



UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA VIE



MEMOIRE DU PROJET DE FIN D'ETUDE

MASTER SCIENCES ET TECHNIQUES

GESTION ET CONSERVATION DE LA BIODIVERSITE

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA QUALITE PHYSICO-
CHIMIQUE ET BIOLOGIQUE DES EAUX DES SOURCES
OUM ER-RBIA**

Présenté par :
Mohamed OULHAJ

Le 20 juin 2014 devant le jury composé de :

Pr. Fatima FADIL	FST, Fès	Encadrante
Pr. Amal AZZOUZI	FST, Fès	Examinatrice
Pr. Saad RACHIQ	FST, Fès	Examineur
Pr. Meryem BEN JELLOUN	FST, Fès	Examinatrice

Année Universitaire : 2013/2014

Faculté des Sciences et Techniques Fès

B.P. 2202, Route d'Imouzzer FES

☎ 212 (5 35) 60 80 14 – 212 (5 35) 60 96 35 ☎ 212 (5 35) 60 82 14

www.fst-usmba.ac.ma

Résumé

Les sources et les eaux souterraines sont traditionnellement les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable, car plus à l'abri des pollutions que les eaux de surface.

L'objectif de cette étude est de déterminer la qualité physico-chimique et bactériologique accompagnée d'un inventaire des macroinvertébrés benthiques des sources d'Oum Er-Rbia.

Même si les résultats d'analyse physico-chimique ont montré que l'eau des sources Oum Er-Rbia est très dure, la majorité des paramètres répondent aux normes en vigueur (normes marocaines NM 03.07.001 /2006).

Les macroinvertébrés des sources Oum Er-Rbia ont été étudiés à partir des prélèvements réalisés mensuellement sur deux mois (Avril-Mai 2014). La faune recensée dans ce travail se compose de 2173 individus appartenant à 4 taxons correspondant à 2 groupes faunistiques (Mollusques et Arthropodes).

L'effectif du peuplement benthique a montré que les Mollusques ont une abondance plus élevée (58%) par rapport aux Arthropodes qui ne représente que 42%. Les genres *Bithynia* et *Gammarus* sont les plus numériquement inventoriés.

Remerciements

Cette période de stage au laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et d'environnement de la Faculté des Sciences et Technique de Fès a été très agréable grâce à plusieurs personnes.

Je tiens à remercier **Pr Fadil Fatima**, enseignante chercheur à la FST-Fès, pour son encadrement irréprochable et généreux, et qui a démontré une grande intelligence émotionnelle pour me conseiller et me soutenir.

Merci également à **Pr El ghadraoui Lahcen**, enseignant chercheur à la FST-Fès, qui m'a soutenu et m'a encouragé aimablement durant ces deux années de formation à la Faculté des sciences et technique Fès.

Je remercie, aussi, tous les membres du jury : **Pr Amal AZZOUZI**, **Pr Saad RACHIQ** et **Pr Meryem BEN JELLOUN** qui ont bien voulu prendre la peine d'évaluer et de juger ce travail.

Je tiens particulièrement à remercier **Dr El hassan EL HARCHLI** pour, son accueil son aide et sa gentillesse pendant la réalisation de la partie microbiologique.

Mes remerciements vont également à **Imane NECHAD** pour l'aide qu'il a m'apporté au cours des sorties et la réalisation de la partie physico-chimique.

Merci à tous mes **enseignants du Master Gestion et Conservation de la Biodiversité** pour leur encadrement pédagogique et scientifique irréprochable et généreux, mais aussi pour leur patience, leurs conseils avisés et leur aide dans les moments difficiles.

De tout cœur j'aimerais remercier ma famille : mes parents **OIJALLA Raquia** et **OULHAJ Bassou**, à mon frère **Ayoub** et à mes sœurs **Hanane, Rabha, Hafida, Aicha et Fatma**, pour m'avoir soutenu et m'encouragé pour atteindre cet objectif.

Un grand merci également à tous mes **enseignants du CRMEF Fès** pour leur patience, leurs conseils avisés et leur aide dans les moments difficiles.

Un grand merci également à tous mes amis surtout, **B.ERRAHIMI** et **M.HOUHOU**, qui m'ont écouté et m'ont soutenu durant la période de stage.

À mes parents *Raquia* et *Bassou*

À mon frère *Ayoub*

À mes sœurs *Hanane*, *Rabha*,

Hafida, *Aicha* et *Fatma*

À mes *cousins* et *cousines*

À toute la famille *OULHAI*

À tous mes *amis*

À toute la région de *AST*

HDJDDOU

Table des matières

Résumé	2
Remerciements	3
Liste des figures	7
Liste des annexes et les tableaux	8
Liste des abréviations.....	9
Introduction	10
Etude bibliographique	11
GENERALITES SUR LES RESSOURCES EN EAU	12
1.1. L'eau au Maroc	12
1.1.1. Les eaux de Surface.....	13
1.1.2. Les eaux Souterraines.....	14
1.2. Les sources d'eau	14
1.2.1. Définition de la source d'eau	14
1.2.2. Classification des sources.....	15
1.2.3. Biodiversité des sources	16
LA POLLUTION DES RESSOURCES EN EAU	16
1.3. Définition	16
1.4. Types de pollution.....	16
1.4.1. La pollution physique.....	16
1.4.2. La pollution chimique	17
1.4.3. Les micropolluants	18
1.4.4. Les polluants biologiques.....	19
PRESENTATION GENERALE DE LA REGION D'ETUDE.....	21
1.5. Données générales.....	21
1.6. Aspects du climat	21
1.7. Géologie du bassin Oum Er-Rbia.....	21
1.8. Les sources de pollution des eaux dans le bassin d'Oum Er-Rbia.....	22
1.8.1. Urbanisation	22
1.8.2. L'Agriculture.....	23
1.8.3. L'industrie	23
Matériels et Méthodes	25
1. LA ZONE D'ETUDE	25
2. ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE.....	27

2.1.	Méthodologie d'échantillonnage.....	27
2.2.	L'analyse des échantillons	28
2.2.1.	Mesures in situ	28
2.2.2.	Analyse au laboratoire.....	28
2.2.2.1.	L'alcalinité	28
2.2.2.2.	La dureté ou titre hydrotimétrique (TH)	29
2.2.2.3.	L'oxygène dissous (WINKLER)	29
3.	ETUDE DE BENTHOS	30
3.1.	Méthodologie d'échantillonnage.....	30
3.2.	Protocole de traitement des échantillons d'invertébrés.....	31
	Résultats et discussion.....	33
1.	Etude physico-chimique.....	34
1.1.	La température.....	34
1.2.	Potentiel hydrogène (pH)	35
1.3.	Conductivité électrique	35
1.4.	Dureté totale	36
1.5.	Dureté calcique.....	37
1.6.	Titre Alcalimétrique Complet (TAC).....	38
1.7.	Oxygène dissous.....	39
2.	Etude des communautés de Benthos.....	41
2.1.	Abondance quantitative des groupes faunistiques inventoriés.....	42
2.2.	Abondance quantitative des taxons inventoriés	43
	Conclusion.....	45
	BIBLIOGRAPHIE.....	46
	Annexe 1	49
	Annexe 2	50

Liste des figures

Figure 1 : répartition géographique des ressources en eau au Maroc.

Figure 2 : localisation de la pollution industrielle sur le bassin versant de l'Oum Er-Rbia.

Figure 3 : les sources Oum Er-Rbia.

Figure 4 : source Oum Er-Rbia 1 (S1).

Figure 5 : source Oum Er-Rbia 2 (S2).

Figure 6 : matériels d'échantillonnage et de mesure des paramètres physiques.

Figure 7 : principaux types d'échantillonneurs des invertébrés benthiques [14].

Figure 8 : tri des Macroinvertébrés benthiques au laboratoire (M.OULHAJ. 2014).

Figure 9 : tri et identification des macroinvertébrés benthiques au laboratoire.

Figure 10 : la répartition des prélèvements.

Figure 11 : le montage d'analyse microbiologique.

Figure 12 : évolution temporelle de la température de l'eau des sources Oum Er-Rbia.

Figure 13 : évolution temporelle de pH de l'eau des sources Oum Er-Rbia.

Figure 14 : évolution temporelle de la conductivité de l'eau des sources Oum Er-Rbia.

Figure 15 : évolution temporelle de la dureté totale de l'eau des sources Oum Er-Rbia.

Figure 16 : évolution temporelle de la dureté calcique de l'eau des sources Oum Er-Rbia.

Figure 17 : évolution temporelle du titre alcalimétrique complet (TAC) de l'eau des sources Oum Er-Rbia.

Figure 18 : évolution temporelle la teneur en oxygène dissous de l'eau des sources Oum Er-Rbia.

Figure 19 : abondance des groupes taxonomiques inventoriés dans la source S1.

Figure 20 : abondance relative des taxons inventoriés dans la source S1.

Figure 21 : résultats de la culture sur le milieu LB.

Figure 22 : résultats de la culture sur le milieu YPG.

Figure 23 : évolution des bactéries et les levures de l'eau des quatre stations de prélèvement.

Liste des annexes et les tableaux

Annexe 1

Annexe 2

Annexe 3

Tableau 1 : répartition géographique des ressources en eau de surface mobilisables.

Tableau 2 : répartition géographique des ressources en eau souterraines mobilisables.

Tableau 3 : exemple des maladies causées par la pollution biologique.

Tableau 4 : charge polluante de la population locale.

Tableau 5: méthodes d'analyses des différents paramètres physicochimiques.

Liste des abréviations

S₁ : la source Oum Er-Rbia 1.	UP : Unités de Pollution.
S₁ AV : la partie aval la source Oum Er-Rbia 1.	EH : Equivalent Habitant.
S₂ : la source Oum Er-Rbia 2.	PT : Phosphate totale.
S₂ AV : la partie aval la source Oum Er-Rbia 2.	TH : La dureté ou titre hydrotimétrique.
POP : polluants organiques persistants.	TA : Titre Alcalimétrique.
ETM : éléments traces métalliques.	TAC : Titre alcalimétrique complet.
DBO5 : demande biologique en oxygène pendant 5 jours.	E.D.T.A : Acide Ethylène Diamine Tétracétique.
DCO : demande chimique en oxygène.	KMnO₄ : Permanganate de potassium
MO : Matière organique.	UFC : Unité formant colonie.
MES : Matière en suspension	
pH : Potentiel hydrogène.	

Introduction

Les eaux courantes et stagnantes ont toujours jouées un rôle primordial dans le développement des activités agricoles, industrielles et domestiques. Cependant, ces ressources n'ont pas toujours été à l'abri des différentes sources de perturbation et de dysfonctionnements. La préservation de la qualité des eaux de surface est devenue un enjeu majeur compte tenu des usages de cette ressource (production d'eau potable, irrigation, loisirs) et aussi des services biologiques et écologiques que ces milieux assurent.

L'évaluation de la qualité de l'eau est souvent réalisée à l'aide de méthodes « classiques » de mesure d'une série de paramètres physico-chimiques que l'on compare par la suite à des normes ou des critères de qualité éprouvés. Cette approche a montré son utilité mais aussi a ses limites. Afin de mesurer les effets de la pollution de l'eau, Cette approche classique, paramètres physico-chimiques, peut être complémentée par un suivi biologique qui consiste à utiliser des organismes vivants (indicateurs biologiques), par exemple des micro-organismes, des plantes ou des animaux. En effet, la notion d'intégrité ou santé des écosystèmes nécessite de prendre en compte simultanément les paramètres chimiques, physiques et biologiques.

