

Qualité de la source Ain Hamma et effet du déversement de ses eaux sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de l'Oued Khoumane, Maroc

Ali BEN MOUSSA*, Abdelkader CHAHLAOUI et El Habib ROUR

Équipe 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

* Correspondance, courriel : alidosya@yahoo.fr

Résumé

Les eaux de l'Oued Khoumane ont été prélevées mensuellement, entre août 2010 et mars 2011, au niveau de deux stations (amont et aval de sa confluence avec les eaux de la source thermique Ain Hamma Moulay Idriss) afin d'effectuer des analyses physico-chimiques et bactériologiques.

L'analyse descriptive a montré que les eaux de l'oued subissent des variations physico-chimiques importantes après le mélange avec celles de la source : enrichissement avec les sels minéraux (chlorures et les sulfates), augmentation de la température, de la conductivité et de la dureté totale de l'eau. Pour la pollution organique, les eaux de la source sont moins chargées que celles de l'oued.

En ce qui concerne la contamination bactériologique, les eaux de l'oued présentent un degré élevé de contamination fécale : Coliformes totales, Coliformes fécaux, Streptocoques fécaux et Entérocoques intestinaux. Ces eaux ne semblent pas être influencées par la qualité bactériologique des eaux de la source dont le degré de pollution est inférieur à celui de l'oued mais reste inquiétant et pouvant constituer un risque sanitaire pour les baigneurs.

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

Mots-clés : *Oued Khoumane, source thermique, physico-chimie, bactériologie, Moulay Idriss Zerhoun, Maroc.*

Abstract

Quality of source Ain Hamma and effect of discharge of its water of the physicochemical and bacteriology quality of the waters of the Oued Khoumane, Morocco

The waters of the Oued Khoumane were collected monthly between August 2010 and March 2011, at two stations (upstream and downstream of its confluence with the waters of the thermal source Ain Hamma Moulay Idriss) to conduct physicochemical and bacteriological analysis.

The descriptive analysis showed that the waters of the Oued are subjected to physicochemical variations important after mixing with those of the source: enrichment with mineral salts (chlorides and sulfates) and the increase of temperature, conductivity and total hardness of water.

With regard to bacteriological contamination, the waters of the Oued have a high level of fecal contamination: total coliforms, fecal coliforms, fecal streptococci and intestinal Enterococci. These waters

appear to be influenced by the bacteriological quality of water source, the pollution level is lower than that of the Oued but is disturbing and may constitute a health risk to bathers. The explanatory analysis showed (Principal Component Analysis) showed variability between stations and corroborated the results of the descriptive analysis.

Keywords : *Oued Khoumane, thermal source, physicochemical, bacteriology, Moulay Idriss, Morocco.*

1. 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 [1] car elle peut jouer le rôle de vecteur d'agents potentiellement dangereux, notamment des micro-organismes pathogènes [2]. La détérioration de la qualité des ressources en eau constitue une menace aussi importante que celle liée au déséquilibre quantitatif [3]. 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 [4]. Les eaux superficielles eux aussi sont influencées 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 [3]. Les ressources hydriques dont dispose le Maroc sont limitées. Elles sont, par ailleurs, soumises à des variations cycliques extrêmes [5]. De plus, la situation qualitative des eaux est loin d'être satisfaisante [6]. A l'échelle locale, Meknès est chef lieu de la région Meknès-Tafilalt, située au centre du Maroc. Les eaux superficielles sont constituées par des sources et par les oueds. L'Oued Boufekrane est le plus important de ces oueds, sa richesse et sa valeur dans la région a suscité l'intérêt d'un nombre de chercheurs [7-12]. Des études hydrobiologique ont été réalisées ces dernières années sur les autres oueds traversant la ville de Meknès et rejoignant oued Boufekrane en aval : oued Bouishak [13] et oued Ouislane [14,15].

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, les eaux des Chaâbas à fortes pentes. De plus, les eaux de l'oued sont utilisées pour l'irrigation des cultures. Dans l'état des connaissances, une seule étude a été réalisée sur le site [16].

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 pour la température et à la constitution minérale des roches. En profondeur, l'eau peut aussi s'enrichir en gaz (CO₂, H₂S) selon la nature de la roche [17]. Les eaux thermales ont fait l'objet de plusieurs études scientifiques, entre autres, celles de *Hakam et al.* [18], *Duriez* (Grèce) [19], *Lakhdar et al.*, (Moulay Yacoub) [20], *Lakhdar et al.* (Moulay Yacoub) [21], *Zarhloule et al.* (Maroc oriental) [22] et *Fekraoui* (Algérie) [23]. Elles 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 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 aux déversements direct des eaux thermales dans les eaux de l'oued.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation du milieu d'étude

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 permanent dans sa partie inférieure (aval de la source Ain Hamma) et semi permanent dans l'autre partie supérieure (amont de la source thermique). Il est alimenté par un ensemble de sources d'eau, dont les plus importantes la source Ain Hamma Moulay Idriss. La source Ain Hamma Moulay Idriss (X : 489.300 et Y: 384.050) émerge aux abords du massif montagneux de Zerhoun et se situe tout près de l'oued khoumane où elle constitue un affluent (**Figure 2**) et (**Photo 1**).

