en aval contre les inondations et l'envasement. L'accroissement des activités anthropiques en amont de ce barrage pourrait induire une dégradation de la qualité de ce plan d'eau. Notre travail avait pour objectif de faire un suivi de l'évolution de la qualité physico-chimique de cette masse d'eau via des prélèvements mensuels et l'analyse des principaux paramètres physico-chimiques. L'échantillonnage s'est étalé sur la période allant de septembre 2011 à août 2012. A la lumière des résultats obtenus, les eaux du barrage Hassan II ont présenté une minéralisation moyennement accentuée, elles sont dures et légèrement alcalines. Le lac peut être classé dans la catégorie des lacs monomictiques chauds. Les concentrations en composés phosphorés sont faibles et la masse d'eau n'a pas présenté aucune période d'anoxie.

**Mot clés :** Physico-chimie, Eau, Barrage Hassan II, Moulouya, Maroc

## ABSTRACT

The Hassan II dam included in the watershed Moulouya, is one of the largest Moroccan retaining dam with maximum storage capacity of 400 million cubic meters ( $Mm^3$ ). It controls a catchment area of  $3300 \text{ km}^2$  and ensures annual adjustment of  $100 Mm^3$  speeds of Moulouya naturally irregular in its upstream part. It has as main purposes potable water, irrigation, protection of areas and dam against downstream flooding and siltation. Increased human activities upstream of the dam could lead to a degradation of the quality of that water. Our work aimed to follow the evolution of the physico-chemical quality of the water body via monthly samples and analysis of the main physico-chemical parameters. Sampling took place over the period September 2011 to August 2012. In light of the results obtained, the dam waters Hassan II exhibited moderately accentuated mineralization, they are hard and slightly alkaline. The lake can be classified as warm monomictic lakes. The concentrations of phosphorus compounds are low and the water body has not presented any period of anoxia.

**Keywords:** Physicochemical , Water, Hassan II dam, Moulouya, Morocco

## INTRODUCTION

Situé à l'Est du pays, le bassin de la Moulouya est caractérisé par un climat semi aride à aride et des ressources en eau limitées qui constituent le facteur limitant de son développement socio-économique d'où la nécessité de développer des modes de gestion intégrée de cette ressource à l'échelle de l'ensemble du bassin (Melhaoui et al., 2009). Le projet de construction du Barrage Hassan II sur l'Oued Moulouya dont les travaux ont été lancés en avril 2001 et mis en service en 2005, constituait la pièce maîtresse d'un programme de construction de grands barrages adopté par le plan directeur du Bassin de la Moulouya et approuvé par le conseil supérieur de l'eau et du climat lors de sa 5<sup>ème</sup> session tenue en décembre 1990 (DAH, 2008). Après l'envasement partiel qu'a connu le Barrage Mohammed V (Snoussi et al., 2002), le barrage Hassan II se classe actuellement, de point de vue capacité, comme le plus grand barrage dans le bassin de la Moulouya avec une capacité de stockage maximale de l'ordre de  $400 Mm^3$ . Il représente une richesse aux potentialités économiques variées. C'est une importante réserve d'eau destinée pour la production de l'eau potable (travaux en cours), l'irrigation, de plus ce Barrage contribue à la protection des zones aval contre les inondations et participe à l'allégement de l'envasement du barrage Mohammed V situé en aval. Cet édifice est également conçu pour une éventuelle production hydroélectrique (DAH, 2008). Ce plan d'eau constitue un environnement touristique attrayant pour les pratiquants de la pêche sportive émanant des localités environnantes et un refuge pour les

oiseaux migrateurs. Cependant, l'accroissement des activités humaines développées en amont pourraient retentir négativement sur cet écosystème. En effet, le bassin versant du barrage est drainé par deux principaux tributaires : l'Oued Moulouya et l'Oued Ansegmir qui reçoivent tout au long de leurs cours amont, les rejets domestiques des populations riveraines (Rahoui, 2003) et les polluants émanant de l'agriculture développée sur la vallée d'Ansegmir et celle de la partie amont de l'Oued Moulouya, de plus ce dernier draine les eaux émanant du district minier abandonné de Zaida. L'étude des caractéristiques physico-chimiques de l'eau tire son intérêt du fait que la modification de ces paramètres est susceptible de perturber les fonctions du plan d'eau, notamment la potentialité biologique de l'eau et ses usages potentiels. A l'exception d'une seule étude, fractionnée dans le temps et dans l'espace, qui a fait du barrage Hassan II une station dans le cadre d'une étude générale des eaux et sédiments de l'oued Moulouya (Makhoukh, 2012), aucune étude au préalable n'a été menée sur la qualité physico-chimique des eaux de ce lac artificiel. Afin de dresser un état des lieux de ce terrain vierge, une étude globale des eaux de ce Barrage s'est avérée donc nécessaire. Pour cela un suivi a été mené sur ce site au cours de la période allant de septembre 2011 à août 2012. L'objectif était de faire une caractérisation des principaux paramètres physico-chimiques de la masse d'eau de ce barrage.

## **MATERIELS ET METHODES**

### **Présentation du milieu d'étude**

Le lac du barrage Hassan II se trouve au Sud-est de la région de Meknès-Tafilalt au centre du Maroc, sur l'Oued Moulouya, dans la plaine de Midelt à environ 12 Km, à vol d'oiseau, au nord ouest de celle-ci (figure 1). Le barrage est situé à la haute Moulouya qui se caractérise par un climat aride froid à tendance montagnarde (El Hachimi et al., 2005). Le régime pluviométrique est marqué par des faibles précipitations conjuguées à une extrême variabilité et irrégularité, les précipitations orageuses violentes apportent des produits érodés de l'amont. Parfois, si les conditions climatiques le favorisent, la région reçoit des précipitations neigeuses. Les sols de la région d'étude se répartissent entre des sols sur granite, des sols sur les formes arkosiques du Trias et les sols sur les formations carbonatées du Jurassique (Amrani et al., 2006). Le couvert végétal est dispersé, il est représenté essentiellement par des touffes de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) (Rhanem, 2009). Le bassin versant du barrage est drainé par deux principaux tributaires : oued Moulouya et oued Ansegmir qui reçoivent tout au long de leurs cours amont les rejets domestiques des agglomérations (Boumia, Zaida, Ait Ayache) ainsi que les déchets résultant de l'agriculture développée sur les vallées des deux oueds. En plus, l'oued Moulouya draine les eaux émanant du district minier abandonné de Zaida.

