



## **Contribution à l'étude de l'état trophique du barrage Hassan II (Province de Midelt, Maroc)[Contribution to the study of the trophic state of the Hassan II reservoir (Province of Midelt, Morocco)]**

**Chahboune M.\*, Chahlaoui A., Zaid A., Ben moussa A.**

*Equipe 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.*

Received 25 May 2013, Revised 30 June 2013, Accepted 30 June 2013.

\* Corresponding Author: E-mail: [chahboune20@gmail.com](mailto:chahboune20@gmail.com); Tel.: (+212) 667764845

### **Abstract**

Management of water as a vital resource for human society becomes a real challenge. To meet the water needs of increasingly growing, Morocco has an important infrastructure dams. However, these artificial lakes are mostly confronted with two problems: siltation and eutrophication. These two phenomena are mainly favored by the climate, now more and more dry, and the intrinsic characteristics of watersheds. The watershed Moulouya is among the most important watersheds in Morocco, it is home to the present five major dams, the Hassan II dam was filled with water in 2005. This dam is one of the largest Moroccan retained with a maximum storage capacity of 400 million cubic meters. However, increased human activities upstream of the dam could lead to eutrophication of the lake. The aim of our study was to evaluate the trophic status of the reservoir via a monthly monitoring of physico-chemical and biological parameters during the study period from September 2011 to August 2012. The values obtained for each of these parameters are compared with those provided by the Organization for Economic Cooperation and Development (O.E.C.D.). It appears that this is an oligotrophic lake.

*Key words:* Hassan II Dam, Morocco, Nutrient, Chlorophyll-*a*, Eutrophication

### **Résumé**

La gestion de l'eau en tant que ressource indispensable à la société humaine, devient un réel défi. Pour faire face aux besoins en eau de plus en plus croissants, le Maroc s'est doté d'une importante infrastructure de grands barrages. Toutefois, ces lacs artificiels se trouvent confrontés surtout à deux problèmes: l'envasement et l'eutrophisation. Ces deux phénomènes sont principalement favorisés par le climat, actuellement de plus en plus sec, et les caractéristiques intrinsèques des bassins versants. Le bassin versant de la Moulouya est parmi les bassins hydrographiques les plus importants au Maroc, il abrite jusqu'à nos jours cinq grands barrages, dont le barrage Hassan II qui fut mis en eau en 2005. Ce barrage constitue l'une des plus grandes retenues marocaines avec une capacité de stockage maximale de 400 millions de mètres cubes. Or, l'accroissement des activités anthropiques en amont de ce barrage pourrait induire une eutrophisation de ce plan d'eau. L'objectif de notre travail était d'évaluer l'état trophique de la retenue via un suivi mensuel des paramètres physico-chimiques et biologique durant la période d'étude allant du mois de septembre 2011 au mois d'août 2012. Les valeurs obtenues pour chacun de ces paramètres sont ainsi comparées à celles fournies par l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (O.C.D.E.). Il en ressort qu'il s'agit d'un lac oligotrophe.

*Mots clés:* Barrage Hassan II, Maroc, Nutriment, Chlorophylle-*a*, Eutrophisation

### **1- Introduction**

Les ressources hydriques du Maroc sont à la fois limitées et soumises à des pressions accompagnées d'une dégradation croissante de leur qualité. Cette situation risque d'être aggravée par les changements climatiques annoncés pour le Maroc dont les conséquences pourraient avoir des effets néfastes sur le potentiel en ressources en eau, tant du point de vue quantité que qualité [1]. L'imprévisibilité du climat et l'irrégularité des apports en eau et en matières allochtones combinées au caractère stagnant des écosystèmes lenticques sont autant de

facteurs responsables de la fragilité de ces plans d'eau vis-à-vis de l'eutrophisation [2, 3], phénomène qui touche la plupart des retenues marocaines [4].

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 constituant le facteur contraignant de son développement socio-économique [5]. Ce bassin abrite jusqu'à nos jours cinq grands barrages, dont le barrage Hassan II qui fut mis en service en 2005. Après l'envasement partiel qu'a connu le Barrage Mohammed V [6,7, 8], 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 Millions de mètres cubes. Il représente une richesse aux potentialités économiques variées. C'est une importante réserve d'eau destinée à la production de l'eau potable et l'irrigation. Ce barrage contribue également à la protection des zones aval contre les inondations et participe à l'allègement de l'envasement du barrage Mohammed V, situé en aval [9]. 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.

L'accroissement des activités humaines développées en amont, associé au phénomène de l'érosion, pourrait affecter négativement 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 [10] et des 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. A l'ensemble de ces formes de pollution, déversées sans traitement, dans les oueds, s'ajoute le processus naturel de l'érosion du sol; en effet, toutes les terres du bassin versant de Moulouya présentent des risques d'érosion hydrique élevés [8]. Cette pollution d'origines naturelle et anthropique pourrait avoir pour conséquence l'accélération du processus d'eutrophisation au sein de la retenue. Aucune étude au préalable n'a été menée sur l'état trophique de ce site, et c'est dans ce cadre que vient s'insérer le présent travail qui vise à caractériser l'état trophique du barrage Hassan II pour la période allant du mois de septembre 2011 au mois d'août 2012.

## 2- Présentation du milieu d'étude

Le barrage Hassan II, dont les caractéristiques morphométriques et hydrologiques sont rapportées dans le Tableau 1, se trouve dans la plaine de Midelt (Sud-est de la région de Meknès-Tafilalt au centre du Maroc). (Figure 1).

