

Étude de la qualité des eaux d'une retenue située sous climat aride : cas du barrage Hassan II (Province de Midelt, Maroc)

Mohamed CHAHBOUNE*, Abdelkader CHAHLAOUI et Abdelhamid ZAID

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

* Correspondance, courriel : chahboune20@gmail.com

Résumé

Les ressources hydriques dont dispose le Maroc sont limitées. Elles sont, par ailleurs, soumises à des variations cycliques extrêmes traduites par la succession des cycles de sécheresse aigue. Celle-ci est devenue un phénomène très fréquent au Maroc, qui contribue à la dégradation des zones humides nationales. Pour subvenir aux besoins en eau de plus en plus croissants, le Maroc s'est doté d'une importante infrastructure de grands barrages. Toutefois, la faisabilité et la gestion de ces ouvrages aménagés se trouvent confrontées à deux problèmes: l'envasement et l'eutrophisation. Ces deux phénomènes sont principalement favorisés par la nature du climat 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 mise 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. Il contrôle un bassin versant de 3 300 km². Il a comme vocations principales la production d'eau potable, l'irrigation, et la protection des zones aval contre les inondations. Or la prolifération des activités anthropiques, en amont, associées aux caractéristiques du climat de la région d'implantation du barrage, pourront être à l'origine de la dégradation de la qualité de ce plan d'eau. Notre travail étalé sur la période allant de septembre 2011 à août 2012 avait pour objectifs d'étudier la qualité des eaux du réservoir Hassan II et d'en déterminer l'état trophique. Il en ressort qu'il s'agit d'un lac oligotrophe avec une qualité de l'eau allant du bonne à excellente.

Mots-clés : *barrage Hassan II, Maroc, climat, eau, qualité, eutrophisation.*

Abstract

Study of water quality of a reservoir located in arid climate: the case of Hassan II dam (Midelt Province, Morocco)

The water resources of Morocco are limited. They are also subjected to extreme cyclical variations resulted in the succession of cycles of acute drought. This has become a very common phenomenon in Morocco, which contributes to the degradation of national wetlands. To meet the water needs of increasingly growing,

Morocco has an important infrastructure of dams. However, the feasibility and management of these structures are facing two problems: siltation and eutrophication. These two phenomena are mainly favored by the nature of the climate and the intrinsic characteristics of watersheds. The basin of Moulouya is among the most important watersheds in Morocco, it contains to the present five major dams, among them the Hassan II dam, which became operational in 2005. This dam is one of the largest Moroccan retained with a maximum storage capacity of 400 million cubic meters. It controls a catchment area of 3300 km². It has as main purposes the production of drinking water, irrigation, and protection of downstream areas against flooding. But the proliferation of human activities in its upstream associated with climate characteristics of the implantation region of the dam will cause degradation of the quality of its water. Our work spread over the period from September 2011 to August 2012 was aimed to study the water quality of Hassan II reservoir and determine its trophic status. It appears that this is an oligotrophic lake with water quality ranging from good to excellent.

Keywords : *Hassan II dam, Morocco, climate, water quality, eutrophication.*

1. Introduction

Au Maroc, pays à climat semi-aride, le développement des agglomérations urbaines, la pression démographique et la limitation des ressources en eau souterraine font que le pays a de plus en plus recours aux eaux superficielles pour satisfaire en quantité suffisante, les besoins des populations en eau potable et industrielle [1]. Pour remédier à cette situation, le Maroc s'est doté, d'une importante infrastructure de grands barrages. Toutefois, la faisabilité et la gestion de ces ouvrages aménagés se trouvent confrontées à deux problèmes : l'envasement et l'eutrophisation [2]. Ces deux phénomènes sont principalement favorisés par le climat actuellement de plus en plus sec et les caractéristiques intrinsèques des bassins versants. Or, la variabilité spatio-temporelle des précipitations est considérable et constitue une caractéristique du climat du Maroc. Elle occasionne des périodes de sécheresse qui peuvent durer plus de deux années, et des inondations dues à des orages violents ou à des perturbations météorologiques généralisées [3], favorisant le processus naturel de l'érosion des sols, au sein des bassins versant, et induisant ainsi, l'altération de la qualité de l'eau par l'apport de différents polluants [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 qui constituent un facteur contraignant 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 [5]. Le projet de construction du Barrage Hassan II sur l'oued Moulouya qui fut 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^{ème} session tenue en décembre 1990 [6]. Après l'envasement partiel qu'a connu le barrage Mohammed V [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 (Mm³). C'est une importante réserve d'eau destinée pour l'irrigation et la production d'eau potable. 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 [6]. 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. Or, l'accroissement des activités humaines développées en amont, associé au phénomène de l'érosion et aux caractéristiques du climat de la région pourraient contribuer à la dégradation de la qualité des eaux de la retenue.

En adoptant la grille simplifiée nationale marocaine destinée à l'évaluation de la qualité des eaux des lacs et barrage [9] et la classification trophique des eaux élaborée par l'OCDE [10], notre travail, étalé sur la période allant de septembre 2011 à août 2012, a pour objectifs d'étudier la qualité des eaux du réservoir Hassan II et d'en déterminer l'état trophique.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation du milieu d'étude

Le barrage Hassan II, dont les principales caractéristiques morphométriques et hydrologiques sont rapportées dans le **Tableau 1**, est implanté 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**).