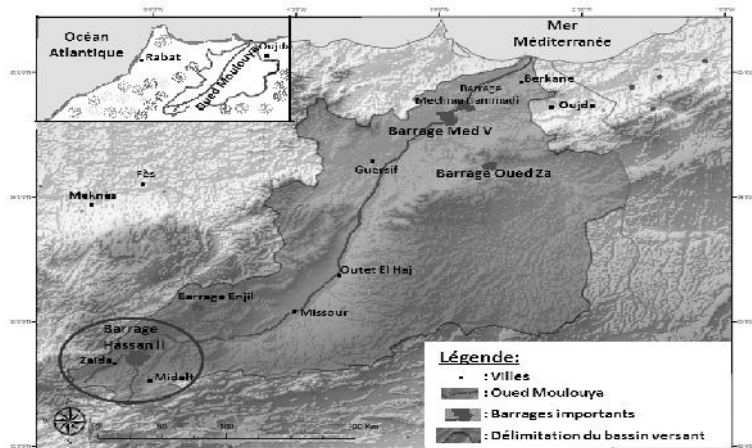


Figure 1 : Situation géographique du Barrage Hassan II au sein du Bassin de la Moulouya

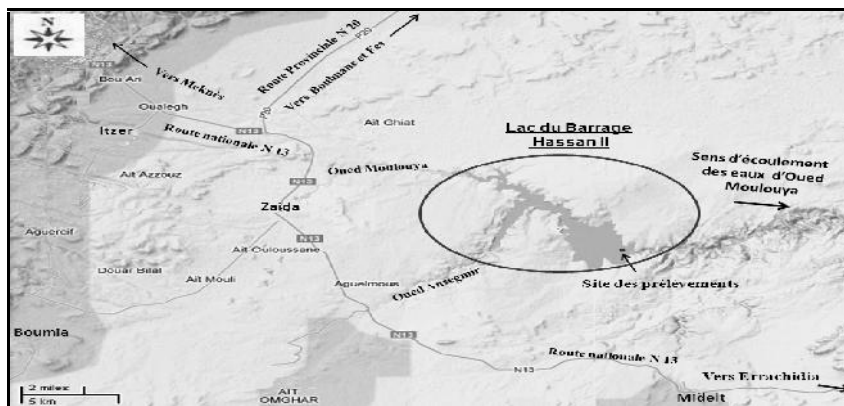
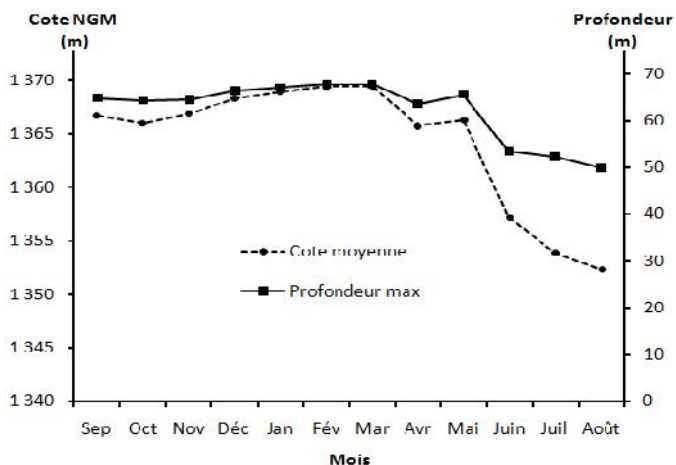


Figure 2 : Localisation du site d'échantillonnage au lac réservoir du Barrage Hassan II (Source carte: <http://earth.google.fr>; avec modifications).

### Choix des stations et fréquence d'échantillonnage

En limnologie, le point le plus profond du lac sert, de manière standard, de lieu d'échantillonnage des paramètres physicochimiques de l'eau, car les résultats de la collecte y sont davantage représentatifs de l'ensemble du lac (Barbe J., 2003). Pour déterminer le point d'échantillonnage au niveau de la retenue (figure 2) et suite à l'absence d'un profil bathymétrique, nous avons exploité les données morphométriques disponibles sur le barrage (Tableau 1) (DAH, 2008) ainsi que les photos du barrage juste avant sa mise en eau. Les campagnes d'échantillonnage ont eu lieu une fois par mois pendant une année, soit 12 campagnes. Les stations choisies sont : Surface (S), -10m (P1), -20m (P2),

-30m (P3), -50m (P5), -60m (P6) et le Fond (F). Nous notons l'absence des stations P5 en Aout et P6 en Juin, Juillet et Aout, ceci était dû aux variations du niveau du lac suite aux lâchers d'eau qu'a connu le barrage (figure 3). Le choix des profondeurs à prospecter était le fruit d'un suivi, mètre par mètre, à raison de deux fois par mois pendant trois mois consécutifs au cours de la période de stratification thermique du lac, de la température de l'eau, considérée comme facteur déterminant qui influence fortement les cinétiques chimiques et biologique au sein des lacs (Alaoui et al., 2000), et de l'oxygène dissous dans l'eau, considéré, comme le paramètre le plus fondamental de la qualité de l'eau (CCME, 1999).