Les études faunistiques, écologiques revêtent d'une importance primordiale dans la compréhension du fonctionnement et de la gestion des systèmes naturels et, d'autre part, dans l'évaluation de l'état de santé écologique des hydro-systèmes. Les macroinvertébrés sont de bons bio-indicateurs en raison de leur sédentarité, leur grande diversité et leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat, et reflètent particulièrement bien l'état écologique du cours d'eau en réagissant très vite aux changements survenant dans leur environnement.

Les sources d'Oum Er-Rbia, situé dans le moyen Atlas, au niveau du bassin versant d'Oum Er-Rbia. La richesse biologique de ces sources n'est pas encore bien étudiée malgré des travaux menés en aval et dans la partie moyenne de l'Oued par [2] en 2013. Mon projet de fin d'étude a porté sur la partie amont plus précisément au niveau des sources d'Oum Er-Rbia, afin d'établir des analyses physico-chimiques et biologiques des eaux de cette région.

Etude bibliographique



Faculté des Sciences et Techniques Fès

B.P. 2202, Route d'Imouzzer FES

☎ 212 (5 35) 60 80 14 – 212 (5 35) 60 96 35 📠 212 (5 35) 60 82 14

www.fst-usmba.ac.ma

GENERALITES SUR LES RESSOURCES EN EAU

1.1.L'eau au Maroc

Bien que doté d'une position géographique favorable au Nord-Ouest de l'Afrique, le Maroc reste dans la majeure partie de son territoire, un pays à climat essentiellement semi-aride (**Figure 1**).

A part la région Nord-Ouest et les sommets de l'Atlas, la pluviométrie reste faible, comparativement aux pays riverains du Nord de la Méditerranée.

Elle diminue progressivement :

- en allant vers l'Est dans la zone méditerranéenne,
- en allant vers le Sud dans la zone atlantique.

Les précipitations moyennes annuelles varient de 500 à 2 000 mm dans la zone la plus arrosée du Nord- Ouest, à moins de 100 mm dans les zones arides du Sud du pays (**Rapport sur l'Etat de l'Environnement du Maroc**).

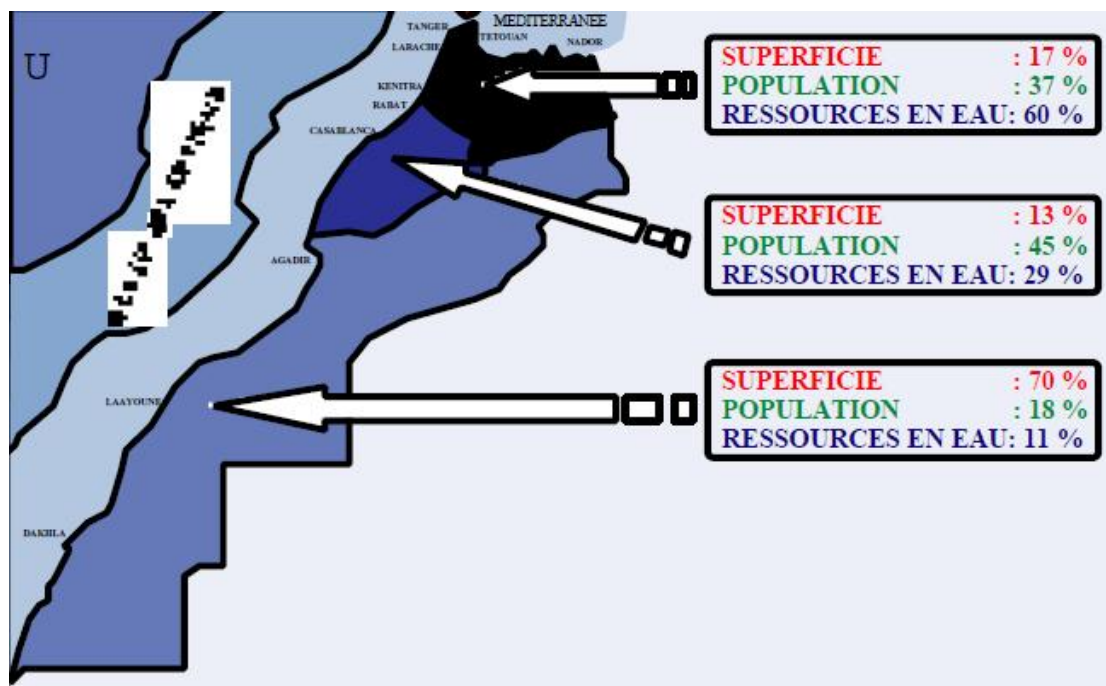


Figure 1 : répartition géographique des ressources en eau au Maroc (Source DGH).

Les précipitations totales sur l'ensemble du territoire sont évaluées en année moyenne à environ 150 milliards de m³, dont 121 milliards vont à l'évapotranspiration et 29 milliards environ à l'écoulement total superficiel et souterrain.

Le Maroc dispose, selon le niveau de connaissance actuel, d'un potentiel en ressources en eau naturelle, estimé en année moyenne à près de 20 653 millions de m³: 17 881 mm³ d'eau de surface et 2 772 mm³ d'eau souterraine naturelle renouvelable, soit une dotation moyenne par habitant de près de 691 m³/an [24].

1.1.1. Les eaux de Surface

Les écoulements des eaux de surface, estimés à près de 20 milliards de m³, sont étroitement liés aux précipitations et aux conditions d'évaporation.

Le **tableau 1** montre que 65% des ressources en eau de surface mobilisables du pays sont localisées dans les bassins atlantiques du Nord et du Centre.

Tableau 1 : répartition géographique des ressources en eau de surface mobilisables (Source DGH).

Bassin versant	Superficie (km ²)	Pluviométrie moyenne (mm)	Apports moyens (Mm ³)	Total mobilisable (Mm ³)
* Loukkous-Sud Larache	5 600	900	1 864	1 237
* Tangérois	2 400	800	643	218
* Bassins côtiers Méditerranéens	12 600	560	1 812	1 037
TOTAL DES BASSINS RIFAINS NORD	20 600	680	4 319	2 492
* Sebou	40 000	750	5 600	4 464
* Bouregreg et Bassins côtiers de Casablanca	20 000	415	830	860
* Oum-Er-Rabia	35 000	520	3 680	3 996
* Tansift et Bassins côtiers de Safi-Essaouira	37 500	332	1 110	987
TOTAL DES BASSINS ATLANTIQUES DU NORD ET CENTRE	132 500	520	11 260	10 307
* Sous-Massa et bassins côtiers Agadir-Tiznit	35 500	230	696	564
TOTAL DES BASSINS SUD-ATLASIQUES OUEST	35 400	230	696	564
* Moulouya-isly	57 500	245	1 650	1 544
TOTAL DES BASSINS DE L'ORIENTAL	57 500	245	1 650	1 544
* Guir-Bouanane-Tamelelt	29 900	138	254	127
* Ziz-Rhéris-Maïder	39 200	120	390	284
* Daraâ	95 000	120	700	437
TOTAL DES BASSINS PRESAHARIENS SUD-ATLANTIQUES	164 190	123	1 346	848
* Autres Bassins Sahariens	300 660	50	30	-
ENSEMBLE DU TERRITOIRE NATIONAL	710 850	-	19 300	17 755

1.1.2. Les eaux Souterraines

Les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique national et représentent les seules ressources en eau des régions désertiques. Trente-deux nappes profondes et plus de 46 nappes superficielles sont identifiées et répertoriées.

L'effort d'études et de reconnaissances entrepris, permet d'évaluer le potentiel exploitable à 4 milliards de m³ par an, dont plus de 50% sont répartis dans les régions Centre et Nord du pays (**Tableau 2**). Quoique très rare dans les régions sahariennes, elles y représentent la principale ressource en eau.

Tableau 2 : répartition géographique des ressources en eau souterraines mobilisables (Source DGH).

Bassin versant	Eau souterraine mobilisable (Mm ³)
Loukkos-Tangérois-Bassins Côtiers Méditerranéens	226
Moulouya	779
Sebou	453
Bouregreg-Bassins Côtiers Atlantiques Rabat-Casablanca	126
Oum-Er-Rbia	326
Tensift-Bassins Côtiers Atlantiques	
Ksob-Iguezoullene	458
Souss-Massa-Bassins Côtiers Atlantiques Tamri-Tamaraght	240
Ziz-Guir-Rhéris	306
Figuig	30
Systèmes aquifères du Haut et Moyens Atlas	150
Draâ	276
Sahara	16
Ecoulements diffus	614
TOTAL	4 000

1.2. Les sources d'eau

1.2.1. Définition de la source d'eau

Une source est à la fois le phénomène et le lieu d'apparition et d'écoulement d'une eau souterraine à la surface du sol, à l'origine en général d'un cours d'eau de surface. Une source est une eau qui sort naturellement de terre, où le point où l'eau jaillit. C'est souvent l'origine d'un cours d'eau, mais des sources peuvent alimenter des mares, lacs, s'écouler directement en mer, ou produire une eau qui disparaît à nouveau dans le sol.

Il existe différentes approches permettant de classer les sources :

- L'hydrochimie permet de classer les sources selon leurs qualité ;
- L'hydrogéologie qui cherche à expliquer l'origine et le fonctionnement de la source ;
- Le thermalisme qui classe les sources selon leur température et l'usage qui peut en être tiré.

1.2.2. Classification des sources

Les sources sont classées et reçoivent divers qualificatifs suivant différents critères :

- Suivant les conditions hydrogéologiques:
 - **source de déversement, de débordement ou de trop plein** : correspondant aux types de nappes souterraines libres de mêmes dénominations,
 - **source d'émergence ou de dépression** correspondant à la source d'aquifère à nappe libre non liée à l'affleurement du substratum
 - **source artésienne ou jaillissante** correspondant aux sources issues d'une nappe captive,
 - **source diaclasienne, source karstique ou de karst, exurgence** : elles issues d'un aquifère discontinu,
 - **source vaclusienne** issue d'un exutoire d'un conduit karstique ascendant subvertical.
 - **Source de résurgence** : Retour en surface d'eau originaire, en tout ou partie, de pertes d'un ou plusieurs cours d'eau dans un aquifère karstique.
- Suivant la continuité ou non de l'écoulement, le régime de variation du débit : **source constante, pérenne, saisonnière, intermittente, temporaire ou accidentelle**.
- Suivant un caractère de localisation : **source de coteau, source littorale ; sources submergées** (sous-fluviale, sous-lacustre, sous-marine).
- Suivant une caractéristique de l'eau :
 - suivant la température : **source chaude, thermale ; source hypotherme, orthotherme, hypertherme** à température respective inférieure, égale (ou n'excédant pas plus de 4°C) ou supérieure (de plus de 4°C) à la température moyenne annuelle de l'air du lieu. [16].
 - suivant une caractéristique chimique : **source salée, séléniteuse, ferrugineuse, sulfureuse, minérale, incrustante ou pétrifiante**.