Tableau 1 : *Caractéristiques morphométriques et hydrologiques du barrage Hassan II [6]*

| | | |
|---|----------------------------|---|
| Caractéristiques hydrologique et générale du bassin versant et de la retenue | | Aire du bassin versant naturel : 3300 km ² Apport moyen annuel : 220 Million de m ³ (Mm ³). |
| Caractéristiques de la retenue | | 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 ² ; Volume de la retenue à la cote normale: 400 Mm ³ ; Volume régularisé moyen annuel 100 Mm ³ . |
| Caractéristiques des ouvrages | Barrage | Type : poids en Béton 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 NGM ; Volume du corps du barrage : 600000 m ³ . |
| | Vidange du fond | Cote du seuil : 1298 NGM. |
| | Prise d'eau potable | Type : tour bétonnée avec 4 niveaux de prise ; 1323, 1333, 1343 et 1353 NGM ; Débit maximum : 1m ³ /s. |
| | Prise agricole | Cote de la prise : 1315 NGM |

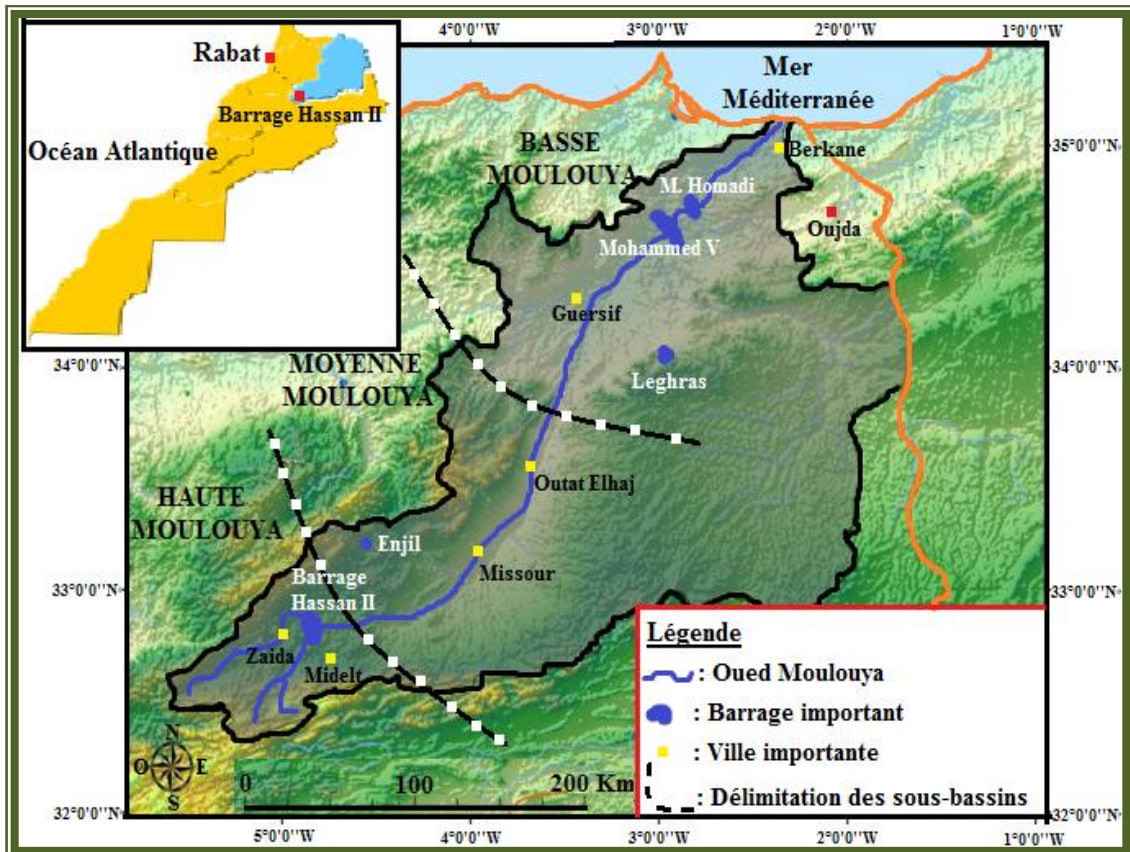


Figure 1 : Situation géographique du Barrage Hassan II au sein du Bassin de la Moulouya

L'exploitation des données climatiques fournies par le parc météorologique de Midelt relatives aux températures et précipitations sur une période de 10 ans (septembre 2001- août 2011) nous ont permis :

- De dresser le diagramme ombrothermique (**Figure 2**) qui a montré que la région d'étude a montré une période sèche, plus longue, interceptée seulement par deux mois humide : octobre et décembre.

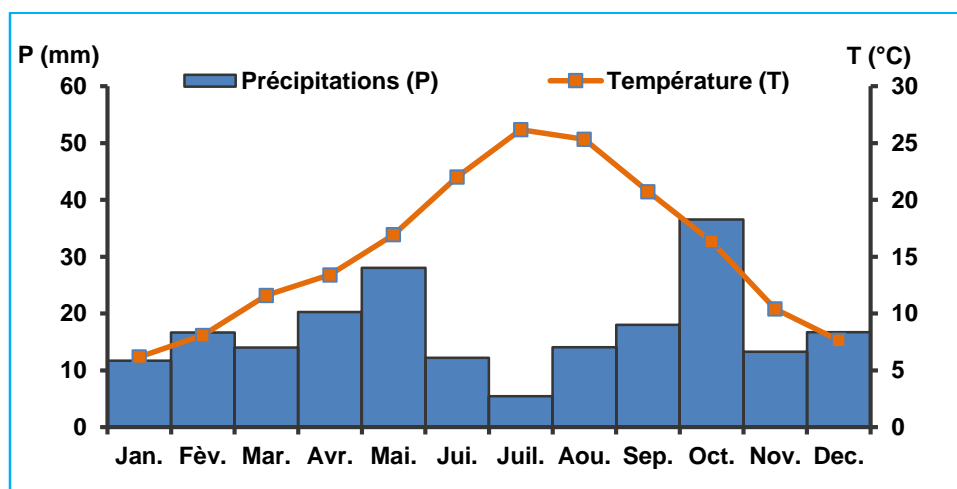


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de la région d'étude

- De déterminer l'étage bioclimatique du site d'étude: les précipitations annuelles moyenne (P) étaient de l'ordre de $P = 206,96$ mm et la moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (M) et la moyenne des températures minimales du mois le plus froid (m) étaient respectivement $M = 308,5$ °K (= $35,3$ °C), $m = 272,1$ °K (= $-1,1$ °C). Le quotient pluviothermique Q_2 donné par la formule (1) est, donc, de l'ordre de 19,58 dont la projection sur le climagramme d'Emberger (**Figure 3**) a correspondu à un étage bioclimatique aride à hiver froid.