**Figure 3 :** l'évolution du niveau du lac (la cote moyenne) et de la profondeur maximale au site d'échantillonnage du barrage Hassan II au cours de la période d'étude

**Tableau 1** : Caractéristiques morphométriques et hydrologiques du lac réservoirs étudié

<p><b>Caractéristiques hydrologique et générale du bassin versant et de la retenue</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aire du bassin versant naturel : 3300 km<sup>2</sup> ;</li> <li>• Apport moyen annuel : 220 Million de m<sup>3</sup> (Mm<sup>3</sup>).</li> </ul> <p><b>Caractéristiques de la retenue:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Niveau de la retenue à la cote normale:1370 NGM;</li> <li>• Aire de la retenue à la cote normale : 12,7 km<sup>2</sup> ;</li> <li>• Volume de la retenue à la cote normale : 400 Mm<sup>3</sup> ;</li> <li>• Volume régularisé moyen annuel 100 Mm<sup>3</sup>.</li> </ul>	<p><b>Caractéristiques des ouvrages:</b></p> <p><b>Barrage:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Type : poids en Betton Compacté au Rouleau (BCR) ;</li> <li>• Hauteur maximale sur Fondation : 115m;</li> <li>• Longueur en crête : 600m ;</li> <li>• Largeur en crête : 7m ;</li> <li>• Terrain de fondation : Granite ;</li> <li>• Cote de la crête:1375 NGM</li> <li>• Volume du corps du barrage : 600000 m<sup>3</sup>.</li> </ul> <p><b>Vidange du fond :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cote du seuil: 1298 NGM.</li> </ul> <p><b>Prise d'eau potable :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Type : tour bétonnée avec 4 niveaux de prise ; 1323, 1333, 1343 et 1353 NGM ;</li> <li>• Débit maximum : 1m<sup>3</sup>/s.</li> </ul> <p><b>Prise agricole :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cote de la prise:1315 NGM</li> </ul>
---	---

### Prélèvements et méthodes d'analyses

Les prélèvements sont réalisés selon des techniques uniformisées, à l'aide d'une bouteille façonnée de type Van Dorn de cinq litres. Les échantillons sont conservés dans des glacières assurant le maintien de la température à 4°C, puis ils sont acheminés vers le Laboratoire de l'équipe de gestion et valorisation des ressources naturelles de la Faculté des Sciences de Meknès pour y effectuer les analyses. Certaines mesures ont été réalisées in situ, à savoir, la température qui a été prise en utilisant un électrothermomètre. Une sonde de mesure de marque HANNA Hi 8519N a permis d'évaluer le potentiel hydrogène (pH) et une autre

de type CONSORT K912 pour la mesure de la conductivité électrique. L'Oxygène dissous a été également dosé, sur place, selon la méthode de Winkler modifiée par Alsterberg (Rodier *et al.*, 2009). Pour les autres paramètres (Chlorures, Sulfates, Matière en suspension, Dureté totale, Nitrates, Ammonium, Azote total, Orthophosphates et Phosphore total) les analyses ont été effectuées selon les méthodes décrites par Rodier (Rodier *et al.*, 2009).

## **RESULTATS ET DISCUSSION**

### **Température**

La température des eaux a présenté des fluctuations au cours du temps (Figure 4 A). Les valeurs de la température sont homogènes sur l'ensemble de la colonne d'eau du décembre à février, il s'agit d'une période d'homothermie hivernale ou brassage, suivi d'une période de stratification thermique dont l'ébauche apparaît au mois de mars pour s'achever à novembre. Nous notons toutefois, que la profondeur de la thermocline a été observée à partir de la profondeur de 10 m (P1), différenciant ainsi un Epilimnion (S à P1), un métalimnion (P1 à P3) et un hypolimnion (P3 à F). La différence de température entre la surface et le fond est nette au mois de juillet (7,2°C). En décembre, la stratification thermique est détruite ; les eaux ont à cette période une température minimale de 11,5°C à la surface (S) et maximale de 11,8°C à la profondeur de 30m (P3), puis le lac continue à se refroidir pour atteindre une température d'homothermie minimale de 8,3°C en Février. Le lac du barrage Hassan II s'est caractérisé, au cours de la période d'étude, par une seule période de mélange hivernale et une seule période de stratification thermique qui débute au mois de mars et s'installe vers le mois de juillet puis prend fin vers le mois de novembre. Ce plan d'eau n'est pas pris en glace durant toute l'année, ces caractéristiques le classe dans la catégorie des lacs monomictiques chauds (Lewis *et al.*, 1983).

### **Oxygène dissous**

La teneur en oxygène dissous est presque homogène sur l'ensemble de la colonne d'eau au cours de la période du brassage, décembre, janvier et février (Figure 4 B). Sur toute la colonne d'eau, c'est au fond du lac où l'on trouve les valeurs les plus faibles en oxygène dissous. Les valeurs minimales qu'y sont enregistrées étaient 4,97 mg/l, 5,14 mg/l et 5,88mg/l aux mois de novembre, octobre et août respectivement. Au cours des autres mois la concentration en oxygène dissous des eaux du fond a dépassé les 6 mg/l, un maximum a été enregistré au mois de février avec une concentration de 10,7 mg/l. Pour les autres niveaux de la colonne d'eau, les teneurs en oxygène dissous ont fluctué entre un minimum de 5,25 mg/l (P6 au mois d'octobre) et un maximum de

11,98 mg/l (P3 au mois de février). Toutefois une valeur élevée de 12,66 mg/l a été marquée au mois d'octobre à P3. Les eaux du lac, tous niveaux confondus de la colonne d'eau, n'ont jamais arrivé à un stade anoxique. C'était très rarement que s'abaissent les teneurs en oxygène au dessous de 5 mg/l. Cette bonne oxygénation des eaux du lac pourrait être en relation avec les différentes actions entreprises conjointement par les gestionnaires de l'eau dont on peut citer : des lâchers fréquents des eaux du fond, et qui ont provoqué, au cours de 2<sup>ème</sup> semestre du cycle hydrologique, une diminution du niveau du lac d'environ 17 mètres, soit une restitution de près de 44,75 % de la capacité totale du barrage, une autre action est celle de l'empoissonnement de la retenue par la carpe argentée, espèce connue par son pouvoir algivore (Foutlane et al., 1997): déversement de 400.000 carpillons au cours de la saison 2008-2009 et 100.000 carpillons au cours de la saison 2009-2010 (HCEFLCD, 2009 et 2010). Cette dernière action pourrait contribuer à la réduction de la chute des matières organiques dans les couches profondes à partir des zones de production, et dont l'oxydation pourrait mener à une sous-saturation en oxygène dissous de la masse d'eau.

