



Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux du barrage Hassan Addakhil d'Errachidia (Maroc)

Study of the physico-chemical and bacteriological quality of the barrage Hassan Addakhil of Errachidia (Morocco)

M. Ouhmidou^{1*}, A. Chahlaoui^{1,2}, A. Kharroubi³, M. Chahboune²

1-UFR : Qualité et Fonctionnement Hydrobiologique des Systèmes Aquatiques,
Département de Biologie, Faculté des sciences Meknès.

2-Equipe Gestion et Valorisation des Ressources Naturelles, Département de Biologie, Faculté des sciences Meknès.

3- Institut Supérieur Techniques des Eaux de Gabes, Tunisie

Received 26 February 2014; Revised 19 October 2014; Accepted 19 October 2014.

* Corresponding author Email: mhmd.ouhmidou@gmail.com

Résumé

Le barrage Hassan Addakhil situé au piémont sud du Haut Atlas centro-oriental, constitue une unité importante dans la région d'Errachidia. Les eaux restituées à partir de ce barrage permettent l'irrigation des terres agricoles de la vallée de Ziz et de la plaine de Tafilalet. L'objectif de la présente étude est d'une part évaluer l'état actuel de la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux du barrage Hassan Addakhil, et d'autre part définir les risques de la pollution des eaux du barrage Hassan Addakhil et de l'Oued Ziz, et son origine. Afin de bien mener ce travail, nous avons procédé à une étude de l'évolution des paramètres physicochimique et bactériologique des eaux du barrage Hassan Addakhil et des eaux de l'Oued Ziz qui alimente le barrage au cours de la période de janvier à décembre 2012, au niveau de quatre stations choisies de l'amont vers l'aval du barrage. Les résultats obtenus ont montré que la qualité physico-chimique de l'eau du barrage est influencée par la lithologie du bassin versant et les facteurs climatiques (les précipitations et les températures). Cette étude a mis en évidence la présence d'une contamination fécale dans les eaux du barrage Hassan Addakhil et de l'Oued Ziz. Le degré de la contamination fécale des eaux du barrage Hassan Addakhil est faible et inférieur à celui de l'Oued Ziz. Le degré de la contamination fécale des eaux du barrage Hassan Addakhil est faible et inférieur à celui de l'Oued Ziz mais reste inquiétant est peut constituer un risque sanitaire. Une analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée aux variables physico-chimiques et bactériologiques, elle a montré l'existence des corrélations entre des paramètres physico-chimique et bactériologique.

Mots clés : eau, barrage Hassan, Addakhil, physico-chimie, bactériologie.

Abstract

The Hassan Addakhil dam is situated in the foothills of the central High Atlas. It constitutes an important unit in the region of Errachidia. The flowing waters from the dam allow the irrigation of agricultural lands of the Ziz Valley and the Tafilalet plains. The objective of the present study is to evaluate the current status of the bacteriological and physicochemical waters' quality of the Hassan Addakhil dam. It also aims at identifying the effects of the pollution of the Hassan Addakhil dam and the Ziz valley's waters and its point source. To properly conduct this work, we carried out a study to evaluate the physicochemical and bacteriological parameters of the Hassan Addakhil dam waters and those of the Ziz valley. The latter feeds the former during the year of 2012, from January to December, at four stations chosen from the upstream towards the downstream of the dam. The results showed that the physico-chemical water quality of the dam is influenced by the lithology of the Ziz basin as well as the climatic factors (precipitation and temperatures). This study revealed the presence of fecal contamination in the Hassan Addakhil dam and the Ziz valley's waters. The degree of the fecal contamination of the Hassan Addakhil dam waters is lower than that of the Ziz valley's, but still may constitute a health risk. A Principal Component Analysis (ACP) was applied to the physico-chemical and biological variables, and revealed the existence of correlations between the physico-chemical and bacteriological parameters.

Key words: water, Hassan Addakhil dam, physic-chemical, bacteriology.

1. Introduction

Le Maroc dispose de plus de 100 grands barrages, la plupart édifiés depuis (1966) [1]. Les eaux des barrages constituent une source importante pour l'approvisionnement en eau de boisson, d'irrigation, etc... Outre leurs rôles essentiels dans l'agriculture, les eaux des barrages offrent des conditions particulières pour la faune et la

flore aquatique. Le Barrage Hassan Addakhil situé au piémont sud du Haut Atlas centro-oriental, constitue une unité importante dans la région d'Errachidia, permet de maîtriser les crues et garantir un volume régularisé de 100 Mm³ d'eau par an. Il assure l'irrigation de la vallée du Ziz et la palmeraie de Tafilalet. Les travaux réalisés dans la zone d'étude ont porté à la fois soit sur la modélisation hydrologique ou hydrogéologique des écoulements des eaux superficielles [2-7], et aussi sur la biodiversité des eaux souterraines du bassin de Ziz [8]. Actuellement, l'eau de l'Oued Ziz qui alimente le barrage Hassan Addakhil, est soumise à des actions anthropiques et agricoles nuisantes, ce qui pourrait provoquer une altération de la qualité de l'eau du Barrage Hassan Addakhil.