$$Q_2 = [2000 P / M^2 - m^2] \quad (1)$$

Le barrage se situe à la haute Moulouya qui se caractérise par un climat aride froid à tendance montagnarde. 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, 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 [11]. Le couvert végétal, dispersé, est représenté essentiellement par des touffes de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) et d'artémisiaes à armoise blanche (*Artemisia herba alba*), qui subissent l'action d'un surpâturage continu et prolongé [12]. 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, Itzer et Tounfite) [13] 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.

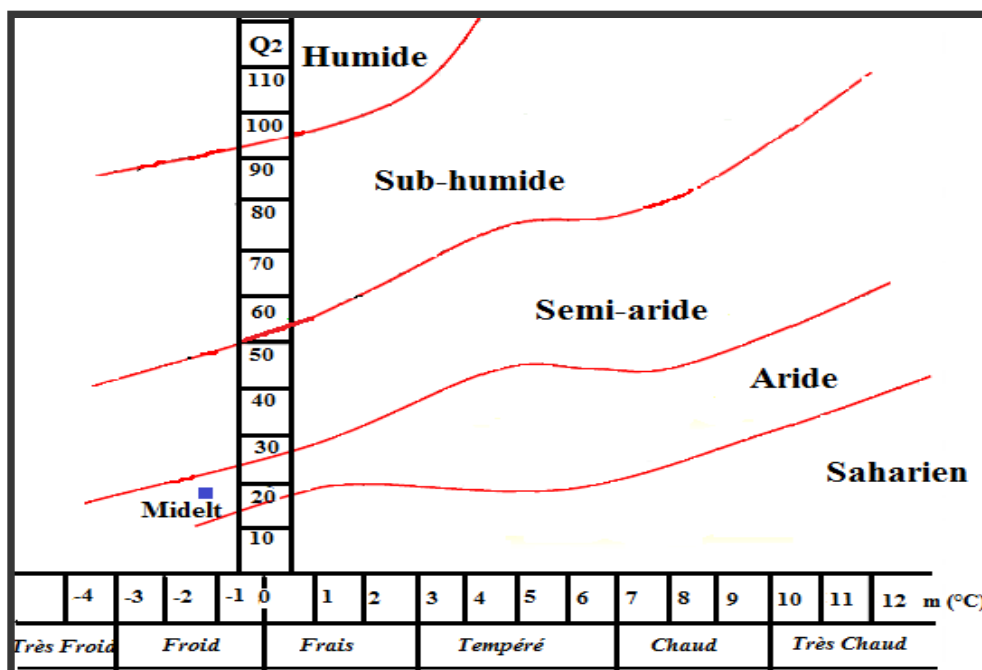


Figure 3 : Positionnement de la station de Midelt sur le Climagramme d'Emberger

2-2. Choix des stations et fréquence d'échantillonnage

En plein lac, un point de prélèvement aux coordonnées: $32^{\circ} 47.480$ N ; $004^{\circ} 46.110$ O; Altitude: 1380 m, était choisi à l'aplomb du point le plus profond qui sert, de manière standard en limnologie, de lieu d'échantillonnage d'un lac [14]. A cause de l'absence d'un profil bathymétrique, ce sont l'exploitation des données morphométriques disponibles sur le barrage (**Tableau 1**), ainsi que les photos du barrage juste

avant sa mise en eau, qui ont permis de choisir ce point. 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 août et P6 en juin, juillet et août, ceci est dû à l'abaissement du niveau du lac suite aux restitutions d'eau dont le barrage a fait l'objet. 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 [15], et de l'oxygène dissous dans l'eau, considéré, comme le paramètre le plus fondamental de la qualité et la vie aquatique [16].

2-3. 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 à 4°C dans des glacières garnies d'accumulateurs du froid, 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 réaliser les analyses physico-chimiques. Certains paramètres sont mesurés *in situ*, à savoir, la température qui a été prise en utilisant un électrothermomètre. L'oxygène dissous est également dosé, sur place, selon la méthode de Winkler modifiée par Alsterberg [17] et finalement, le disque de Secchi nous a servi à mesurer la transparence de l'eau du lac. Pour les autres paramètres, les analyses sont effectuées selon les méthodes décrites par Rodier [17]: Matière en suspension (filtration sur membrane), Chlorophylle-*a* (méthode de Scor-Unesco), Nitrates et Orthophosphates (spectrométrie d'absorption moléculaire), et Phosphore total (Minéralisation en présence du persulfate de sodium).

2-4. Analyse des données

Pour répondre à l'objectif de ce travail qui consiste à évaluer la qualité des eaux du barrage Hassan II et d'en déterminer l'état trophique, nous avons adopté :

- La grille simplifiée nationale marocaine pour l'évaluation de la qualité des eaux des lacs et des retenues de barrages [9], celle-ci permet de fournir une appréciation globale et rapide de la qualité de ces plans d'eau. Elle fait intervenir les paramètres suivants : l'oxygène dissous (O_2 dissous), le Phosphore total (Pt), les Orthophosphates (PO_4^{3-}), les Nitrates (NO_3^-) et la chlorophylle-*a* (Chl. *a*). Ainsi l'eau d'un lac est dite de qualité *i*, si 95% des mesures de tous les paramètres confondus et 90% des mesures pour un paramètre donné sont comprises à l'intérieur de l'intervalle définissant les limites de la classe *i*, et si pour les 5% et les 10% des échantillons non conformes, la valeur du paramètre ne s'écarte pas de plus de 50% de celles fixées (**Tableau 2**). Toutefois, l'oxygène dissous est exclu de cette dernière condition. Les échantillons prélevés lors des inondations, des pollutions accidentelles et des catastrophes naturelles ne sont pas pris en considération.
- La classification trophique des eaux élaborée par l'OCDE [10], 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 (Secchi) (**Tableau 3**).