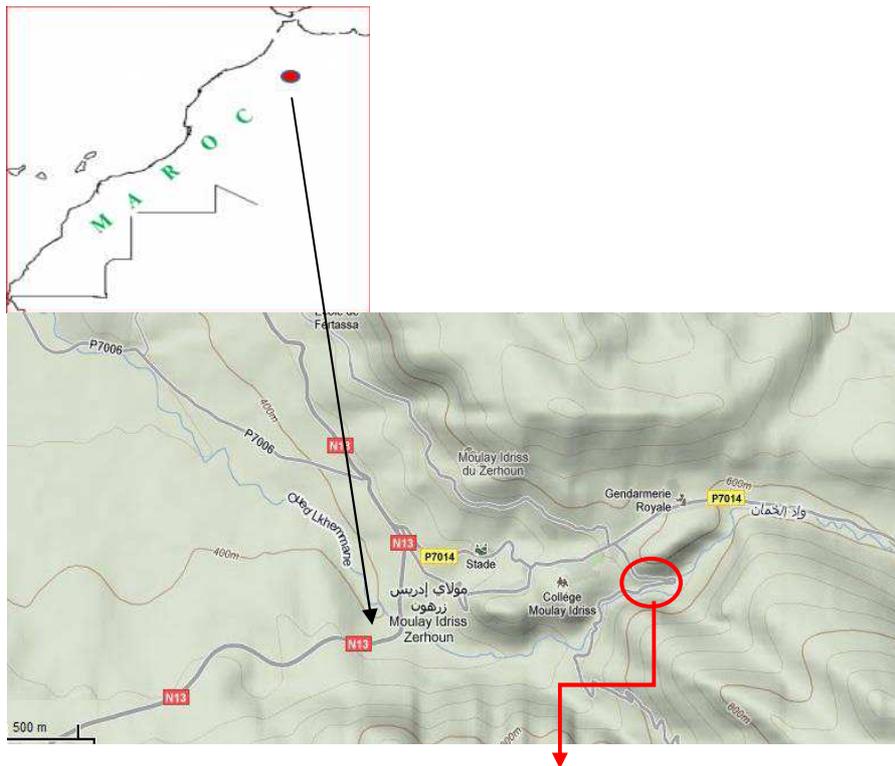


Figure 1 : *Situation géographique de la région Moulay Idriss Zerhoun (photo satellite).*



Figure 2 : *Tronçon de l'oued Khoumane au voisinage de la source*



Photo 1 : *Source Ain Hamma Moulay Idriss (Juillet 2011).*

2-2. Sites d'échantillonnage

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 (O-amont) juste avant la zone de confluence avec les eaux de la source et un autre site (O-aval) en aval de cette zone. Un troisième site (Source) a été choisi au niveau des eaux de la source Ain Hamma Moulay Idriss (*Figure 3*).

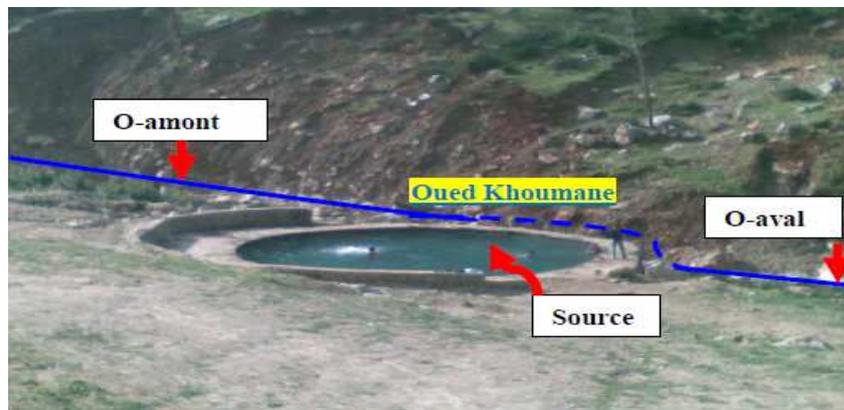


Figure 3 : *Source Ain Hamma Moulay Idriss (Juillet 2011)*

2-3 Échantillonnage et Analyses

2-3-1 Prélèvements et analyses physico-chimiques

L'échantillonnage de l'eau a été réalisé avec une fréquence mensuelle, au cours de la période d'août 2010 à mars 2011. Certains paramètres sont mesurés directement in situ par des appareils portatifs : la conductivité et la salinité de l'eau (par un conductimètre portable de type Consort K912), la température (par un thermomètre), et le potentiel hydrogène (par un pH-mètre portable de type Hanna Hi 8519N). 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. Ces éléments sont mesurés au laboratoire selon les protocoles homologués [24].

2-3-2. Prélèvements et analyses microbiologiques

Les échantillons d'eau sont prélevés soigneusement dans des flacons stériles de 500ml en verre à bouchon rodé. Ces prélèvements sont effectués aseptiquement en laissant dans le flacon un espace d'air afin de faciliter la remise en suspension des microorganismes par agitation avant l'ensemencement dans les milieux de culture appropriés.

Pour la mise en évidence des Salmonelles et des vibrions cholériques dans l'eau, des prélèvements d'eau ont été réalisés dans des bidons en plastiques de cinq litres et bien propres.

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 (*Tableau 1*).

Tableau 1 : Germes recherchés et référence de la méthode d'analyse utilisée

Germes	Référence de la méthode d'analyse utilisée	Unité
Bactéries coliformes et <i>Escherichia coli</i>	NM 03.7.003	UFC/100 mL
<i>Anaérobies</i> Sulfite -Réducteurs	NM 03.7.004	UFC/100 mL
Entérocoques intestinaux).	NM 03.7.006	UFC/100 mL
salmonelles	NM 03.7.050	Présence ou absence/ 500 mL
Vibrions cholériques	NM 03.7.051	Présence ou absence/ 500 mL

2-3-3 Analyse des données

Pour déterminer la relation entre les variables physico-chimiques et bactériologiques et la distribution des stations, nous avons utilisé la méthode explicative par l'Analyse en Composantes Principales (A.C.P) pour les vingt et une (21) variables physico-chimiques et bactériologiques.

