



Année Universitaire : 2011-2012



Master Sciences et Techniques : Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Etude de la Qualité Physico-chimique et Biologique de trois Sources dans la Région de Midelt (Haut Moulouya)

Présenté par:

Karima BALLOUKI

Encadré par:

- Pr. Fatima FADIL, FST - Fès

Soutenu Le 22 Juin 2012 devant le jury composé de:

- | | |
|----------------------------------|---------------------|
| - Pr. Fatima FADIL | Encadrante |
| - Pr. Naïma EL GHACHTOULI | Examinatrice |
| - Pr. Amal AZZOUZI | Examinatrice |
| - Pr. Saad RACHIQ | Examineur |

Stage effectué au Laboratoire de l'Ecologie Fonctionnel et d'Environnement



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master Sciences et Techniques

Nom et prénom: Karima BALLOUKI

Année Universitaire : 2011/2012

Titre: Etude de la Qualité Physico-chimique et Biologique de trois Sources dans la Région de Midelt (Haut Moulouya)

Résumé

L'objectif de ce travail, est d'évaluer la qualité, physico-chimique, biologique et bactériologique de l'eau des sources Aït Aziz, Aït Alla et Tadamoute situées dans la région de Midelt.

Dix paramètres physico-chimiques (température, pH, conductivité, oxygène dissous, chlorures, alcalinité, dureté, oxydabilité au KMnO_4 , orthophosphates, sulfates) ont été suivis durant trois mois allant de mars jusqu'au avril. La qualité bactériologique (FMAT, CT, CF et SF) a été également contrôlée en plus de la qualité biologique (Indice biologique Global Normalisé: IBGN) de ces trois sources par le biais des indices biotiques.

Les résultats de l'étude physico-chimique montre la bonne qualité de l'eau de ces sources. Par contre l'étude bactériologique révèle une moyenne qualité des sources Aït Alla et Tadamoute est de si ce qui été confirmé par l'étude biologique permet de déduire la bonne qualité de l'eau de la source Aït Aziz, la source Aït Alla est de qualité moyenne alors que la source Tadamoute est de qualité médiocre.

Mots clés:

Eau de source, Qualité, Paramètres physico-chimiques, Bactériologie, IBGN.



Introduction

Le Maroc dispose des ressources en eau relativement importantes : le potentiel hydraulique mobilisable est estimé à 21 milliards de m³ (16 milliards de m³ d'eaux de surface et 5 d'eaux souterraines). Cependant, l'appartenance du Maroc aux domaines semi-aride et aride et la croissance soutenue de la demande en eau sont à l'origine de l'insuffisance des ressources disponibles ; aux qu'elles s'ajoutent le problème de la dégradation de la qualité des eaux qui est un problème majeur (LAOUINA, 2010).

L'eau douce est une ressource indispensable à la vie. Elle mérite une attention toute particulière, vu qu'elle est très altérée et sérieusement menacée par les activités humaines. En effet, la croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide qui cause de nombreuses perturbations pour les milieux naturels ; l'industrialisation et l'utilisation non rationnelle des engrais et pesticides et le manque de sensibilisation de la population envers la protection de l'environnement, conduisent autant à un déséquilibre de l'écosystème et génèrent des éléments polluants qui peuvent affecter la qualité physico-chimique et biologique des milieux aquatiques récepteurs (MAKHOUKH et *al.*, 2011).

L'eau des sources a été considérée depuis l'antiquité comme une réserve de bonne qualité, facile à exploiter pour des besoins différents. Mais, les problèmes liés à la pollution des nappes et la pression anthropique au niveau de ces écosystèmes aquatiques très vulnérables exigent une surveillance permanente de leurs propriétés physico-chimiques, hydrodynamiques et biologiques

Généralement, l'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateurs de la qualité de l'eau.

La surveillance biologique et la surveillance physicochimique des eaux sont considérées comme des outils complémentaires et sont reconnus comme des composantes essentielles des programmes de surveillance de la qualité de l'eau. En effet, la surveillance biologique mesure les effets des perturbations sur les communautés biologiques en place tandis que la surveillance physicochimique mesure les agents polluants.



Dans ce cadre se place le présent travail qui s'intéresse à l'étude hydro biologique et microbiologique de trois sources de la Haute Moulouya durant une période de trois mois allant de Mars à Mai de l'année 2012.

Les objectifs fixés sont :

- Déterminer les caractéristiques physico-chimiques,
- Evaluer la qualité microbiologique de l'eau,
- Evaluer la qualité de ces sources en se basant sur l'approche des indices biotiques.