Tableau 2 : Grille simplifiée nationale marocaine pour l'évaluation de la qualité des eaux de lac et retenue de barrage

| Qualité | O ₂ dissous | Pt (mg P/L) | PO ₄ ³⁻ (mgPO ₄ ³⁻) | NO ₃ (mg/L) | Chl. <i>a</i> (µg/L) |
|------------|------------------------|-------------|--|------------------------|----------------------|
| Excellente | > 7 | < 0,1 | ≤ 0,2 | < 10 | < 2,5 |
| Bonne | 7-5 | 0,1-0,3 | 0,2-0,5 | 10-25 | 2,5-10 |
| Moyenne | 5-3 | 0,3-0,5 | 0,5-1 | 25-50 | 10-30 |
| Mauvaise | 3-1 | 0,5-3 | 1-5 | > 50 | 30-110 |
| Très | < 1 | > | > 5 | - | > 110 |

Tableau 3 : Valeurs limites du système de classification trophique des eaux selon l'OCDE

| Etat trophique | Secchi _m | Secchi _{min} | Chl. <i>a</i> _m | Chl. <i>a</i> | Pt _m |
|----------------|---------------------|-----------------------|----------------------------|---------------|-----------------|
| 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

La transparence de l'eau est évaluée par la profondeur de disparition du Disque de Secchi (DS), elle a variée au cours de la période d'étude entre un minimum de 3,4 mètres enregistré à mai et un maximum de 9,4 mètres au mois de février. Toutefois la transparence moyenne a été de l'ordre de 6,03 mètres. 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*).

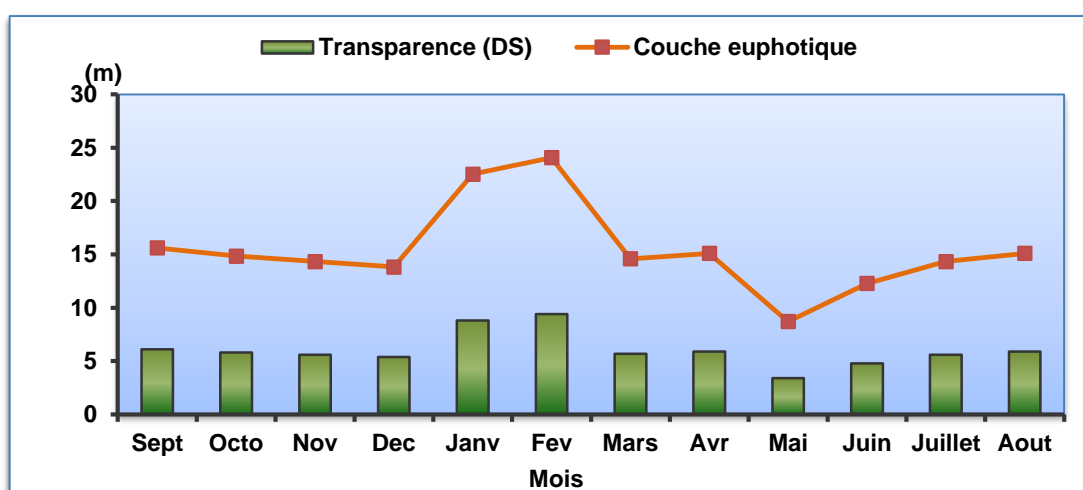


Figure 4 : Evolution de la transparence et de l'épaisseur de la couche euphotique au barrage Hassan II

La température des eaux a présenté des fluctuations au cours du temps (*Figure 5*). 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 a apparu au mois de mars pour s'achever à novembre. Nous notons toutefois, que la profondeur de la thermocline est 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 ($7,2^{\circ}\text{C}$). En décembre, la stratification thermique est détruite, les eaux ont à cette période une température minimale de $11,5^{\circ}\text{C}$ à la surface (S) et maximale de $11,8^{\circ}\text{C}$ à la profondeur de 30 mètres (P3), puis le lac continue à se refroidir pour atteindre une température d'homothermie minimale de $8,3^{\circ}\text{C}$ en février.

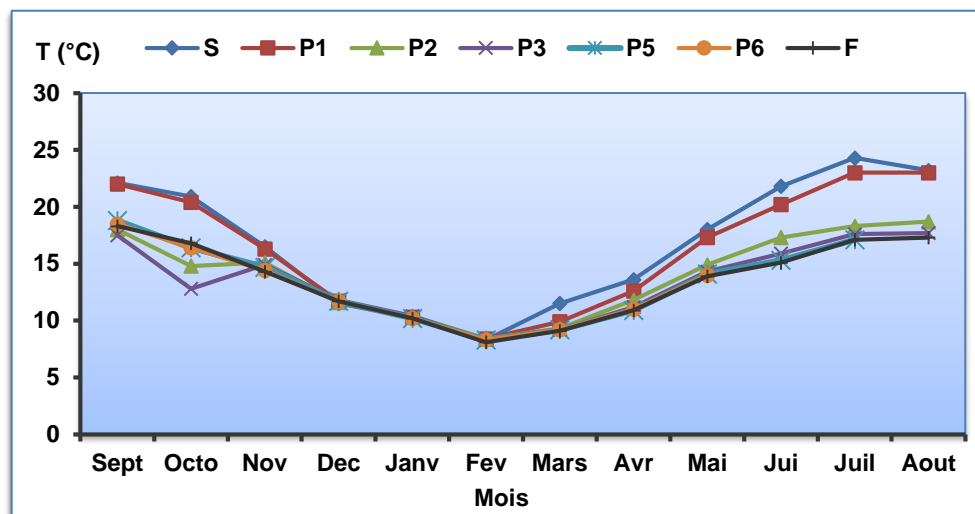


Figure 5 : Evolution spatio-temporelle de la température au barrage Hassan II

De S à P6 la concentration en MES a été faible (*Figure 6*). C'est au niveau du fond où nous avons enregistré des teneurs élevées (un minimum de $3,4 \text{ mg/L}$ au mois de décembre et un maximum de $16,8 \text{ mg/L}$ 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.