1.2.3. Biodiversité des sources

Bien que les lacs, les étangs et les cours d'eau ne représentent qu'un dix-millième du volume d'eau de la Terre, 12% de toutes les animales et végétales y vivent. 41% des poissons et 25% des vertébrés sont tributaires de la sauvegarde des écosystèmes d'eau douce [17].

Les sources, en tant qu'aquifères ponctuels, présentent par exemple une biocénose spécifique, adaptée aux conditions locales. Environ 410 (17,5%) sur 2350 espèces de la faune aquatique habitent des sources [17].

Outre les populations qui transitent avec les eaux de surface, les eaux souterraines hébergent des espèces spécifiques extrêmement liées à leur habitat. Les algues font défaut dans les eaux souterraines en raison de l'obscurité.

La protection de la nature et la recherche se sont peu intéressées à la diversité aquatique. Pourtant, Le savoir relatif aux organismes aquatiques est très lacunaire. Outre les carences concernant la diffusion, on constate en permanence que la taxinomie des insectes, par exemple, est inachevée [17]. Tout ceci est dû la difficulté de faire du terrain.

LA POLLUTION DES RESSOURCES EN EAU

1.3.Définition

La pollution est une dégradation ou une perturbation du milieu, qui résulte en général de l'apport de matière ou de substances exogènes. Ses effets peuvent être modificateurs ou destructeurs vis-à-vis du fonctionnement du milieu, selon la nature ou la quantité de polluant.

1.4.Types de pollution

1.4.1. La pollution physique

Il existe deux types de pollution physique :

- **La pollution thermiques** qui correspond à une augmentation ou diminution de la température de l'eau par apport à la normale, elle due généralement à aux actions anthropiques. La température est intervient impérativement dans les variations du taux d'oxygène dissous dans l'eau, lorsque celle-ci est élevé le taux de l'oxygène

dissous diminue et vis-ver ça. La présence des teneurs importantes de l'oxygène favorisent la dégradation rapide des polluants organique [18].

- **La pollution radioactive** causée généralement par les rejets radioactive hospitaliers en plus des fuites des centrales nucléaires. La radioactivité est très nocive pour l'homme due ses effets cancérogènes.

1.4.2. La pollution chimique

L'eau par son pouvoir dissolvant élevé, dissout les substances rejetées par l'activité humaine. Les polluants chimiques sont nombreux et d'origines diverses : sels minéraux dissous, métaux lourds, pesticides, détergents et hydrocarbures. Métaux lourds, pesticides et détergents constituent les micropolluants. Il existe différentes formes de polluants chimiques :

- **Les nitrates** sont essentiellement d'origine agricole, leur teneur maximum dans l'eau potable est fixée à 44mg/l. Les plus nocifs sont les composés de l'azote, nitrates (NO_3) et nitrites (NO_2). Ils provoquent des troubles graves chez les jeunes vertébrés par dégradation de l'hémoglobine du sang [19]. Les nitrates ne sont pas directement toxiques pour l'homme. Le risque provient de leur transformation en nitrites dans l'appareil digestif. Ils provoquent l'oxydation de l'hémoglobine en méthémoglobine, celle-ci est alors incapable d'assurer le transport de l'oxygène. La pollution par les nitrates intervient quand l'apport d'engrais n'est pas complètement utilisé par les plantes. Les nitrates, solubles dans l'eau, descendent vers les nappes à des vitesses variables selon la nature du sol. La présence des nitrates avec des teneurs élevées dans les écosystèmes aquatiques, favorise l'accélération d'un phénomène naturel qui entre en jeu dans celle-ci : c'est **l'eutrophisation**.
- **Les phosphates** rejetés dans l'environnement proviennent des sources agricoles (engrais) et industrielles, de déjections humaines et de détergents ou lessives phosphatées. Le phosphate intervient lui aussi dans l'accélération du processus **d'eutrophisation**.
- **Les sulfates et les chlorures** Sont naturellement présents dans l'eau souterraine (dissolution des sels minéraux des réservoirs). Les chlorures, par leurs persistances dans tous les milieux, constituent d'excellents traceurs naturels.

1.4.3. Les micropolluants

Les micropolluants présents dans l'eau comprennent une multitude de composés minéraux et organiques dont les effets sur les organismes vivants peuvent être toxiques à de très faibles concentrations (de l'ordre généralement du microgramme par litre) [16]. La contamination des eaux de surface est due essentiellement à des rejets directs (égouts non raccordés à un système d'épuration, p. ex.), au ruissellement de l'eau sur des surfaces contaminées ou encore à l'érosion de particules de sol. Les eaux souterraines sont, quant à elles, contaminées suite à l'infiltration des micropolluants dans le sol et le sous-sol. On distingue les apports ponctuels où les sources de pollution sont clairement identifiées (rejets industriels, pollution accidentelle, rejets des eaux usées domestiques), des sources diffuses liées principalement aux activités agricoles et aux retombées atmosphériques. On distingue généralement trois grands groupes de micropolluants : les micropolluants organiques, les micropolluants minéraux et les micropolluants organométalliques.

- **Les micropolluants organiques** regroupent plusieurs types de composés contenant un ou plusieurs atomes de carbone. Ce groupe de micropolluants peut être scindé en deux grandes familles : les pesticides, les hydrocarbures (HAP), les biphényles polychlorés (PCB), les dibenzodioxines polychlorées (PCDD) ou dioxines, les dibenzofurannes polychlorés (PCDF) ou furannes et les détergents.

Certains micropolluants organiques (comme les PCB, les dioxines, les furannes et certains pesticides) font partie des POP (polluants organiques persistants). Il s'agit de composés extrêmement toxiques et peu biodégradables qui peuvent, d'une part être transportés sur de longues distances par les courants atmosphériques, et d'autre part, s'accumuler dans les tissus le long de la chaîne alimentaire.

- **Les micropolluants minéraux** sont représentés essentiellement par les éléments traces métalliques (ETM). Les principaux ETM rencontrés dans les eaux sont le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le chrome (Cr), le mercure (Hg), l'arsenic (As), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le nickel (Ni). Ces éléments sont présents naturellement dans les roches et les sols, mais les niveaux de concentration actuels résultent pour la plupart de diverses activités humaines (sidérurgie, tannerie, transport routier, effluents agricoles...).

- **Les micropolluants organométalliques** sont des molécules mixtes dans lesquelles un ion métallique est lié à un groupement organique (ex: méthyle de mercure).

Les micropolluants ne sont pas toxiques uniquement pour la faune et la flore aquatiques mais aussi pour les êtres humains. La toxicité dépend de plusieurs facteurs tels que le type de micropolluant, la dose reçue et la voie d'exposition (voie alimentaire, inhalation, passage à travers la peau). Les principaux effets observés sont la formation de radicaux libres, l'altération de l'expression des gènes, une toxicité au niveau d'un tissu ou d'un organe. Ces effets ont pour conséquences l'apparition de diverses pathologies : cancers, immunodéficience, infertilité, problème de croissance, maladie d'Alzheimer, les malformations [20].

1.4.4. Les polluants biologiques

La pollution biologique est une forme de pollution qui due a la présence des germes pathogènes (virus, bactéries ou parasites) dans l'eau. Elle a comme Origène les eaux usées non traitées ou des eaux de ruissellement contaminées. Les germes pathogènes ont plusieurs effets néfastes sur la santé humaine (tableau 3).

Tableau 3 : exemple des maladies causées par la pollution biologique [22].

	Exemples des maladies
Maladies d'origine bactérienne	- Le choléra (<i>vibrio cholerae</i>) - La fièvre typhoïde et gastro-entérite (<i>salmonella typhi</i> et <i>E. Coli</i>) - Schigellose (<i>shigella spp</i>) - La tuberculose (<i>mycobacterium tuberculosis</i>).
Maladies d'origine virale	- la poliomyélite - les hépatites virales et entérovirus.
Maladies d'origine parasitaire	l'ankylostomose, la dracunculose, le téniasis etc...

Pour évaluer ces risques un certain nombre d'indicateurs de contamination fécale ont été retenus. On cite les coliformes totaux, les coliformes fécaux (thermotolérant) et les streptocoques :

- **Coliformes totaux** Sont définis comme étant des bactéries en bâtonnet, non sporogènes, Gram négatif, aérobie ou anaérobies facultative capables de croître en présence des sels biliaires ou autre agent de surface ayant des propriétés inhibitrices de croissance analogues et capables de fermenter le lactose avec production d'acide (ou d'aldéhyde) et de gaz en 48 heures à des températures de 35 à 37° C. Ils possèdent l'enzyme β -galactosidase permettant l'hydrolyse du lactose à 35°C afin de produire des colonies rouges avec reflet métallique sur un milieu gélosé approprié. Les principaux genres inclus dans le groupe sont : Citrobacter, Enterobacter Eschirichia, Serratia et Klebsiella.
- **Coliformes fécaux (thermotolérant):** sont des bâtonnets gram négatif, aérobies et facultativement anaérobies ; non sporulant, capables de fermenter le lactose avec production de l'acide et de gaz à 36 et 44°C en moins de 24 heures. Sont souvent désignés sous le nom d'Eschericia Coli bien que le groupe comporte plusieurs souches différentes (Citrobacter freundii, Entérobacter aérogènes, Klebsiella pneumoniae... etc.). Les coliformes fécaux sont intéressants car un très grand nombre d'entre eux vivent en abondance dans les matières fécales des animaux à sang chaud et de ce fait, constituent des indicateurs fécaux de la première importance.
- **Streptocoques fécaux ou entérocoques** sont des hôtes normaux de l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud. Ils se répartissent en 2 genres Streptococcus et Enterococcus. La plupart des espèces appartiennent au genre Enterococcus. Leur recherche dans le milieu hydrique présente un intérêt certain, car leur comportement diffère nettement de celui des coliformes. Leur caractère de bacilles Gram+ leur confère une bonne résistance dans les milieux hydriques. Ce qui permettrait la mise en évidence de pollution plus ancienne.

PRESENTATION GENERALE DE LA REGION D'ETUDE

1.5.Données générales

La zone étudiée fait partie d'un ensemble plus vaste, le bassin versant d'Oum Er-Rbia qui est limitée au Nord par les Bassins Hydrauliques de Bouregreg et de Sebou, au Nord Est par le Bassin Hydraulique de la Moulouya, au Sud Est par les Bassins Sud Atlasiques, au Sud par le Bassin Hydraulique de Tensift et à l'Ouest par l'Océan Atlantique.

Elle couvre une superficie totale de (48070 km²) ce qui correspond à 7 % de la superficie du pays [1]. Elle est constituée par le bassin de l'Oum Er-Rbia (3.5000 km²) et les bassins côtiers atlantiques situés au Sud Ouest du bassin d'Oum Er-Rbia entre El Jadida et Safi (13.070 km²) [1]. L'Oued Oum Er Rbia, d'une longueur de 550 km, prend son origine au Moyen Atlas à 1.800 m d'altitude, traverse la chaîne du Moyen Atlas, la plaine du Tadla et la Meseta côtière et se jette dans l'Océan Atlantique à environ 16 km de la ville d'El Jadida.