Chapitre I :
Etude Bibliographique

I- Pollution des eaux

Riche en milieux aquatiques, le Maroc est parmi les pays d'Afrique les plus menacés par le fléau de la pollution de ses eaux. En effet, cette pollution continue de poser un problème sérieux pour l'homme et son environnement (EL OUALI LALAMI et *al.*, 2011).



L'Homme est une partie intégrante des écosystèmes terrestres ; pour répondre à ses besoins sans cesse, plus importants en termes alimentaire et sanitaire, il a synthétisé volontairement toutes sortes de molécules de plus en plus complexes, comme les médicaments à usage médical ou vétérinaire, les produits phytosanitaires, les plastifiants, etc. Ses activités génèrent ou augmentent la présence naturelle d'autres contaminants, sans réelle maîtrise de leur gestion. Il a modifié les cycles naturels, comme celui de l'eau, en dégradant sa qualité (ZGHEIB, 2009).

Les écosystèmes aquatiques souffrent de la pollution d'origine humaine. Ils s'appauvrissent en oxygène parce que celui-ci est consommé dans les processus d'autoépuration par métabolisation bactérienne des déchets. Les milieux aquatiques s'enrichissent en agents azotés et phosphatés, ce qui stimule la croissance du phytoplancton et la prolifération de certaines algues : c'est ce que l'on appelle l'eutrophisation.

La pollution peut nuire aux ressources en eau et aux écosystèmes aquatiques. Les principaux polluants comprennent notamment les matières organiques et minérales et les organismes pathogènes rejetés par les eaux usées, les engrais et les pesticides provenant des terres agricoles. Les pluies acides résultant de la pollution de l'air et les métaux lourds libérés par activités minières et industrielles. Toutes ces activités affectent la qualité de l'eau et provoquent des modifications plus ou moins marquées sur les communautés vivantes, particulièrement les macroinvertébrés.

Différents types de pollution

. Pollution domestique

Elle provient des habitations, elle est en générale véhiculée par le réseau d'assainissement. Elle se caractérise par :

- De fortes teneurs en matières organiques ;
- Des sels minéraux, dont l'azote et le phosphore ;
- Des détergents ;
- Des germes fécaux (GENIN et *al.*, 2003).

. Pollution agricole

Les pratiques agricoles peuvent constituer une source diffuse de la pollution aux conséquences importantes sur la qualité de l'eau. Les éléments fertilisants (essentiellement l'azote et le phosphore provenant des engrais et de l'élevage), les pesticides, les sels et les agents pathogènes sont les principaux polluants des masses d'eau dont l'agriculture est responsable, sous



l'effet du ruissellement et du lessivage des sols, mais aussi les rejets provenant des élevages et des réseaux d'irrigation (OCDE, 2008).

. Pollution industrielle

Les industries génèrent des polluants très nombreux et de toxicité variable (THILL et EZIN, 2002). La pollution industrielle comprend les matières solides en suspension, les sels dissous, les hydrocarbures, les éléments traces ou micro polluant (par exemple le cadmium rejeté par les teintureries ou le chrome rejeté par les tanneries) et les rejets acides ou basiques qui influent sur le pH de l'eau (TAZI, 2007).

Principaux types de polluants et leur toxicité

L'eau, qu'elle soit douce, salée, de l'eau de pluie, de l'eau souterraine ou de l'eau superficielle, peut être souillée par des matières qui peuvent la rendre nocive. Selon l'origine des déchets (industriels, agricoles, urbains...), qui est majoritairement anthropique, Les polluants peuvent être classés, selon leur nature, en trois grandes catégories : chimique, physique et biologique (Tab.1).

Le pouvoir polluant d'une substance est déterminé par deux facteurs principaux :

- La dose d'introduction dans le milieu récepteur, déterminé par concentration dans l'eau et le volume d'eau en mouvement;
- La fréquence des apports, dont la répétition accroît les risques car les sédiments et les êtres vivants ont un effet cumulatif (BAPTISTE et RABEL, 1995).

2.1. Polluants chimiques

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.

a. Nitrates

Les nitrates sont essentiellement d'origine agricole, leur teneur maximum dans l'eau potable est fixé 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 (BAPTISTE et RABEL, 1995).

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.

b. Phosphates

Les phosphates rejetés dans l'environnement proviennent des sources agricoles (engrais) et industrielles, de déjections humaines et de détergents ou lessives phosphatées.