Les études sur la qualité des eaux du barrage Hassan Addakhil sont très limitées à quelques rares campagnes de prospections isolées effectuées au barrage par le laboratoire public d'essai et d'étude en 2004 et 2008. C'est dans ce contexte que nous avons engagé une étude de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau du barrage Hassan Addakhil et de l'Oued Ziz pendant une année. Afin de caractériser les eaux du barrage Hassan Addakhil, évaluer l'état actuel de la qualité bactériologique et physico-chimique de ses eaux et en définir les risques de l'impact des activités anthropiques sur les eaux du barrage, nous avons effectué un suivi de la qualité de ces eaux de l'amont vers l'aval du barrage de janvier à décembre 2012.

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation du milieu d'étude

Le barrage Hassan Addakhil situé au nord à 15 km d'Errachidia permet de maîtriser les apports d'eau de l'oued Ziz et assure l'irrigation des terres agricoles de la vallée de Ziz et l'abreuvement du bétail (figure 1).

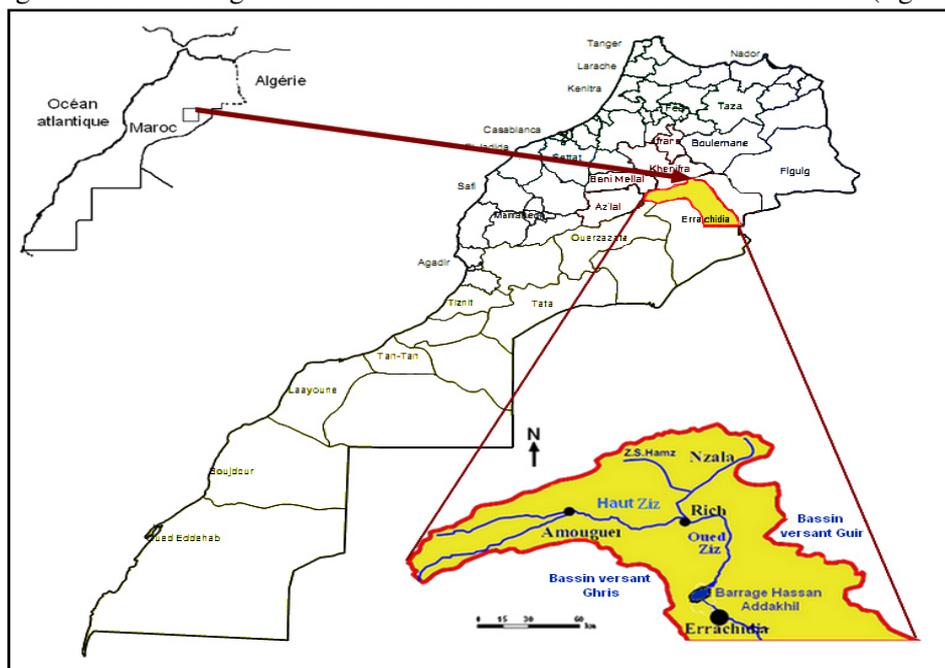


Figure 1 : Situation géographique du barrage Hassan Addakhil

La géologie du bassin versant d'Errachidia regroupe des domaines structuraux distincts qui s'échelonnent du Mésozoïque au Quaternaire caractérisés essentiellement par des formations calcaires, dolomites, marnes et argiles [9]. Le barrage Hassan Addakhil se trouve dans un étage bioclimatique semi désertique. Les températures présentent des variations saisonnières importantes avec un été très chaud et un hiver très froid. Le régime annuel des pluies se caractérise par l'existence de deux saisons pluvieuses : l'automne et le printemps (figure 2).

2.2. Echantillonnage et méthodes d'analyses

Le choix de l'étude de la qualité de l'eau du barrage Hassan Addakhil vient de l'importance qu'elle présente pour l'alimentation en eau d'irrigation la région de Tafilalet et la vallée de Ziz. On a choisi quatre stations (figure 3) réparties de l'amont vers l'aval du barrage (S1, S2 et S 3 sont des stations de prélèvements en surface alors que la station S4 est réalisée en profondeur du barrage).