3. Résultats et discussion

3-1. Analyse descriptive

3-1-1. Étude des paramètres physico-chimiques

La variation spatio-temporelle des teneurs de différents paramètres physico-chimiques des eaux de trois sites est représentée sur la (*Figure 4*). Les résultats obtenus permettent de noter que :

- Les valeurs de la température enregistrées dans O-aval sont supérieures à celles mesurées dans O-amont. Cette différence pourrait s'expliquer par le déversement direct des eaux de la source (dont la température moyenne est de l'ordre de 31,15o C) dans le site aval. Pendant la période hivernale, la température a chuté

considérablement dans les deux stations de l'oued au cours des mois décembre et janvier et a commencé à augmenter en février et mars : l'augmentation du débit de l'oued, pouvant diluer les eaux de la source déversées dans l'oued, et le froid pourraient expliquer cette diminution de la température. Les valeurs moyennes de température enregistrées sont de l'ordre 18,92; 31,15 et 23,11 respectivement dans O-amont, source et O-aval.

- Le pH relevé au cours de la période d'étude ne montre pas de variations importantes entre les stations. Même si ce paramètre est lié à presque tous les paramètres de la qualité de l'eau [12] et certains auteurs ont mentionné l'existence dans les cours d'eau des fluctuations saisonnières et/ ou de variations spatiales des valeurs de pH [8, 12]. Les valeurs moyennes enregistrées sont presque les mêmes et proches de la neutralité : 6,71 (O- amont), 6,57(Source) et 6,77 (O-aval).

- Les valeurs de la conductivité enregistrées dans les eaux de l'oued présentent des variations spatio-temporelles importantes : durant la période aout- novembre, les eaux du site O-aval ont présenté des valeurs élevées que celles du site O-amont. Alors que, en période hivernale, la conductivité a chuté considérablement dans les deux sites. Ces résultats pourraient s'expliquer d'une part par les rejets directs de la source Ain Hamma Moulay Idriss très minéralisés (dont la conductivité électrique est comprise entre 3410 et 4480 $\mu\text{s/cm}$) qui augmentent la conductivité des eaux au niveau du site aval, et d'autre part, pendant la période hivernale, par la dilution des eaux liée au retour du débit important de l'oued [25].

- L'évolution 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 : 1112,25 (O- amont), 2221,12 (Source) et 1538,37 (O-aval).

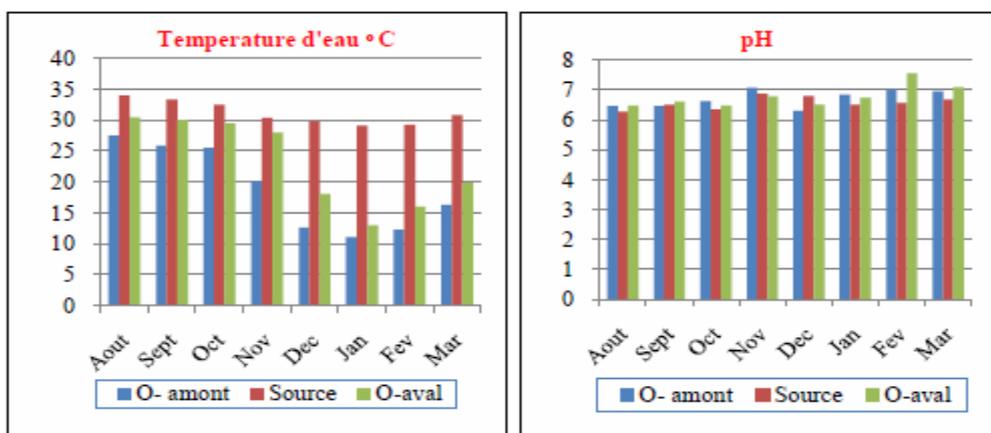
- Au cours des quatre premiers mois de l'étude, la dureté totale des eaux du site O-aval est plus importante que celle du site O-amont et elle rapproche celle de la source. Ceci, pourrait s'expliquer par le déversement des eaux de la source plus dures (dureté totale moyenne d'ordre de 1950 F). Au cours de la période hivernale, la dureté des eaux diminue au niveau d'O-amont et O-aval, et un écart important s'installe entre la dureté de Source et O-aval. La dilution des eaux de l'oued pendant cette période pourrait expliquer ce dernier résultat. La dureté des eaux souterraines est liée généralement à la nature des roches sédimentaires traversées et elle est essentiellement due à la présence du Calcium et du Magnésium, constituants solubles des roches carbonatées en particulier des calcaires [26].

- Les eaux de l'oued sont plus chargées en chlorures et sont influencées par les eaux de la source et par les variations du débit de l'oued. Les moyennes enregistrées au niveau de O-amont, Source et O-aval sont respectivement 254,36; 523,11 et 356,77 mg d'ions Cl^- /l. L'évolution des chlorures le long de la période d'étude présente la même allure que celle de la salinité. Ceci pourrait être dû à la nature géologique régionale [12] et à la nature des roches salifères de la source [27].

- Pour les sulfates, les eaux du site O-aval sont plus chargées en ces éléments que les eaux d'amont. Les eaux de la source (plus chargées en sulfates) déversées dans l'oued pourraient expliquer cette différence entre l'amont et l'aval. Les valeurs moyennes enregistrées sont de l'ordre 311,83 mg/l pour les eaux O-amont, 933,39mg/l pour O-aval et 1130,62 mg/l pour les eaux de la station Source, témoignant de la nature géologique régionale.

- Les valeurs moyennes enregistrées en Nitrates au niveau des sites O-amont, Source et O-aval sont respectivement 2,67; 1,51 et 2,34 mg/l. Contrairement à l'évolution de la température, la conductivité, la salinité, la dureté totale, les chlorures et les sulfates, les eaux de la source sont moins chargées en nitrates que les eaux de O-aval et O-amont. Au niveau de ces deux derniers sites, les teneurs en nitrates ont augmenté au cours de la période hivernale. Cette augmentation pourrait s'expliquer par l'introduction des engrais dans les terrains agricoles et par entrainement des ions nitrates non assimilés par lessivage vers l'oued [28].