1.6.Aspects du climat

Le climat du bassin est de type aride à semi-aride, il se traduit par une pluviométrie diminuant d'Ouest en Est (350 à 250 mm/an), en altitude elle peut atteindre 1000 mm (avec neige au dessus de 1500m). La pluviométrie moyenne sur le bassin de l'Oum Er-Rbia et les bassins côtiers est de 500 mm/an. Elle varie entre 1100 mm sur le Moyen Atlas et 300 mm dans la zone aval du fleuve. Elle neige en moyenne 20 jours/an au dessus de 800 m [1].

1.7.Géologie du bassin Oum Er-Rbia

Les terrains qui occupent le bassin forment quatre groupes :

- les terrains primaires se rencontrent au pied du Moyen Atlas (schistes et quartzites), dans les Jbilet, et dans la Meseta. Ils sont peu perméables et **les eaux qui pourtant en viennent sont peu abondantes et salées [10]**;
- les terrains du Moyen et du Haut Atlas sont principalement calcaires. Le radier général et continu de ces deux massifs plissés est un substratum imperméable de basaltes doléritiques, recouvert de marnes et argiles salifères d'âge triasique. Les massifs sont composés de plusieurs centaines de mètres de calcaires dolomitiques, surmontés de calcaires du Domerien, très perméables. Suit le Lias supérieur (Dogger) imperméable, et les calcaires du Jurassique supérieur. Le massif liasique et jurassique du Haut Atlas

est limité vers l'ouest par une ligne qui va de Bzou au Mgoun en passant par Demnate. A l'ouest de cette ligne, la transition se fait entre les calcaires et les roches cristallines du massif du Toubkal : on trouve en bordure des calcaires les basaltes doléritiques, puis le Permotrias continental et enfin les schistes et grès viseens, gothlandiens et ordoviciens.

- la disposition profonde des dépôts du Tadmou va du Quaternaire ancien jusqu'aux formations modernes. Au-dessus du banc de calcaires marneux formant radier, on trouve des lentilles de calcaires lacustres villafranchiens et quaternaires séparés par des terrains marneux beaucoup moins perméables. De vastes étendues de limons rouges du Quaternaire récent recouvrent le tout.
- le Plateau des Phosphates est formé de couches subhorizontales de sédiments crétacés et éocènes, de l'Infracénomanien au Lutétien.

En conséquence, la partie montagneuse du bassin est composée de terrains perméables dotés d'une puissante capacité de rétention, où l'infiltration est forte, le ruissellement superficiel faible, favorisant des écoulements du type karstique avec sources et résurgences.

1.8. Les sources de pollution des eaux dans le bassin d'Oum Er-Rbia

La particularité de bassin versant Oum Er-Rbia ne restera pas sans impacts négatifs sur la ressource en eaux et l'environnement.

L'industrie en évolution continue, l'agriculture s'est accentuée et même modernisée (forte utilisation de produits fertilisants et surexploitation du sol), les ménages ; douars, villages, villes, de plus en plus peuplés. Ces trois secteurs constituent les facteurs clés responsables de la dégradation de la qualité des eaux douces et de l'environnement du bassin versant de l'Oum Er-Rbia.

1.8.1. Urbanisation

Le bassin versant d'Oum Er-Rbia abrite 65 centres urbains et 254 communes rurales, répartis sur 12 provinces (Figure 2). C'est l'un des bassins les plus peuplés du Maroc avec près de 5 millions d'habitants (2004) [2]. Les principales zones urbaines et agglomérations siègent sur le parcours de la rivière et y versent toutes les eaux usées de tout genre, Ceci

engendre une dégradation importante et évolutive de la qualité des eaux de surface et souterraine.

Le débit total collecté par les réseaux d'assainissement de l'ensemble des centres de bassin versant Oum Er-rbia s'élève actuellement à 40 millions de mètre cube par an (**tableau 4**). Malheureusement, l'oued Oum Erbia constitue le collecteur principal des eaux usées des centres limitrophes. Il est donc nécessaire d'accorder la priorité à ces centres dans le cadre du plan national d'assainissement.

Tableau 4 : charge polluante de la population locale [2].

Population Totale	DBO5 (t /an)	DCO (t /an)	MO (t /an)	MES (t /an)	NK (t/an)	PT (t/an)	Unités de Pollution UP	Equivalent Habitant EH
2 397 669	32 051	66 281	43 461	43393	8 751	1 750	61 686	1 900 073

1.8.2. L'Agriculture

Le bassin d'Oum Er-Rbia est la région la plus agricole du Maroc (plus de 27% de la surface agricole utile irriguée du Maroc). En effet, sa consommation par hectare est une des plus élevée au Maroc. La demande agricole s'élève à près de 4 milliards de mètres cubes, au premier rang du Maroc, avec 32% de la demande totale agricole [2].

L'utilisation parfois irrationnelle des engrais et des pesticides dans l'agriculture contribue à la contamination de l'eau superficielle et souterraine. La quantité d'azote lessivée vers la nappe ou ruisselée vers les cours d'eau est évaluée à environ 10%, ainsi environ 2.2 tonnes par an de pesticides et environ 3500 tonnes de nitrates, provenant des engrais, parviennent à la nappe du Tadla seulement [2].

1.8.3. L'industrie

Dans le bassin versant d'Oum Er-Rbia, on note l'existence d'importantes unités agro-industrielles qui permettent la valorisation de la production agricole. Il s'agit de 2 sucreries dont la capacité de traitement es de 17.000 Tonne/an, 2 laiteries (134,4 Millions litres), 7 minoteries, 2 unités d'aliment de bétail, une cave de production de vin, 22 stations de conditionnement de la tomate, 3 charcuteries, 1 unité de production de levure fraîche, 1

fromagerie, et une unité de fabrication des pâtes alimentaires, et un complexe minier (Jorf-Lasfar) qui représente le premier pôle industriel vu ses installations et ces nombreuses industries de transformation. En effet, ses industries minières sont hautement polluantes [1].

La figure 1 illustre la répartition des différentes activités industrielles pouvant constituer une source de pollution du bassin hydraulique Oum Er-rbia.

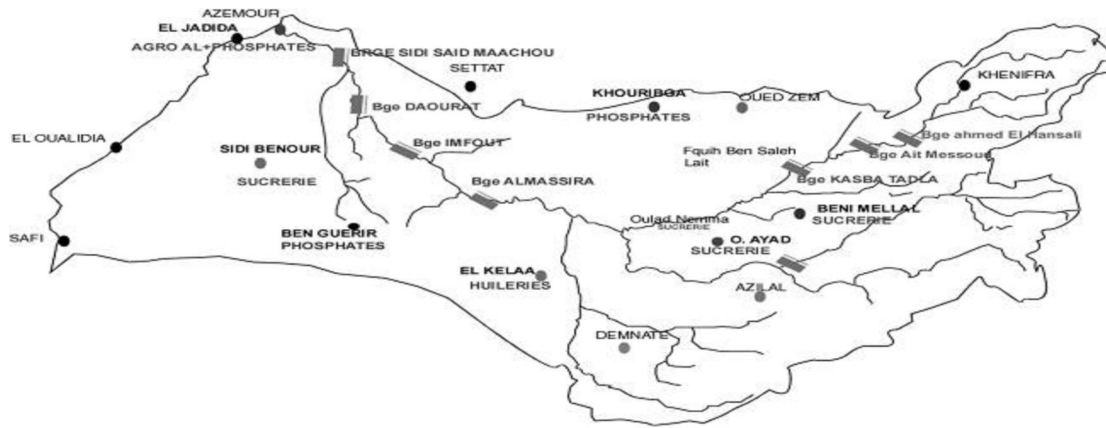


Figure 2 : localisation de la pollution industrielle sur le bassin versant de l'Oum Er-Rbia [2].

Matériels et Méthodes



1. LA ZONE D'ETUDE

La zone étudiée fait partie du bassin versant d'Oum Er-Rbia, à 34 Km ou Sud-est de M'rirt, province de Khénifra (**figure 3**). A la base de la falaise calcaire du KHEDOUD un groupe de sources jaillissent à 1 220 m d'altitude, grossissant l'Oued BOU IDJI qui vient se jeter alors dans l'Oued FELLAT. La vallée s'encaisse profondément et l'OUM ER RBIA (la mère du Printemps) va sortir du massif plissé du Moyen Atlas. Le groupe de "40 sources" constitue l'apport principal à la formation du fleuve, Malheureusement la plus part de ces sources sont cachées par les constructions des populations locales. Si celles qui jaillissent au pied des calcaires ont une eau relativement douce (moins de 1 g/litre de résidu sec) par contre celles qui sourdent au contact des argiles du trias sont très chargées (18 g/litre). Toutes ces sources sont situées à une altitude assez voisine de 1300 m [10].

Pour réaliser et mener à bien cette étude, deux sources ont été choisies parmi les 40 existante ; en tenant compte d'un certain nombre de critères tel que l'accessibilité, la salinité de l'eau, etc.



Figure 3 : les sources Oum Er-Rbia (<http://www.gosur.com/map/?route=1>).

❖ **Source Oum Er-Rbia 1 (S1)**

- Altitude : 1220 m;
- Profondeur : de quelque centimètre à 1 mètre;
- Latitude : 33°03'10.6''N5 ;
- Longitude : 24°53.7''W ;
- Largeur : 20 m ;
- Vitesse : 10 cm/s ;
- Substrat : galet et gravier.



Figure 4 : source Oum Er-Rbia 1 (S1) (M.OULHAJ 2014).

❖ **Source Oum Er-Rbia 1 (S1)**

- Altitude : 1220 m ;
- Profondeur : quelque centimètres à 1 mètre;
- Latitude : 33°03'07.3''N5 ;
- Longitude :24°45.2''W ;
- Largeur : 20 m ;
- Vitesse : 13 cm/s ;
- Substrat : les bloc, galet et gravier.



Figure 5 : source Oum Er-Rbia 2 (S2) (M.OULHAJ. 2014).

2. ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE

2.1. Méthodologie d'échantillonnage

En utilisant le matériel de la **figure 6**, nous avons effectué pour chaque campagne (Avril et Mai 2014) :

- Des mesures de certains paramètres physique de l'eau comme la température, le pH, et la conductivité à l'aide d'un échantillonneur multiparamétriques de type CyberScan PC10 (**figure 6**).
- Un prélèvement de 1000 ml d'eau de chaque source (station S₁ et station S₂) (figure 3 et 4) à l'aide des bouteilles de polyéthylène (**figure 6**).
- Un prélèvement de 250 ml d'eau de chaque source (station S₁ et station S₂) (figure 3 et 4) à l'aide des flacons à bouchon rodé de 250 ml. L'oxygène de l'eau est fixé en ajoutant sur place, 1 ml du mélange de l'Iodure de potasse (KI) et 1 ml de chlorure de manganèse (MnCl).



Figure 6 : matériels d'échantillonnage et de mesure des paramètres physiques (M.OULHAJ. 2014).

2.2. L'analyse des échantillons

2.2.1. Mesures in situ

Les mesures de la température, le pH, et la conductivité électrique ont été réalisées sur le terrain à l'aide d'un analyseur multi-paramètres pH/conductivité / température CyberScan PC10.

2.2.2. Analyse au laboratoire

La détermination des paramètres chimiques d'un milieu aquatique permet d'apprécier la qualité de l'eau et la santé biologique de l'écosystème. Tous les paramètres sont mesurés selon les protocoles décrits par RODIER 1996.