## **pH**

Les eaux du barrage sont légèrement alcalines (Figure 4 C). Les valeurs maximales du pH ont été observées au mois de juin, sans qu'elles dépassent 7,51. Toutefois une valeur de 7,53 a été enregistrée au mois d'octobre à P3. Le mois de septembre a été caractérisé par les valeurs les plus faibles du pH. La période de brassage a induit une homogénéisation de pH sur toute la colonne d'eau. En période de stratification thermique, le pH des eaux du fond n'a pas présenté une tendance de diminution. Malgré le caractère granitique du terrain de fondation du barrage, susceptible d'agir sur l'eau en la rendant à tendance acide, (Nisbet et al., 1970), le pH de l'eau du barrage Hassan II a demeuré légèrement alcalin. Les valeurs ont varié globalement entre 7,06 et 7,53. Ceci pourrait être expliqué, vraisemblablement, par la nature carbonatée des affleurements géologiques traversés par les eaux des tributaires alimentant le barrage (Igmoullan et al., 2001). Le léger abaissement des valeurs de pH en septembre pourrait être expliqué par la pluviométrie enregistrée au mois d'août ayant précédé les prélèvements (20,9 mm de précipitation est enregistré à la station hydrométrique du barrage). Selon la classification donnée par Nisbet et verneaux, les valeurs de pH font classer les eaux de la retenue dans la 4<sup>ème</sup> classe qui correspond aux eaux de neutralité rapprochée favorable au développement des organismes vivants et c'est une classe des eaux piscicoles et des régions calcaires.



## **Conductivité électrique, Chlorures, Sulfates et Dureté totale**

À l'échelle spatiotemporel, la conductivité électrique n'a pas subi de modifications importantes (Figure 4 D). Les valeurs maximales sont enregistrées au mois de février, elles ont varié entre 534 et 518 $\mu$ S/cm à S et à P5 respectivement, et les valeurs minimales au mois de septembre avec des valeurs de 440 et 480 $\mu$ S/cm à S et à P3 respectivement. Les valeurs de la conductivité électrique de l'eau des autres mois et des autres niveaux de la colonne d'eau sont flanquées entre les valeurs de conductivité enregistrées au cours de ces deux mois.

Les chlorures exprimés en mg Cl /l, ont connu la même tendance d'évolution que la conductivité électrique (Figure 4 E). Les valeurs minimales et maximales sont trouvées au cours des mois de septembre et février respectivement. Au cours de la période de stratification thermique, les valeurs importantes sont enregistrées au niveau des couches profondes (à partir de P3). Pour l'ensemble de la colonne d'eau, les niveaux des chlorures ont varié entre 49,6 mg Cl /l (septembre à S) et 74,99 mg Cl /l (février à P5).

Les Sulfates sont exprimés en mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/l. Sur l'ensemble de la colonne d'eau les valeurs ont varié entre 54,87 mg/l et 101,67 mg/l (Figure 4 F). C'était au mois d'octobre et décembre que la teneur des eaux en sulfates est minime, cependant, cette teneur est plus importante au cours du mois d'Aout. Toutefois c'était au fond que l'on a enregistré les teneurs les plus importantes en sulfates.

Les valeurs de la dureté totale de l'eau, exprimée en degré français (°f), ont oscillé entre 20,5°f et 25,0°f à la surface et de 22,0°f à 27,5°f en profondeur de la retenue (Figure 5 A). Spatialement, se sont surtout les eaux du fond qui sont plus dures. Quant aux variations temporelles, c'était au mois d'avril que la dureté totale des eaux du lac avait marquée les valeurs les plus importantes.

Les variations de la dureté totale de l'eau entre 20 et 27,55°f a conféré aux eaux du barrage un caractère dur. Quelle que soit la station et le temps considérés, les eaux du barrage Hassan II ont présenté une minéralisation moyennement accentuée (Rodier et al., 2009). Les conditions oxiques des eaux du fond ont, vraisemblablement, minimiser les fluctuations de la conductivité de l'eau. En effet, les conditions anoxiques peuvent provoquer un relargage d'éléments contenus dans les sédiments, éléments qui contribuent alors à faire augmenter la quantité des sels et minéraux dissous dans l'eau (Tremblay et al., 2001).

## **Matières en suspension (MES)**

De S à P6 la concentration en MES était faible (Figure 5 B). Puis une inflexion importante s'est produite au niveau du fond où nous avons enregistré des valeurs élevées en MES (minimum 3,4mg/l au mois de décembre et le maximum 16,8 mg/l au mois d'avril). A la surface et au niveau du P1 c'était surtout au printemps et début d'été (mars, avril, mai et juin) où l'on a enregistré

les teneurs les plus importantes en MES. Les fortes concentrations en MES enregistrées au fond du lac, pourraient être expliquées d'une part, par les restitutions répétées des eaux du barrage qui ont favorisé la remise en suspension des sédiments au fond du lac, les valeurs les plus importantes en MES sont, ainsi, enregistrées au cours des mois où le barrage a fait l'objet de restitutions, et d'autre part par le phénomène de bioturbation comme il a été signalé par Sadani dans son étude sur le lac Mansour Eddahbi (Sadani et al., 2004) et les courants de densité résultant des apports des tributaires du barrage en période de crues comme il l'a expliqué Remini dans le phénomène de l'envasement des barrages (Remini et al., 2003). Les teneurs, plus au moins, importantes en MES signalées dans les couches superficielles au printemps et début d'été pourraient coïncider avec la phase de production phytoplanktonique.