- 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 sans différence considérable entre O-amont et O-aval. Les valeurs moyennes sont 1,54; 1,11 et 1,67 mg/l respectivement pour O-amont, Source et O-aval.
- L'évolution temporelle des orthophosphates dans les eaux des trois sites révèle des teneurs plus faibles dans les eaux de la source et des teneurs qui oscillent entre 0,43 et 3,1 mg/l pour O-amont et entre 0,39 et 3,62 mg/l pour les eaux du site O-aval. Une augmentation des teneurs dans O-amont et O-aval a été enregistrée au cours des mois décembre et mars, ce ci pourrait être lié au lessivage des sols causé par les crues [11].
- Durant la période d'étude, les concentrations enregistrées en oxygène dissous ne présentent pas généralement de variation notable entre les stations, sauf au cours des mois février et mars : les teneurs dans O-amont et O-aval ont augmenté jusqu'à la valeur 4,9 mg/l (O-amont) et 4,6 mg/l (O-aval) alors qu'elles ont diminué dans les eaux de Source (3 mg/l). La valeur moyenne la plus importante (4 mg/l) a été enregistrée dans O-amont. Ceci peut être lié à l'augmentation du débit de l'oued en période hivernale.
- Le suivi des teneurs en matières en suspension a montré que les eaux de la source sont moins chargées en MES que les eaux des autres sites. Ces derniers, en décembre (période de crue et de déversement des margines dans l'oued), ont contenu plus de MES. Une diminution des teneurs a été observée durant les mois janvier, février et mars. Les valeurs moyennes enregistrées sont 61,37; 156,5 et 195 mg/l respectivement dans les eaux de Source, O-amont et O-aval.
- L'observation des valeurs de la DCO enregistrées par cette étude montre des valeurs moyennes : 319,52 ; 307,87 et 432,67 mg/l respectivement au niveau de O-amont, Source et O-aval. La DCO a augmenté dans les deux sites O-aval et O-amont au début de l'hiver (période des crues) qui a coïncidé avec le début d'une activité intense de la trituration d'olives et le rejet des margines, sans aucun traitement préalable, dans les eaux de l'oued. Ce résultat pourrait être expliqué par la constatation de Foutlane et al 2002, qui ont montré que la demande chimique en oxygène des eaux augmente considérablement en période d'activité des huileries d'olives [29]. Pour les eaux de la source, les valeurs enregistrées oscillent entre 248 et 384 mg/l et généralement sont moins que les valeurs des stations O-amont et O-aval.
- Les valeurs de DBO5 subissent des variations irrégulières au cours de la période d'étude, les valeurs moyennes sont de l'ordre de l'ordre de 1,80; 1,65 et 1,85 mg d'oxygène/l respectivement pour O-amont, Source et O-aval. Les valeurs importantes sont enregistrées en décembre et janvier pour les eaux de l'oued (liées vraisemblablement aux apports en matières organiques pendant la période hivernale et aux margines).



