



ÉTUDE DU CHANGEMENT DE L'ÉTAT DES EAUX DE L'OUED KHOUMANE A LA CONFLUENCE AVEC LES EAUX THERMALES DE LA SOURCE AIN HAMMA MOULAY IDRIS MAROC

**BEN MOUSSA A.^{1*}, CHAHLAOUI A.¹, ROUR E.H.¹, CHAHBOUNE M.¹,
ABOULKACEM A.²**

¹Équipe de Gestion et Valorisation des Ressources Naturelles, laboratoire de l'environnement et Santé, Faculté des Sciences de Meknès, Département de Biologie. Faculté des Sciences, Université Moulay Ismail, BP 11 201 Zitoune Meknès, Maroc.

²Laboratoire Régional de Diagnostic Épidémiologique et d'Hygiène du Milieu. Meknès.

* alidoctorant@gmail.com ; alidosya@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Dans le but d'étudier l'influence des eaux de la source Ain Hamma Moulay Idriss sur la qualité des eaux de l'oued Khoumane, des campagnes d'échantillonnage d'eaux ont été effectuées mensuellement, entre août 2010 et juillet 2011 au niveau de deux stations sur le lit de l'oued et une autre station au niveau de la source.

L'analyse descriptive des résultats a montré que les eaux de l'oued subissent des variations physico-chimiques importantes en aval de la zone de confluence: enrichissement en sels minéraux (chlorures et les sulfates), augmentation de la température, de la conductivité et de la dureté totale. En ce qui concerne la contamination bactériologique, les eaux de l'oued présentent un degré élevé en termes de contamination fécale (Coliformes totaux, Coliformes fécaux, Streptocoques fécaux et Entérocoques intestinaux) par rapport aux eaux de la source.

L'analyse explicative (Analyse en Composantes Principales) a montré une variabilité inter-stations et a corroboré les résultats de l'analyse descriptive.

L'aménagement de la source reste une solution primordiale pour préserver la qualité des eaux de la source et celle de l'oued.

Mots-clés : Oued Khoumane, Physico-chimie, Bactériologie, Analyse en Composante Principale, Maroc

ABSTRACT

In order to study the influence of the waters of the source Ain Hamma Moulay Idriss on the quality of waters of the "Oued Khoumane", companions sampling of waters were determined monthly between August 2010 and July 2011 at two stations on the bed of the "Oued" and the other at the source. The descriptive analysis of the results showed that the waters of the river are subject to important physical and chemical variations in the downstream station: enrichment in mineral salts (chlorides and sulfates), increase in temperature, conductivity and hardness Total.

With regard to bacteriological contamination, the waters of the river have a high level in terms of fecal contamination (total coliforms, fecal coliforms, fecal streptococci and Enterococci intestinal compared to source waters.

The explanatory analysis (Principal Component Analysis) showed variability between stations and corroborated the results of the descriptive analysis.

The planning of the source remains a paramount solution to preserve the water quality of the source and that of the "Oued".

Keywords: Oued Khoumane, Physicochemical, Bacteriology, Principal Components Analysis, Morocco.

INTRODUCTION

L'eau représente un élément essentiel et irremplaçable pour assurer la continuité de la vie. Cependant, elle peut être aussi une source de maladie (El Haissoufi et al., 2011), car elle peut jouer le rôle de vecteur d'agents potentiellement dangereux, notamment des micro-organismes pathogènes (Hassoune et al., 2010). La détérioration de la qualité des ressources en eau constitue une menace aussi importante que celle liée au déséquilibre quantitatif (El Addouli et al., 2009a). De plus, les sources de pollutions des eaux sont diverses et multiples. Les eaux souterraines, souvent protégées géologiquement, sont exposées à des pollutions agricoles, industrielles et / ou urbaines (Bricha et al., 2007). Les eaux superficielles elles aussi, sont menacées par des rejets polluants divers: industriels, domestiques, agricoles, atmosphériques, thermiques... etc. Les activités anthropiques sont à l'origine de la plupart des problèmes de pollution des cours d'eau. Elles diminuent le potentiel des ressources hydriques de bonne qualité (El Addouli et al., 2009a).

Le climat marocain est à la fois méditerranéen et atlantique. Il présente une saison sèche et chaude (de mai à septembre) et une saison froide (d'octobre à avril). Au Maroc, les écoulements superficiels sont tributaires des précipitations et présentent une grande variabilité spatiale (Bouaicha et Benabdelfadel, 2010). En général, les ressources hydriques dont dispose le Maroc sont limitées et soumises à des variations cycliques extrêmes (Alibou, 2002). De même, la

situation qualitative des eaux est loin d'être satisfaisante (Chahlaoui et al., 1997).

A l'échelle de la province de Meknès, située au centre du Maroc, le réseau hydrographique superficiel est constitué essentiellement par les oueds Boufekrane, Ouislane, Bouishak et oued Khoumane. A l'exception de ce dernier, les trois premiers cours d'eau ont suscité l'intérêt de nombreux chercheurs (Abdallaoui, 1990; Aboukacem et al., 2007; Chahlaoui, 1996; El Addouli et al., 2009b; El Addouli, 2010; El Addouli et al., 2012; Karrouch et Chahlaoui, 2007; Karrouch et Chahlaoui, 2009; Lamrani et al., 2011; Lamrani et al., 2012).

A 25 km de Meknès, se situe la ville de Moulay Idriss Zerhoun. Elle est implantée sur le relief rocheux qui domine la vallée de l'oued Khoumane. L'intérêt porté à ce cours d'eau réside essentiellement dans le fait qu'il reçoit les eaux usées de la ville de Moulay Idriss Zerhoun, les eaux thermales de la source Ain Hamma. De plus, ses eaux sont utilisées pour l'irrigation des cultures.

Le déversement des eaux thermales de la source Ain Hamma Moulay Idriss (utilisée pour la baignade) dans l'oued pourrait modifier la qualité des eaux de ce dernier. Les caractéristiques physico-chimiques d'une eau thermale sont liées à son parcours souterrain, à sa profondeur et à la constitution minérale des roches (Ezzaïdi et al., 2006). Les eaux thermales ont fait l'objet de plusieurs études scientifiques, entre autres, celles de (Duriez, 2006); (Fekraoui, 2007); (Hakam et al., 2000); (Lakhdar et al., 2006); (Lakhdar et al., 2007) et celle de (Zarhloule et al., 2007). Ces eaux présentent des caractéristiques physico-chimiques particulières pouvant sans doute modifier la qualité du milieu récepteur.

Dans ce contexte s'insère notre étude de la qualité des eaux de l'oued khoumane au voisinage de la source Ain Hamma Moulay Idriss. Un suivi de paramètres physico-chimiques et bactériologiques est réalisé au niveau des eaux de deux sites sur l'oued et au niveau des eaux de la source. L'objectif principal de ce travail est d'une part l'étude de la qualité des eaux de la source et, d'autre part l'évaluation des changements de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'oued pouvant être attribués au déversement direct des eaux thermales dans l'oued.

MATERIELS ET METHODES

Présentation du milieu d'étude et Sites d'échantillonnage.