### **Les composés azotés**

Sur l'ensemble de la colonne d'eau, tous niveaux confondus, les teneurs en ammonium ont variées entre un minimum de 0,01 mg/l et 0,34 mg/l (Figure 5 C). Les valeurs les plus faibles en ammonium sont enregistrées aux mois d'avril et décembre. Les eaux du fond, par rapport aux eaux des autres niveaux, sont caractérisées par les teneurs les plus importantes au cours du cycle annuel. Des valeurs, plus au moins, importantes sont enregistrées au mois d'aout.

L'azote nitrique exprimé en mg N-NO<sub>3</sub>/l avait subi des fluctuations importantes sur l'ensemble de la colonne d'eau et au cours de l'ensemble du cycle hydrologique (Figure 5 D). La concentration de l'eau en nitrates a varié entre un maximum de 1,55 mg/l enregistrée au mois de juin à S et un minimum de 0,63 mg/l à P3 au mois de décembre. Les valeurs les plus importantes sont marquées aux mois de mars et les faibles teneurs au mois d'avril et mai. Au cours de la période du brassage, une homogénéité est constatée au mois de janvier, par contre au mois de décembre et février, nous nous sommes rendu compte sur un gradient décroissant de S à P3 pour le premier mois et de S à P5 pour le deuxième mois, puis les teneurs en nitrates se sont augmentées vers le fond.

Les teneurs en azote total (Figure 5 E) ont fluctué entre 0,96 mg/l (novembre à la surface) et 2,55 mg/l (juin au fond). Les teneurs les plus faibles sont signalées au mois de novembre, et les plus fortes au mois de mai. En période d'isothermie, surtout aux mois de décembre et février, la différence entre la teneur à la surface et celle au fond était très peu marquée.

Les valeurs en azote ammoniacal étaient faibles par rapport aux nitrates, ceci pourrait être expliqué d'une part par le fait que cet ion est oxydé graduellement en nitrites et nitrates (Galvez-Cloutier et al., 2002) et d'autre part, potentiellement, par sa consommation préférentielle par rapport aux nitrates par les algues si ces derniers en disposent simultanément (Prochaskova et al., 1970). La richesse des eaux du fond en azote ammoniacal pourrait être expliquée par le

relargage de cet élément des sédiments qui constitue la forme prédominante de l'azote inorganique dans ceux-ci (Rosenfeld, 1979) et par le remaniement des sédiments (Benzha et al., 2005) suite aux turbulences créées par l'ouverture de la vidange du fond de la retenue au cours des restitutions.

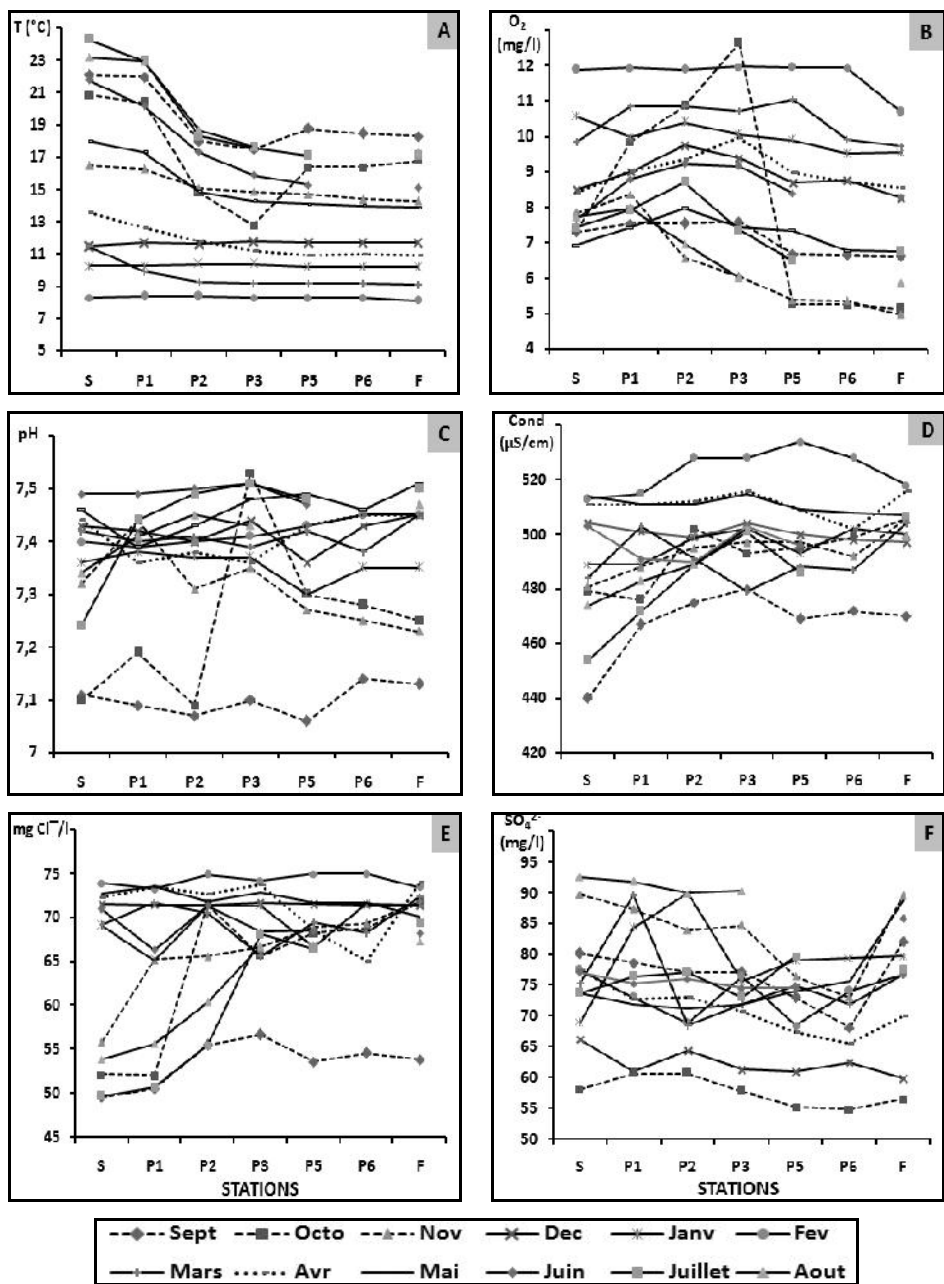
La teneur importante en nitrates, enregistré au mois de mars, correspond probablement à l'effet des eaux chargées en cet élément et qui sont injectées dans le lac par les tributaires qui drainent des sols agricoles et qui ont subi des lessivages par le biais des précipitations hivernales. Toutefois, les concentrations en nitrates relevées dans l'ensemble du plan d'eau sont nettement inférieures à la valeur guide fixée à 11mg N-NO<sub>3</sub>/l par l'OMS pour qu'une eau soit potable (OMS, 2011). Les nitrates ont constitué la fraction la plus importante de l'azote total, ceci laisse suggérer que ce dernier a pour origine le lessivage des sols agricoles (Martinelli et al., 1999).