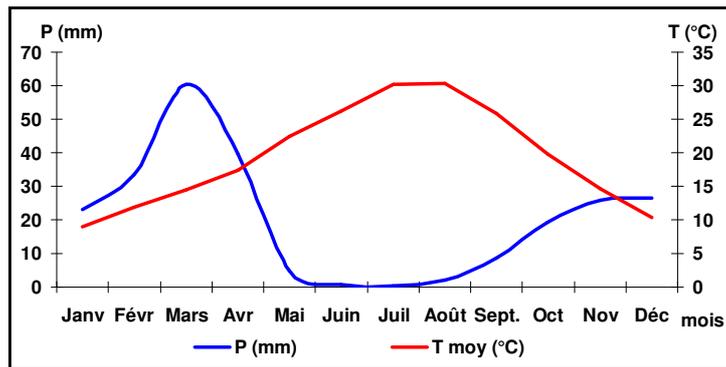


Figure 2 : Diagramme ombrothermique du barrage Hassan Addakhil (2012)

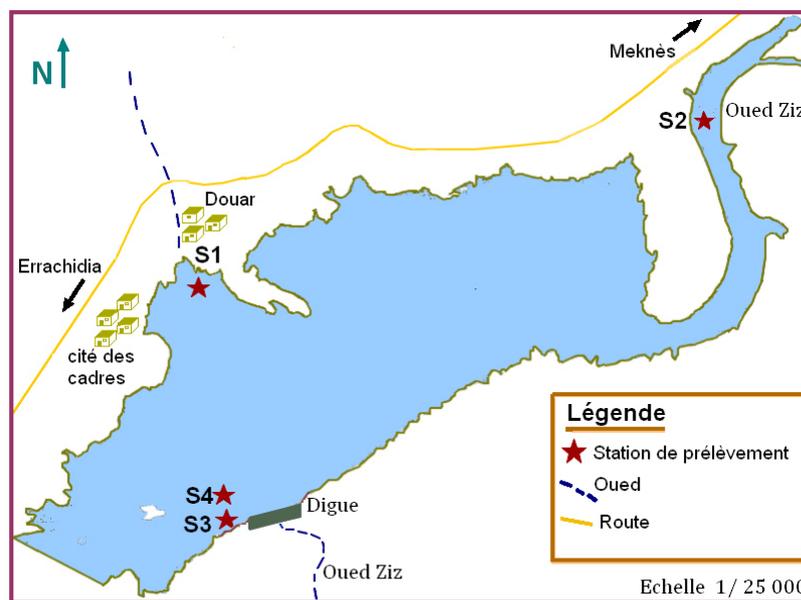


Figure 3: Localisation des stations de prélèvement

Le choix des stations de prélèvement a été fait en se basant sur le réseau hydrographique et les sources potentielles de pollutions. Le prélèvement, le transport et la conservation des échantillons d'eau font référence au protocole et procédures définis par [10]. La fréquence des prélèvements est mensuelle pendant une année, de janvier à décembre 2012, afin d'obtenir une image assez représentative de la qualité des eaux et de son évolution saisonnière et annuelle [11].

Seize paramètres ont été mesurés. Quatre de ces paramètres [12] ont été mesurés in-situ : la température à l'aide d'un thermomètre à mercure, la conductivité avec une sonde de type CONSORT K 912, le pH à l'aide d'un pH-mètre modèle GPHR 1400, et l'oxygène dissous par la méthode de titrage de Winkler. Les autres paramètres physico-chimiques (dureté totale, oxygène dissous, nitrates, chlorures, sulfates, phosphore total, ammonium, DBO5 et DCO) ont été analysés au laboratoire selon le protocole d'analyse décrit par [13].

Les méthodes utilisées au sien du laboratoire sont : la méthode colorimétrique pour la DCO, la DBO5, les chlorures, la dureté totale, et la spectrophotométrie d'absorption moléculaire pour les sulfates, les nitrates, les ions ammoniums et le phosphore totale. On signale que l'analyse spectrophotométrique a été réalisée à l'aide d'un spectrophotomètre IC 6400.

L'étude des paramètres bactériologiques a porté sur la recherche et le dénombrement des germes indicateurs de la pollution (germes totaux, coliformes totaux, streptocoques fécaux et coliformes fécaux). Les prélèvements ont été effectués dans des flacons stériles en prenant soin de ne pas contaminer ni modifier les échantillons et sont transportés immédiatement dans une glacière à $\pm 4^{\circ}\text{C}$ au laboratoire.

L'analyse et le dénombrement des paramètres bactériologique ont été effectués suivant le protocole d'analyse décrit par [13]. La filtration est réalisée sur une membrane.

Le traitement des données a été réalisé par le biais de l'ACP, l'analyse en composantes principales, en utilisant le logiciel STATISTICA, afin de mieux visualiser et faciliter l'interprétation des résultats et d'évaluer la qualité physico-chimique de l'Oued Ziz et les eaux du barrage Hassan Addakhil.

3. Résultats et discussion

3.1. Paramètres physico-chimiques

Les résultats d'analyse physico-chimique des eaux de l'Oued Ziz et du barrage Hassan Addakhil, pendant la période d'étude sont présentés dans la figure 4.