Moulay Idriss Zerhoun est une ville touristique et spirituelle située à 25 Km de Meknès. Elle est traversée du sud-est à l'ouest par l'oued Khoumane (Figure. 1). L'oued Khoumane, affluent de l'oued R'dom, est un cours d'eau alimenté

par un ensemble de sources d'eau, dont la plus importante est la source thermale Ain Hamma Moulay Idriss (X : 489.300 et Y: 384.050). Cette dernière émerge aux abords du massif montagneux de Zerhoun et se situe tout près de l'oued khoumane.

Pour évaluer la qualité de l'eau de l'oued au voisinage de la source, nous avons choisi deux sites de prélèvement sur l'oued khoumane : Un site (O1) en amont de la zone de confluence avec les eaux de la source et un autre site (O2) en aval de cette zone. Un troisième site (S) a été choisi au niveau des eaux de la source Ain Hamma Moulay Idriss pour évaluer la qualité de cette dernière (Figure. 1)

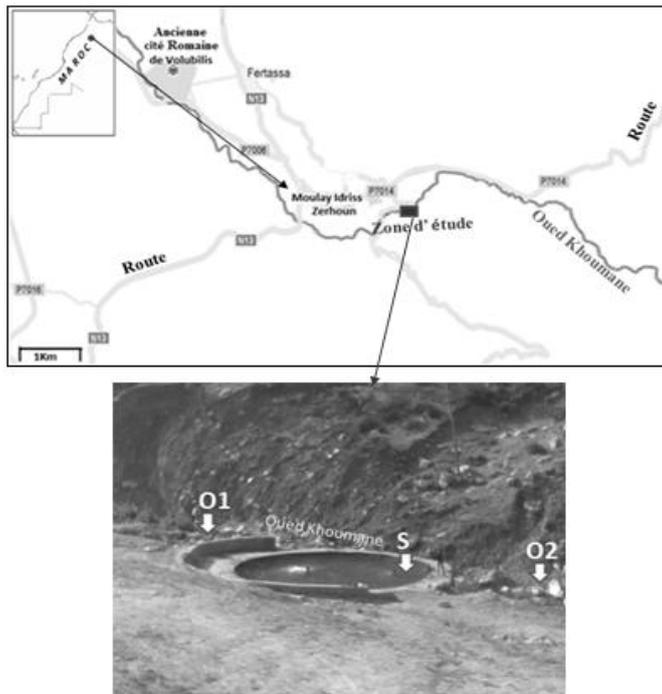


Figure 1 : Situation de la zone d'étude et stations d'échantillonnage

Échantillonnage et Analyses

Prélèvements et analyses physico-chimiques

L'échantillonnage de l'eau a été réalisé avec une fréquence mensuelle, au cours de la période s'étalant du mois août 2010 au mois juillet 2011. Certains paramètres sont mesurés directement in situ: la conductivité et la salinité (par un conductimètre portable de type Consort K912), la température de l'eau (par un thermomètre), le potentiel hydrogène (par un pH-mètre portable de type Hanna Hi 8519N), la température de l'air et le débit. Les échantillons de l'eau sont

acheminés, dans une glacière à une température basse ($\pm 4^{\circ}\text{C}$) au laboratoire pour analyser d'autres éléments majeurs : Oxygène dissous, Sulfates, Chlorures, Dureté totale, Nitrates, Nitrites, Orthophosphates, Demande Chimique en Oxygène, Demande Biologique en Oxygène et les matières en suspension (MES). Ces éléments sont mesurés au laboratoire selon les protocoles homologués (RODIER, 2009).

Prélèvements et analyses microbiologiques

Les échantillons d'eau sont prélevés selon la même fréquence de celle des paramètres physico-chimiques. Ces prélèvements sont effectués dans des flacons stériles de 500 ml en verre à bouchon rodé, en laissant dans le flacon un espace d'air afin de faciliter la remise en suspension des micro-organismes par agitation avant l'ensemencement dans les milieux de culture appropriés. Les prélèvements sont acheminés au laboratoire dans une glacière à une température $\pm 4^{\circ}\text{C}$ afin d'effectuer des analyses bactériologiques, et ceci selon des Normes Marocaines (NM) appropriées :

NM ISO 6222 (2007) (Indice de classement NM 03.7.005) pour le dénombrement des micro-organismes revivifiables; NM ISO 9308-1 (2007) (Indice de classement NM 03.7.003) pour la recherche et dénombrement des *Escherichia coli* et des Bactéries coliformes, NM ISO 6461-2 (2007) (Indice de classement NM 03.7.004) pour la recherche et dénombrement des spores de micro-organismes Anaérobies Sulfite-Réducteurs (ASR), NM ISO 7899-2 (2007) (Indice de classement NM 03.7.006) pour la recherche et dénombrement des Entérocoques intestinaux.

Analyse des données

Pour déterminer la relation entre les paramètres étudiés et la distribution des stations, nous avons utilisé la méthode explicative par l'Analyse en Composantes Principales (ACP) d'une part, pour 16 variables physico-chimiques et d'autre part, pour 7 variables bactériologiques. Pour réaliser cette analyse, nous avons utilisé le logiciel STATISTICA version 9.

RESULTATS ET DISCUSSION

Analyse descriptive

Étude des paramètres physico-chimiques

La variation des teneurs de différents paramètres physico-chimiques étudiés (Tableau 1) nous permet de noter que:

Les températures de l'air mesurées au cours de la période d'étude présentent des variations saisonnières : hiver (12,5 à 13,47 °C), printemps (20,7 à 22,4 °C), été (25,5 à 26,3 °C) et au voisinage de 20 °C en automne.

Les valeurs les plus élevées du débit de l'oued ont été enregistrées en hiver et aussi au printemps, atteignant respectivement une moyenne saisonnière d'ordre de 359,28 l/s et d'environ 206,92 l/s. Par contre, en été et en automne, ces valeurs sont plus basses en marquant respectivement 70,75 et 72,37 l/s. Selon l'importance du débit, Nous distinguons donc trois périodes: une première période estivo-automnale avec des débits faibles, une seconde hivernale avec des débits élevés et une troisième correspondant au printemps avec un débit moyen. Pour la source thermique, le débit moyen est de l'ordre de 9,83 l/s.

Tableau 1: les valeurs moyennes des parametres physico-chimiques.

Température de l'air (T air); Température de l'eau (T eau); Potentiel Hydrogène (pH); Salinité (Sal); Conductivité (Cond); Chlorures (cl); Sulfates (SO4); Nitrates (NO3); Nitrites (NO2); Ortho phosphates (PO4); Dureté totale (DT); Demande Chimique en Oxygène (DCO); Demande Biologique en Oxygène (DBO); Oxygène dissous (O2); Matières en suspension (MES); Débit (Q).