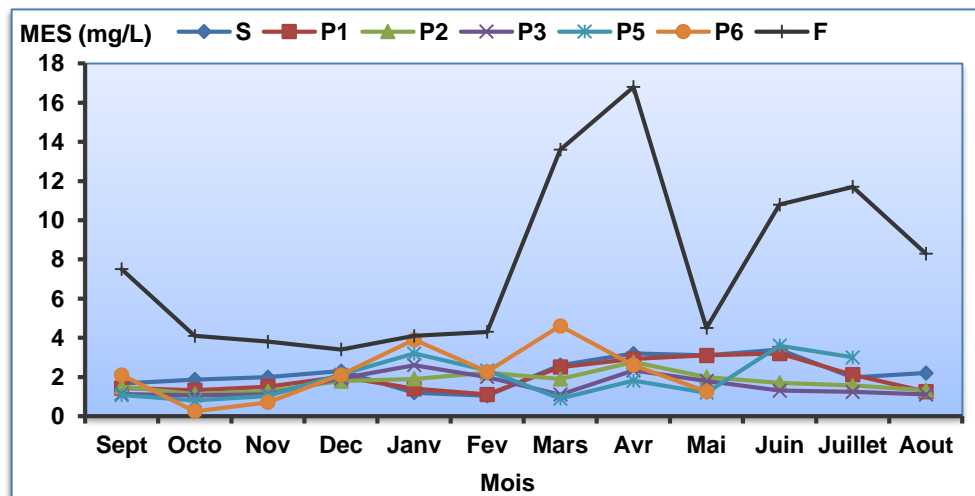


Figure 6 : Evolution spatio-temporelle des matières en suspensions au barrage Hassan II

L'azote nitrique exprimé en mg N-NO₃⁻/L a subi des fluctuations importantes sur l'ensemble de la colonne d'eau et au cours de l'ensemble du cycle hydrologique (**Figure 7**). 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 juin et les faibles teneurs au mois d'avril et mai. Au cours de la période du brassage, une homogénéité est constatée seulement au mois de janvier.

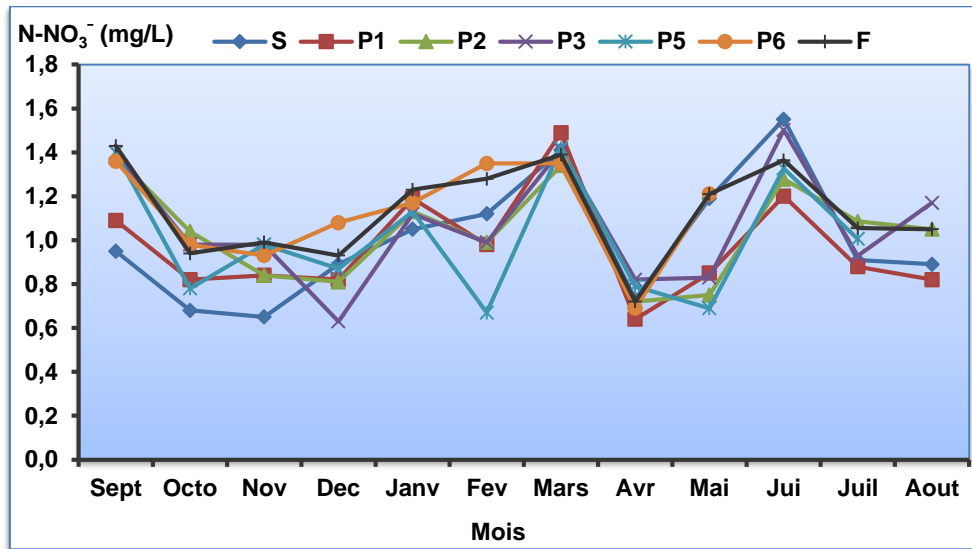


Figure 7 : Evolution spatio-temporelle des nitrates au barrage Hassan II

La teneur en oxygène dissous est presque homogène sur l'ensemble de la colonne d'eau au cours de la période du brassage (**Figure 8**). Sur toute la colonne d'eau, c'est au fond du lac où nous avons trouvé les valeurs les plus faibles en oxygène dissous. Les valeurs minimales qu'y sont enregistrées sont 4,97 mg/L, 5,14 mg/L et 5,88 mg/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 est enregistré au mois de février avec une concentration de 10,7 mg/L. Pour les autres stations, 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 est signalée au mois d'octobre à P3.