### **Les composés phosphorés**

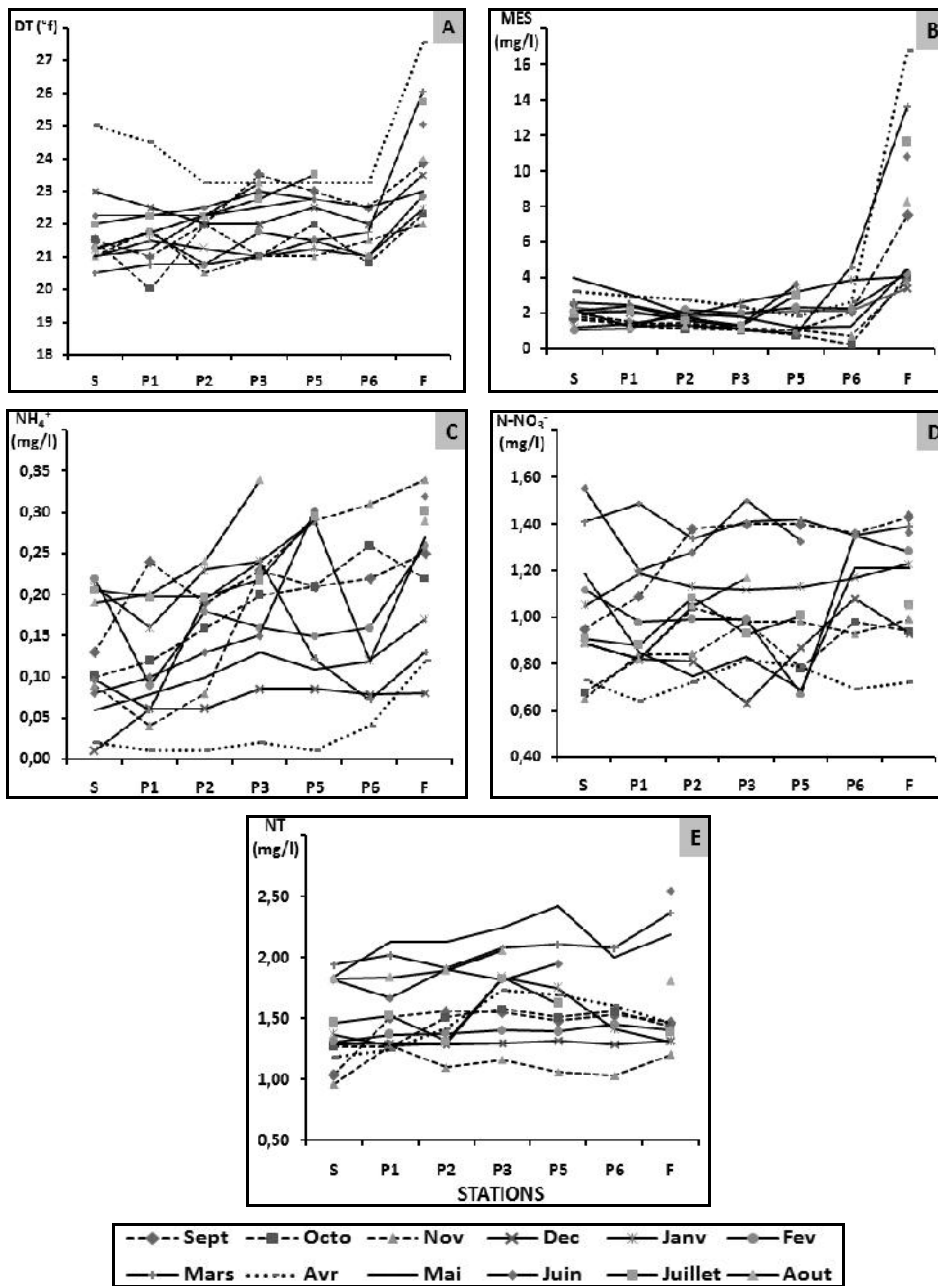
D'une façon générale la teneur de la retenue en orthophosphates était très faible (Figure 6 F). Sur l'ensemble de la colonne d'eau, la concentration en orthophosphates a fluctué entre un minimum de 1,99 µg/l (juillet à la surface) et 9,89 µg/l (avril au fond). Les valeurs les plus faibles sont observées surtout au niveau de S et P1. Toutefois, c'est au fond où l'on a enregistré les valeurs les plus élevées.