	O1 (amont)	S (source)	O2 (aval)
Tair (°C)	19,89±6,36	20,56±6,25	20,73±6,18
Teau (°C)	20,02±5,82	30,90±1,57	24,84±6,42
pH	6,50±0,47	6,31±0,57	6,51±0,58
Sal (mg/l)	1086,67±805,47	2228,25±159,27	1626,42±802,88
Cond (µs/cm)	2024,25±1493,04	4153,33±300,07	3024,83±1487,96
cl (mg cl/l)	263,95±201,73	547,97±75,56	395,83±214,55
SO₄ (mg/l)	333,93±245,13	1099,23±211,96	890,44±335,68
NO₃ (mg/l)	2,43±1,05	1,46±0,41	2,21±0,79
NO₂ (mg/l)	1,37±0,49	1,09±0,06	1,45±0,61
PO₄ (mg/l)	1,44±0,88	0,81±0,40	1,75±0,84
DT (°F)	58,18±39,12	190,58±21,04	125,03±65,67
DCO (mg/l)	260,67±138,74	270±72,06	337,60±195,92
DBO (mg/l)	43,42±16,31	9,10±2,34	59,06±21,86
O₂ (mg/l)	4,22±0,75	2,95±0,80	3,59±0,65
Q (l/s)	118,24±146,68	9,83±1,56	236,42±124,48
MES (mg/l)	118,44±97,68	48±35,59	146,23±118,23

Les températures moyennes des eaux de l'oued sont de l'ordre de 20,02±5,82 °C en O1 et 24,84±6,42 °C en O2. Au niveau de la source, cette température est de l'ordre de 30,90±1,57 °C. Au niveau de l'oued, les températures de l'eau élevées ont été enregistrées en été et en automne, alors que les plus faibles en hiver et les moyennes en printemps. Le déversement des eaux thermales de la

source Ain Hamma Moulay Idriss réchauffe les eaux de l'oued et explique les valeurs enregistrées au niveau de la station O2. L'augmentation brusque de la température de l'eau pourrait avoir un impact sur la qualité des eaux et donc sur la vie aquatique en aval. L'augmentation du débit de l'oued lié retour des précipitations, dilue les eaux de l'oued et pourrait expliquer la diminution de la température des eaux de l'oued en hiver. Les températures de l'eau mesurées sont inférieures à 35°C, considérée comme valeur limite indicative pour les eaux destinées à l'irrigation (Norme Marocaine, 2002a).

Le pH relevé ne montre pas de variations importantes entre les stations. Les valeurs moyennes enregistrées sont presque les mêmes et légèrement acide au niveau de l'oued ($6,5 \pm 0,5$ en O1 et $6,51 \pm 0,6$ en O2) et au niveau de la source ($6,31 \pm 0,6$).

La conductivité moyenne des eaux de l'oued augmente du site O1 ($2024,25 \pm 1493,04 \mu\text{s/cm}$) vers O2 ($3024,83 \pm 1487,96 \mu\text{s/cm}$) et note des fluctuations saisonnières importantes : les valeurs élevées en été et en automne, les plus diminuées en hiver suivi d'une augmentation sensible en printemps. Le déversement direct des eaux de la source thermique dans l'oued augmente aussi la conductivité de ses eaux. Les résultats obtenus nous permettent de conclure que les eaux de l'oued sont fortement minéralisées. Cette minéralisation dépasse largement celle montrée dans les oueds Tizguit (Touabay et al., 2002), Boufekrane (Lamrani et al., 2011) et Ouislane (Aboukacem, 2007). Comme ce paramètre est déterminé par la teneur en substances dissoutes, la charge ionique, la capacité d'ionisation, la mobilité et la température de l'eau (Derwich, 2010), les variations saisonnières observées pourraient s'expliquer aussi par le phénomène de dilution que connaît l'oued suite aux précipitations en période hivernale (Nassali et al., 2005), contrairement à la période sèche (été et automne), où a lieu une élévation de ce paramètre accentuée par la forte évaporation (El Morhit et al., 2008) et favorisée par un bas débit de l'eau en faveur de la prédominance des eaux thermales.

L'évolution spatio-temporelle de la salinité des eaux prélevées suit la même allure que celle de la conductivité. Les valeurs moyennes enregistrées de la salinité sont différentes : $1086,67 \pm 805,47 \text{ mg/l}$ en O1; $2228,25 \pm 159,27 \text{ mg/l}$ au niveau de la source et $1626,42 \pm 802,88 \text{ mg/l}$ en O2.

L'évolution spatiale de la dureté totale moyenne révèle un changement des teneurs entre O1 ($58,18 \pm 39,12 \text{ }^\circ\text{F}$) et O2 ($125,03 \pm 65,67 \text{ }^\circ\text{F}$). Les teneurs les plus élevées ont été enregistrées en été ($110,33 \text{ }^\circ\text{F}$ en O1 et $174,80 \text{ }^\circ\text{F}$ en O2) et en automne ($194,67 \text{ }^\circ\text{F}$ en O2), alors que les valeurs moins de $55 \text{ }^\circ\text{F}$ et de $96,4 \text{ }^\circ\text{F}$ sont enregistrées respectivement en hiver et en printemps. Au niveau de la source (S), la dureté moyenne enregistrée est de l'ordre de $190,58 \pm 21,04 \text{ }^\circ\text{F}$.

Les eaux de l'oued sont influencées par les eaux de la source plus chargées en chlorures ($547,97 \pm 75,56 \text{ mg d'ions } \text{Cl}^- / \text{l}$, et marquent $263,95 \pm 201,73 \text{ mg } \text{Cl}^- / \text{l}$ en O1 et $395,83 \pm 214,55 \text{ mg } \text{Cl}^- / \text{l}$ en O2. L'évolution spatio-temporelle des chlorures dans les eaux de l'oued présente la même allure que celle de la

salinité, Ceci nous semble encore normal car l'ion chlorure est un paramètre qui nous renseigne sur la salinité du milieu. La nature géologique régionale, les lessivages des roches et des sols et les eaux thermales de la source Ain Hamma (riche en chlorures) pourraient être à l'origine des ces fluctuations. Selon la classification proposée par Nisbet et Verneaux (1970), les eaux de l'oued analysées présentent des teneurs échelonnées sur la classe 7, qui correspond aux eaux plus ou moins polluées.

Pour les sulfates, les eaux du site O2 sont plus chargées ($890,44 \pm 335,68 \text{ mg/l}$) que celles du site O1 ($333,93 \pm 245,13 \text{ mg/l}$). Les valeurs moyennes enregistrées dans la source sont de l'ordre de $1099,23 \pm 211,96 \text{ mg/l}$. Ces teneurs au niveau des eaux de l'oued dépassent fréquemment la norme fixée par la norme Marocaine relative à la qualité des eaux destinées à l'irrigation (Norme Marocaine, 2002a). D'après Nisbet et Verneaux (1970), ces eaux présentent des teneurs en sulfates échelonnées sur la dernière classe (classe 7 : $[\text{SO}_4^{2-}] > 250 \text{ mg/l}$), correspondant à des eaux très séléniteuse ou fortement polluées. Les variations saisonnières des teneurs en sulfates et en chlorures au niveau des sites O1 et O2 pourraient s'expliquer en été et en automne par l'évaporation des eaux de l'oued (Gouaidia, 2008) et par la prédominance des eaux de la source thermique en O2; et en hiver et en printemps, par le phénomène de dilution lié à l'augmentation du débit de l'oued.

Les concentrations moyennes en oxygène dissous enregistrées au niveau des eaux de l'oued sont de l'ordre de $4,22 \pm 0,75 \text{ mg/l}$ et $3,59 \pm 0,65 \text{ mg/l}$ en O1 et en O2 respectivement. Au niveau de la source, le taux d'oxygène dissous a été faible ($2,59 \pm 0,80 \text{ mg/l}$). Ces teneurs ont augmenté en hiver et en printemps dans les deux sites de l'oued, ce qui pourrait être liée à l'augmentation du débit de l'oued au cours de cette période et au brassage de ces eaux. Au niveau de la source, le taux d'oxygène dissous a été faible, ce qui pourrait s'expliquer par l'effet des températures élevées des eaux de la source sur la solubilité d'oxygène.