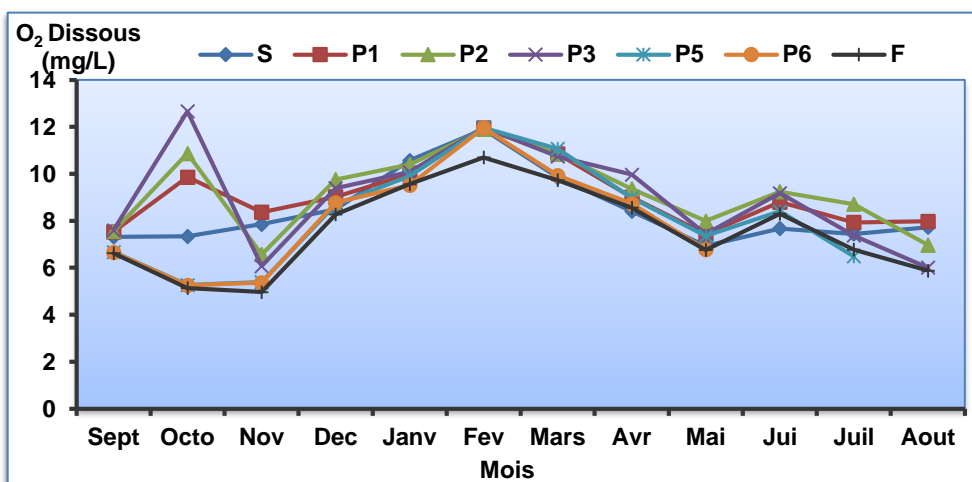


Figure 8 : Evolution spatio-temporelle de l'oxygène dissous au barrage Hassan II

Généralement la teneur de la retenue en orthophosphates est très faible (**Figure 9**). Sur l'ensemble de la colonne d'eau, la concentration en orthophosphates a fluctué entre un minimum de 1,99 $\mu\text{g/L}$ (juillet à la surface) et 9,89 $\mu\text{g/L}$ (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.

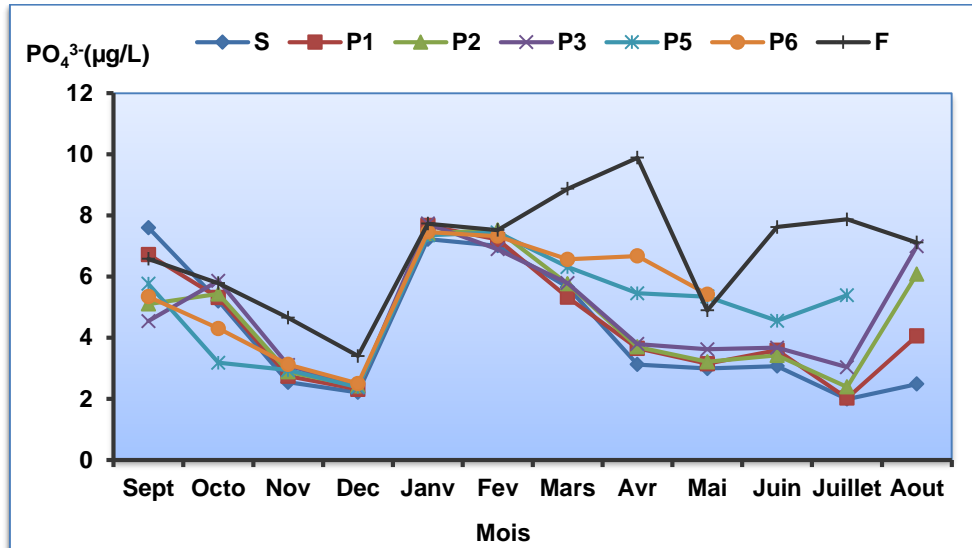


Figure 9 : Evolution spatio-temporelle des orthophosphates au barrage Hassan II

La teneur en phosphore total est faibles (**Figure 10**) et s'est échelonnée entre 3,34 $\mu\text{g/L}$ comme minimum enregistré à la surface (S) au mois de décembre et 9,97 $\mu\text{g/L}$ comme maximum signalé au fond (F) au mois de mars. En période hivernale, la répartition spatiale du phosphore total pendant la période du brassage a été relativement homogène. Cependant, en période estivale (juin, juillet et août), sa distribution verticale a montré un gradient croissant de la surface vers le fond.

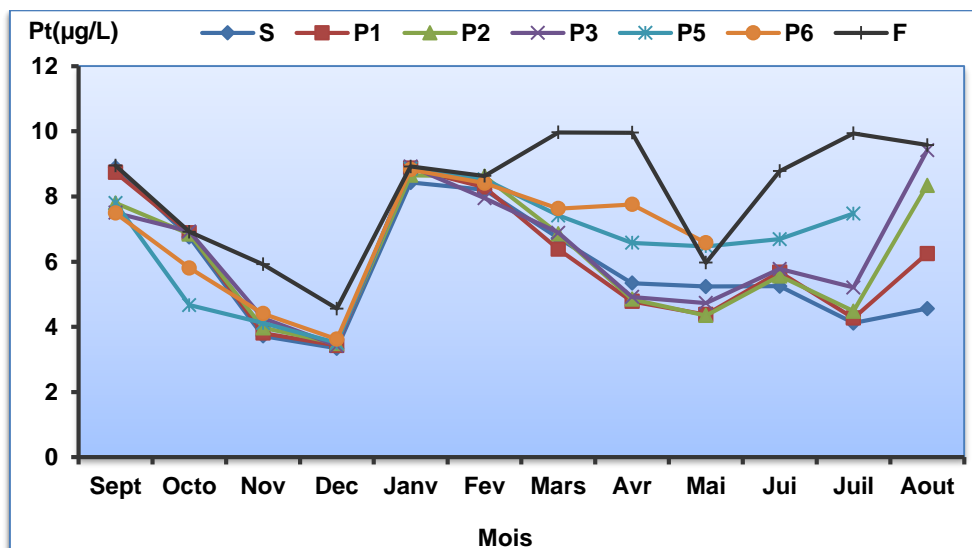


Figure 10 : Evolution spatio-temporelle du phosphore total au barrage Hassan II

L'évolution des concentrations de la chlorophylle-*a* (Figure 11) a montré un gradient décroissant net de la surface vers le fond. C'était à S et P1 où nous avons enregistré les 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 au mois de décembre avec un maximum de 2,65 µg.L⁻¹ et 2,45 µg.L⁻¹ à S et P1 respectivement, et une autre plus importante que la première et qui a débuté au mois de mars et s'est poursuivie jusqu'au mois de juin où elle a atteint son pic de 3,5 µg.L⁻¹ et 3,67 µg.L⁻¹ à S et P1 respectivement. Les concentrations les plus faibles en chlorophylle-*a* sont signalées aux mois de janvier et février.