D'après la Figure 6 G, les teneurs en phosphore total étaient faibles et s'échelonnent entre 3,34 µg/l comme minimum enregistré à la surface (S) au mois de décembre et 9,97 µg/l comme maximum signalé au fond (F) au mois de mars. Le phosphore total a présenté une allure d'évolution proche de celle des orthophosphates. En période hivernale, la répartition spatiale du phosphore total pendant la période du brassage était relativement homogène. Cependant, en période estivale (juin, juillet et août), sa distribution verticale a montré un gradient croissant de la surface vers le fond.

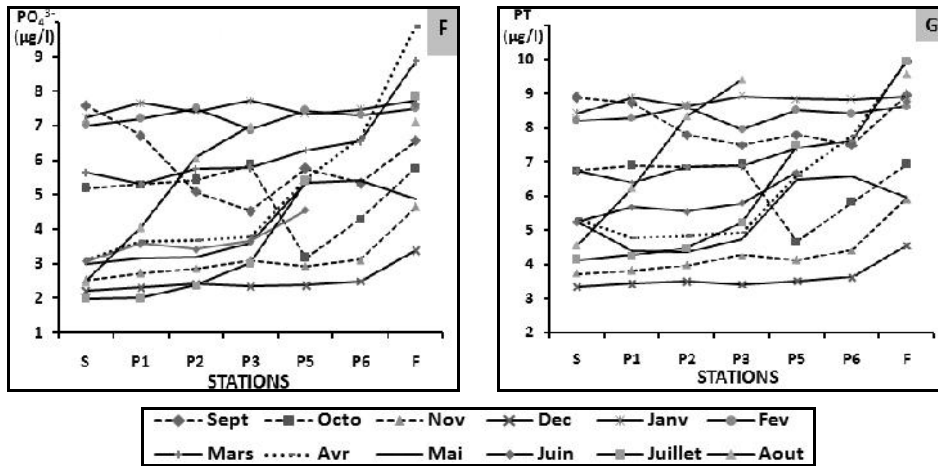
Les eaux du lac sont pauvres en phosphore total et en orthophosphates. Leurs distributions verticales ont présenté une allure d'évolution rapprochée et elles ont montré un gradient croissant de la surface vers le fond. Des travaux antérieurs de Ravera (Ravera et al., 1986) et d'Abdellaoui (Abdellaoui et al., 1998) ont décelé une relation entre les concentrations en phosphore et la biomasse phytoplanctonique. Or, l'appauvrissement en phosphore des couches superficielles des eaux du barrage constituera, vraisemblablement, un facteur limitant la production phytoplanctonique au sein de la retenue. Le maintien de ces conditions pourrait donc contribuer à un retardement de l'eutrophisation des eaux du lac qui constitue un phénomène de vieillissement aboutissant à une dégradation de la qualité de l'eau (Galvez-Cloutier et al., 2002).



**Figure 4:** Variations spatiotemporelles des différents paramètres :  
 A :Température; B : Oxygène dissous; C : pH; D : Conductivité électrique  
 E :Chlorures; F :Sulfates



**Figure 5:** Variations spatiotemporelles des différents paramètres : A : Dureté totale; B : MES; C : Ammonium; D : Nitrates; E : Azote total



**Figure 6:** Variations spatiotemporelles des différents paramètres. F : Orthophosphates; G : Phosphore total

## CONCLUSION

Ce travail de recherche constitue une première contribution à la compréhension des variations physico-chimiques des eaux de ce lac réservoir. Il a permis de répondre à l'objectif fixé. Il en ressort qu'il s'agit d'un lac monomictique chaud, la stratification thermique du lac n'a pas induit une désoxygénation de l'eau des couches profondes ceci grâce à une gestion adéquate de la retenue, ainsi les lâchers à répétition des eaux du fond semblent avoir des répercussions positives sur la qualité de l'eau. Les eaux du barrage Hassan II ont une dureté totale qui s'est située dans la plage des eaux dures, elles ont présenté une minéralisation moyennement accentuée. Les eaux du fond ont présenté des caractéristiques particulières en termes de teneurs en MES, et en nutriments. Les concentrations en phosphore total et en orthophosphates se sont maintenues à des concentrations faibles, éléments permettant un développement phytoplanctonique et pouvant induire une eutrophisation du lac. La persistance de l'ensemble de ces conditions pourrait donc contribuer au maintien de la bonne santé de ce lac via le retardement de son eutrophisation.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABDALLAOUI A., DERRAZ M., BHENABDALLAH M., LEK S. (1998). Contribution à l'étude de la relation entre les différentes formes du phosphore dans les sédiments d'une retenue de barrage eutrophe en climat méditerranéen (El Kansera, Maroc). *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 11, n° 1, p. 101-116.