Les valeurs moyennes enregistrées en Nitrates au niveau des trois sites O1, S et O2 sont respectivement de l'ordre de $2,43 \pm 1,05 \text{ mg/l}$; $1,46 \pm 0,41 \text{ mg/l}$ et $2,21 \pm 0,79 \text{ mg/l}$. Au niveau des eaux de l'oued, les teneurs en nitrates ont augmenté au cours de la période hivernale. Les eaux de la source sont moins chargées en nitrites que les autres eaux. Au niveau de l'oued, les teneurs en nitrites ont augmenté au cours de la période hivernale. Les valeurs moyennes sont $1,37 \pm 0,49 \text{ mg/l}$; $1,09 \pm 0,06 \text{ mg/l}$ et $1,45 \pm 0,61 \text{ mg/l}$ respectivement en O1, Source et en O2.

L'évolution temporelle des orthophosphates dans les trois sites révèle des teneurs moyennes de l'ordre de $1,44 \pm 0,88 \text{ mg/l}$ en O1 ; $0,81 \pm 0,40 \text{ mg/l}$ au niveau de la source et de $1,75 \pm 0,84 \text{ mg/l}$ en O2.

Le suivi des teneurs en matières en suspension (MES) a montré que les eaux de la source sont moins chargées ($48 \pm 35,59 \text{ mg/l}$) que les eaux de l'oued ($118,44 \pm 97,68 \text{ mg/l}$ en O1 et $146,23 \pm 118,23 \text{ mg/l}$ en O2). Ces dernières, ont

contenu plus de MES en hiver, en été et en automne. Une diminution des teneurs a été observée en printemps.

L'observation des valeurs de la Demande chimique en Oxygène (DCO) enregistrées par cette étude montre des valeurs moyennes de l'ordre de 260,67mg/l ; 270mg/l et 337,60 mg/l respectivement en O1, Source et en O2. La DCO a augmenté dans les deux sites O2 et O1 au début de l'hiver (période des crues). Les valeurs de la Demande Biologique en Oxygène subissent des variations irrégulières au cours de la période d'étude; elles sont de l'ordre de 43,42±16,31mg/l; 9,10±2,34mg/l et 59,06±21,86mg/l respectivement en O1, Source et en O2. Au niveau des eaux de l'oued, les valeurs élevées sont enregistrées en hiver suivi d'été et d'automne.

Contrairement à l'évolution de la température de l'eau, la conductivité, la salinité, la dureté totale, les chlorures et des sulfates, les eaux de la source sont généralement moins chargées que les eaux de l'oued, en nitrates, nitrites, orthophosphates, DCO, DBO et en MES. Ces derniers paramètres renseignent sur la pollution organique des eaux. La contamination par ces éléments serait essentiellement liée aux lessivages des sols et aux activités anthropiques (rejets des déchets). L'augmentation des teneurs en hiver est liée à l'accentuation du phénomène du lessivage des sols et leur diminution des teneurs en été et en automne pourrait s'expliquer par la diminution de la pollution diffuse (Neal et al, 2000). Ces changements saisonnières sont en accord avec ceux enregistrés dans les cours d'eaux de Meknès (Aboukacem, 2007; El Addouli, 2010; Karrouch, 2010).

Étude bactériologique

Les résultats relatifs à la variation des concentrations moyennes, maximales et minimales en indicateurs de pollution fécale sont mentionnés dans le tableau (2).

La répartition spatiale des GT dénombrés à 37 °C dévoile l'augmentation des concentrations en O2 par rapport au site O1. Les variations temporelles des ces germes montrent que les charges bactériennes les plus élevées sont enregistrées pendant la période estivale (21,6.10³ UFC/1ml en O1 et 61,6. 10³ UFC/1ml en O2). Les moyennes concentrations sont notées en automne (72.10² UFC/1ml en O1 et 89,3.10² UFC/1ml en O2) et en printemps (56.10² UFC /1ml en O1 et 72,6.10² UFC /1ml en O2). Alors que, les plus basses sont mentionnées au cours de la période la plus froide (hiver) en enregistrant 220 UFC /1ml et 460 UFC /1ml respectivement en O1 et O2. Pour les eaux de la source, elles sont plus chargées en GT pendant la période estivale (466 UFC /1ml), et moins chargées dans les autres saisons (84 UFC /1ml en automne, 11 UFC /1ml en hiver et 25 UFC /1ml en printemps).

La variation temporelle des Coliformes Totaux (CT) montre, dans les eaux de l'oued, des concentrations élevées en été (51.10^3 UFC/100ml en O1 et $116,6.10^3$ UFC/100ml en O2) et en automne ($42,7.10^3$ UFC/100ml en O1 et $47,3.10^3$ UFC/100ml en O2), des valeurs minimales en hiver (550 UFC/100ml en O1 et 7.10^2 UFC/100ml en O2), suivie d'une élévation sensible en printemps (650 UFC/100ml en O1 et $22,6.10^2$ UFC/100ml en O2). L'évolution spatiale des CT dans ces eaux a révélé une augmentation légère en O2 par rapport au site amont O1.

Pour les eaux de la source, elles sont plus chargées en CT pendant la période estivale ($25,2.10^3$ UFC/100ml). Cette charge bactérienne enregistre 1840 UFC/100ml en automne, 300 UFC/100ml en hiver et 483 UFC /100ml en printemps.

Tableau 2. Évolution spatiale des valeurs moyennes (C_{moy}), minimales (C_{min}) et maximales (C_{max}) des paramètres biologiques dans les eaux étudiées. (GT) : Germes Totaux; (CT) : Coliformes Totaux; (CF) : Coliformes Fécaux; (*E coli*) : Escherichia coli; (SF) : Streptocoques Fécaux; (EI) : Entérocoques Intestinaux; (ASR) : Anaérobies Sulfito-Réducteurs. (GT en UFC/1ml, les autres germes en UFC/100ml).

	O1 (amont)			S (source)			O2 (aval)		
	Moy	max	min	Moy	max	min	Moy	max	min
GT	8672	25.10^3	100	147	9.10^2	4	19582	11.10^4	230
CT	23758	15.10^4	130	6964	7.10^4	200	41742	20.10^4	140
CF	15248	12.10^4	100	1554	10^4	40	24432	18.10^4	110
<i>Ecoli</i>	1606	12.10^3	25	835	5.10^3	20	5165	32.10^3	66
SF	673	14.10^2	100	168	300	20	1274	56.10^2	200
EI	496	1020	80	58	180	5	523	10.10^2	140
ASR	9	40	0	2	6	0	11	52	0

Généralement, l'allure de la variation spatio-temporelle des concentrations en Coliformes Fécaux (FC) dans les eaux de l'oued rappelle celle des CT (élevée en été et en automne, diminuée en hiver). Pour les eaux de la source, la contamination élevée a été enregistrée en été et en automne.