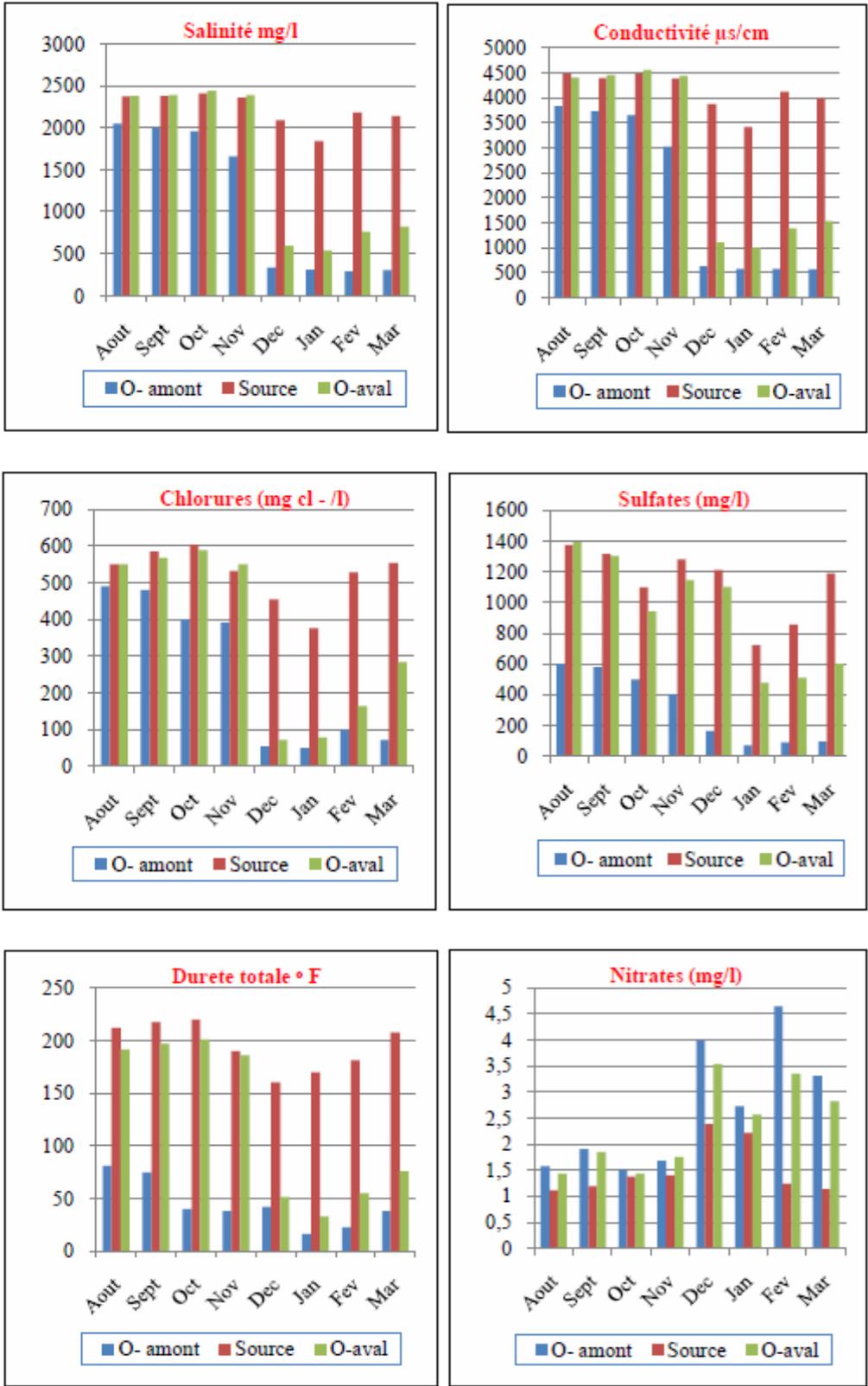




Figure 4 : Variation spatio-temporelle des paramètres physico-chimiques étudiés

3-2-2. Étude des paramètres bactériologiques

Les résultats relatifs à la variation spatio-temporelle des indicateurs de la contamination fécale sont mentionnés dans le **Tableau 2** et la **Figure 5**. Les valeurs sont exprimées en UFC /100 mL.

Tableau 2 : Les valeurs moyennes (V_{moy}), maximales (V_{max}) et minimales (V_{min}) des germes recherchés dans les eaux analysées durant la période d'étude

Germes recherchés		S-amont	S-source	S-aval
Coliformes totaux (CT)	V_{moy}	35144	9665	43237
	V_{max}	150000	70000	200000
	V_{min}	150	200	140
Coliformes fécaux (CF)	V_{moy}	22582	1814	24810
	V_{max}	120000	10000	180000
	V_{min}	100	150	110
<i>Escherichia Coli</i> (E.coli)	V_{moy}	2152	1055	3035
	V_{max}	12000	5000	15000
	V_{min}	25	120	66
Streptocoques fécaux (SF)	V_{moy}	740	177	1530
	V_{max}	1400	300	5600
	V_{min}	300	120	450
Entérocoques intestinaux (EI)	V_{moy}	565	55	555
	V_{max}	1020	110	1000
	V_{min}	200	24	140
Anaérobio-Sulfito-Reducteurs (ASR)	V_{moy}	350	175	225
	V_{max}	1700	600	1000
	V_{min}	0	0	0

- La variation temporelle des CT montre, dans les trois sites, des concentrations élevées en été (aout) et en automne, des valeurs minimales dans l'hiver (principalement le mois de décembre) suivie d'une élévation sensible pendant le mois mars 2011. Au niveau des eaux de l'oued, ces variations pourraient être liées aux variations de la température [11] et la baignade pour le site source. L'évolution spatiale des CT a révélé des concentrations presque rapprochées entre les sites de l'oued, à l'exception du mois d'octobre (O-amont plus chargée) et en novembre où O-aval est plus chargée (lessivage des sols suite à une première pluie).
- Généralement, la variation spatio-temporelle des concentrations en CF rappelle celle des CT : élevées dans l'été, diminuées en décembre et sensiblement augmentées en mars. Pour les eaux de la source, la contamination élevée a été enregistrée les mois d'août et de septembre (nombre des baigneurs élevé).
- De la même façon, la révélation d'une éventuelle contamination en *E. coli* rappelle celle en CF. Au niveau de la source, les valeurs enregistrées sont comprises entre 120 et 5000 UFC/100 mL, celles au niveau de O-amont entre 25 et 12000 UFC/100 mL et au niveau de O-aval entre 66 et 15000 UFC/100 mL.
- La variation spatiale de la concentration en SF montre que O-aval est plus contaminée que O-amont (en moyenne 1530 contre 740 UFC/100 mL). Elle est légèrement faible en décembre et importante dans les autres mois. Au niveau de la source, la contamination en ces germes a été comprise entre 120 et 300 UFC/100mL et n'a pas enregistré de grandes différences significatives dans le temps.
- La recherche des Entérocoques intestinaux a révélé que la source est plus contaminée en mois aout et que la concentration moyenne en ces germes est de l'ordre de 55 UFC/100 mL. Pour les sites de l'oued, O-amont est généralement plus contaminée que O-aval (565 contre 555 UFC/100 mL en moyenne).
- L'évolution spatio-temporelle des concentrations en ASR a montré des fluctuations irrégulières au niveau des sites suivis : la contamination a été enregistrée au cours du mois septembre (O-aval), octobre (O-

amont), janvier (Source) et au cours des mois février et mars (dans les trois sites). Les autres mois, les analyses ont montré l'absence de ces germes dans les échantillons examinés
 - En ce qui concerne les germes pathogènes (Salmonelles et vibrions) les analyses effectuées ont révélé l'absence de ces microorganismes dans les sites étudiés.