**Tableau 1:** Caractéristiques morphométriques et hydrologiques du Barrage Hassan II [9]

<b>Caractéristiques hydrologique et générale du bassin versant et de la retenue</b>		Aire du bassin versant naturel : 3300 km <sup>2</sup> ; Apport moyen annuel : 220 Million de m <sup>3</sup> (Mm <sup>3</sup> ).
<b>Caractéristiques de la retenue</b>		Niveau de la retenue à la cote normale: 1370 NGM (Nivellement Général du Maroc); Aire de la retenue à la cote normale : 12,7 km <sup>2</sup> ; Volume de la retenue à la cote normale: 400 Mm <sup>3</sup> ; Volume régularisé moyen annuel 100 Mm <sup>3</sup> .
<b>Caractéristiques des ouvrages</b>	<b>Barrage</b>	Type : poids en Betton Compacté au Rouleau (BCR) ; Hauteur maximale sur Fondation : 115m; Longueur en crête : 600m ; Largeur en crête : 7m ; Terrain de fondation : Granite ; Cote de la crête : 1375.00 NGM ; Volume du corps du barrage : 600000 m <sup>3</sup> .
	<b>Vidange du fond</b>	Cote du seuil : 1298.00 NGM.
	<b>Prise d'eau potable</b>	Type : tour bétonnée avec 4 niveaux de prise ; 1323.00, 1333.00, 1343.00 et 1353.00 NGM ; Débit maximum : 1m <sup>3</sup> /s.
	<b>Prise agricole</b>	Cote de la prise : 1315 NGM

Le barrage est situé dans la haute Moulouya qui se caractérise par un climat aride froid à tendance montagnarde [11]. Le régime pluviométrique est marqué par de faibles précipitations extrêmement variables et irrégulières, les précipitations orageuses apportent des produits érodés de l'amont. Parfois, lorsque 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 [12].

Le couvert végétal, dispersé, est représenté essentiellement par des touffes de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) [13]. Le bassin versant du barrage est drainé par deux principaux tributaires : oued Moulouya et oued Ansegrim qui reçoivent tout au long de leurs cours amont les rejets domestiques des agglomérations: Boumia, Zaida et Ait Ayache, ainsi que des 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.

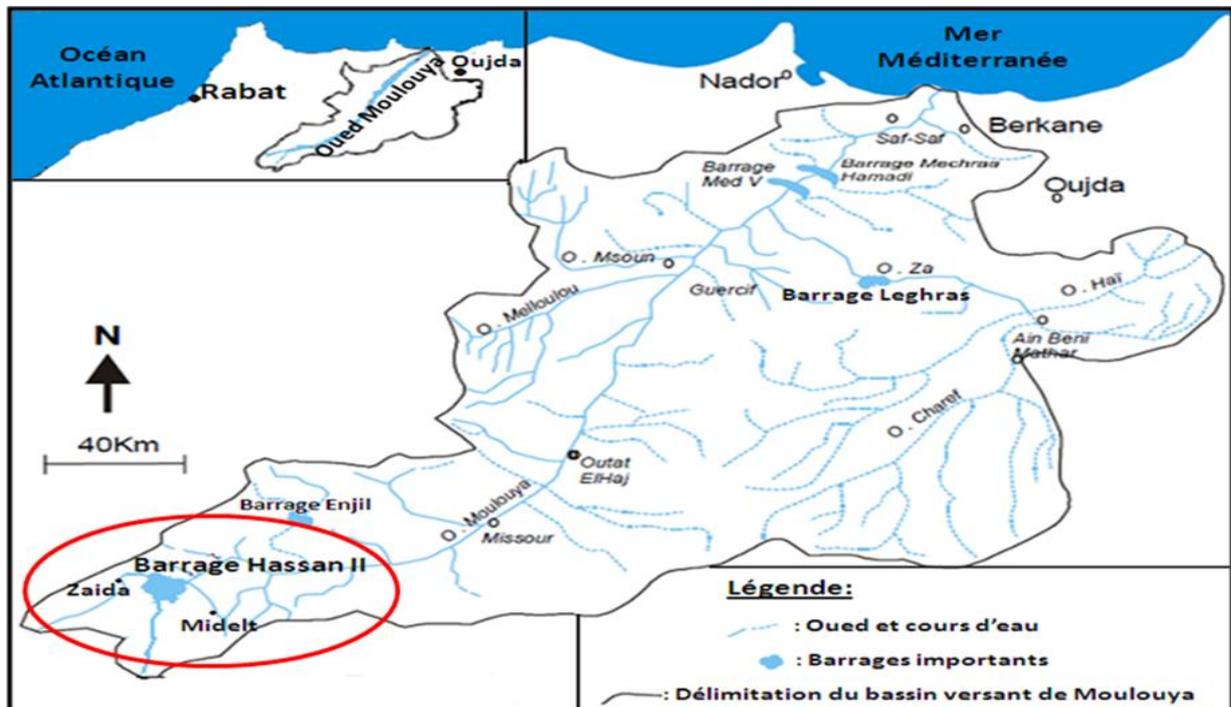


Figure 1: Situation géographique du Barrage Hassan II au sein du Bassin de la Moulouya [14] (avec modifications)

## 2- Matériel et méthodes

### 2-1 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 [15]. 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), 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, soient 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 août et P6 en juin, juillet et août, ceci était dû aux variations du niveau du lac suite aux lâchers d'eau qu'a connus le barrage (Figure 3). Le choix des profondeurs à prospecter était le fruit d'un suivi de la température de l'eau et de l'oxygène dissous dans l'eau, mètre par mètre, à raison de deux fois par mois pendant trois mois consécutifs au cours de la période de stratification thermique du lac ; d'ailleurs, la température est considérée comme facteur déterminant qui influence fortement les cinétiques chimique et biologique au sein des lacs [16]; l'oxygène dissous est considéré, comme le paramètre le plus fondamental de la qualité de l'eau [17].

### 2-2 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 à 4°C, puis ils sont acheminés vers le laboratoire "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 à l'aide d'un électro-thermomètre. L'oxygène dissous a été également dosé, sur place, selon la méthode de Winkler modifiée par Alsterberg [18] et le disque de Secchi nous a servi à mesurer la transparence de l'eau du lac. Pour les autres paramètres (Matières en suspension, Chlorophylle-a et Phosphore total), les analyses ont été effectuées selon les méthodes décrites par Rodier [18].