De la même façon, la révélation d'une éventuelle contamination en *E. coli* rappelle celle en CF. Les valeurs enregistrées sont comprises entre 20 et 50. 10² UFC/100ml au niveau de la source comme valeurs extrêmes minimales et maximales, entre 25 et 12. 10³ UFC/100ml au niveau de O1 et entre 66 et 32. 10³ UFC/100ml au niveau de O2.

Les concentrations moyennes en CF des eaux de l'oued dépassent largement les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation (Norme Marocaine, 2002a). Le risque sanitaire relié à la présence de bactéries du groupe des coliformes totaux est souvent faible, à l'exception de certaines souches d'*E. Coli* et de certaines bactéries opportunistes qui peuvent causer de graves maladies (EL Haissoufi et al., 2011). D'une manière globale, la variation spatio-temporelle de la contamination en *E coli* rappelle celle en CF et confirme, par la suite, la contamination fécale des eaux analysées. En effet, la détection d'*E. Coli* dans les eaux est considérée comme suffisante pour affirmer la nature fécale de la pollution (Aboukacem, 2007). Mais elle n'identifie pas la source précise de la matière fécale (El Haissoufi et al., 2011). D'après nos prospections au niveau de la zone d'étude, nous avons noté l'existence des déchets de toutes nature (d'origine animale et/ou humaine) dans les terrains avoisinants du l'oued.

La variation spatiale de la concentration en Streptocoques fécaux (SF) montre que les eaux en O2 sont plus contaminées qu'en O1 (en moyenne annuelle : 1274 contre 673 UFC/100ml) et qu'elle est légèrement faible en printemps par rapport aux autres saisons. Au niveau de la source, la contamination en ces germes a été comprise entre 20 et 300 UFC/100ml. La recherche des Entérocoques intestinaux a révélé que la source est plus contaminée en été et en automne et que la concentration moyenne en ces germes est de l'ordre de 58 UFC/100ml. Pour les sites de l'oued, O2 est généralement plus contaminée que O1 (523 contre 496 UFC/100ml en moyenne). Sur la base des concentrations en SF et selon la classification Marocaine des eaux de surfaces (Norme Marocaine, 2002b), les eaux du site O1 sont de bonne qualité microbiologique, Alors que celles d'O2 correspondent aux eaux de catégorie moyenne.

L'évolution spatio-temporelle des concentrations en micro-organismes Anaérobies Sulfito-Réducteurs a montré des fluctuations irrégulières au niveau des sites suivis. La contamination en ces germes est faible par rapport aux autres germes cités ci-dessus. Les valeurs extrêmes minimale et maximales enregistrées sont respectivement 0 et 40 UFC/100ml pour la station O1; 0 et 52 UFC/100ml pour la station O2 et enfin 0 et 6UFC/100ml pour la station 'source'.

De point de vue bactériologique, la source thermique présente des concentrations bactériennes élevées en été, moyennes en automne et des concentrations faible en hiver, Ceci pourrait s'expliquer par le nombre important des baigneurs visitant cette source en période estivo-automnale et aussi par son état non aménagé. Selon la Norme Marocaine 03.7.200 (1998), relative à la surveillance de la qualité des eaux de baignade, les eaux de la source Ain Hamma Moulay

Idriss sont de classe C (eau momentanément polluée) et dépassent, en été, les valeurs impératives en *E. Coli* fixées par la norme.

La variation de la charge en flore totale et en bactéries indicatrices de contamination fécale dans les eaux de l'oued est importante et semble être liée à l'effet de certains rejets ménagers et humains. Nous avons enregistré, comme déjà mentionné dans des cours d'eau superficielles (Aboukacem, 2007; Chahlaoui, 1996; El Addouli, 2010; Karrouch, 2010), l'existence des fluctuations saisonnières de ces germes au niveau des eaux de l'oued. Les concentrations enregistrées en été et en automne pourraient s'expliquer par un bas débit de l'oued et par la température élevée des eaux, alors qu'en hiver, par le retour des précipitations et par la diminution des températures. Ces résultats sont en concordance avec ceux notés dans l'oued Boufekrane par (Chahlaoui, 1996) et par (Karrouch, 2010).

Analyse explicative

Paramètres physico-chimiques

Cette analyse a été réalisée sur un tableau de données de trois individus (stations) et de seize variables : Température de l'air (Tair), Température de l'eau (Teau), pH, Salinité (Sal), Conductivité (Cond), Chlorures (cl), sulfates (SO₄), Nitrates (NO₃), Nitrites (NO₂), Orthophosphates (PO₄), Dureté totale (DT), Demande chimique en oxygène (DCO), Demande biologique en oxygène (DBO), Oxygène dissous (O₂), les Matières En Suspension (MES) et le débit (Q).

Le plan factoriel F1-F2 nous a permis d'expliquer 70,55% (F1 : 52,47% et F2 : 18,08%) de la variabilité totale. L'examen des données relatives à la matrice des corrélations entre les variables nous a permis de révéler l'existence d'une forte corrélation significativement élevée entre la conductivité, les sulfates, les chlorures, la dureté totale, la salinité et la température de l'eau d'une part, et une corrélation significativement élevée entre la DBO et les autres paramètres Q, NO₂, NO₃ et les PO₄ d'autre part.

La projection des variables sur le plan factoriel F1- F2 (Figure 2) montre que :

- Les températures de l'air et de l'eau, la salinité, la conductivité, les sulfates, les chlorures, et la dureté totale sont corrélées positivement avec F1. Ce dernier, par son pôle positif, renseigne sur la majorité des paramètres qui déterminent le degré de la pollution minérale des eaux, et oppose donc les eaux minéralisées aux eaux faiblement ou moins chargées. Il définit alors un gradient de minéralisation allant de la gauche vers la droite de l'axe.

- Les paramètres : DBO, MES, Q, NO₃, PO₄ et les NO₂ sont corrélés négativement avec F1. Ce pôle regroupe donc, la majorité des paramètres qui déterminent le degré de pollution organique. Cet axe définit alors un gradient de pollution organique allant de son pôle positif vers l'autre pôle négatif.

L'analyse de la projection des individus sur le plan factoriel F1-F2 nous a permis de définir une distribution des station selon les mois d'échantillonnage en deux groupes (Figure 3):

Groupe 1 : corrélé positivement avec l'axe F1 et constitué exclusivement par les eaux de la source (durant la période d'étude) et par les eaux de l'oued (pendant l'été et l'automne). Ces eaux, moins oxygénées, présentent un degré de minéralisation élevé et des températures relativement élevées.

Groupe 2 : corrélé négativement avec l'axe F1 et constitué exclusivement par les eaux de l'oued (en hiver et en printemps). Ces eaux, plus oxygénées que celles du groupe 1, sont relativement riches en pollution organique.

Les résultats obtenu par cette ACP pourraient s'expliquer pour les eaux de l'oued par le bas débit des eaux en été et en automne d'une part et par la prédominance de eaux thermales d'autre part. Alors qu'en hiver et en printemps, le retour des précipitations et donc du haut débit de l'oued, pourraient expliquer l'enrichissement des eaux de l'oued par les polluants organiques amenés par les lessivages des sols et par les crues.