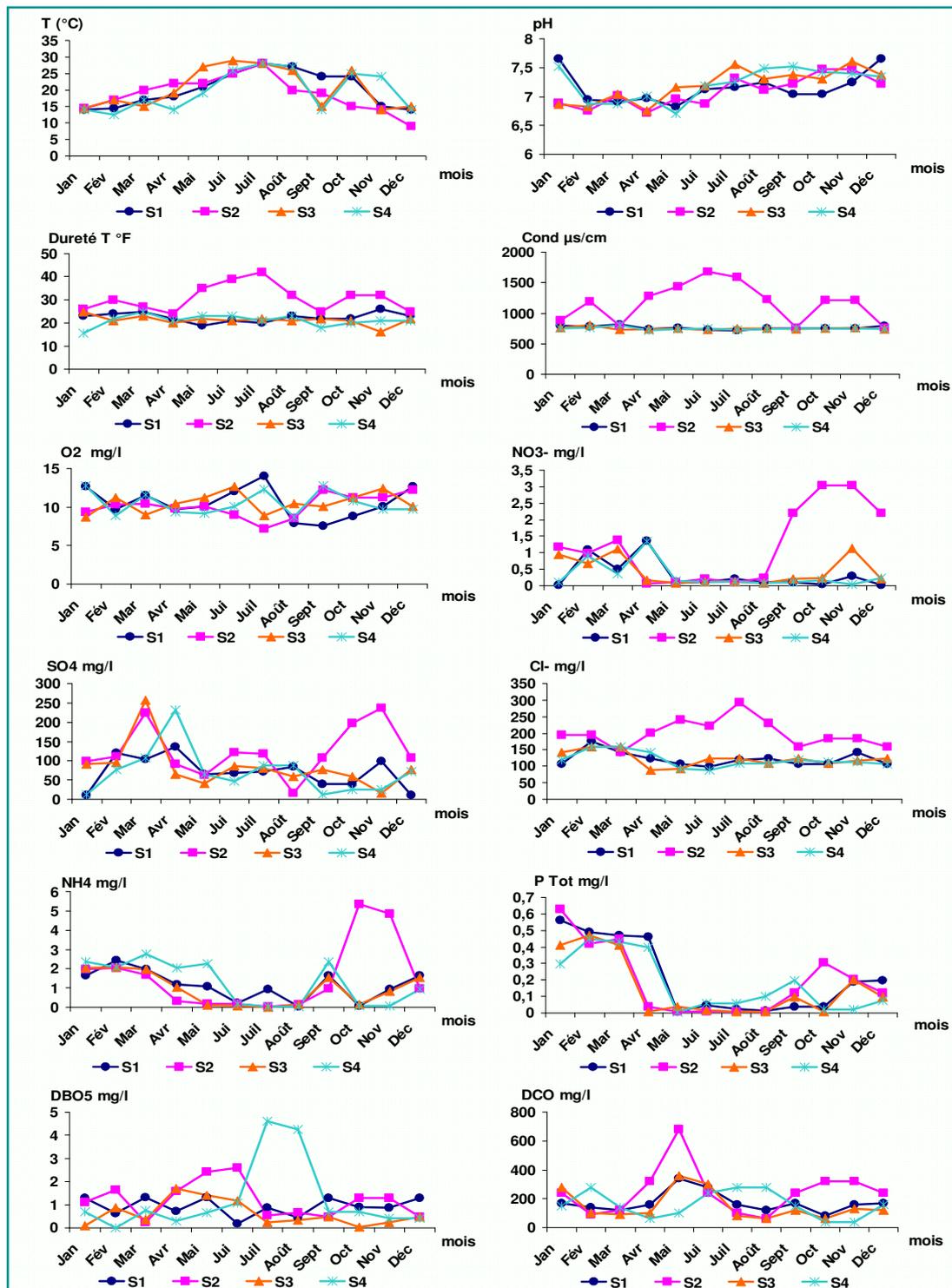


Figure 4 : Evolution spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques mesurés des eaux de l'Oued Ziz et barrage Hassan Addakhil en 2012.

L'analyse des paramètres physicochimiques (figure 4) montre que :

- Les températures enregistrées lors de cette étude varient entre 13°C et 26°C, ces valeurs indiquent que l'eau du barrage Hassan Addakhil est favorable à la vie aquatique. L'évolution temporelle de la température pour toutes les stations indique que la température de l'eau suit la température de l'air. Les données enregistrées au niveau des quatre stations ne présentent pas de grandes différences notables entre les stations.

- Le pH se maintient dans une fourchette de 6,7 et 7,6 ; ceci est dû au substrat calcaire des formations géologiques du bassin versant, riche en carbonates qui permettent de tamponner les eaux. A l'échelle spatiale, le pH ne présente pas de différence notable inter-stations. L'évolution temporelle de pH pour toutes les stations montre une légère diminution pendant la période printanière. Plus particulièrement à la fonte des neiges, la masse des précipitations acides accumulées au cours de l'hiver vient gonfler les cours d'eau et abaisse leur pH, ces observations concordent avec les travaux de [11] et [14].

- Les valeurs enregistrées de la dureté totale indiquent que les eaux du barrage Hassan Addakhil sont moyennement dures et varient entre 18°F et 25°F. Cette variation dépend essentiellement de la nature géochimique des roches rencontrées dans le bassin versant de Ziz, en particulier des substances provenant de l'altération des roches calcaires. L'évolution temporelle de la dureté totale des eaux du barrage Hassan Addakhil ne présente pas des variations notables, tandis que l'évolution temporelle des eaux de l'Oued Ziz présente des valeurs maximales pendant la période estivale cela peut être expliqué par le phénomène de l'évaporation.