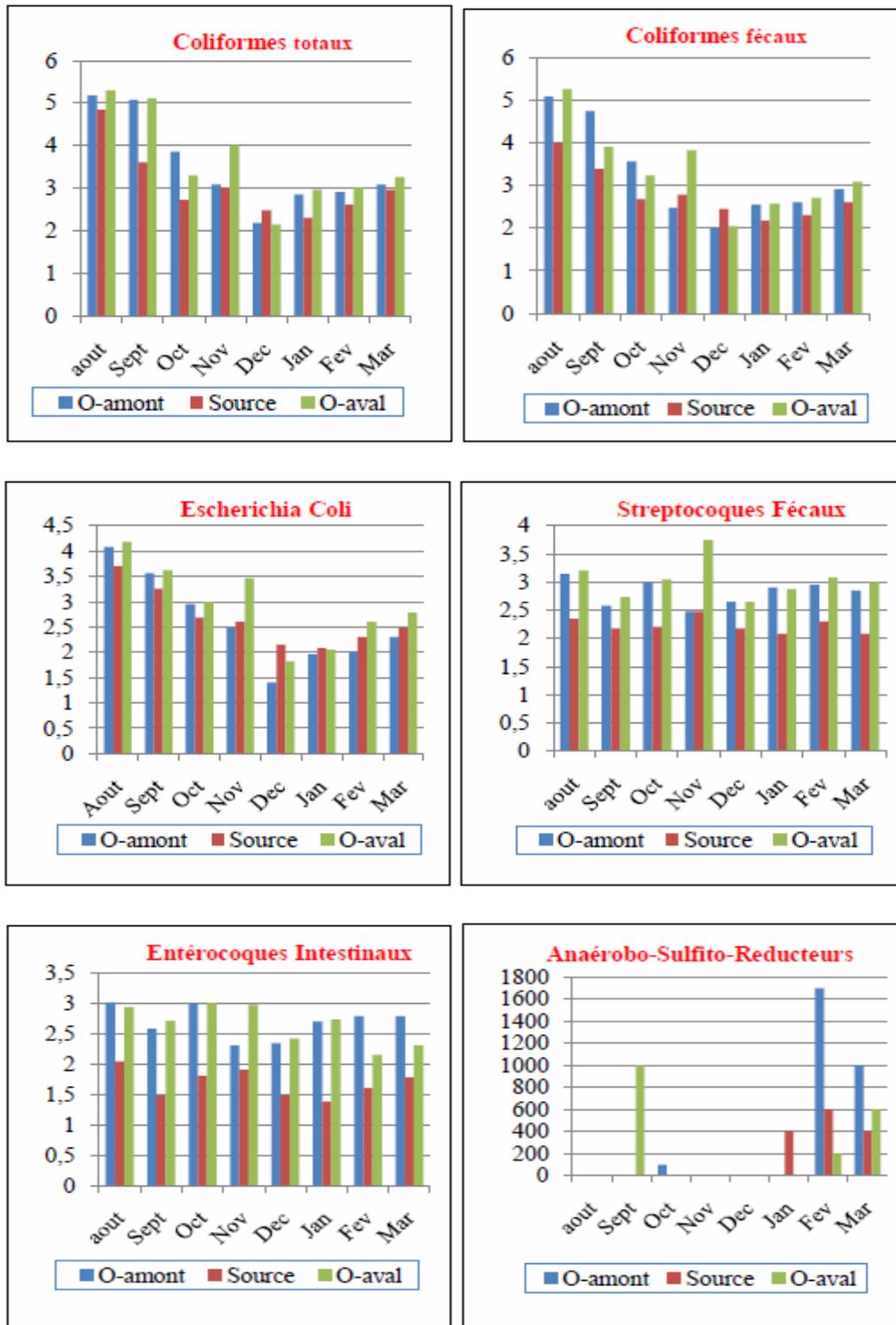


Figure 5 : Variation spatio-temporelle des germes recherchés (à l'exception des ASR exprimés en UFC/100mL, les valeurs sont exprimées en log₁₀ /100 mL).

3-3-3 Analyse explicative

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques ont montré un degré de pollution important des eaux se traduisant par des valeurs élevées en chlorures et en sulfates. Pour déterminer la relation entre les variables et la distribution des stations selon leurs caractères physico-chimiques et bactériologiques, nous avons évalué vingt et une (21) variables du milieu par ACP (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Codes utilisés dans le traitement par A.C.P.

Variables	Code
Paramètres physico-chimiques	
Température de l'air	T air
Température de l'eau	T eau
Potentiel Hydrogène	pH
Salinité	Sal
Conductivité	Cond
Chlorures	cl-
Sulfates	SO42 -
Nitrates	NO3-
Nitrites	NO2-
Ortho phosphates	PO4
Dureté totale	HT
Demande Chimique en Oxygène	DCO
Demande Biologique en Oxygène	DBO
Oxygène dissous	O2
Matières en suspension	MES
Paramètres bactériologiques	
Coliformes totaux	CT
Coliformes fécaux	CF
<i>Escherichia coli</i>	<i>E-coli</i>
Streptocoques	Strep
Entérocoques intestinaux	Ent
Anaérob-Sulfito-Réducteurs	ASR

Les projections des vecteurs représentant les variables (**Figure 6**) dans le plan F1-F2 montrent que ces variables se répartissent en trois groupes:

- Deux groupes selon l'axe F1, le premier constitué par les variables: conductivité, salinité, dureté totale, sulfates, chlorures, température de l'eau, température de l'air, CT, CF, E. coli corrélées positivement avec l'axe F1, et un second corrélé négativement avec cet axe et constitué par nitrates, oxygène dissous, pH et les ASR
- Un groupe corrélé positivement avec l'axe F2 correspondant à l'ensemble des variables : MES, DCO, DBO5, Ent et les Strep.