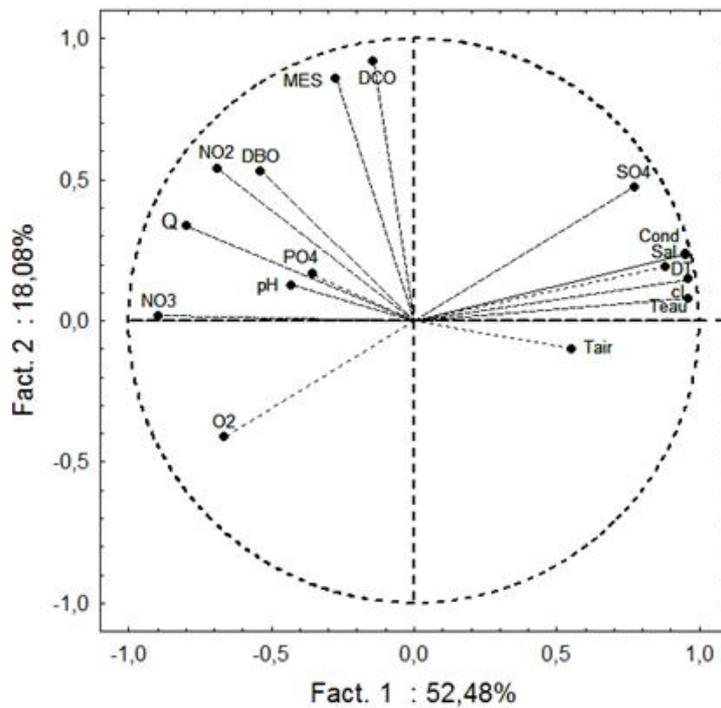


Figure 2 : Analyse en Composantes Principales des paramètres physico-chimiques. Carte factorielle des variables.

Température de l'air (T air); Température de l'eau (T eau); Potentiel Hydrogène (pH); Salinité (Sal); Conductivité (Cond); Chlorures (cl); Sulfates (SO4);

Nitrates (NO₃); Nitrites (NO₂); Ortho phosphates (PO₄); Dureté totale (DT); Demande Chimique en Oxygène (DCO); Demande Biologique en Oxygène (DBO); Oxygène dissous (O₂); Matières en suspension (MES); Débit (Q).

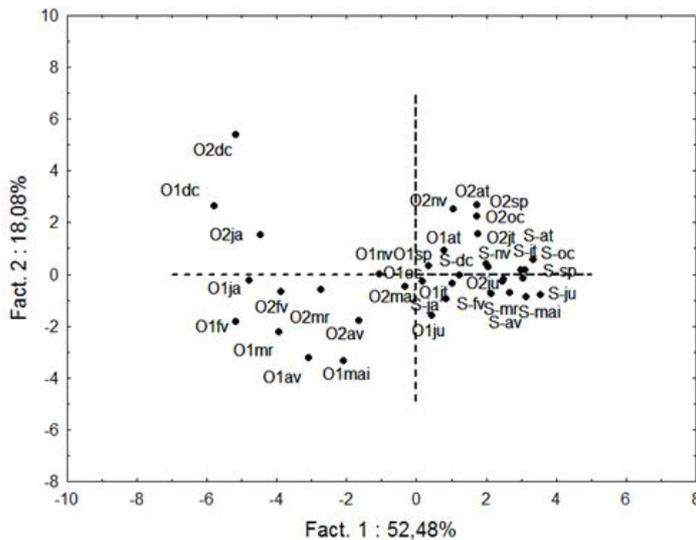


Figure 3 : Analyse en Composantes Principales des paramètres physico-chimiques. Carte factorielle des stations

(ja) janvier; (fv): fevrier; (mr) mars; (av) avril; (mai) mai; (ju) juin; (jt) juillet; (at) aout; (sp) septembre; (oc) octobre; (nv) novembre; (dc) decembre

Paramètres bactériologiques

L'analyse par ACP a été réalisée sur un tableau de données de trois individus (stations : O1, O2 et S) et de sept Variables : Germes Totaux (GT), Coliformes Totaux (CT), Coliformes Fécaux (CF), Escherichia. Coli (*E. Coli*), Streptocoques Fécaux (SF), Entérocoques Intestinaux (EI) et les Anaérobies Sulfito-Réducteurs (ASR).

Le plan factoriel F1-F2 nous a permis d'expliquer 80% (F1 : 63,65% et F2 : 16,35%) de la variabilité totale. L'examen des données relatives à la matrice des corrélations entre les variables nous a permis de révéler l'existence d'une forte corrélation significativement élevée entre les variables GT, CT, CF, *E. Coli*, SF et EI. La projection de ces variables sur le plan factoriel F1- F2 (Figure 4) montre que ces variables sont corrélées positivement avec F1. Ce dernier, par son pôle positif, renseigne sur la majorité des paramètres qui déterminent le degré de la pollution bactériologique, et oppose donc les eaux plus contaminées aux eaux faiblement ou moins polluées. Il définit alors un gradient de pollution bactériologique allant de la gauche vers la droite de l'axe.

L'analyse de la projection des individus sur le plan factoriel F1-F2 nous a permis de définir une distribution des stations selon les mois d'échantillonnage en deux groupes (Figure 5):

Groupe 1 : corrélé positivement avec l'axe F1 et constitué exclusivement par les eaux de la source (en Aout et en juillet) et par les eaux de l'oued (en été et en automne). Ces eaux présentent des teneurs élevées en germes indicateurs de pollution fécale et en GT.

Groupe 2 : corrélé négativement avec l'axe F1 et constitué exclusivement par les eaux de l'oued (en hiver et en printemps) et par les eaux de la source (en hiver et en printemps et en automne) et qui sont moins polluées que celles du groupe 1.

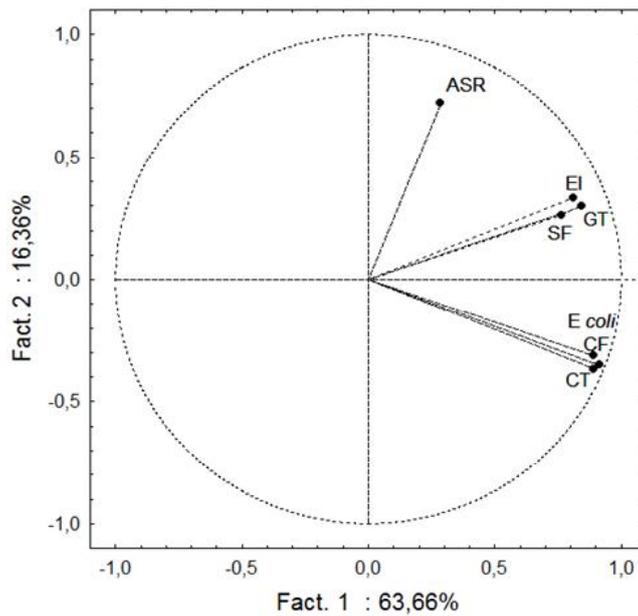


Figure 4 : Analyse en Composantes Principales des paramètres bactériologiques. Carte factorielle des variables.

(GT) : Germes Totaux; (CT) : Coliformes Totaux; (CF) : Coliformes Fécaux; (*E coli*) : Escherichia coli; (SF) : Streptocoques Fécaux; (EI) : Entérocoques Intestinaux; (ASR) : Anaérobies Sulfito-Réducteurs.