2.2.2.1. L'alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence des hydrogénocarbonates (HCO_3^-), carbonates (CO_3^{2-}) et hydroxydes (OH^-). Le titre Alcalimétrique (TA) a été dosé en neutralisant les ions hydroxydes et la transformation des ions bicarbonates en hydrogénocarbonates par un acide fort (l'acide sulfurique 0.02N) en présence de phénolphthaléine (pour le TA) et méthylorange (pour le Titre alcalimétrique complet TAC). Les résultats sont exprimés en mg/l.

2.2.2.2. La dureté ou titre hydrotimétrique (TH)

- La dureté totale

Le dosage se fait à l'E.D.T.A. en présence d'une solution tampon pour amener le pH de l'échantillon à 10. L'indicateur coloré (Noir d'Eriochrome) qui a la propriété de former avec les ions de calcium Ca^{2+} et de magnésium Mg^{2+} un complexe de type de chélate. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est détectée par le changement de la couleur de l'indicateur du violet au bleu franc. Les résultats sont exprimés en mg/l.

- La dureté calcique

La dureté calcique a été effectuée par complexométrie (E.D.T.A). Le dosage du calcium se fait en présence de la soude et l'indicateur coloré (Calcione HSN), puis on titre par l'E.D.T.A. Les résultats sont exprimés en mg/l.

2.2.2.3. L'oxygène dissous (WINKLER)

L'oxygène dissous réagit avec l'hydroxyde de manganèse formé par l'addition de chlorure de manganèse et d'hydroxyde de sodium. L'hydroxyde de manganèse formé après acidification permet d'oxyder l'iodure de potassium préalablement introduit avec libération d'une quantité équivalente d'iode. L'iode ainsi libéré est dosé à l'aide d'une solution titrée de thiosulfate de sodium. Les résultats sont exprimés en mg/l.

Tableau 5: méthodes d'analyses des différents paramètres physicochimiques.

Paramètres	Méthodes d'analyse	Unités	Sources
Température	CyberScan PC10	°C	
pH	CyberScan PC10		
Conductivité	CyberScan PC10	µs/cm	
L'oxygène dissous	Méthode de WINKLER	mg /l	Rodier (1996)
L'alcalinité	Titration	mg/l	Rodier (1996)
La dureté	Titration	mg/l	Rodier (1996)

3. ETUDE DE BENTHOS

3.1. Méthodologie d'échantillonnage

Pour l'étude quantitative, les Macroinvertébrés benthiques des sources ont été prélevés dans les deux stations (S₁, S₂), à l'aide d'un filet surber (**figure 7**), équipé d'un filet d'ouverture de maille de 500 µm [6 et15].

Sur le terrain, les organismes capturés, sont déposés dans une bassine avec de l'eau pour faciliter leur mobilité, leur capture et aussi d'éliminer les éléments les plus grossiers (vases, pierres, galets, fragments du bois et feuilles des végétaux). Le pré-tri est une opération importante, elle permet de limiter les risques de détérioration de la faune et de réduire le volume d'échantillon à fixer et donc celui du récipient [6].

A l'aide d'une pince entomologique, nous avons procédé à introduire délicatement ces organismes dans des récipients en plastiques contenant du formol 10 % et ceci pour les fixer [6 et 15]. Chaque échantillon conservé dans un récipient adapté est ramené au laboratoire pour tri, détermination et analyse.

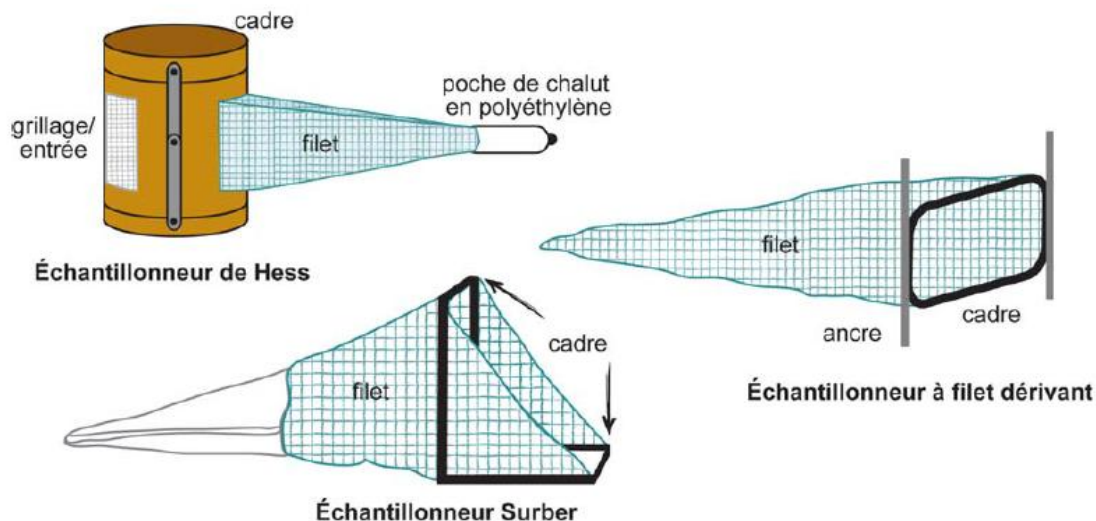


Figure 7 : principaux types d'échantillonneurs des invertébrés benthiques [14].

3.2. Protocole de traitement des échantillons d'invertébrés

Au laboratoire, les échantillons conservés dans des récipients étiquetés par station sont rincés abondamment à l'eau claire sur un tamis afin d'éliminer au maximum le substrat fin restant et les éléments grossiers (graviers, plantes, feuilles...) [6]. Le contenu des tamis est ensuite versé dans une bassine puis transvasé dans des boîtes de pétri pour les trier et les identifier (**figure 8**). En manipulant délicatement les organismes, à l'aide de pinces dans des boîtes de pétri, le tri et l'identification est faite sous la loupe binoculaire (**figure 9**). Ce même outil est servi à la détermination et au comptage des organismes (nombre total de taxons recensés, nombre d'individus par taxon). Continuer à trier et à identifier des animaux jusqu'à ce qu'au moins 100 invertébrés aient été recensés. Le sous-échantillon qui contient le 100^e animal doit être trié au complet afin de permettre une estimation exacte de l'abondance [3].

Après cette identification, ces organismes sont transvasés délicatement, à l'aide des pinces entomologiques, dans des récipients contenant de formol. À l'exception de certains macroinvertébrés déterminés jusqu'à l'espèce, les autres individus (en raison des difficultés de détermination qu'ils présentaient pour nous) ont été identifiés au niveau du genre.

La détermination des spécimens récoltés est réalisée en faisant appel à des clés de détermination des macroinvertébrés.



Figure 8 : tri des macroinvertébrés benthiques au laboratoire (M.OULHAJ. 2014).

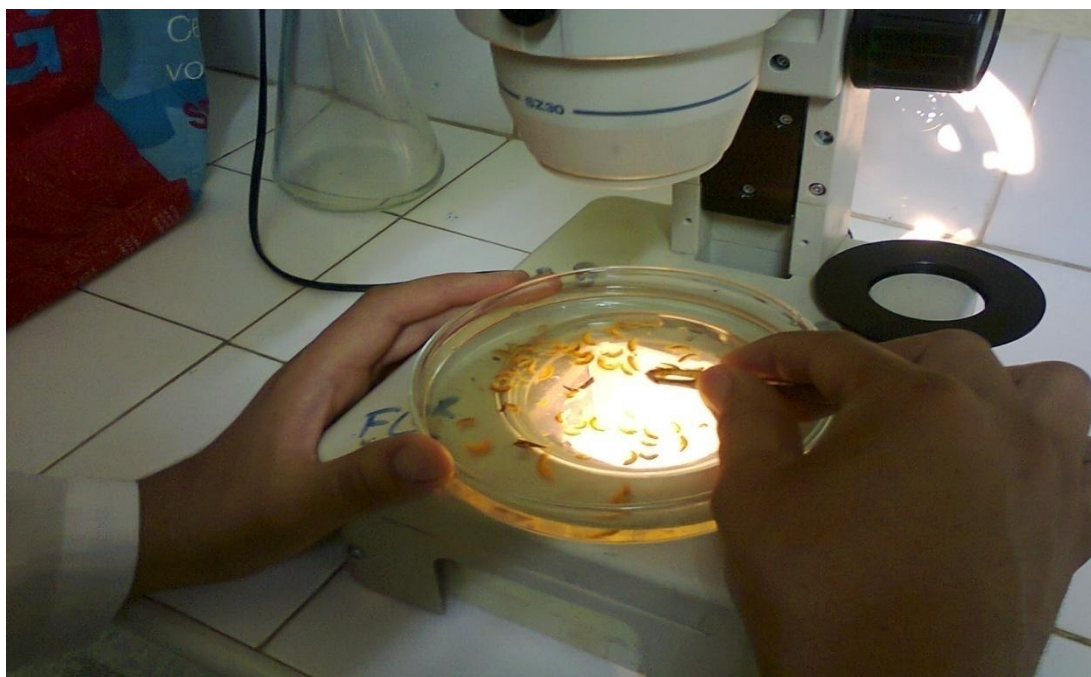


Figure 9 : tri et identification des macroinvertébrés benthiques au laboratoire (M.OULHAJ. 2014).

Résultats et discussion

Faculté des Sciences et Techniques Fès

B.P. 2202, Route d'Imouzzer FES

 212 (5 35) 60 80 14 – 212 (5 35) 60 96 35  212 (5 35) 60 82 14

www.fst-usmba.ac.ma

1. Etude physico-chimique

Les résultats des analyses physico-chimiques (**Annexe 1**)

1.1. La température

C'est important de connaître la température de l'eau. Par ce qu'elle joue un rôle important dans la solubilité des gaz, dans la dissociation des sels dissous et dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et les mélanges éventuels, etc. En outre, cette mesure est très utile pour les études limnologiques. Et d'une façon générale, la température des eaux est influencée par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes).

Dans les sources Oum Er-Rbia, nous avons remarqué que la température la température moyenne est 13,5 °C, pour la source (S₁) et 14,5 °C, pour la deuxième source (S₂) (**figure 10**). Ce qui montre que les eaux des sources étudiées appartiennent à la classe excellente aussi bien pour l'alimentation en eau potable que pour l'irrigation [7,8].