Les phosphates sont les principaux responsables du phénomène d'eutrophisation. En effet, non toxiques en eux-mêmes pour la vie animale et végétale, ils portent atteinte à l'environnement dès qu'ils sont en fortes concentrations : ils deviennent alors de véritables engrais pour les milieux aquatiques qu'ils enrichissent en matière organique (BAPTISTE et RABEL, 1995).

c. Sulfates et 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. Leur teneur maximum dans l'eau potable est fixé à 250mg/l (BAPTISTE et RABEL, 1995).

d. 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). La contamination des eaux de surface est due essentiellement à des rejets directs (égouts non raccordés à un système d'épuration, par exemple), 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 et les autres micropolluants organiques.

- ✓ **Les pesticides** : regroupent notamment les insecticides (organochlorés, organophosphorés, carbamates, pyrèthrinoides...), les fongicides, les herbicides, les rodenticides et les bactéricides.
- ✓ **Les hydrocarbures** : les plus connus sont **les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)** qui se forment lorsque la combustion des matières organiques est incomplète. Ces composés sont dès lors présents de manière non intentionnelle dans de nombreux matériaux (goudrons, carburants...);
- ✓ **Les biphényles polychlorés (PCB)** : ces molécules de synthèse possèdent des propriétés particulières (stabilité thermique, résistance à l'oxydation...) qui font qu'elles ont été largement utilisées comme isolants dans les condensateurs et transformateurs électriques ;
- ✓ **Les dibenzodioxines polychlorées (PCDD) ou dioxines** : ce sont des sous-produits générés lors de la synthèse d'autres produits et lors de la combustion de certains déchets et produits pétroliers ;
- ✓ **Les dibenzofurannes polychlorés (PCDF) ou furannes** : il s'agit aussi de sous-produits générés involontairement lors de la synthèse d'autres composés ;
- ✓ **Les détergents** (ou surfactants) qui possèdent des propriétés tensioactives...

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 (CHALON et *al.*, 2006).

✚ **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, malformations des nouveaux-nés (CHALON et *al.*, 2006).

2.2. Polluants physiques

a. Thermique

La pollution thermique peut être naturelle, dans le cas des sources chaudes ou des étangs peu profonds pendant l'été, ou causée par les humains, par la décharge de l'eau qui a été utilisée pour refroidir les centrales électriques ou autre équipement industriel. Les poissons et les plantes supportent certaines températures et des niveaux d'oxygène pour survivre, alors la pollution thermique réduit souvent la diversité de la vie aquatique dans l'eau (REDVET, 2009).

L'élévation de la température d'un milieu a deux effets notables :

Réduction de la quantité d'oxygène dissous dans les milieux aquatiques ;



Augmentation de l'activité métabolique des organismes (jusqu'à un certain seuil) et donc leur consommation en oxygène.

b. Pollution radioactive

La pollution radioactive est générée par la radioactivité. Elle prend ses origines dans la nature (ex : radon), dans l'industrie (ex : pour la production de l'électricité nucléaire, dans le domaine médical), au niveau militaire (ex : pour les bombes atomiques) ou lors d'accident (comme Tchernobyl ou les éléments se dispersent dans l'atmosphère, le sol et l'eau). La pollution radioactive est invisible et est nocive pour l'homme.

En effet, les radioéléments ont une durée de vie plus ou moins longue et se désintègrent en émettant des rayonnements dangereux. Lorsque des radioéléments sont fixés dans le corps humain, ils peuvent être dangereux même si la quantité totale de rayonnements émis est faible, car ils atteignent les cellules et peuvent créer des tumeurs (caractère mutagène des radiations) (BONCHE, 2002).

2.3. Polluants biologiques

La pollution microbiologique est une forme de pollution organique. Les déchets organiques, en particulier les excréments, contiennent des germes pathogènes (virus, bactéries ou parasites) véhiculés par l'eau.

La pollution microbiologique a pour source des eaux usées improprement traitées ou des eaux de ruissellement contaminées se déversant dans les cours d'eau.