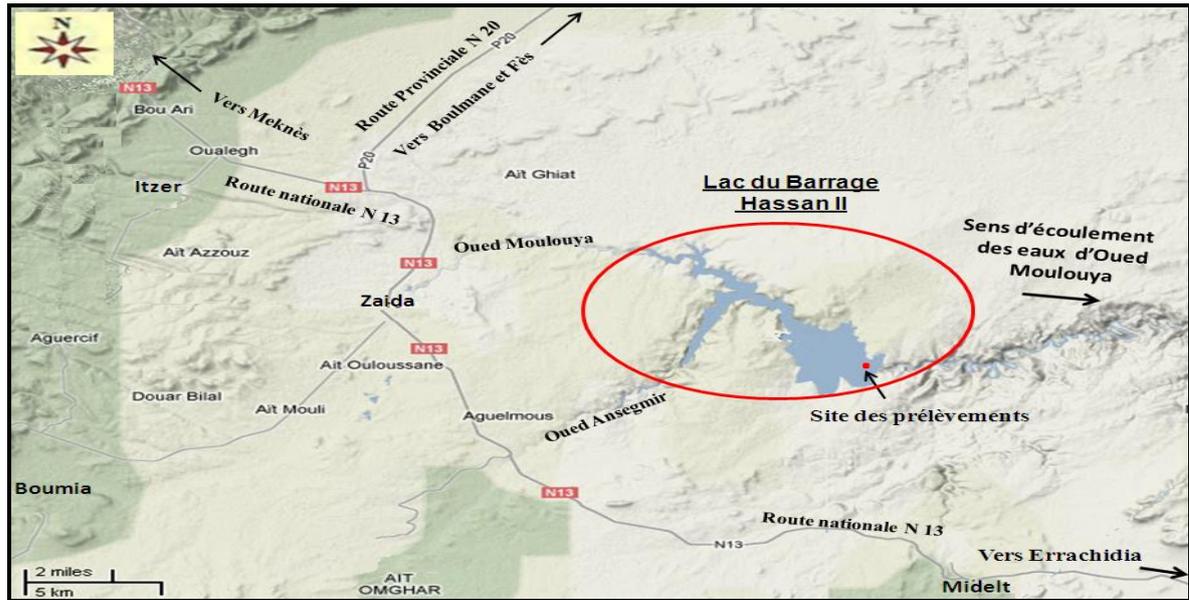


Figure 2: Localisation du site d'échantillonnage au lac réservoir du Barrage Hassan II (Source carte: <http://earth.google.fr>; avec modifications: consulté le 30-04-2013).

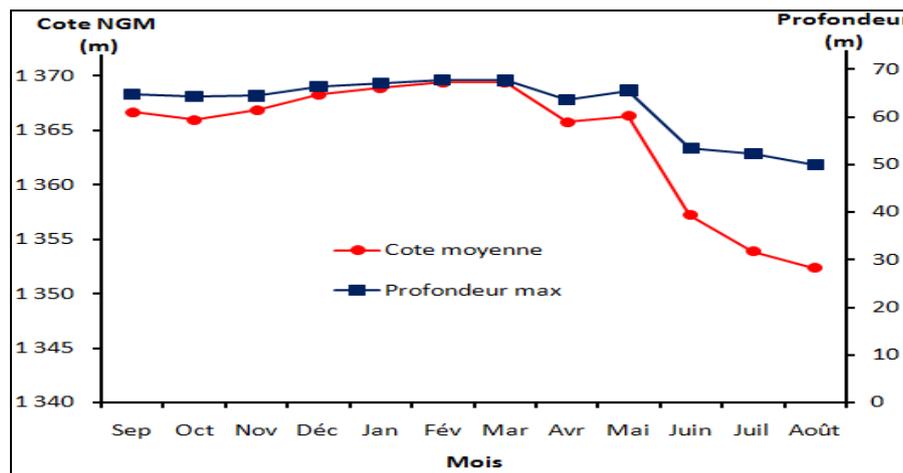


Figure 3: Evolution du niveau du lac (cote moyenne) et de la profondeur maximale au site d'échantillonnage du barrage Hassan II au cours de la période d'étude

### 2-3 Analyse des données:

Dans le cadre de ce travail, nous avons adopté la classification trophique des eaux élaborée par l'O.C.D.E. (1982) [19]. Ce système combine l'information concernant l'état des nutriments et la biomasse algale. Il prend en compte les paramètres suivants : le phosphore total, la chlorophylle-*a* et la transparence (Tableau 2). La comparaison des moyennes, de chaque paramètre, à un seuil de signification de 5% est mesurée par le test t en utilisant le logiciel SPSS. Les variables mesurées sont soumises à l'Analyse en Composantes Principales (ACP) pour déterminer la relation entre les paramètres étudiés et la distribution des stations; le logiciel employé est Statistica (version 9).

Tableau 2: Valeurs limites du système de classification trophique des eaux selon l'O.C.D.E. (1982) [19].

Etat trophique	Secchi <sub>m</sub> (m)	Secchi <sub>min</sub> (m)	Chl. <i>a</i> <sub>m</sub> (mg.m <sup>-3</sup> )	Chl. <i>a</i> <sub>max</sub> (mg.m <sup>-3</sup> )	PT <sub>m</sub> (mg.m <sup>-3</sup> )
Oligotrophe	≥ 6	≥ 3	≤ 2,5	≤ 8	≤ 10
Mésotrophe	6-3	3-1,5	2,5-8	8-25	10-35
Eutrophe	3-1,5	1,5-0,7	8-25	25-75	35-100
Hypereutrophe	≤ 1,5	≤ 0,7	≥ 25	≥ 75	≥ 100