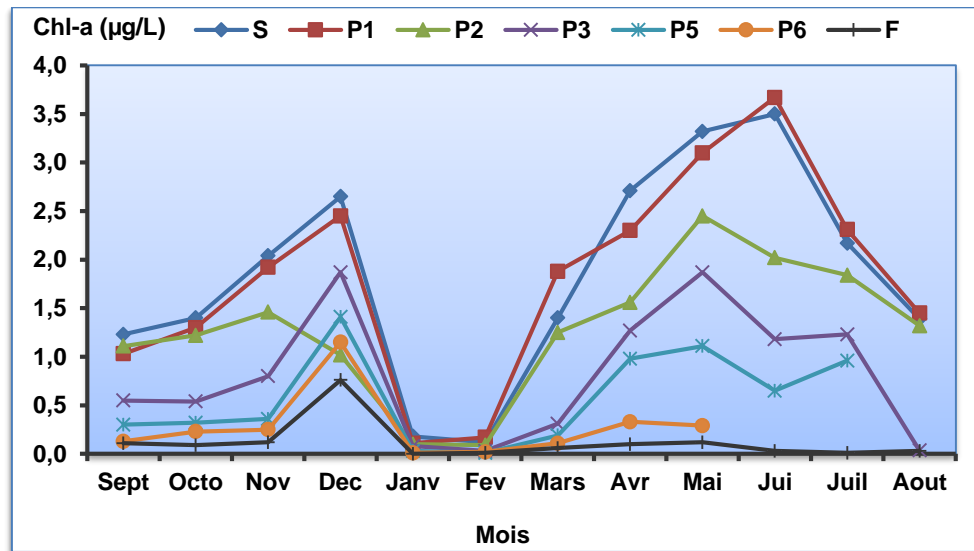


Figure 11: Evolution spatio-temporelle de la chlorophylle-a au barrage Hassan II

4. Discussion

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 a débuté au mois de mars et s'est installée vers le mois de juillet puis elle a pris 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 [18]. Le régime thermique du lac du barrage Hassan II est, ainsi, différent de celui du barrage Daourat qui est un lac polymictique chaud [19]. Généralement les eaux de la retenue du barrage sont claires, la transparence moyenne est située aux alentours de 6,03 mètres, à titre de comparaison, cette valeur est supérieure à celles trouvées par Alfaidy *et al.* [20] et Cherifi et Loudiki [21] au niveau des retenues des barrages Daourat et Bin el Ouidane respectivement.

La phase des eaux claires aux mois de janvier et février est bien marquée par l'invasion du barrage par les zooplanctons qui ont favorisé l'éclaircissement des eaux par le biais de la prédation des phytoplanctons, comme il l'a signalé Mokhliss *et al.* [22] dans son étude sur la retenue de barrage Al Massira. 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 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 des restitutions,

et d'autre part, par le phénomène de bioturbation comme il l'a signalé Sadani *et al.* [23] dans son étude sur le lac Mansour Eddahbi, et les courants de densité résultant des apports des tributaires du barrage en période de crues comme ils l'ont expliqué Remini et Remini [24] dans le phénomène de l'envasement des barrages. Les teneurs, plus au moins importantes, en MES signalées dans les couches superficielles sont vraisemblablement dues à la production phytoplanctonique manifestée par des teneurs importantes en chlorophylle-*a*. La concentration 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 11 mg N-NO₃⁻/L, par l'OMS, pour qu'une eau soit potable [25]. Contrairement à ce qui a été observé dans certaines retenues marocaines : Al Massira [22] et Allal Al Fassi [26], les eaux du lac du barrage Hassan II, 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 en-dessous de 5 mg/L.

Cette bonne oxygénation des eaux du lac pourrait être en relation avec les différentes actions entreprises conjointement par les différents acteurs de l'eau dont on peut citer: des lâchers fréquents des eaux du fond, et qui ont provoqué, au cours de 2^{ème} semestre du cycle hydrologique, une diminution du niveau du lac d'environ 17 à 18 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 [27]: déversement de 400.000 carpillons au cours de la saison 2008-2009 et 100.000 carpillons au cours de la saison 2009-2010 [28]. 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 [27].

Les eaux du lac sont pauvres en orthophosphates et en phosphore total. Leurs distributions verticales ont montré un gradient croissant de la surface vers le fond. Des travaux antérieurs d'Abdellaoui *et al.* [29] 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 [30]. Très logiquement, les faibles teneurs en phosphore total sont enregistrées en période de productivité algale exprimée par des teneurs importante en 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. En termes de teneur en composés phosphorés, les eaux du barrage Hassan II sont moins riches que celles des barrages : Bin El Ouidane [21], Imfoute [31] et Sidi Mohammed Ben Abdellah [32]. Les résultats obtenus, pour l'ensemble des paramètres, après les avoir comparés aux données du système de classification de l'état trophique de l'eau établi par l'OCDE [10], ont permis de conclure qu'il s'agit d'un lac oligotrophe. La grille simplifiée nationale marocaine destinée à l'évaluation de la qualité des eaux des lacs et retenues de barrages [9] nous a permis de conclure que:

- Si nous tenons compte de l'ensemble des paramètres, les eaux de la colonne d'eau étaient d'excellente qualité à P1, P2 et P3 et de bonne qualité à la surface, P5, P6 et le fond.
- Si nous interprétons chaque paramètre à part, les eaux de toutes les stations de la colonne d'eau, étaient d'excellente qualité pour les résultats issus des mesures des orthophosphates, phosphore total et nitrates. La qualité de l'eau est bonne à la surface et à P1 et excellente à P2, P3, P5, P6 et le fond pour les résultats relatifs à la mesure de la chlorophylle-*a*. Enfin, en tenant compte de l'oxygène dissous, à l'exception des eaux de P1 qu'étaient d'excellente qualité, les eaux des autres stations de la colonne d'eau étaient de bonne qualité.