2.4. Maladie hydriques

Les pathologies liées à l'eau peuvent être d'origine bactérienne, virale, parasitaire, liées au manque d'eau, elles sont souvent regroupées sous le nom de maladies hydriques:

a - Maladies d'origine bactérienne

Les eaux peuvent transmettre un certain nombre de maladies d'origine bactérienne. Les différents germes en cause sont:

- ✓ Le choléra (*Vibrio cholerae*)
- ✓ La fièvre typhoïde et gastro-entérite (*Salmonella typhi* et *E. Coli*)
- ✓ Schigellose (*Shigella spp*)
- ✓ La tuberculose (*Mycobacterium tuberculosis*).



b – Maladies d’origine virale

- ✓ la poliomyélite
- ✓ les hépatites virales et entérovirus.

c - Maladies d’origine parasitaire : On trouve les épidémies d’origine hydrique dues à des parasites. Exemples : l’Ankylostomose, la Dracunculose, le Téniasis etc... (HARLYE *et al.*, 2010).

Pour évaluer ces risques un certain nombre d’indicateurs de contamination fécale ont été retenus. On cite les Coliformes totaux, les Coliformes fécaux (thermotolérants) 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* (INSPQ, 2010).

✚ Coliformes fécaux (thermotolérants):

Ce 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 (HARLYE *et al.*, 2010).





✚ Streptocoques fécaux ou entérocoques:

Ce sont des hôtes normaux de l’intestin de l’homme et des animaux à sang chaud. Ils se répartissent en deux 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 cocci Gram+ leur



confère une bonne résistance dans les milieux hydriques. Ce qui permettrait la mise en évidence de pollution plus ancienne (HADE, 2003).

Tableau 1 : Principaux types de pollution des eaux continentales, nature de produits polluants et leurs origines (LEVEQUE, 1996).

TYPES DE POLLUTION	NATURE	SOURCES
 Physique		
pollution thermique	rejets d'eau chaude	centrales thermiques
pollution radioactive	radio-isotopes	installations nucléaires
 Matière organique	glucides, lipides, protides	Effluents domestiques, agricoles, agro-alimentaires
	ammoniac, nitrates	élevages et piscicultures
 Chimique		
fertilisants	nitrates, phosphates	agriculture, lessives
métaux et métalloïdes	mercure, cadmium, plomb, aluminium, arsenic...	industries, agriculture, pluies acides, combustion
pesticides	insecticides, herbicides, fongicides	agriculture, industries
composées organiques de synthèse	nombreuses molécules	industries
détersifs	agents tensio-actifs	effluents domestiques
hydrocarbures	pétrole et dérivés	industrie pétrolière, transports
 Microbiologique	bactéries, virus, champignons	effluents urbains et d'élevage

II- Eau de source

Les eaux de source sont comme les eaux minérales naturelles, exclusivement d'origine souterraine, microbiologiquement saines, préservées de la pollution d'origine humaine, et aptes à la consommation humaine sans traitement ni adjonction. Contrairement aux eaux minérales



naturelles, leur composition n'est pas systématiquement stable. Les eaux de sources répondent aux mêmes critères de potabilité que l'eau du robinet.

Définition de la source

Une source est 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 la terre, ou le point où cette eau jaillit. C'est souvent l'origine d'un cours d'eau, mais les 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 leur 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.

Classification des sources

Les sources sont classées suivant différents critères :

- ✚ Les conditions hydrogéologiques qui déterminent leur situation, le type de nappe souterraine dont elles constituent un exutoire :
 - 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 (source d'aquifère à nappe libre non liée à l'affleurement du substratum) ; source d'étranglement ;
 - source artésienne ou jaillissante (issue d'une nappe captive) ;
 - source diaclasienne, source karstique ou de karst, exurgence (issue d'un aquifère discontinu) ; source vaclusienne (exutoire d'un conduit karstique ascendant subvertical) ;
 - 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 (SCHOELLER, 1949).
 - suivant une caractéristique chimique : source salée, séléniteuse, ferrugineuse, sulfureuse, minérale, incrustante ou pétrifiante.

Surveillance biologique des eaux de sources

3.1. Définition et principe

La santé biologique, dite intégrité biologique, est définie comme étant la capacité d'un écosystème à supporter et à maintenir une communauté équilibrée, intégrée et capable de s'adapter aux changements. Une communauté en santé aura, pour une région donnée, une composition d'espèces, une diversité et une organisation fonctionnelle comparables à celles d'un écosystème naturel. L'intégrité biologique est généralement un bon indicateur de l'intégrité écologique. En effet, bien que l'intégrité écologique d'un cours d'eau soit une combinaison des intégrités chimique, physique et biologique, la dégradation d'une ou de plusieurs de ces composantes se reflète généralement dans les communautés biologiques.