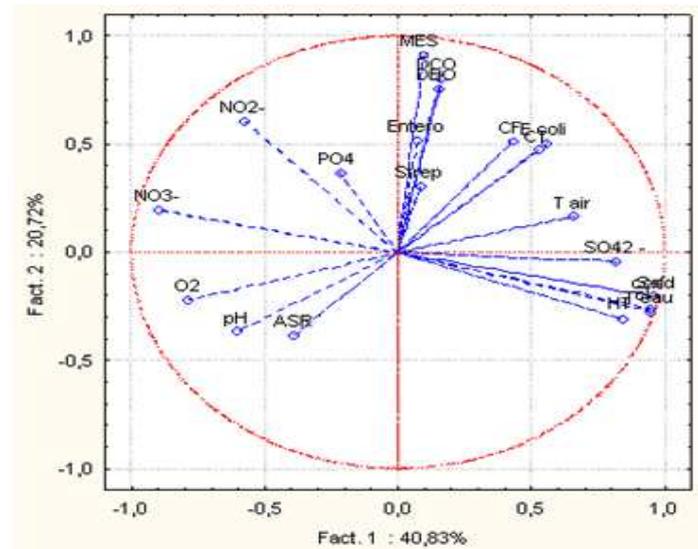


Figure 6 : Carte factorielle des variables

L'analyse a permis de donner aussi la carte factorielle des stations (sites étudiés) aux différents mois d'étude en utilisant des codes (Tableau 4).

Tableau 4 : Codes par mois des stations (sites étudiés)

Station	Code de la station							
	Mois de l'année 2010				Mois de l'année 2011			
	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars
S-amont	1	4	7	10	13	16	19	22
S-source	2	5	8	11	14	17	20	23
S-aval	3	6	9	12	15	18	21	24

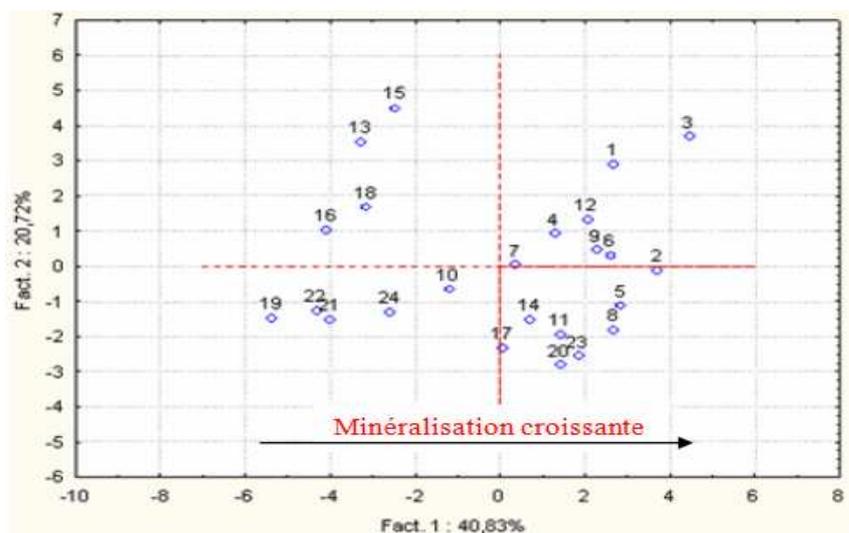


Figure 7 : Carte factorielle des stations

Cette analyse montre clairement la distribution des stations compte tenu de l'ensemble de leurs caractères physico-chimiques et bactériologiques (*Figure 7*). Les axes F1 et F2 donnent 61,55 % d'information totale. Selon l'axe F1 nous avons constaté une opposition entre les eaux fortement minéralisées particulièrement riches en chlorures et sulfates (les eaux de la source et celles de l'oued en août, septembre, octobre et novembre) et les eaux faiblement minéralisées (les eaux des stations de l'oued en décembre, janvier, février et mars).

4. Conclusion

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

Les eaux de la source thermique sont très minéralisées et ont des caractéristiques physico-chimiques très particulières. Ces eaux enrichissent en minéraux les eaux de l'oued khoumane et modifient la qualité physico-chimique de ce dernier, ce qui pourrait avoir un effet sur cet écosystème aquatique en aval.

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. Contrairement à l'effet de la source sur la qualité physico-chimique des eaux de l'Oued, la source n'influence pas considérablement la qualité bactériologique de ces eaux: les concentrations en germes enregistrées dans la source sont inférieures à celles trouvées dans les stations de l'oued.

Références

- [1] - H. EL HAISSOUFI, S. BERRADA, M. MERZOUKI, M. AABOUCH, L. BENNANI, M. BENLEMLIH, M. IDIR, A. ZANIBOU, Y. BENNIS et A. EL OUALI LALAMI. Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès, Maroc. *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* Vol 5, N°1 (2011) 37-68.
- [2] - E. HASSOUNE, S. EL KETTANI, Y. KOULALI et A. BOUZIDI. Contamination bactériologique des eaux souterraines par les eaux usées de la ville de Settat, Maroc. *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* Vol 4, N°1(2010) 1-21.
- [3] - J. EL ADDOULI, A. CHAHLAOUI, A. BERRAHOU, A. CHAFI et A. ENNABILI. Qualité physico-chimique et biologique de l'oued Ouislane au sein de la ville de Meknès (centre-nord du Maroc). *Revue AFN Maroc.* N° double 4-5 (2009) 46-58.
- [4] - S. BRICHA, K. OUNINE, S. OULKHEIR, N. EL HALOUI, et B. ATTARASSI. Étude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc). *Afrique SCIENCE*03(3) (2007) 391-404.
- [5] - J. ALIBOU. IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RESSOURCES EN EAU ET LES ZONES HUMIDES DU MAROC. Table Ronde Régionale en Méditerranée Athènes, Grèce, Décembre 10-11, (2002) 1-39.
- [6] - A. CHAHLAOUI, P. CUGNY, S. LEK, A. ZAID et M. RAMDANI. Analyse quantitative de la qualité de l'eau de l'oued Boufekrane (Maroc). *Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse*, 133 (1997)71-76.
- [7] - A. ABDALLAOUI. 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 (1990) 258p.