5. Conclusion

Ce travail de recherche constitue une première contribution à l'évaluation de la qualité des eaux du barrage Hassan II et à la compréhension de son niveau trophique. Il a permis de répondre aux objectifs fixés, 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 est jeune oligotrophe caractérisé par des eaux dont la qualité a varié, selon les stations, de bonne à excellente, elles étaient pauvres en composés phosphorés, transparentes et elles étaient, aussi, caractérisées par une faible production phytoplanctonique manifestée par des faibles teneurs en chlorophylle-*a*.

Références

- [1] — A. BOULOU, A. FOUTLANE, L. BOURCHICH. Eutrophisation des retenues de barrages et production d'eau potable. *Revue H.T.E*, N° 119 (2001).
- [2] — S. NIAZI, M. SNOUSSI, A. FOUTLANE, *Sécheresse*, 16 (3) (2005) 183-187.
- [3] - R. BOUAICHA, A. BENABDELFADEL, *Sécheresse*, 21 (1) (2010) 1-5.
- [4] - Y. EL GHACHTOUL, M. ALAOUI MHAMIDI, H. GABI, *Revue des sciences de l'eau*, 18 (2005) 75-89.
- [5] - M. MELHAOUI ET J. P. BOUDOT, *Diagnostic de la biodiversité aquatique dans le Bassin Hydraulique de la Moulouya*. Projet ABHM/UICN. Rapport d'expertise. UICN Med, 113 p (2009).
- [6] - DAH : Direction des Aménagements Hydrauliques, Maroc, Compte rendu de la visite d'inspection du barrage Hassan II. pp21 (2008).
- [7] - J. AHAMROUNI, *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 de Doctorat de 3ème cycle. Université Cheikh Anta Diop, Sénégal (1996).
- [8] - M. SNOUSSI, S. HAIDA, S. IMASSI, *Regional Environmental Change*, 3(1-3) (2002) 5-12.
- [9] - BULLETIN OFFICIEL N° 5062, Royaume du Maroc, (2002)1501-1563.
- [10] - OCDE, *Eutrophisation des eaux: méthode de surveillance, d'évaluation et de lutte*. Organisation de Coopération et de Développement Economiques, Paris. 164 p (1982).
- [11] - A. AMRANI, M. EL WARTITI, A. MARINI, M. ZAHRAOUI, L. NAITZA, *Téledétection*, 5(4) (2006) 379-391.
- [12] - M. RHANEM, *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*. 3 (2009) 1-20.
- [13] - Agence du bassin hydraulique de la Moulouya. Etude du plan directeur d'aménagement intégré des ressources en eau du bassin de la Moulouya (PDAIRE), Mission II, Développement des ressources en eau du Bassin, 185 p (2009).
- [14] - J. BARBE, M. LAFONT, J. MOUTHON et M. PHILIPPE, *Protocole actualisé de la diagnose rapide des plans d'eau*, 31 p (2003).
- [15] - L. ALAOUI, A. AGOUMI, M. MONCEF, K. MOKHLISS, *Hydroécologie Appliquée*, Tome 12, 1-2 (2000) 83-206.
- [16] - 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).
- [17] - J. RODIER, B. LEGUBE, N. MERLET *et al.*, *L'analyse de l'eau*, 9^{ème} édition. Edition: Dunod, Paris (2009).
- [18] - J.R. LEWIS, M. WILLIAM, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40 (1983) 1779-1787.
- [19] - I. EL KARIM, M. EL JAKANI, J.E. DAFIR, M. BENZAKOUR, *Revue des sciences de l'eau*, 15 (1) (2002) 349-356.

- [20] - B. ALFAIDY, A. FAHDE, J. DEVAUX, *Sécheresse*, 10 (3) (1999) 213-20.
- [21] - O. CHERIFI, M. LOUDIKI, *Revue des sciences de l'eau*, 15(1) (2002) 193-208.
- [22] - K. MOKHLISS, M. MONCEF, L. ALAOUI, *Hydroécologie Appliquée*. Tome 13, 2 (2001) 175-191.
- [23] - M. SADANI, N. OUAZZANI, L. MANDI, *Revue des sciences de l'eau*, 17(1) (2004) 69-90.
- [24] - W. REMINI, B. REMINI, *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 2 (2003) 45-54.
- [25] - World Health Organization, *Guidelines for drinking-water quality*, 4th edition, 564 p (2011).
- [26] - L. DAMIRI, M. ALAOUI MHAMDI, J. BAHHOU, *Revue des sciences de l'eau*, 15(1) (2002) 101-109.
- [27] - A. FOUTLANE, L. BOURCHICH, A. BOULOUD, *La revue de santé de la méditerranée orientale*, 5 (4) (1999) 816-820.
- [28] - HCEFLCD: Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la lutte contre la désertification, Royaume du Maroc, Rapports annuels de la pêche, saisons : 2008-2009 et 2009-2010.
- [29] - A. ABDALLAOUI, M. DERRAZ, M. Z. BHENABDALLAH, S.LEK, *Revue des sciences de l'eau*, 11(1) (1998) 101-116.
- [30] - G. BARROIN, *Phosphore, azote, carbone. . . du facteur limitant au facteur de maîtrise*. Le Courrier de l'environnement de l'Institut National de la Recherche Agronomique n°52, France. 25 p (2004)
- [31] - M. TAOUFIK, J.E. DAFIR, S. KEMMOU, *Water Quality Research Journal of Canada*, 40 (2) (2005) 202-210.
- [32] - R. DELHI, F. BENZHA, A. HILALI, M. TAHIRI, A. KAOUKAYA, L. BAIDDER *et al.*, *ScienceLib*. Editions Mersenne, Vol. 4, N ° 120401 (2012).