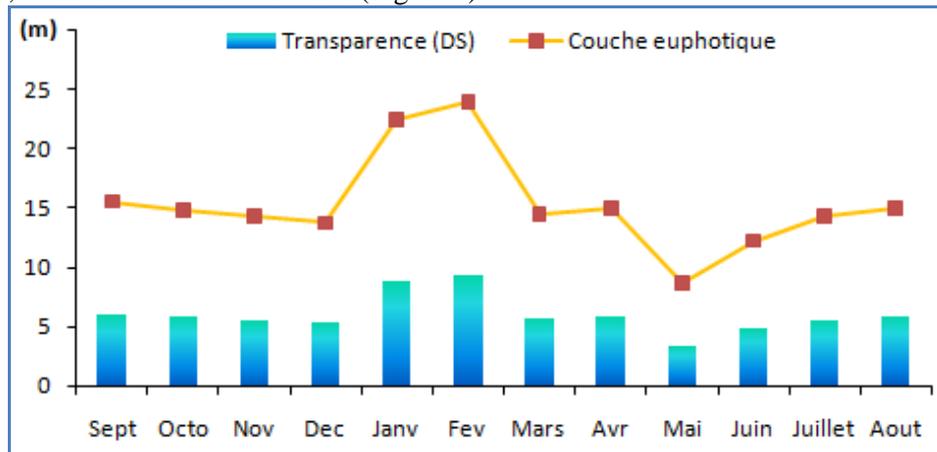
m : moyenne annuelle, max : valeur maximale, min : valeur minimale,

### 3- Résultats et discussion

#### 3-1 Analyse descriptive

##### Transparence et couche euphotique

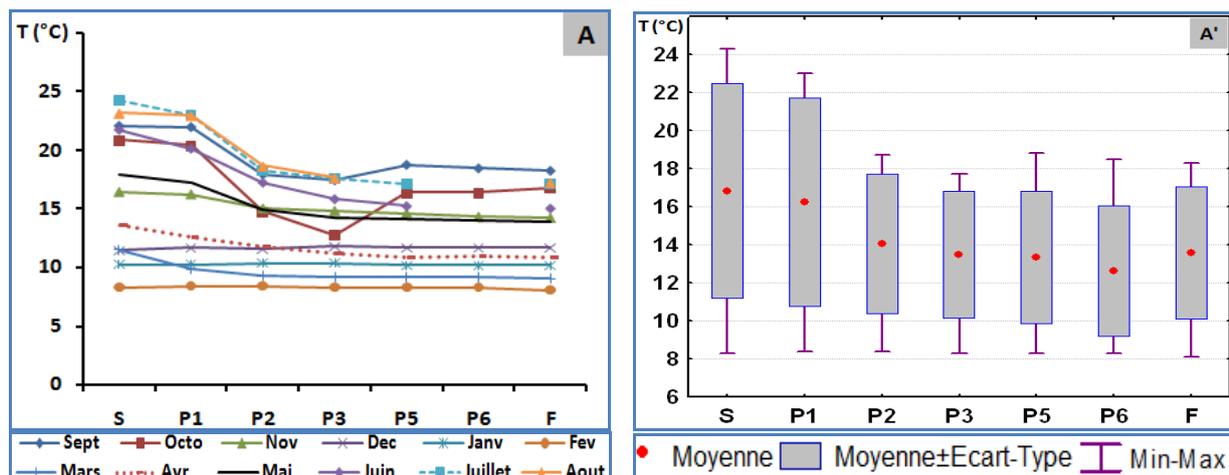
La transparence de l'eau est évaluée par la profondeur de disparition du Disque de Secchi (DS); elle a manifesté une variation au cours de la période d'étude entre un minimum de 3,4 m enregistré en mai et un maximum de 9,4 m le mois de février. Toutefois la transparence moyenne a été de l'ordre de 6,03 mètres ce qui correspond à une couche euphotique d'environ 15,43 mètres d'épaisseur. La phase des eaux claires est bien marquée aux mois de janvier et février avec 8,8 mètres et 9,4 mètres de transparence respectivement. L'estimation grossière de la couche euphotique déterminée à partir de la mesure au disque de Secchi (couche euphotique = 2,56\*DS) a montré que l'épaisseur de celle-ci a varié entre un minimum de 8,7 mètres au mois de mai et un maximum de 24,06 mètres au mois de février (Figure 4).



**Figure 4:** Evolution de la transparence et de l'épaisseur de la couche euphotique au niveau de la retenue du Barrage Hassan II au cours de la période d'étude

##### Température (T°)

La température des eaux a présenté des fluctuations au cours du temps (Figure 5 A). Les valeurs de la température sont homogènes sur l'ensemble de la colonne d'eau du mois de décembre au mois de février, il s'agit d'une période d'homothermie hivernale ou brassage, suivie d'une période de stratification thermique dont l'ébauche apparaît au mois de mars pour s'achever le mois de novembre.



**Figure 5:** Evolution mensuelle de la température de l'eau (A), et de sa moyenne annuelle, écart type, maxima et minima (A') dans le lac du barrage Hassan II au cours de la période d'étude

Nous notons toutefois, que la profondeur de la thermocline a été observée à partir de la profondeur de 10 mètres (P1), différenciant ainsi un épilimnion (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 30 mètres (P3), puis le lac continue à se refroidir pour atteindre une température d'homothermie minimale de 8,3°C en février. Les moyennes de température (Figure 5A') ont présenté une allure d'évolution montrant qu'il y'avait un gradient décroissant de la surface vers P6 puis une légère augmentation vers le fond. Toutefois la comparaison des moyennes a montré qu'avec un seuil de signification de 5%, la température de la surface comparée à celle des autres stations et celle de P1 comparée à celle des autres stations étaient significativement différentes ( $p < 0,05$ ). La température à P2 n'a différé significativement qu'avec celle de S, P1, et P3. Les températures moyennes des stations P3, P5, P6 et F, comparées entre elles, n'ont présenté aucune différence significative ( $p > 0,05$ ).