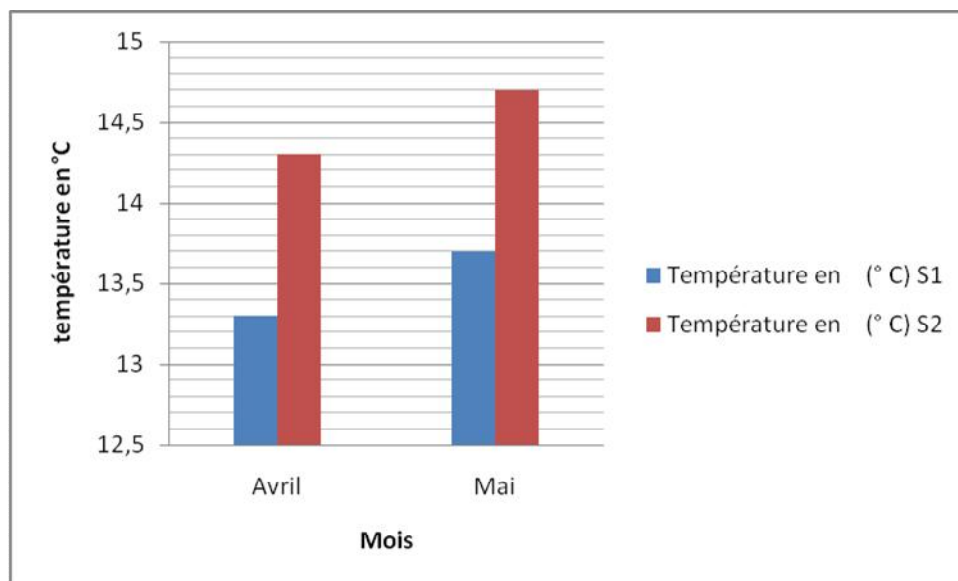


Figure 12 : évolution temporelle de la température de l'eau des sources Oum Er-Rbia.

1.2. Potentiel hydrogène (pH)

Dans chaque milieu naturel, les eaux ont une valeur de pH propre en fonction du sous-sol de leur bassin versant : il est supérieur à sept en régions calcaires où les eaux sont fortement minéralisées et inférieur à sept en région de sous-sol primaire ou eaux acides issues de tourbières. Les valeurs du potentiel Hydrogène se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles [5].

Nous avons enregistré un pH de 8,13 °C dans la source S1 alors que la source S2 montre un pH de 8,21 °C (**figure 11**). Ceci révèle que l'eau des sources Oum Er-Rbia est légèrement alcaline. Les eaux de la source peuvent être considérées comme acceptables selon la norme Marocaine [7,8, 5].

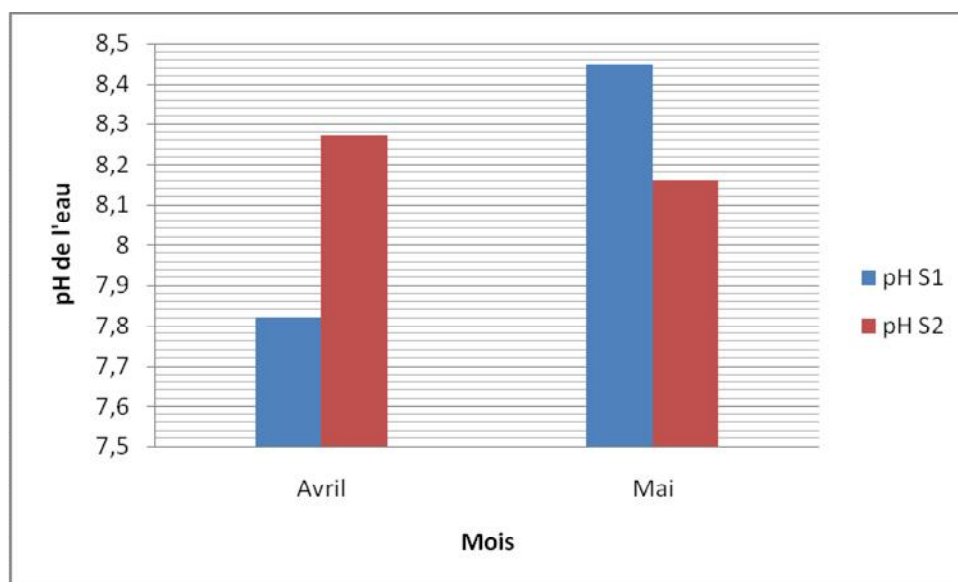


Figure 13: évolution temporelle de pH de l'eau des sources Oum Er-Rbia.

1.3. Conductivité électrique

La conductivité est un paramètre qui dépend de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Elle permet aussi d'évaluer la minéralisation globale et d'estimer la totalité des sels solubles dans l'eau [5].

Les valeurs moyennes enregistrées dans les sources Oum Er-Rbia ne montrent pas de fluctuations notables.

La conductivité de la source S2 varie entre 1193 μ S/cm en Avril et 1151 μ S/cm en Mai (**figure 12**). Ces légères fluctuations de la conductivité constatées sont en rapport avec les variations de la température entre les deux campagnes.

Les eaux de la source S2 sont fortement minéralisées en comparaison avec les valeurs trouvées par [9] dans la source Tataw à Imouzzer Marmoucha (moins de 370 μ S/cm) pendant la même période de l'année 2013. Mais, elles sont moins minéralisées par rapport à la source S1 qui est très fortement salée (1999 μ S/cm). La forte minéralisation de l'eau des sources Oum Er-Rbia, sur tout S1, est attribuée aux formations géologiques traversées par celle-ci (les terrains primaires) [10]. En effet, la forte minéralisation de l'eau des sources Oum Er-Rbia, fait que leurs consommations doivent être modérée [7,8].

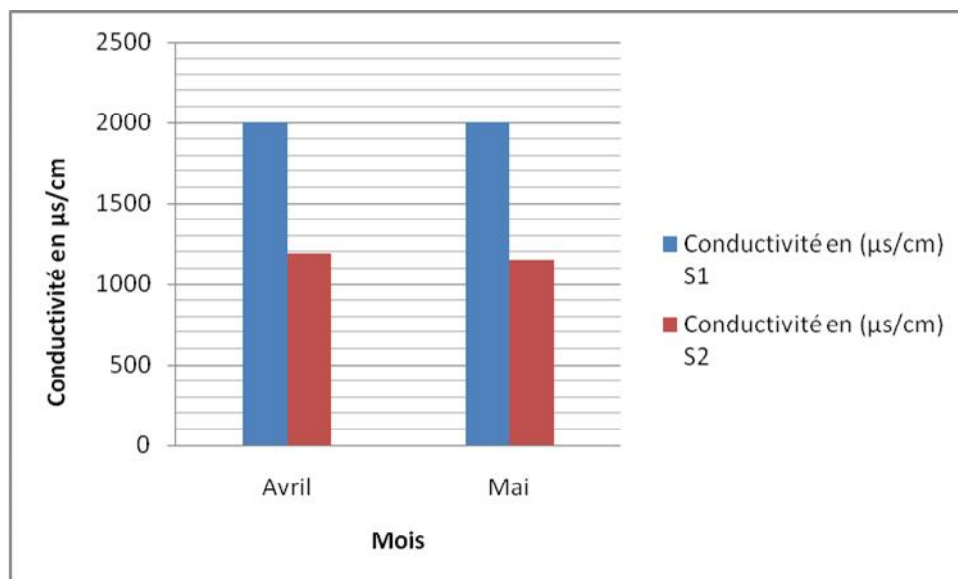


Figure 14 : évolution temporelle de la conductivité de l'eau des sources Oum Er-Rbia.

1.4. Dureté totale

La dureté totale indique la teneur de l'eau en sels (sels de calcium, magnésium).

Dans les eaux étudiées, cet élément présente une dureté totale allant de 4,38 à 5,35 méq/l dans la source S2 et de 6,14 à 7,26 méq/l pour la deuxième source S1. La dureté totale dans la source S1 semble être plus élevée par rapport à celle de S2, ceci est lié à la nature lithologique de la formation aquifère (les calcaires dolomitiques, schistes, quartzites,...) [10] et en particulier à sa composition en calcium et en magnésium.

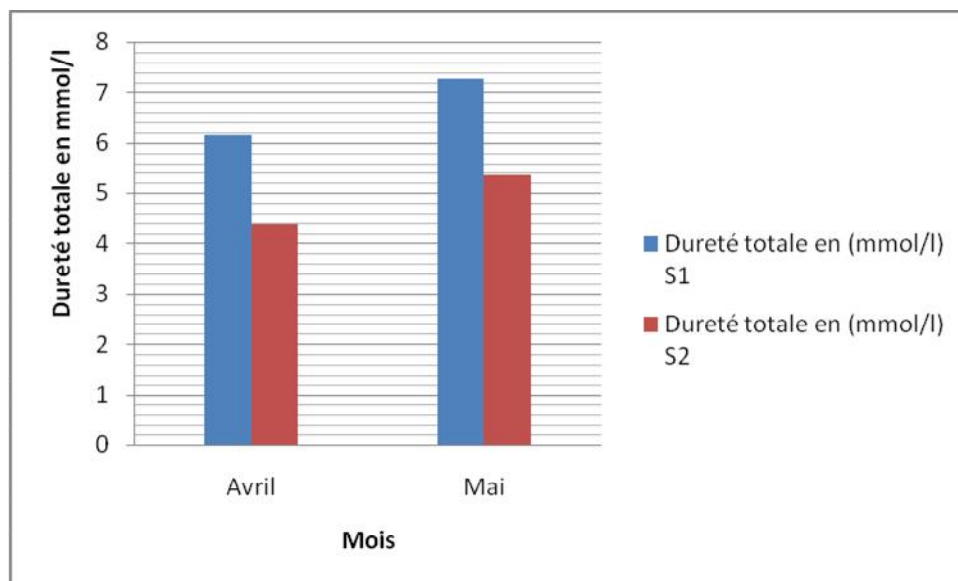


Figure 15 : évolution temporelle de la dureté totale de l'eau des sources Oum Er-Rbia.

1.5. Dureté calcique

Le calcium est le cinquième élément le plus abondant dans la nature. Il s'introduit dans le système d'eau douce sous l'action de la météorisation des roches, particulièrement celle des roches calcaires. La concentration de calcium dans l'eau dépend du temps de séjour de celle-ci dans les formations géologiques riches en calcium.

Dans la zone d'étudié, la dureté calcique atteint des valeurs de 161,24 mg/l dans la source S1 et 119,63 mg/l pour la source S2 (**figure 14**). L'eau des sources Oum Er-Rbia est caractérisée par des teneurs élevée en comparaison avec les valeurs trouvées par [9] dans la source Tataw à Imouzzar Marmoucha pendant la même période de l'année 2013 (Avril et Mai).

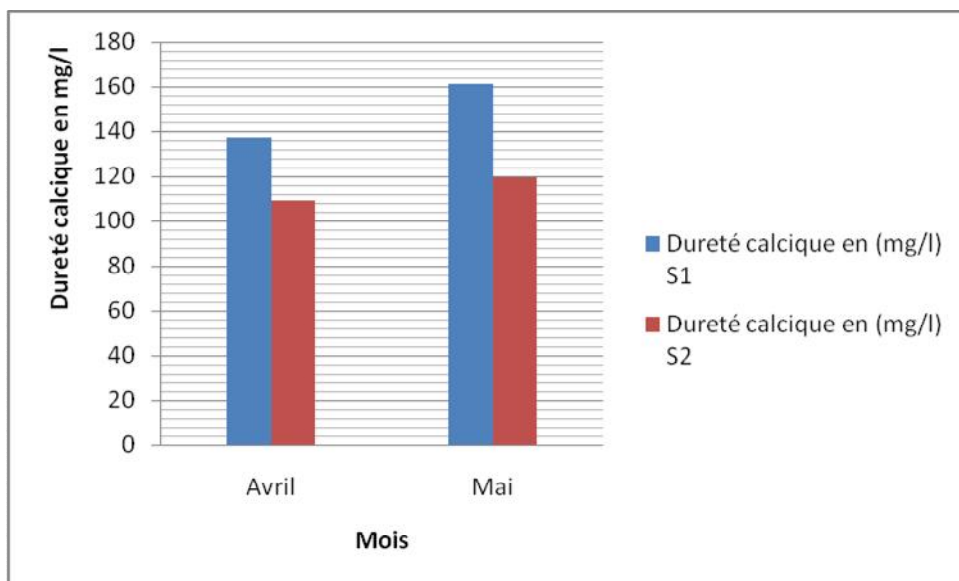


Figure 16 : évolution temporelle de la dureté calcique de l'eau des sources Oum Er-Rbia.