- L'évolution temporelle de la conductivité des eaux analysées est similaire à celle de la dureté totale pour toutes les stations. On peut dire que sa variation est en fonction de la dureté de l'eau. Les valeurs enregistrées oscillent entre 700 et 1700 $\mu\text{s/cm}$. Les valeurs minimales sont enregistrées au niveau des eaux du barrage et indiquent que son eau respecte la norme recommandée aux eaux destinées à l'irrigation. Les valeurs enregistrées, pour S2 (Oued Ziz), pendant la période d'observation, sont importantes entre mai et novembre. Ces valeurs dépassent la norme fixée à 12 ms/cm à 25°C [15]. L'augmentation de la conductivité des eaux de l'Oued Ziz pendant la période estivale est due à l'évaporation intense qui induit une forte minéralisation des eaux en sels, ce qui augmente la conductivité des eaux de l'Oued Ziz [16]. Pour les autres stations S1, S3 et S4 (eaux du barrage), la conductivité de l'eau ne présente pas une grande différence pendant toute la période d'étude, ce qui explique la faible influence des variations saisonnières sur ces eaux.

- Les teneurs de l'oxygène dissous oscillent entre 7,17mg/l et 13,98 mg/l. Ces valeurs montrent que l'eau du barrage Hassan Addakhil et de l'Oued Ziz sont bien oxygénées [17]. La courbe annuelle des concentrations de O₂ dissous dans l'eau de l'Oued Ziz revêt une allure sinusoïdale, avec des valeurs plus basses en été qu'en hiver. Cela est dû à la diminution de la solubilité de cet élément lorsque la température va en augmentant [11], ajoutant aussi, l'effet de la respiration qui l'emporte sur les autres phénomènes. Quant aux eaux du barrage, on observe une légère augmentation de la teneur en O₂ dissous pendant la période estivale. Cette augmentation, pendant l'été, est due au phénomène de la photosynthèse qui s'intensifie pendant cette période et l'emporte sur les autres phénomènes, ce qui provoque une augmentation de la concentration en oxygène dissous dans l'eau du barrage [18].

- Les concentrations des nitrates enregistrées lors de cette étude sont faibles et oscillent entre 0,014mg/l et 3,03mg/l. Les valeurs minimales sont observées en période d'été pour les quatre stations. Les valeurs maximales sont enregistrées en mois d'octobre et novembre pour S2 (Oued Ziz). Pour toutes les stations, les teneurs les plus élevées sont enregistrées en période des crues. Cette évolution temporelle de NO₃⁻ a été aussi observée dans les travaux de [19]. Les apports en nitrates pourraient être liés au lessivage des sols agricoles en amont du bassin versant. Dans les réservoirs d'eau les NO₃⁻ contribuent à plus de 90% de l'azote inorganique et la source diffuse d'azote est d'origine agricole [20]. Si les teneurs en nitrates dépassent 1,5 mg/L, il y a probablement eu lessivage de terres agricoles ou déversement d'eaux usées communales [11].

- Les concentrations, en général, des sulfates oscillent entre 11mg/l et 250 mg/l. Les fortes concentrations sont enregistrées pendant les périodes des crues. Cela est dû au lessivage des dépôts évaporitiques, provenant des formations gypsifères du haut atlas centro-orientale. La diminution de la concentration des sulfates est observée pendant la saison d'été. Une fois les sulfates sont dans la retenue, et en présence d'eau oxygénée, le SO₄ se trouve sous forme de complexes avec les acides organiques et les carbonates, la précipitation de ces différentes formes est gouvernée par la composition ionique des eaux, les conditions redox, le pH et, dans le cas de complexe humique, par la température, la pénétration de la lumière et l'activité microbienne [21]. Les teneurs enregistrées pendant toute la période d'étude ne dépassent pas la norme limitée à 250 mg/l [15].

- L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Cet élément peut être d'origine géologique liée principalement à la dissolution des formations salifère ou

anthropique [20]. Les teneurs du chlorure mesurées durant la période d'étude varient entre 89 mg/l et 241 mg/l et sont inférieures à la norme fixée à 350 mg/l [15]. Les concentrations les plus importantes ont été enregistrées pendant l'été pour les eaux de l'Oued Ziz. Cela est dû à l'évaporation ; ce qui augmente leur teneur dans l'eau pendant la période estivale. L'allure de la courbe pour la station 2 indique que l'évolution temporelle de la conductivité peut être associée également à l'évolution de la concentration des ions des chlorures dans les eaux de l'Oued Ziz. Concernant les eaux du barrage Hassan Addakhil, on n'observe pas beaucoup de variation ; cela est dû à l'effet de la dilution des eaux du barrage.