### Oxygène dissous (O<sub>2</sub>)

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 6B). Sur toute la colonne d'eau, c'est au fond du lac que les valeurs les plus faibles en oxygène dissous ont été observées. Les valeurs minimales enregistrées étaient 4,97 mg/l, 5,14 mg/l et 5,88mg/l les mois de novembre, octobre et août dans le même ordre. 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 le 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 en février). Toutefois, une valeur élevée de 12,66 mg/l a été notée le mois d'octobre à P3. L'évolution des moyennes des teneurs en oxygène dissous (Figure 6B') a montré qu'il y'avait un gradient croissant de S à P2, puis un gradient décroissant de P2 au Fond. Toutefois la comparaison des moyennes a révélé qu'avec un risque d'erreur de 5%, nous avons observé, de façon significative ( $p < 0,05$ ), une augmentation de S à P1. La moyenne des teneurs en oxygène dissous des eaux du fond comparé à celles des eaux de S, P1, P2, P3 et P5 étaient significativement différentes ( $p < 0,05$ ). Les concentrations moyennes en oxygène dissous des stations P1, P2 et P3, comparées entre elles, et les teneurs moyennes à P3, P5 et P6, comparées entre elles, n'ont présentées aucune différence significative ( $p > 0,05$ ).

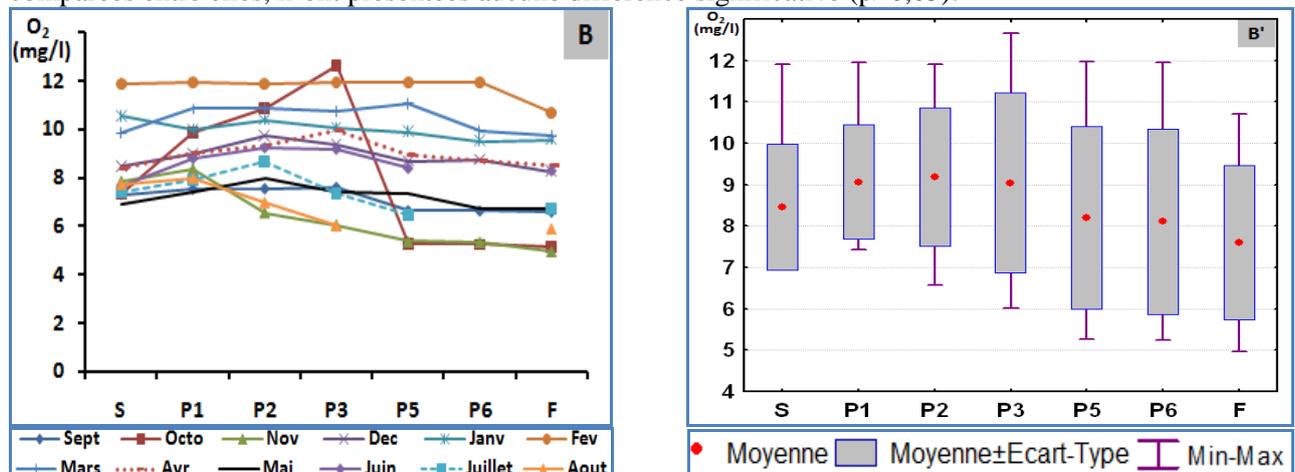


Figure 6: Evolution mensuelle de l'oxygène dissous (B), et de sa moyenne annuelle, écart type, maxima et minima (B') dans le lac du barrage Hassan II au cours de la période d'étude

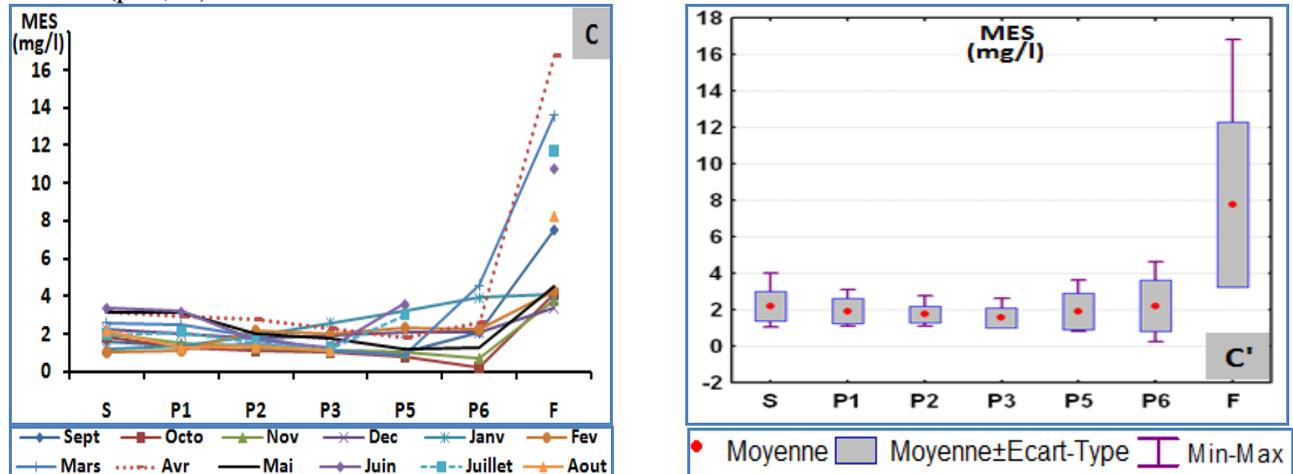
### Matières En Suspension (MES)

De S à P6, la concentration en MES était faible (Figure 7C). Puis une inflexion importante s'est produite au niveau du fond, où nous avons enregistré des teneurs élevées (un minimum de 3,4mg/l en décembre et un maximum de 16,8 mg/l en avril). A la surface et au niveau du P1, c'était surtout au printemps et début d'été (mars, avril, mai et juin) où nous avons enregistré les teneurs les plus importantes en MES. L'évolution des moyennes (Figure 7C') a montré que la teneur en MES au niveau du fond a différé significativement ( $p < 0,05$ ) avec la teneur moyenne au niveau des autres stations. Une autre différence significative ( $p < 0,05$ ) est signalée en comparant les concentrations moyennes à S et P3.