1.6. Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

L'alcalinité, indique le pouvoir tampon de l'eau, elle est étroitement liée à la dureté, bien que de nombreuses espèces de solutés puissent contribuer à l'alcalinité de l'eau, l'alcalinité est exprimée en quantité équivalente de carbonate.

Le taux de l'alcalinité dans la source S1 atteint un maximum de 1,34 meq/l en Avril 2014 et un minimum de 0,9 meq/l en Mai 2014, cette évolution de l'alcalinité prouve une dissolution des roches carbonatées dans les réservoirs karstiques. Dans la source S2 le TAC attient des valeurs de 4,7 meq/l en Avril 2014 et 4 meq/l en Mai 2014. Cette évolution de l'alcalinité prouve une dissolution des roches carbonatées dans les réservoirs karstiques de la région d'étude.

Les valeurs du TAC dans les sources Oum Er-Rbia sont très élevées (avec une moyenne de 1,12 meq/l pour S1 et 4,4 meq/l pour S2) en comparaison avec celle trouvées par [9] dans la source Tataw à Imouzzar Marmoucha (0,7 meq/l) pendant la même période de l'année 2013 (Avril et Mai).

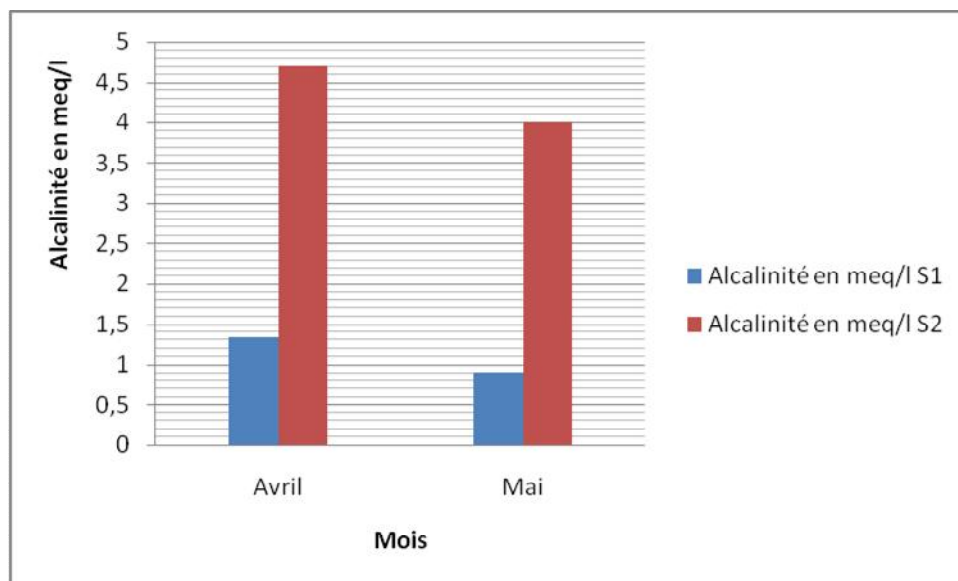


Figure 17 : évolution temporelle du titre alcalimétrique complet (TAC) de l'eau des sources Oum Er-Rbia.

1.7. Oxygène dissous

L'oxygène dissous mesure la concentration du dioxygène dissous dans l'eau. Il constitue l'un des paramètres les plus importants de la qualité des eaux et par conséquent de la vie aquatique. Il participe à la majorité des processus chimiques et biologiques en milieu aquatique (de dégradation des polluants dégradable de l'eau).

Les concentrations enregistrées dans les stations étudiées varient de 11,2 mg/l (Avril) à 8 mg/l (Mai) dans la source S1, et de 6,85 mg/l (Avril) à 5,85 (Mai) dans la source S2. Ceci est essentiellement dû aux variations de la température de l'eau constatée entre les deux compagnes : une eau froide contient une plus grande quantité d'oxygène dissous qu'une eau chaude [9].

L'eau des sources Oum Er-Rbia a montré une saturation élevée en oxygène dissous, ceci en comparant les teneurs trouvées par l'analyse avec celles trouvées par [9] dans la source Tataw à Imouzzer Marmoucha dans le moyen Atlas orientale (environ 6 mg/l) et par [5] à AIN SALAMA-JERRI à la région de Meknès (environ 5,9 mg/l), pendant la même période de l'année 2013 (Avril et Mai).

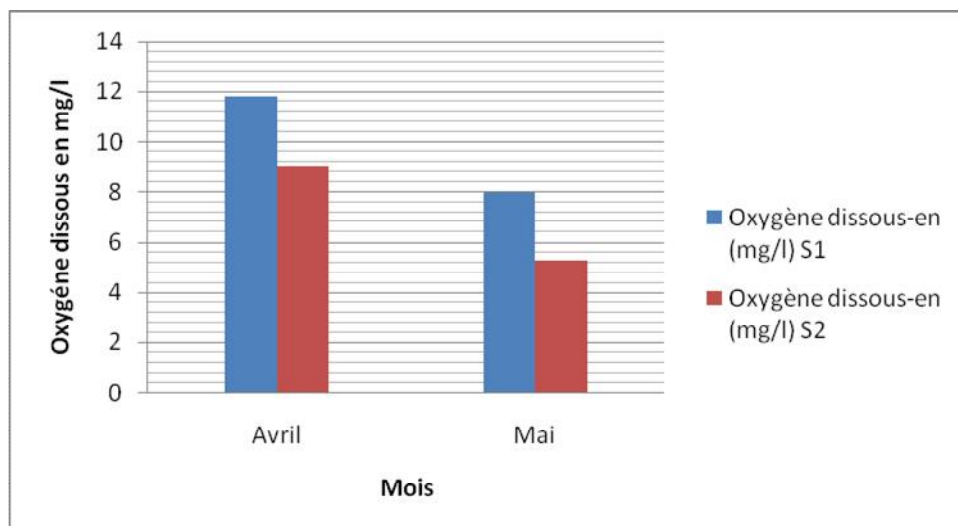


Figure 18 : évolution temporelle la teneur en oxygène dissous de l'eau des sources Oum Er-Rbia.

2. Etude des communautés de Benthos

Le présent recensement vise essentiellement à établir un inventaire aussi complet que possible des différents taxons qui peuvent être rencontrés dans les eaux de ce système aquatique. L'inventaire faunistique établi (liste ci-dessous) (**Annexe 2**), regroupe la totalité des peuplements trouvés dans la station S1 pendant les deux campagnes réalisées. Nous avons marqués une absence totale des macroinvertébrés dans la station S2, ceci est due peut-être au substrat qui n'est pas diversifié et à l'action des anthropiques qui règne dans la région.

Embranchement : MOLLUSQUES

Classe : GASTEROPODES

Ordre : PROSOBRANCHES

Famille : Bithynidae

Genre : *Bithynia*

Embranchement : Arthropodes

Classe : Crustacés

Ordre : Amphipodes

Famille : Gammaridae

Genre : *Gammarus*

Espèce : "*Gammarus maroccanus*"

Ordre : Isopodes

Famille : Asellidae

Genre : *Asellus*

Classe : Insectes

Ordre : Plécoptères

Genre : *Dinocras sp*

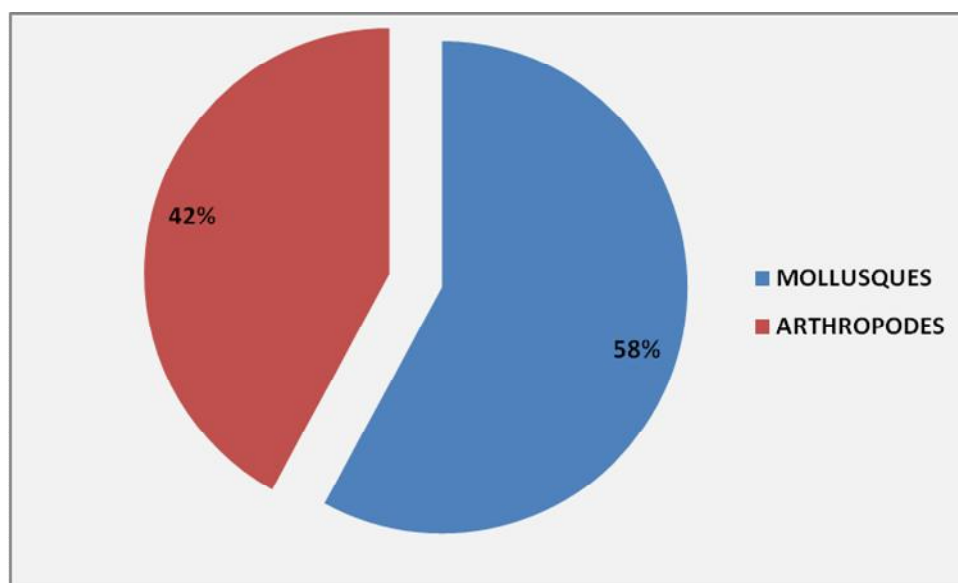


Figure 19 : abondance des groupes taxonomiques inventoriés dans la source S1.

2.1. Abondance quantitative des groupes faunistiques inventoriés

Au total, nous avons recensé 2173 individus appartenant à 4 taxons correspondant à 2 groupes faunistiques (Mollusques et Arthropodes). Les Mollusques ont une abondance plus élevée (58%) par rapport aux Arthropodes qui ne représente que 42% (**figure 19**). La richesse de milieu en calcium, qui est un élément indispensable dans la formation des coquilles, favorise la prolifération des mollusques dans la source S1 [6, 12, 13, 14]. Les gammarès (Arthropodes) sont des organismes qui vivent dans les eaux courantes ou stagnantes froides et riches en calcium [26].

Le benthos est absent dans la source S2. Ceci peut être dû à la nature du substrat qui règne dans station (les agglomérats) qui n'est pas adéquat à la colonisation de benthos. En plus la source S2 a subi plusieurs modifications sous les effets anthropiques (les constructions sur la source).