- Pour l'ammonium, toutes les stations présentent des teneurs élevées en période des crues (hiver et printemps). L'augmentation des teneurs en NH_4^+ dans cette période serait en relation avec la décomposition bactérienne des matières organiques azotées du faite des légères diminutions des teneurs en O_2 dissous enregistrées en ces périodes. Ces résultats concordent avec les travaux de [18, 22, 23]. Les eaux de la station 2 (Oued Ziz) présentent deux pics en mois d'octobre (5,35 mg/l) et en novembre (4,85 mg/l). Pour les quatre stations, les teneurs les plus faibles sont enregistrées en période estivale ($\leq 0,024$ mg/l). L'ammonium est absorbé préférentiellement lorsque les algues disposent simultanément d' NH_4^+ et de NO_3^- [24, 25], ce qui explique les faibles teneurs mesurées en été, sans négliger la part de la nitrification du fait que le milieu est bien oxygéné.

- Pour ce qui est du phosphore, il provient en grande partie des activités domestiques et agricoles. Les concentrations du phosphore varient entre 0,48mg/l et 0,001mg/l. Pour toutes les stations, les teneurs les plus élevées sont mesurées en février et mars. Cette augmentation de la concentration du phosphore au niveau des eaux du barrage Hassan Addakhil et les eaux de l'Oued Ziz en cette période est due à l'augmentation des composées organiques dans l'eau lors des crues, ce qui favorise une minéralisation très poussée de la matière organique.

- Pendant la période d'étude la demande chimique en oxygène (DCO) oscille entre 680mg/l et 40mg/l. Les concentrations les plus élevées sont enregistrées en période estivale par rapport au reste de l'année. Les processus d'oxydation des matières oxydables (organiques et minérales) par voie chimique peuvent donc être responsables d'une consommation élevée d'oxygène.

- La teneur de la DBO5 pendant la période d'étude varie entre 0,1mg/l et 2,43mg/l. L'évolution de la demande biologique en oxygène ne présente pas de variations notables excepté les deux stations S2 et S4 qui montrent deux pics en mai et juin. Pour S4, la consommation d'oxygène par des processus de dégradation biologiques présente deux pics en juillet et août. Lorsque la matière organique sédimente, la consommation d'oxygène augmente au fond.

3.2. Paramètres bactériologiques

Les résultats des analyses mensuelles en période d'étude des eaux du barrage Hassan Addakhil et en aval de l'Oued Ziz sont présentés dans la figure 5. La charge moyenne en germes totaux est de $1,9 \cdot 10^3$ germes/ml, de $3,9 \cdot 10^2$ germes/100ml en coliformes totaux (CT), de 5 germes/100 ml en coliformes fécaux et de 76 germes/100ml de streptocoques fécaux dans les eaux du barrage Hassan Addakhil.

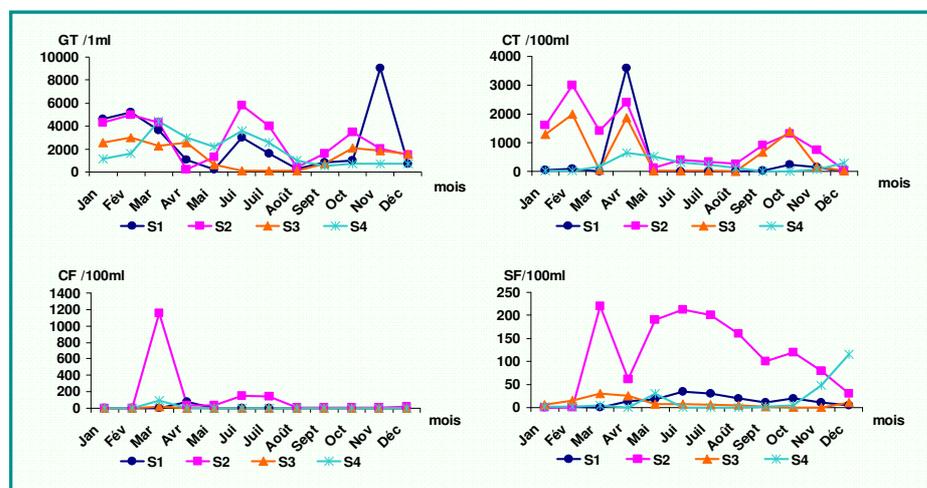


Figure 5 : Variation spatio-temporelle des paramètres bactériologiques au niveau des eaux de l'Oued Ziz et barrage Hassan Addakhil d'Errachidia en 2012.

Pour les eaux de l'Oued Ziz, les valeurs moyennes sont de $2,8.10^3$ germes/1ml en germes totaux, de $1,05.10^3$ germes/100ml en coliformes totaux, de 1.310^2 germes/100ml en coliformes fécaux et de $1,1.10^2$ germes/100ml en streptocoques fécaux. En terme de charge bactérienne, les eaux du barrage Hassan Addakhil sont moins chargées en germes que les eaux de l'Oued Ziz qui alimentent le barrage ramassant au cours de leurs trajets de nouvelles charges microbiennes (la matière fécale des animaux).