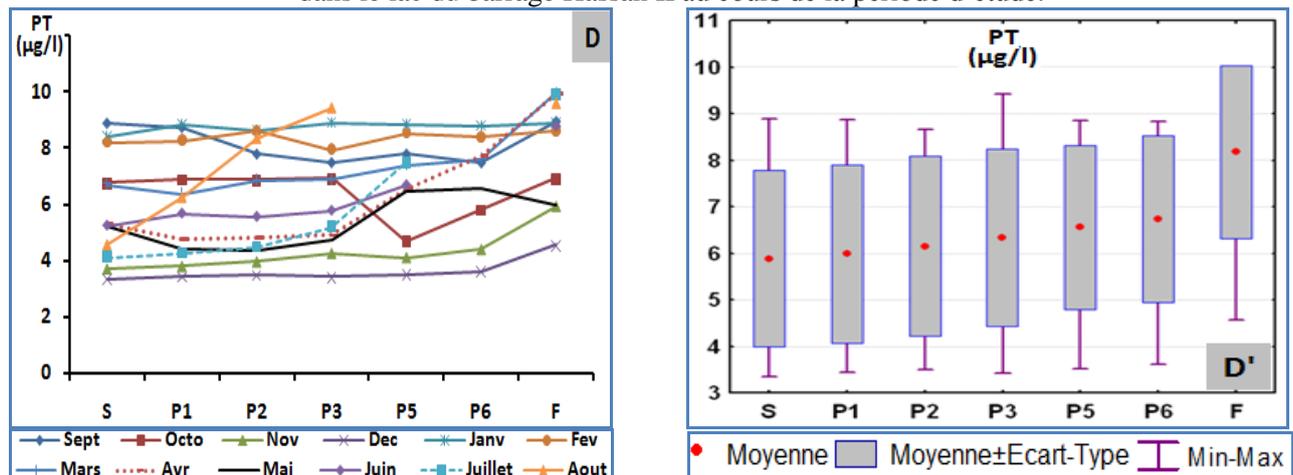
### Phosphore total (PT)

Les teneurs en phosphore total étaient faibles (Figure 8D) 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) en mars. 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. L'évolution des teneurs moyennes en phosphore total (Figure 8D'), a révélé un gradient croissant de la surface au fond du lac. Toutefois la comparaison des moyennes a montré une augmentation de façon non significative ( $p>0,05$ ) de la teneur moyenne en phosphore total de S à P6, cependant la concentration des eaux du fond en ce nutriment ont différé significativement avec les teneurs des différentes stations ( $p<0,05$ ).



**Figure 7:** Evolution mensuelle des MES (C), et de sa moyenne annuelle, écart type, maxima et minima (C') dans le lac du barrage Hassan II au cours de la période d'étude.



**Figure 8:** Evolution mensuelle du phosphore total (D), et de sa moyenne annuelle, écart type, maxima et minima (D') dans le lac du barrage Hassan II au cours de la période d'étude

### Chlorophylle-a (chl a)

L'évolution des concentrations de la chlorophylle-a (Figure 9E) a montré un gradient franchement décroissant de la surface vers le fond. Les stations S et P1 ont été le siège de l'enregistrement des teneurs les plus importantes en cet élément. Au cours de la période d'étude, les eaux du lac ont présenté deux phases de production bien individualisées: la première assez faible en décembre avec un maximum de  $2,65 \mu\text{g.l}^{-1}$  et  $2,45 \mu\text{g.l}^{-1}$  à S et P1 respectivement, et une autre plus importante que la première et qui a débuté le mois de mars et s'est poursuivie jusqu'au mois de juin où elle a atteint son pic de  $3,5 \mu\text{g.l}^{-1}$  et  $3,67 \mu\text{g.l}^{-1}$  à S et P1 respectivement. Les concentrations les plus faibles en chlorophylle-a étaient signalées aux mois de janvier et février. L'évolution des teneurs moyennes en chlorophylle-a (Figure 9E') a montré un gradient décroissant net de la surface vers le fond de la retenue. La comparaison des moyennes a montré que seules les moyennes à S et à P1 qui n'ont pas différé significativement ( $p>0,05$ ).

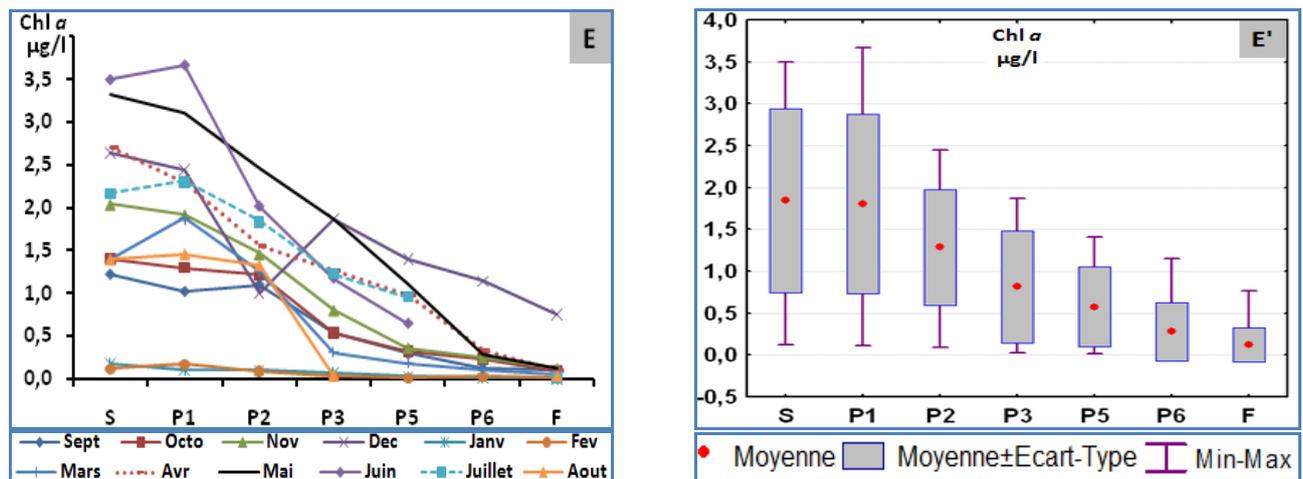
### 3-2 Analyse explicative

Cette analyse a été réalisée sur un tableau de données de sept individus (stations) et de cinq variables: Température de l'eau ( $T^{\circ}\text{eau}$ ), phosphore total (PT), Oxygène dissous (Ox), Matières En Suspension (MES) et