2.2. Abondance quantitative des taxons inventoriés

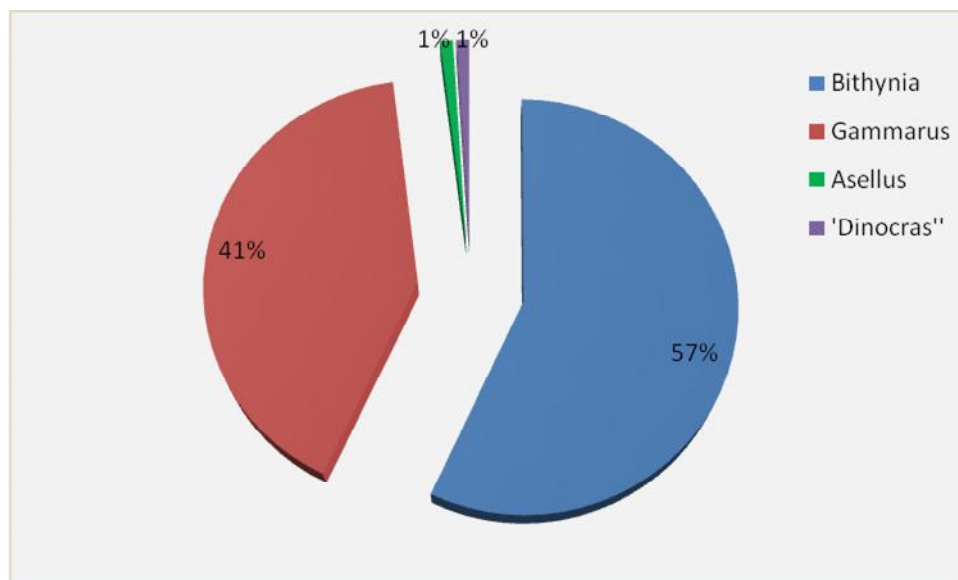


Figure 20 : abondance relative des taxons inventoriés dans la source S1.

Mollusques :

Les Mollusques sont représentés par 1259 individus, soit 57% de la faune totale récoltée (**figure 20**). Ils sont représentés par un seul genre (*Bithynia*). Ces macroinvertébrés sont collectés seulement dans la source S1. L'abondance des Mollusques par apport aux autres taxons est expliquée par la teneur élevée en calcium dans l'eau des sources Oum Er-Rbia. En plus, la nature du substrat et la vitesse du courant d'eau contribuent considérablement dans la répartition de ces organismes dans les eaux continentales [6, 12, 13, 14].

Crustacés :

Les crustacés sont représentés par 912 individus, soit 42% de la faune totale récoltée (**figure 20**). Ils sont représentés par deux familles (Gammaridae et Asellidae) et deux genres (*Gammarus* et *Asellus*). Ces macroinvertébrés sont collectés seulement dans la source S1. L'abondance des Gammares (41%) (**figure 20**) dans l'eau des sources Oum Er-Rbia (S1) est

due généralement à la préférence de ces organismes aux cours d'eau de montagne et aux sources [11,6].

Insectes :

Les insectes sont représentés par un seul individu, soit presque 1% de la faune totale récoltée (**figure 20**). Ils sont représentés par un seul ordre (Plécoptères) et un seul genre ('*Dinocras*'). La présence des Plécoptères dans les sources Oum Er-Rbia indique la bonne qualité de ses ressources en eau [6]. Même si l'eau de ses sources est de bonne qualité, l'abondance relative reste faible. En plus, l'absence des autres groupes d'insecte indicateurs de la bonne santé des milieux aquatiques est expliquée par des perturbations anthropiques induites par la population locale, peu sensibilisée, et les visiteurs de ce site touristique d'excellence.

Conclusion

Les analyses physico-chimiques de l'eau de la source Oum Er-Rbia montre :

- Une conductivité électrique assez importante (au voisinage de 2000 $\mu\text{s}/\text{cm}$), ce qui témoigne d'une minéralisation globale très élevée. De ce fait, cette eau est strictement interdite aux nourrissons dont l'organisme ne peut s'adapter à une surcharge minérale, et aux gens qui souffrent d'une insuffisance cardiaque grave ou d'une hypertension artérielle labile [5].
- La dureté totale et la dureté calcique sont très élevées. En effet, l'eau des sources Oum Er-Rbia est très « dure ».

Les macroinvertébrés des sources Oum Er-Rbia ont été étudiés à partir des prélèvements réalisés mensuellement sur deux mois (Avril-Mai 2014). La faune recensée dans ce travail se compose de 2173 individus appartenant à 4 taxons correspondant à 2 groupes faunistiques (Mollusques et Arthropodes).

L'effectif du peuplement benthique a montré que les Mollusques ont une abondance plus élevée (58%) par rapport aux Arthropodes qui ne représente que 42%. Les genres *Bithynia* et *Gammarus* sont les plus numériquement inventoriés.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : DAI (2010)., Analyse et identification des besoins pour des systèmes d'information et de gestion des ressources en eau pour l'agence du bassin hydraulique et de l'ormva ; Bassin Hydraulique de la Moulouya et d'Oum Er-rbia, USAID, Mai.
- [2] : BITAR.K., JOUILIL. I., DELHI. R., HILALI.A., BENZHA.F., KAOUKAYA.A., RHINANE.H., BAIDDER.L. et TAHIRI.M., (2013). Evaluation qualitative et identification des sources de pollution du bassin versant de l'Oum Erbia, Maroc, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, pp. 161-177.
- [3] : MOISAN.J.et PELLETIER.L., (2008). Guide de surveillance biologique basée sur les macro-invertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Cours d'eau peu profonds à substrat grossier. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 86 p.
- [4] : EL HAOUAT.S., CHILLASSE.L., EL MADANI.M., ANTONELLI.F., RKIOUAK.L., FORST.A., GRANDMOUGIN.B.et STROSSER.P., (2012). Guide pratique pour le suivi et l'évaluation de la qualité écologique des eaux de surface – application au bassin hydrolique du Sebou.
- [5] : GHAZALI.D., ZAID.A., (2013). Etude de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux de la source AIN SALAMA-JERRI, Maroc, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 12, pp. 25-36.
- [6] : BEN MOUSSA.A, CHAHLAOUI.A, ROUR.E. et CHAHBOUNE.M., (2013). Diversité taxonomique et structure de la macrofaune benthique des eaux superficielles de l'oued khoumane. Moulay idriss Zerhoun, Maroc, J. Mater. Environ. Sci. 5 (1) (2014) 183-198 ISSN : 2028-2508 CODEN: JMESC.
- [7] : NM 03.07.001/2006 Normes marocaines Eaux-Aliments; Eaux d'alimentation humaines- qualité des eaux d'alimentation Humaine (2006).
- [8] : Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, Maroc "Normes de qualité. Eaux destinées à l'irrigation" 2007.

- [9] : NECHAD.I, EL HARCHLI.EI. et FADI.F., (2014). Caractérisation physico-chimique des eaux de la source Tataw à Imouzzer Marmoucha (Maroc). ScienceLib, volume 6, N ° 140103 ISSN 2111 4706.
- [10] : YONIOD.F., (1973). Étude hydrologique de l'Oum er R'bia (Maroc). Bureau Central Hydrologique, Paris. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol., vol. X, n° 2.
- [11] : HAOUCHINE.S., (2011). Recherche sur la faunistique et l'écologie des macro-invertébrés des cours d'eau de Kabylie. Mémoire de Magister, Faculté des Sciences Biologiques et Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi ouzou, Algérie. 157 pp.
- [12] : 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. Faculté des sciences. Meknès, 216pp.
- [13] : TACHET.H., RICHOUX.P., BOURNAUD.M., USSEGLIO-POLATERA.P., (2006). Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie. CNRS 2eme Editions, Paris 588pp.
- [14] : BOUZIDIA. (1989). Recherches hydrobiologiques sur les cours d'eau des massifs du Haut-Atlas (Maroc). Bioécologie des macroinvertébrés et distribution spatiale des peuplements. Thèse d'état, Fac.Sc. Tech. St. Jerome, Université d'Aix- Marseille III: 190pp.
- [15] : Le Conseil canadien des ministres de l'environnement., (2011). Manuel des protocoles d' échantillonnage pour l' analyse de la qualité de l' eau au canada.
- [16] : BALLOUKI.K., (2012). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des trois sources dans la région de Midelt (Haut Moulouya). Mémoire de fin d'étude en cycle Master, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, FST-Fès.
- [17] : GREGOR.K., (2002). La résurgence des écosystèmes d'eau douce, pp. 3-5 .
- [18] : EL YOUBI EL IDRISSEI. A., (2012). Caractérisation physicochimique et bactériologique des eaux de deux écosystèmes aquatiques différents (Puits et cours d'eau). Mémoire de fin d'étude en cycle Master, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, FST-Fès, Maroc.

- [19] : JEAN BAPTISTE.G., RABEL.L., (1995). Premier cours national post-graduate sur l'irrigation, le drainage et la gestion des ressources hydriques.
- [20] : CHALON.C., LEROY.D., THOME.J-P., GOFFART.A., (2006). Les micropolluants dans les eaux de surface en Région wallonne. Liège : 137 p.
- [21] : JEAN BAPTISTE.G. RABEL.L., (1995). Premier cours national post-graduate sur l'irrigation, le drainage et la gestion des ressources hydriques.
- [22] : HARLYE John.P., KLEIN Donald.A., PRESCOTT LANSING.M., (2010). Microbiologie, 3ème édition : 1216 p.
- [23] : Ministère de l'Environnement., (2002). Normes marocaines relatives aux eaux destinées à la production des eaux de boisson. Bulletin officiel n° 5062. 4p.
- [24] : OMS., (2000). Directives de qualité pour l'eau de boisson ; Volume 2- critères d'hygiène et documentation à l'appui OMS, Genève, 2ème Edition, 1050 p.
- [25] : MATEE., (2007). Suivi des progrès et promotion de politiques de gestion de la demande en eau (Rapport national du Maroc), 121p.
- [26] : FADIL. F., DAKKI.M. (2009). Dynamique et cycle de reproduction de deux populations de *Gammarus gauthieri* Karaman (Crustacés, Amphipodes) du Moyen Atlas (Maroc).Bull INS. SCI. n°31 (1), 27-32.
- [27] : OIV.O., (2010). Analyse microbiologique des vins et des moûts : détection, différenciation et dénombrement des microorganismes.

Annexe 1

Tableau des résultats des analyses physicochimiques.

Température en (° C)	S₁	13,3	13,7
	S₂	14,3	14,7
pH	S₁	7,82	8,45
	S₂	8,27	8,16
Conductivité en (µs/cm)	S₁	Très salée	Très salée
	S₂	1193	1151
Dureté totale en (mg/l)	S₁	6,14	7,26
	S₂	4,38	5,35
Dureté calcique en (mg/l)	S₁	137,31	161,24
	S₂	109,23	119,63
Alcalinité	S₁	1,34	0,9
	S₂	4,7	4
Oxygène dissous-en (mg/l)	S₁	11.8	8
	S₂	9.04	5.28
Indice permanganate	S₁	1,73	2,66
	S₂	?	2,54

Annexe 2

Abondance quantitative des groupes faunistiques dans la source S₁.

Groupes faunistiques	Effectif	Classe	Taxons	Abondance de taxon
1 ^{er} campagne				
MOLLUSQUES	237	GASTEROPODES	<i>Bithynia</i>	237
ARTHROPODES	64	CRUSTACÉS	<i>Gammarus</i>	64
2 ^{ème} campagne				
MOLLUSQUES	1022	GASTEROPODES	<i>Bithynia</i>	1022
ARTHROPODES	850	CRUSTACÉS	<i>Gammarus</i>	848
			<i>Asellus</i>	1
		INSECTES	<i>Dinoecras</i>	1
				Totale = 2173