La variation spatio-temporelle des paramètres bactériologiques (figure 5) montre que :

- La charge bactérienne est un peu élevée en automne et en hiver par rapport au reste de l'année. La quantité de micro-organismes présents dans les eaux augmente avec la pluviométrie, bien qu'aucune étude n'ait, jusqu'à présent, pu établir une loi simple modélisant formellement ces deux paramètres [26]. Le lessivage des sols par les eaux de ruissellement peut être néanmoins une raison principale pour la mobilisation des biomasses des sols. Les fluctuations observées au cours de notre cycle d'étude seraient probablement dues à la composition des effluents en automne et en hiver contrairement à l'été.

- Pour les streptocoques fécaux, ils sont plus abondants au niveau de la station 2 de l'Oued Ziz par rapport aux autres stations du barrage Hassan Addakhil. Cela est probablement dû à l'utilisation des matières fécales des animaux, comme engrais, dans les aires cultivées au bord de l'Oued Ziz.

L'origine de la pollution fécale est liée au rapport quantitatif des coliformes fécaux sur les streptocoques fécaux (CF/SF). Lorsque ce rapport CF/SF est supérieur à 4, la pollution est essentiellement humaine : rejet des eaux usées [27]. Lorsqu'il est inférieur à 0,7, l'origine de la contamination est animale. Le bétail semble jouer un rôle prédominant dans la contamination de l'eau [28]. Lorsque le rapport CF/SF est compris entre 0,7 et 1 l'origine de la pollution est mixte (humain et animale), mais à prédominance animale.

Le rapport CF/SF pour Oued Ziz est 0,93, ce qui signifie que l'origine de la pollution fécale est mixte à prédominance animale. Le rapport CF/SF pour les eaux du barrage Hassan Addakhil est compris entre 0,2 et 0,46 ; ces valeurs sont inférieures à 0,7, ce qui signifie que la pollution fécale est d'origine animale.

Pour le barrage Hassan Addakhil, la contamination fécale peut être attribuée à la présence d'animaux d'élevage pouvant contaminer les eaux. Les déjections des animaux sauvages peuvent aussi compromettre la qualité bactériologique des eaux du barrage. Les oiseaux migrateurs, par exemple, peuvent polluer les eaux du barrage Hassan Addakhil par leurs déjections.

Pour l'Oued Ziz, l'origine de la contamination fécale peut être attribuée à l'utilisation des matières fécales des animaux comme engrais pour les terres agricoles. Cette matière fécale peut être véhiculée par l'eau de pluie vers l'Oued Ziz. En milieu agricole, les déjections d'animaux d'élevage représentent la principale source de contamination bactériologique des eaux [29]. De façon générale, plus la densité animale est élevée, plus la concentration en coliformes fécaux est élevée [30].

3.3. Etude statistique

Le traitement des données a été réalisé par (ACP), afin d'étudier la répartition spatiale des stations étudiées en fonction des seize paramètres mesurées. Le choix de cette analyse nous a permis d'identifier les relations des variables physico-chimiques étudiées entre elles et d'étudier également la répartition spatiale des sites d'étude [31]. La projection des variables et des individus a été effectuée sur 2 axes, qui représentent 48,15 % de la variance totale. L'axe 1 réunit 27,84 % de la variance totale, et le second axe 20,31 % (figure 6).

L'analyse en composantes principales de l'ensemble des données obtenues fait apparaître l'effet positif de la conductivité sur le développement des streptocoques fécaux.

Un gradient amont/aval est apparent suivant l'axe 1 : les stations en aval du barrage (S1, S3 et S4), présentées sur la partie positive de l'axe factoriel, sont les plus oxygénées et faiblement minéralisées. La station en amont (S2) localisée à Oued Ziz, affichée sur la partie négative de l'axe, contient de grandes quantités de nutriments (phosphore total, nitrates, ammonium) et chargée en coliformes totaux, coliformes fécaux, germes totaux et streptocoques fécaux.

Conclusion

Cette étude de suivi mensuel sur une période d'une année est réalisée dans le but de caractériser, pour la première fois, la qualité des eaux du barrage Hassan Addakhil et celle de l'Oued Ziz. Ce travail fournit des informations importantes sur la base de descripteurs physico-chimiques et bactériologiques. L'analyse en