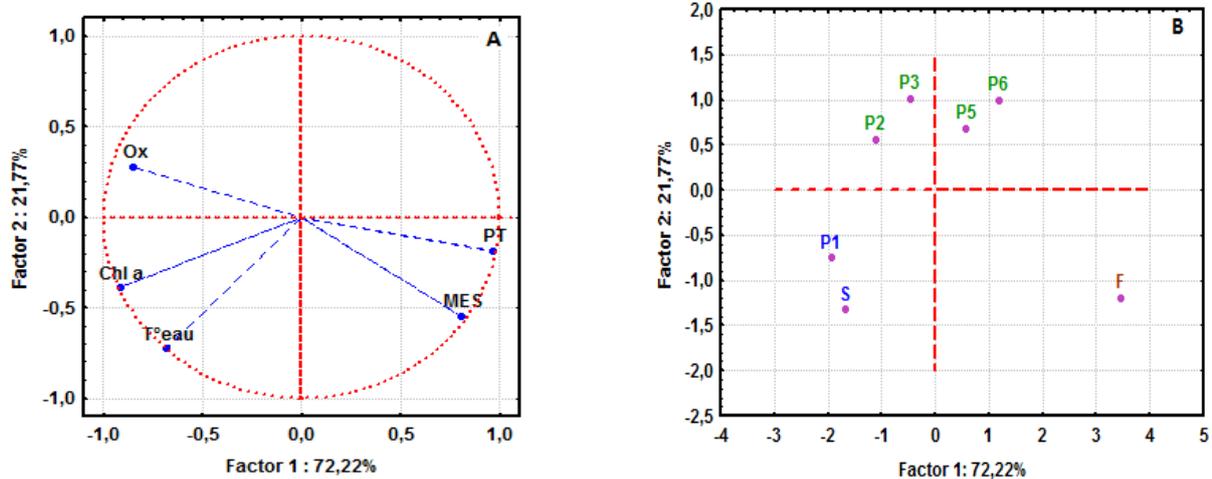
Chlorophylle-*a* (Chl *a*). Le plan factoriel F1-F2 nous a permis d'expliquer 93,99 % de la variabilité totale. La projection des variables sur le plan factoriel F1- F2 (Figure 10A) montre que:

Le phosphore total et les MES sont corrélés positivement avec F1, contrairement à l'oxygène dissous et la chlorophylle-*a* qui sont associés négativement à cet axe. Ce dernier oppose donc les eaux chargées en MES et en PT aux eaux bien oxygénées et plus ou moins riche en chlorophylle-*a*. La température de l'eau est corrélée négativement avec F2. La juxtaposition des deux plans factoriels F1-F2, des variables (Figure 10A) et celui des stations (Figure 10B), a montré que :

- ✓ La station P1 est caractérisée par des teneurs importantes en oxygène dissous et en chlorophylle-*a*.
- ✓ La station F possède des caractéristiques distinctes des autres stations de la retenue: eaux moins oxygénées et riche en MES et en PT.
- ✓ La température est importante dans la station S et moins importante dans les stations: P2, P3, P5 et P6.



**Figure 9:** Evolution mensuelle de la chlorophylle-*a* (E), et de sa moyenne annuelle, écart type, maxima et minima (E') dans le lac du barrage Hassan II au cours de la période d'étude



**Figure 10:** Analyse en Composantes Principales des paramètres physico-chimiques :

(A) carte des paramètres physico-chimique; (B): carte des stations. Température de l'eau (T° eau); Oxygène dissous (Ox); Matières en suspension (MES); Phosphore total (PT) et Chlorophylle-*a* (Chl *a*).

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 le 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 [20].

Les eaux du lac, tous les niveaux de la colonne d'eau confondus, 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, ayant provoqué, au cours du 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,
- ✓ l'empoissonnement de la retenue par la carpe argentée, espèce connue par son pouvoir algivore [21]: déversement de 400.000 carpillons au cours de la saison 2008-2009 et 100.000 carpillons au cours de la saison 2009-2010 [22], pouvant 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 [23].

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. D'autre part, elles peuvent être dues au phénomène de bioturbation comme il a été signalé par Sadani dans son étude sur le lac Mansour Eddahbi [3] 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 [24]. Les teneurs en MES, plus au moins, importantes, signalées dans les couches superficielles pourraient coïncider avec la phase de production phytoplanctonique et qui est expliquée par une corrélation positive entre les MES et la concentration en Chlorophylle-*a* en surface et en P1 (coefficient de détermination  $R^2=0,79$  et  $R^2=0,72$  à S et à P1 respectivement).

Généralement les eaux de la retenue du barrage sont claires; la transparence moyenne est située aux alentours de 6,03 m; à titre de comparaison, cette valeur est supérieure à celle trouvée par Alfaïdy au niveau de la retenue Daourat [25]. La phase des eaux claires pendant les mois de janvier et février est bien marquée par l'envahissement du barrage par les zooplanctons au cours de cette période. L'éclaircissement des eaux est donc favorisé par les zooplanctons prédateurs des phytoplanctons, comme il l'a été signalé Mokhliss dans son étude sur la retenue de barrage Al Massira [26]. La valeur faible de la transparence en mai était due aux mauvaises conditions climatiques (vents de forte intensité) ayant caractérisées le jour du prélèvement.

Les eaux du lac sont pauvres en phosphore total. Sa distribution verticale a montré un gradient croissant de la surface vers le fond. Des travaux antérieurs de Ravera [27] et d'Abdellaoui [28] 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 [29]. En toute logique, les faibles teneurs en phosphore total sont enregistrées en période de productivité algale, expliquées par une forte corrélation négative entre le phosphore total et la chlorophylle-*a*. Cette dernière, considérée comme un indicateur de la biomasse d'algues microscopiques présentes dans le lac, a présenté deux pics de production phytoplanctonique, un premier faible vers la fin de l'automne, et un autre en été, plus important que le premier. L'évolution de la biomasse à la surface et à P1, représentée par la concentration de la chlorophylle-*a*, est inversement corrélée avec la transparence ( $R^2 = 0,76$ ).