- [8] - A. CHAHLAOUI. Etude hydrobiologique de l'oued Boufekrane (Meknès), Impact sur l'environnement et la sante. Thèse d'État, Fac. Sci. Meknès. Maroc (1996) 234 pp.
- [9] - L. KARROUCH and A. CHAHLAOUI. Bio-evaluation of the quality of water of the Boufekrane river (Meknes, Morocco). *Biomatec Echo*, September, Volume 3, Number 6 (2009) 6-17.
- [10] - L. KARROUCH et A. CHAHLAOUI. 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 (2007) 224-235.
- [11] - J. EL ADDOULI. Qualité physico-chimique et biologique des eaux polluées réutilisées en agriculture dans la zone puériculture de Meknès (Maroc). Thèse d'état. Fac. Sci. Meknès. (2010) 168 pp.
- [12] - A. ABOULKACEM. Etude hydrobiologique comparative des oueds Boufekrane et Ouislane a la traversée de la ville de Meknès. Impact sur la Sante et l'Environnement. Thèse d'État, Fac. Sci. Meknès. Maroc. (2007) 159pp.
- [13] - J. EL ADDOULI, A. CHAHLAOUI, A. BERRAHOU, A. CHAFI, A. ENNABILI et L. KARROUCH. Influence des eaux usées, utilisées en irrigation, sur la qualité des eaux de l'oued Bouishak- région de Meknès (Centre-Sud du Maroc), *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* Vol 3, N°1(2009) 56-75.
- [14] - L. KARROUCH. Bio-évaluation de la qualité des eaux courantes de la région Meknès (Centre- Sud, Maroc) — Impact sur l'environnement et la sante. Thèse doctorat es sciences en biologie. Fac. Sci. Meknès (2010) 216pp.
- [15] - A. ABOULKACEM, A. CHAHLAOUI, A. SOULAYMANI, F. RHAZI-FILALI et D. BENALI. Étude comparative de la qualité bactériologique des eaux des oueds Boufekrane et Ouislane à la traversée de la ville de Meknès (Maroc). *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.* N°1(2007) 10-22.
- [16] - A. BEN MOUSSA, A. CHAHLAOUI, R. El Habib. Impact des eaux de la source Ain hamma Moulay Idriss sur la qualité des eaux de l'oued khoumane (Moulay Idriss Zerhoun) *Maroc Science Lib*, Éditions Mersenne : Volume 3, N°110704 (2011) 1-17.
- [17] - A. EZZAÏDI, M. KHALOUFI, M. A. BOUAGOU et M. EL YOUSSEI. Un site de tourisme de sante à promouvoir : la station d'Abaynou (province de Guelmim). Le Premier Workshop International sur le Géotourisme et l'Écotourisme dans les régions Souss-Massa-Draâ et Guelmim-EsSmara. Mirleft-Guelmim et Assa. Les 8-9 avril (2006).
- [18] - O. K. HAKAM, A. CHOUKRI, J. L. REYSS and M. LFERDE. Comparison of uranium and radium isotopes activities in some well and thermal springs samples in Morocco, *Rev. Sci. Eau* 13/2. (2000) 185-192.
- [19] - A. DURIEZ. 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. (2006) 292pp.
- [20] - A. LAKHDAR, A. NTARMOUCHANT, M.L. RIBEIRO, M. BEQQALI, K. EL OUADEIHE, L. BENAABIDATE, M. DAHIRE, Y. DRIOUCHE and A. BENSLIMANE. New Geological and Geochemical Approach of the Moulay Yacoub Hydrothermal Complex (Northern Border of the South Rifain's Furrow). *Comunicacoes Geologicas*, t. 93, pp. (2006) 185-204.
- [21] - A. LAKHDAR, A. NTARMOUCHANT, M.L. RIBEIRO, M. BEQQALI, K. EL OUADEIHE, L. BENAABIDATE, M. DAHIRE, Y. DRIOUCHE et A. BENSLIMANE. 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 (2007) 81-84.
- [22] - Y. ZARHLOULE, A. RIMI, M. BOUGHRIBA, M. VERDOYA, A. CORREIA, J. CARNEIRO et A. LAHRACH. La province géothermique du Maroc Nord Oriental. *Revue des Énergies Renouvelables* CER'07 Oujda (2007) 89-94.
- [23] - A. FEKRAOUI. Caractéristiques géochimiques des Eaux géothermales de la région d'Oran. *Revue des Énergies Renouvelables* CER'07 Oujda (2007) 75-80.

- [24] - J. RODIER. L'analyse de l'eau. Ed. Dunod Paris. ISBN: 978- 2-10-054179-9 (2009).
- [25] - E. ABBA, H. NASSALI, M. BENABID, R. EL AYADI et H. EL IBAOUI. Contribution a l'étude physicochimique de l'écosystème lacustre Dayet Aoua au Maroc. *Afrique SCIENCE* 04(2) (2008) 306-317.
- [26] - A. AÏT BOUGHROUS. Biodiversité, écologie et qualité des eaux souterraines de deux régions arides du Maroc : le Tafilalet et la région de Marrakech. Thèse d'État. Hydrobiologie souterraine. Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia. Marrakech (2007) 270pp.
- [27] - A. EL HASSAN, D. BELGHYTI, H. EL IBAOUI and M. BENABID. Contribution to the physicochemical study of "Oued Sidi Rachid" river in the middle Atlas. *Morocco Science Lib Editions Mersenne* Volume 2, N° 101203(2010) 1-15.
- [28] - N. HARRAT et S. ACHOUR. Pollution physico-chimique des eaux de barrage de la région d'El Tarf. Impact sur la chloration. *Larhyss Journal*, n° 08 (2010) 47-54.
- [29] - A. FOUTLANE, M. SAADALLAH, L. ECHIHABI et L. BOURCHICH. Pollution par les margines et production d'eau potable. Cas de l'Oued Sebou au Maroc. *Eastern Mediterranean Health Journal*. Volume 8, N 0 1, (2002) 10pp.