5. Ounir H., Etude d'aménagement paysager des abords de la retenue du barrage Hassan Addakhil. Mémoire de 3eme cycle. IAV Hassan II, (1999) Rabat-Maroc.
6. Riad S., Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc. Thèse Doctorat. Univ Sci Tech de Lille, France. (2003) 154p.
7. El Jaafari A., Morin G., Belkhadir R., El Jaafari S., Modélisation hydrologique des écoulements de l'Oued Ziz, et simulation de la qualité de l'eau dans la retenue du barrage Hassan Addakhil. 3^{ème} journées Internationale des géosciences de l'environnement. Abstracts Conf. (2005) El Jadida 08-10 Juin.
8. Ait Boughrou A., Biodiversité, écologie et qualité des eaux souterraines de deux régions arides du Maroc : le Tafilalet et la région de Marrakech. Thèse Doctorat. Université Cad Ayyad ; Fac. Sci. Semlalia Marrakech., (2007) 207p.
9. Michard A., Eléments de géologie marocaine. *Notes et Mém. Serv. Geol. Maroc*, N°252. (1976) 408.
10. ONEP., Procédure de prélèvement des eaux naturelles, traitées et usées. Office National de l'Eau Potable, direction contrôle qualité des eaux Maroc (2007).
11. Liechti P., Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau. Analyses physico-chimiques, nutriments. L'environnement pratique n°1005. Office fédéral de l'environnement, Berne. (2010) 44 p.
12. ONEP., Modes opératoires normalisés. Office National de l'Eau Potable, direction contrôle qualité des eaux Maroc (2008).
13. Rodier J., Legube B., Merlet N., Coll., L'analyse de l'eau, 9^{ème} édition. Ed. Dunod Paris. (2009) 1475p.
14. El Ghachtoul Y., Alaoui Mhamidi M., Gabi H., Eutrophisation des eaux des retenues des barrages Smir et Sehla (maroc) : causes, conséquences et consignes de gestion. *Journal of Water Science*, vol. 18, (2005), p. 75-89.
15. Arrêté conjoint n°1276-01 du 17 octobre 2002 du Ministère d'Equipement et du Ministère Chargé de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement, de l'Urbanisme et de l'Habitat, portant fixation des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation, Maroc. Bulletin officiel du 5 décembre (2002) 5p.
16. Ouhmidou M., Chahlaoui A., Qualité physico-chimique des eaux du barrage Hassan Addakhil d'Errachidia-Maroc. *Science Lib Editions Mersenne: Volume 5*, (2013) N° 130908. ISSN 2111-4706.
17. Villeneuve V., Legare S., Painchaud J., Vincent W., Dynamique et modélisation de l'oxygène dissous en rivière. *Rev. Sci. Eau, géol.* (2006) 259-274.
18. Benzha F., Taoufik M., Dafir J.E., Kemmou S., Loukili L., Impact of drainage operation on water quality of Daurat Reservoir, Morocco. *Rev. Sci. Eau.* (2005) 57-74.
19. Martinelli L., Krushe A.V., Victoria R.L., DE Camango P.B., Benardes M., Ferraz F.S., DE Mareas J.M., Ballester M.M., Effets of sewage on the chemical composition of Piracaba river Brasil. *Water, Air and soil Pollution*, 110(1/2) (1999) 67-79.
20. Djabri L., Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Th. Doct. Es-Sciences, Univ. Annaba, (1996) 261p.
21. Engstrom D. R., Wright H. E. Jr., Chemical stratigraphy of lake sediments as a record of environmental change. In: Lake sediments and environmental history. *Earth Planet. Sci. Lett.* 8, (1984) 11-67 pp.
22. Meybeck M., Carbon, Nitrogen and phosphorus transport by World Rivers. *Amer. J. Sci.*, 282, (1982), 401-450.
23. Fisher T.R., Harding L.W., Ward L.G., Phytoplankton, nutriments turbidity in the Chesapeake, delaway and Hudson estuaries. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.*, 27, (1988), 61-93.
24. Fogg G. E., Algal cultures and phytoplankton ecology. University of Wascontin Press, Madison, (1969).
25. Prochazkova L., Blazka P., Kvalova M., Chemical changes involving nitrogen metabolism in water and particulate matter during primary production experiments. *Limnol. Oceanogr.*, (1970) 15, 797-807.
26. Créteur X., Pollution microbienne des eaux : origine et mécanismes. Mémoire D.U., Eau et Environnement, D.E.P., Univ. De Picardie Jules Verne, Amiens, France. (1998) 60 p.
27. Borrego A. F., Romero P., Study of the microbiological pollution of a Malaga littoral area II. Relationship between fecal coliforms and fecal streptococci. VI^e journée étud. Pollutions, Cannes, France, (1982) pp. 561-569.
28. Geldreich E., Fecal coliform and fecal streptococcus density relationships in waste discharges and receiving 6 (1976) 349-369.
29. Maul A., Dollard M.A., Block J.C., Etude de l'hétérogénéité spatiotemporelle des bactéries coliformes en rivière. *Journal Français d'Hydrologie*, 13, Fasc. 2, no 38, (1982) 141-156.
30. Patoine M., Influence de la densité animale sur la concentration des coliformes fécaux dans les cours d'eau du Québec méridional, Canada. *Revue des sciences de l'eau*, 24(4), (2011) 421-435.
31. Meybeck M., Friedrich G., Thomas R., Chapman D., River water quality assessment: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring. London: Chapman. 1996.

(2015); <http://www.jmaterenvirosci.com>