Les résultats obtenus, comparés aux données fournis par le système de classification de l'eau établi par l'O.C.D.E (1982) [19], ont permis d'évaluer le stade trophique de ce lac réservoir, classant celui-ci comme étant oligotrophe. Selon ces paramètres, aucun signe de vieillissement n'a apparu sur ce plan d'eau.

## **Conclusion**

Ce travail de recherche constitue une première contribution à la compréhension du niveau trophique des eaux de ce lac réservoir. Ainsi, le lac du barrage Hassan II est un lac monomictique chaud: il n'a jamais arrivé à un stade anoxique au cours de la période d'étude. Le lac, à mise en eau récente, est oligotrophe, et caractérisé par des eaux pauvres en phosphore, transparentes et bien oxygénées ainsi que par une faible production algale. Le maintien de ces conditions pourrait donc contribuer à un retardement de l'eutrophisation des eaux du lac. Ce travail mérite d'être complété par des travaux futurs afin de déterminer les espèces phytoplanctoniques peuplant la retenue et de procéder à des analyses comparées avec d'autres retenues marocaines.

**Remerciements**-Nous tenons à remercier tous les responsables de l'Agence du Bassin Hydraulique de Moulouya à Oujda et plus spécialement ceux de la délégation dudit agence à Midelt: le Délégué Mr. Kouyess, et les autres agents: Mr. Mouhssine, Mr. Chehmi Ckerki, Mr. Yahya, Mr. Aboubker et toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

## Références

1. Alibou J., Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau et les zones humides du Maroc, Table Ronde Régionale en Méditerranée Athènes, Grèce, Décembre 10-11, (2002).
2. Chahlaoui A., Essai d'évaluation hydrobiologique de l'impact écologique d'un barrage collinaire : Ait Lamrabtiya (Oulmès) sur l'environnement et la santé. Thèse pour l'obtention du diplôme d'études supérieures de 3ème cycle, Université Mohammed V, Faculté des Sciences, Rabat (1990).
3. Sadani M., Ouazzani N., Mandi L. *Revue des sciences de l'eau*, 17 (2004) 69.
4. Delhi R., Benzha F., Hilali A., Tahiri M., Kaoukaya A., Baidder L., Rhinane. H., Hangouet J. P., *ScienceLib Editions Mersenne*, 4 (2012) 20.
5. Melhaoui M et J.P Boudot. Diagnostic de la biodiversité aquatique dans le Bassin Hydraulique de la Moulouya Projet ABHM/UICN. Rapport d'expertise. UICN Med. (2009).
6. Ahamrouni Jamal, Erosion hydrique dans le bassin versant de la Moulouya (Maroc Oriental). Recherche des zones sources d'envasement de la retenue du barrage Mohammed V. Thèse présentée pour l'obtention du diplôme de Docteur de 3ème cycle. Université Cheikh Anta Diop, Faculté des Sciences et Techniques, Dakar, Sénégal (1996).
7. Snoussi M., Haida S. et Imassi S., *Reg. Environ. Change*, 3 (2002) 5.
8. Belguenani H. et Oukhira B., *Revue H.T.E.*, 24 (2002) 102.
9. DAH : Direction des Aménagements Hydrauliques, Maroc. Compte rendu de la visite d'inspection du barrage Hassan II, (2008).
10. Rahoui M. 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 – Missouri (2003).
11. EL Hachimi M.L, El Hanbali m., Fekhaoui M., Bouabdli A., El Founti L., Saïdi N., *Bulletin del'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, 27 (2005) 93.
12. Amrani A., El Wartiti M., Marini A., Zahraoui M. et Naitza L. *Téledétection*, 5 (2006) 379.
13. Rhanem M. *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, 3 (2009) 1.
14. Dakki M., El Fellah B., Fekhaoui M., El Houadi B. et Benhoussa A. Diagnostic pour l'aménagement des Zones humides du nord-est du Maroc: Embouchure de la moulouya. Rapport définitif, (2003).
15. Barbe J., Lafont M., Mouthon J., Philippe M. Protocole actualisé de la diagnose rapide des plans d'eau, (2003).
16. Alaoui L., Agoumi A., Moncef M., Mokhliss K. *Hydroécol. Appl*, 12 (2000) 83.
17. CCME : Conseil canadien des ministres de l'environnement. 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 (1999).
18. Rodier J., Legube B., Merlet N. et coll. L'analyse de l'eau, 9ème édition. Ed. Dunod Paris. (2009).
19. O.C.D.E. 1982. Eutrophisation des eaux: méthode de surveillance, d'évaluation et de lutte. Organisation de Coopération et de Développement Economiques (1982).
20. Lewis Jr, William M. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40 (1983) 1779.
21. Foutlane A., Bouloud A. et Ghedda K., Maroc. Restauration de la qualité des eaux des retenues de barrages. Freshwater Contamination. *IAHS Publ.* 243 (1997).
22. 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.
23. Foutlane A., Bourchich L. et Bouloud A., *La revue de santé de la méditerranée orientale*, 5 (1999) 816.
24. Remini W., Remini B. La sédimentation dans les barrages de l'Afrique du nord. *Larhyss J.*, 2 (2003) 45.
25. Alfaidy B., Fahde A. et Devaux J. *Sécheresse* ; 10 (1999) 213.
26. Mokhliss K., Moncef M. et Alaoui L., *Hydroécol. Appl.* 13 (2001) 175.
27. Ravera O., Annoni D., Baudouin M.F. *Arch. Hydrobiol.*, 108 (1986) 23.
28. Abdallaoui A., Derraz M., Z. Bhenabdallah M. et Lek S., *Revue des sciences de l'eau*, 11 (1998) 101.
29. Barroin G. Phosphore, azote, carbone... du facteur limitant au facteur de maîtrise. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 52 (2004) 25.