- ALAOUI L., AGOUMI A., MONCEF M., MOKHLISS K. (2000). Étude du régime thermique de la retenue Al Massira (Maroc). *Hydroécol. Appl.* (2000) Tome 12 Vol. 1-2, pp. 183-206
- AMRANI A., EL WARTITI M., MARINI A., ZAHRAOUI M., NAITZA L. (2006). Analyse du dynamisme morphogénétique du bassin de la haute et moyenne moulouya (maroc) par couplage d'imagerie landsat et du modèle numérique de terrain Télédétection, Vol. 5, n°4, p. 379-391
- BARBE J., LAFONT M., MOUTHON J., PHILIPPE M. (2003). Protocole actualisé de la diagnose rapide des plans d'eau, Juillet, pp 31
- BENZHA F., TAOUFIK M., DAFIR J. E., KEMMOU S., LOUKILI L. (2005). « Qualité physico-chimique des eaux du réservoir Daourat ; impact de la vidange sur son fonctionnement » *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, Vol. 18, numéro hors série, p. 57-74.
- CCME (1999). Conseil canadien des ministres de l'environnement. 1999. Recommandations canadiennes pour la qualité des eaux : protection de la vie aquatique-oxygène dissous (eau douce), dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, Winnipeg, le Conseil.
- DAH (2008). Direction des Aménagements Hydrauliques, Maroc. Compte rendu de la visite d'inspection du barrage Hassan II du 15-05-2008. pp21.
- EL HACHIMI M.L, EL HANBALI M., FEKHAOU M., BOUABDLI A., EL FOUNTI L., SAÏDI N. (2005). Impact d'un site minier abandonné sur l'environnement : cas de la mine de Zeida (Haute Moulouya, Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, n°27, 93-100.
- FOUTLANE A., BOULOUD A., GHEDDA K. (1997). Direction du Laboratoire Qualité des Eaux, ONEP, Rabat, Maroc. *Restauration de la qualité des eaux des retenues de barrages. Freshwater Contamination (Proceedings of Rabat Symposium S4, April-May 1997)*. IAHS Publ. n°. 243.
- GALVEZ-CLOUTIER R., IZE S., ARSENAULT S. (2002). La détérioration des plans d'eau : Manifestations et moyens de lutte contre l'eutrophisation. *Vecteur environnement*; Vol. 35, n° 6, Novembre.
- HCEFLCD: Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la lutte contre la désertification, *Rapports annuels de la pêche, saisons : 2008-2009 et 2009-2010*.
- IGMOULLAN B., SADKI D., FEDAN B., CHELLAI E. (2001). Evolution géodynamique du Haut-Atlas de Midelt (Maroc) pendant le Jurassique : un exemple d'interaction entre la tectonique et l'eustatisme. *Bulletin de l'Institut scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, n°23, 47-54.
- LEWIS JR, WILLIAM M. (1983). A Revised classification of lakes based on mixing. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40 : 1779-1787
- MAKHOUKH M. (2012). Contribution à l'étude physico-chimique des déchets miniers de la haute Moulouya et leurs impacts sur la qualité des eaux et sédiments de l'oued Moulouya : Approches physico-chimiques et

- hydrobiologiques. Thèse du Doctorat national, Université Mohammed Premier, Faculté des Sciences, Oujda, Maroc, 200p.
- MARTINELLI L., KRUSHE A.V., VICTORIA R.L., DE CAMANGO P.B., BERNARDES M., FERRAZ F.S., DE MAREAS J.M., BALLESTER M.V. (1999). Effects of sewage on the chemical composition of Piracicaba river Brasil. *Water, Air and soil Pollution*, 110(1/2), 67-79.
- MELHAOUI M., BOUDOT J.P. (2009). Diagnostic de la biodiversité aquatique dans le Bassin Hydraulique de la Moulouya Projet ABHM/UICN. Rapport d'expertise. UICN Med. Décembre, 113 pages.
- NISBET M. ET VERNEAUX J. (1970). composantes chimiques des eaux courantes discussion et proposition de classes en tant que bases d'interprétation des analyses chimiques. *Annales de Limnologie*, t. 6, fasc. 2, p. 161-190
- OMS (2011). *Guidelines for drinking-water quality - 4th ed.* pp 564. ISBN 978 92 4 154815 1
- PROCHAZKOVA L., BLAZKA P., KVALOVA M. (1970). Chemical changes involving nitrogen metabolism in water and particulate matter during primary production experiments. *Limnol. Oceanogr.*, 15, 797-807.
- RAHOUI M. (2003). Chargé du projet PBREM ENDA Maghreb. Diagnostic de l'état actuel de la gestion des déchets solides dans quatre villes du Bassin Versant de la Moulouya : Midelt, Guercif, Taourirt et Berkane. Actes de l'atelier de Formation technique sur la gestion des déchets solides municipaux-Missour 13-14, Décembre.
- RAVERA O., ANNONI D., BAUDOUIN M.F. (1986). Phosphorus and chlorophyll concentration in lake Monate (Northern Italy). *Arch. Hydrobiol.*, 108, 23-24.
- REMINI W., REMINI B. (2003). La sédimentation dans les barrages de l'Afrique du nord. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 02, Juin, pp. 45-54 Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface.
- RHANEM M. (2009). L'alfa (*Stipa tenacissima L.*) dans la plaine de Midelt (haut bassin versant de la Moulouya, Maroc)- Éléments de climatologie. *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, vol. III, p. 1-20.
- RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., COLL. (2009). L'analyse de l'eau, 9<sup>ème</sup> édition. Ed. Dunod Paris. ISBN: 978- 2-10-054179-9.
- ROSENFELD J. (1979). Ammonium adsorption in nearshore anoxic sediments. *Limnol. Oceanogr.*, 24 (2): 356-364.
- SADANI M., OUZZANI N., MANDI L. (2004). Impact de la sécheresse sur l'évolution de la qualité des eaux du lac Mansour Eddahbi (Ouarzazate, Maroc). *Revue des sciences de l'eau*, 17/1, 69-90
- SNOUSSI M., HAIDA S., IMASSI S. (2002). Effects of the construction of dams on the Moulouya and the Sebou rivers (Morocco). *Reg. Environ. Change*, Vol.3, n° 1-3, Décembre, pp 5-12.
- TREMLAY R., LÉGARÉ S., PIENITZ R., VINCENT W.F. ET HALL R.I. (2001). Étude paléolimnologique de l'histoire trophique du lac Saint-harles,



*Contribution à la caractérisation physico-chimique des eaux du lac réservoir du barrage Hassan II (Province de Midelt, Maroc)*

réservoir d'eau potable de la communauté urbaine de Québec. *Revue des Sciences de l'Eau*, 14/4 : 489-510.