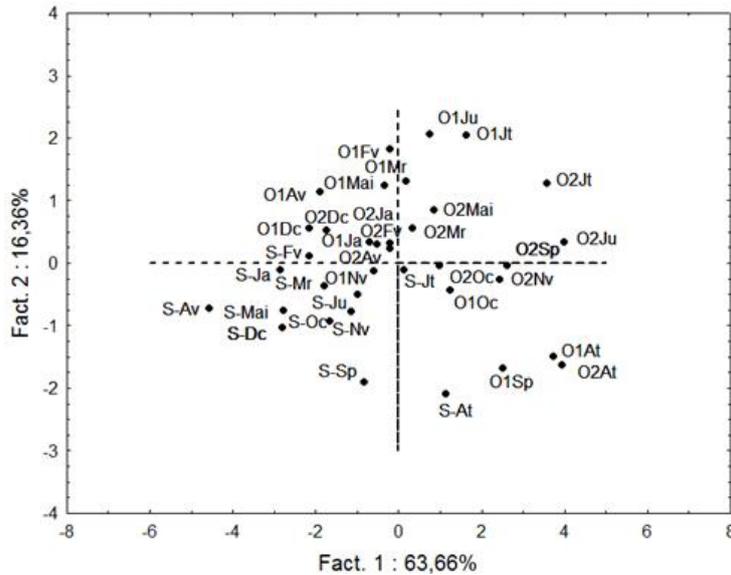


Figure 5 : Analyse en Composantes Principales des paramètres bactériologiques. Carte factorielle des stations.

(ja) janvier; (fv): fevrier; (mr) mars; (av) avril; (mai) mai; (ju) juin; (jt) juillet; (at) aout; (sp) septembre; (oc) octobre; (nv) novembre; (dc) decembre.

Les résultats de l'analyse par ACP des données bactériologiques pourraient aussi, s'expliquer pour les eaux de l'oued par le bas débit des eaux en été et en automne d'une part et par les températures d'eau relativement élevées et qui sont favorables au développement des germes. Alors qu'en hiver et en printemps, ils pourraient s'expliquer par le retour des du haut débit de l'oued avec des basses températures d'eau. Pour la source Ain Hamma Moulay Idriss, le nombre élevé des baigneurs visitant cette source en été pourrait expliquer les teneurs élevées en germes en cette période.

CONCLUSION

Les résultats obtenus au cours de notre étude ont permis de répondre aux objectifs fixés et de dresser un portrait de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Hamma Moulay Idriss et celle du tronçon de l'oued khoumane passant au voisinage de la source.

Les eaux de la source thermique sont très minéralisées et ont des caractéristiques physico-chimiques très particulières. Les analyses bactériologiques effectuées ont montré une contamination de la source par les germes indicateurs de contamination fécale ce qui pourrait constituer un risque pour la santé des baigneurs. Les effets des eaux de la source Ain Hamma sur les eaux de l'oued

sont principalement remarquables en termes d'augmentation de la conductivité, de la dureté totale et de la température. Elles contribuent également dans l'enrichissement de ces eaux en chlorures et en sulfates.

Sur le plan bactériologique, les concentrations en germes enregistrées dans la source sont inférieures à celles trouvées dans les stations de l'oued. Les eaux de la station aval sont plus concentrées en coliformes et en streptocoques fécaux que celles de l'amont.

La modification de la qualité physico-chimique des eaux de l'oued Khoumane, suite au déversement direct des eaux de la source, pourrait avoir un effet sur l'ensemble de l'écosystème aquatique en aval de la zone de confluence. L'aménagement de la source reste une solution primordiale pour préserver d'une part la qualité des eaux de la source elle-même (donc la santé des baigneurs) et celles de l'oued khoumane et d'autre part pour renforcer l'écotourisme dans la région historique de Moulay Idriss Zerhoun.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDALLAOUI A. (1990). Contribution à l'étude de la pollution des cours d'eau marocains par les métaux lourds : cas de l'oued Boufekrane. Thèse de 3^{ème} cycle, Université Moulay Ismaïl, Meknès (Maroc).
- ABOULKACEM A. (2007). Étude hydrobiologique comparative des oueds Boufekrane et Ouislane à la traversée de la ville de Meknès. Impact sur la Santé et l'Environnement. Thèse d'État, Fac. Sciences. Meknès (Maroc).
- ABOULKACEM A., A. CHAHLAOUI, A. SOULAYMANI, F. RHAZI-FILALI F et D. BENALI (2007). Étude comparative de la qualité bactériologique des eaux des oueds Boufekrane et Ouislane à la traversée de la ville de Meknès (Maroc). *Revue de Microbiologie Industrielle Sanitaire et Environnementale*. N°110-22.
- ALIBOU J. (2002). Impacts des changements climatiques sur les ressources en eau et les zones humides du Maroc. Table Ronde Régionale en Méditerranée Athènes, Grèce, pp1-39.
- BOUAICHA R. et A. BENABDELFADEL (2010). Variabilité et gestion des eaux de surface au Maroc. *Sécheresse* ; 21 (1e) : 1-5.
- BRICHA S., K. OUNINE, S. OULKHEIR, N. EL HALOUI et B. ATTARASSI (2007). Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra, Maroc. *Afrique SCIENCE* 03(3), 391 – 404.
- CHAHLAOUI A. (1996). Étude hydrobiologique de l'oued Boufekrane (Meknès), Impact sur l'environnement et la santé. Thèse d'État, Université Moulay Ismaïl, Meknès (Maroc).
- CHAHLAOUI A., P. CUGNY, S. LEK, A. ZAID et M. RAMDANI (1997). Analyse quantitative de la qualité de l'eau de l'oued Boufekrane, Maroc. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle. Toulouse*, 133, 71-76.

- DERWICH E., L. BENAABIDATE, A. ZIAN, O. SADKI, et D. BELGHITY (2010). Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe alluviale du haut Sebou en aval de sa confluence avec oued Fès. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, N° 08 :101-112.
- DURIEZ A. (2006). Origine et processus de minéralisation d'eaux thermales en milieu continental méditerranéen : cas du système géothermal des Thermopyles (Grèce). Thèse, N° d'ordre : 85 47. Université Paris Sud 11, Faculté des Sciences d'Orsay.
- EL Addouli J. (2010). Qualité physico-chimique et biologique des eaux polluées réutilisées en agriculture dans la zone périculture de Meknès (Maroc). Thèse d'état. Université Moulay Ismail, Meknès (Maroc), p. 168.
- EL ADDOULI J., A. CHAHLAOUI, A. BERRAHOU, A. CHAFI et A. ENNABILI (2009a). Qualité physico-chimique et biologique de l'oued Ouislane au sein de la ville de Meknès (centre - nord du Maroc). Revue de l'Association Forum du Nord du Maroc. N° double (4-5), 46-58.
- EL ADDOULI J., A. CHAHLAOUI, A. BERRAHOU, A. CHAFI, A. ENNABILI et L. KARROUCH (2009b). Influence des eaux usées, utilisées en irrigation, sur la qualité des eaux de l'oued Bouishak- région de Meknès (Centre-Sud du Maroc). Revue de Microbiologie Industrielle Sanitaire Et Environnementale. Vol 3, N°1, 56-75.
- EL ADDOULI J., A. CHAHLAOUI, H. LAMRANI, A. CHAFI et A. ENNABILI (2012). Aspect sanitaire et socioéconomique liés à la réutilisation des eaux usées en agriculture Région de Meknès. ScienceLib Editions Mersenne : Volume 4, N° 120107. ISSN 2111-4706.
- EL HAISSOUFI H., S. BERRADA, M. MERZOUKI, M. AABOUCH, L. BENNANI, M. BENLEMLIH, M. IDIR, A. ZANIBOU, Y. BENNIS et A. EL OUALI LALAMI (2011). Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès, Maroc. Revue de Microbiologie Industrielle Sanitaire et Environnementale. Vol 5, N°1, 37-68.
- EL MORHIT M., M. FEKHAOUI, A. SERGHINI, S. EL BLIDI, A. EL ABIDI, R. BENNAAKAM, A. YAHYAOUI et M. JBILOU (2008). Impact de l'aménagement hydraulique sur la qualité des eaux et des sédiments de l'estuaire du Loukkos (côte atlantique, Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre, N° 30 : 39-47
- EZZAÏDI A., K. KHALOUFI, M.A. BOUAGOU et M. EL YOUSSE (2006). Un site de tourisme de santé à promouvoir : la station d'Abaynou (province de Guelmim). Le Premier Workshop International sur le Géotourisme et l'Ecotourisme dans les régions Souss-Massa-Draâ et Guelmim-EsSmara. Mirleft-Guelmim et Assa. Les 8-9 avril. Travail effectué dans le cadre du PROTARS : P2T3/62, page 1.
- FEKRAOUI A. (2007). Caractéristiques géochimiques des Eaux géothermales de la région d'Oran. Revue des Énergies Renouvelables CER'07 Oujda, 75 – 80.

- GOUAIDIA L. (2008). Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana nord-est Algérien. Thèse de Doctorat, Faculté des sciences de la Terre, Université Badji Mokhtar-Annaba. Algérie, p. 199.
- HAKAM O.K., A. CHOUKRI, J.L. REYSS and M. LFERDE (2000). Comparison of uranium and radium isotopes activities in some well and thermal springs samples in Morocco. *Revue des sciences de l'eau*: 13/2, 185-192.
- HASSOUNE E., S. EL KETTANI, Y. KOULALI et A. BOUZIDI (2010). Contamination bactériologique des eaux souterraines par les eaux usées de la ville de Settat, Maroc. *Revue de Microbiologie Industrielle Sanitaire Et Environnementale*. Vol 4, N°1, 1-21.
- KARROUCH L. (2010). Bio-évaluation de la qualité des eaux courantes de la région Meknès (Centre- Sud, Maroc) – Impact sur l'environnement et la santé. Thèse doctorat es sciences en biologie. Université Moulay Ismaïl, Meknès (Maroc).
- KARROUCH L. et A. CHAHLAOUI (2007). Évaluation de la qualité biologique des eaux de l'oued Boufekrane (Meknès, Maroc). 2ème Colloque International sur l'Eau et l'Environnement : Sidi Fredj les 30 et 31 janvier, 224-235.
- KARROUCH L. and A. CHAHLAOUI (2009). Bio-evaluation of the quality of water of the Boufekrane river (Meknes, Morocco). *Biomatec Echo*, September, Volume 3, Number 6, 6 – 17.
- LAKHDAR A., A. NTARMOUCHANT, M.L. RIBEIRO, M. BEQQALI, K. EL OUADEIHE, L. BENAABIDATE, M. DAHIRE, Y. DRIUCHE and A. BENSLIMANE (2006). New Geological and Geochemical Approach of the Moulay Yacoub Hydrothermal Complex (Northern Border of the South Rifain's Furrow). *Comunicacoes Geologicas*, t. 93, 185-204.
- LAKHDAR A., A. NTARMOUCHANT, M.L. RIBEIRO, M. BEQQALI, K. EL OUADEIHE, L. BENAABIDATE, M. DAHIRE, Y. DRIUCHE et A. BENSLIMANE (2007). Détermination de l'origine de la minéralisation des eaux thermales de Moulay Yacoub par des approches géologiques et géochimiques. *Revue des Énergies Renouvelables CER'07 Oujda*, 81 – 84.
- LAMRANI H., A. CHAHLAOUI, J. EL ADDOULI et A. ENNABILI (2011). Évaluation de la qualité physicochimique et bactériologique de l'oued Boufekrane au voisinage des effluents de la ville de Meknès (Maroc). *ScienceLib Éditions Mersenne* : Volume 3, N° 11112. ISSN 2111-4706.
- LAMRANI H., A. CHAHLAOUI, J. EL ADDOULI et A. ENNABILI (2012). Etude de la qualité des eaux de l'oued Boufekrane et application de l'Analyse en Composantes Principales. *ScienceLib Éditions Mersenne* : Volume 4, N° 120303. ISSN 2111-4706.
- NASSALI H., H. BEN BOUIH, A. SRHIRI, M. DHAHBI (2005). Influence des

- rejets des eaux usées sur la composition des eaux de surface et des sédiments superficiels du lac Merja Fouarate au Maroc. *Afrique Science* 01(1): 145 – 165.
- NEAL C., M. NEAL, H. WICKHAM, M. HARROW (2000). The water quality of a tributary of the Thames, the Pang, southern England. *The Science of the Total Environment*. 251 / 252: 459-475.
- NISBET M. et J. VERNEAUX (1970). Composantes chimiques des eaux courantes. *Annales de limnologie*, t. 6, fasc. 2, 1970 :161-190.
- NORME MAROCAINE 03.7.200 (1998) : norme de surveillance de la qualité des eaux de baignade. Ministère de Comité technique de normalisation de la qualité des eaux Avis du C.S.I.Q.P. du 18 Mars 1998. *Bulletin Officiel Maroc*. N°4592 du 4 Juin.
- NORME MAROCAINE DE QUALITÉ DES EAUX (2002a). Arrêté conjoint du ministre de l'équipement et du ministre chargé de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement n° 1676-01 du 10 chaabane 1423 (du 17 octobre 2002) portant fixation des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation. *Bulletin Officiel Maroc*. N°5062.
- NORME MAROCAINE DE QUALITÉ DES EAUX (2002b). Arrêté conjoint du Ministre de l'équipement et du Ministre chargé de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement n°1275-01 du 10 Chaabane 1423 (17-10-2002) définissant la grille de qualité des eaux de surface. *Bulletin Officiel Maroc*. N° 5062.
- RODIER J. (2009). *L'analyse de l'eau*. Ed. Dunod Paris. ISBN: 978- 2-10-054179-9.
- TOUABAY M., N. AOUD, J. MATHIEU (2002). Étude hydrobiologique d'un cours d'eau du Moyen-Atlas : l'oued Tizguit (Maroc). *Annales de Limnologie*. 38 (1): 65-80.
- ZARHLOULE Y., A. RIMI, M. BOUGHRIBA, M. VERDOYA, A. CORREIA, J. CARNEIRO et A. LAHRACH (2007). La province géothermique du Maroc Nord Oriental. *Revue des Énergies Renouvelables CER'07*. Oujda, 89 – 94.