La surveillance biologique est reconnue, aux États-Unis et en Europe, comme une composante essentielle des programmes de surveillance de la qualité de l'eau. Ainsi, la surveillance biologique et la surveillance physicochimique des cours d'eau sont considérées comme des outils complémentaires. En général, la surveillance biologique mesure les effets des perturbations sur les communautés biologiques en place. La surveillance physicochimique mesure les agents stressants, en d'autres mots la contamination environnementale (SAINT et RICHARD, 1998).

3.2. Macroinvertébrés benthiques en tant qu'indicateurs

Parmi les communautés biologiques, les communautés de macroinvertébrés benthiques sont les plus utilisées pour évaluer l'état de santé global des écosystèmes aquatiques. Ce sont des organismes visibles à l'œil nu, tels que les insectes, les mollusques, les crustacés et les vers, qui



habitent le fond des cours d'eau et des lacs. Ces organismes constituent un important maillon de la chaîne alimentaire des milieux aquatiques, puisqu'ils sont une source de nourriture primaire pour plusieurs espèces de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux.

Ils sont reconnus pour être de bons indicateurs de la santé des écosystèmes aquatiques en raison de leur sédentarité, de leur cycle de vie varié, de leur grande diversité et de leur tolérance variable à la pollution et à la dégradation de l'habitat. Ils intègrent les effets cumulatifs et synergiques à court terme (allant jusqu'à quelques années) des multiples perturbations physiques (modifications de l'habitat), biologiques et chimiques dans les cours d'eau (MOISAN, 2006).

Le suivi des macroinvertébrés benthiques est utile pour :

- ✚ évaluer l'état de santé global des écosystèmes aquatiques;
- ✚ suivre l'évolution de l'état de santé d'un cours d'eau au fil du temps;
- ✚ évaluer et vérifier l'effet d'une source de pollution connue sur l'intégrité de l'écosystème;
- ✚ évaluer les impacts des efforts de restauration (habitat et qualité de l'eau);
- ✚ apporter un complément biologique au programme de surveillance de la qualité bactériologique et physicochimique des cours d'eau;
- ✚ documenter la biodiversité des macroinvertébrés benthiques dans les cours d'eau.



Chapitre II :
Présentation Générale
de la Zone d'Etude

I. Bassin de la Haute Moulouya

1. Cadre géographique

Le bassin de la Haute Moulouya est constitué d'une cuvette sédimentaire s'allongeant de l'Ouest vers l'Est entre le Haute Atlas qui en forme la limite Sud et le Moyen Atlas à l'Ouest et au Nord-Est. Au Nord, la limite est complexe : elle est constituée des deux massifs primaires de Boumia et d'Ahouli qui sont des unités hydrogéologiques indépendantes, et du sillon d'Itzir qui est une haute vallée moyen-atlasique, perpendiculaire à celle de la Haute Moulouya.

Le bassin hydrogéologique de la Haute Moulouya couvre 4500 km² (sur un bassin hydrographique de 7960 km²), dont 85% de plaines et 15% de montagnes. Il est drainé par l'oued Moulouya qui prend sa source à Alemsid dans la zone de jonction des deux Atlas (ABHM, 2008).

2. Cadre géologique

La série stratigraphique débute par des formations paléozoïques dont l'âge n'a pu encore être déterminé avec certitude. Il s'agit des schistes métamorphisés et des granites formant les môles hercyniens des massifs de Boumia et surtout d'Ahouli. Elle se poursuit par les marnes rubéfiées, les dolérites et les basaltes du Permo-Trias, affleurant sur le pourtour des massifs primaires.

La série jurassique qui vient ensuite commence par le Lias inférieur dont les 300 à 600 mètres de dolomies et de calcaires visibles en bordure du Haut Atlas s'enfoncent très rapidement sous la plaine dont ils forment le substratum, et réapparaissent en bordure des massifs primaires et triasiques avec une épaisseur plus faible et un faciès néritique.



Le Lias moyen (Domérien) est constitué de calcaires francs et de calcaires construits de 200 à 400 m d'épaisseur, qui affleurent sur le flanc nord du Haut Atlas, sur la bordure orientale du Moyen Atlas (sillon d'Itzer et au N de Midelt (massif d'Ahouli).

Le Lias supérieur est partout absent dans la vallée. Le Dogger affleure sur la bordure nord du Haut Atlas, au S et à l'E de Midelt ; il est constitué de 600 à 800 m de marnes et de calcaires et se termine par des faciès néritiques et continentaux. Le Jurassique supérieur est absent.

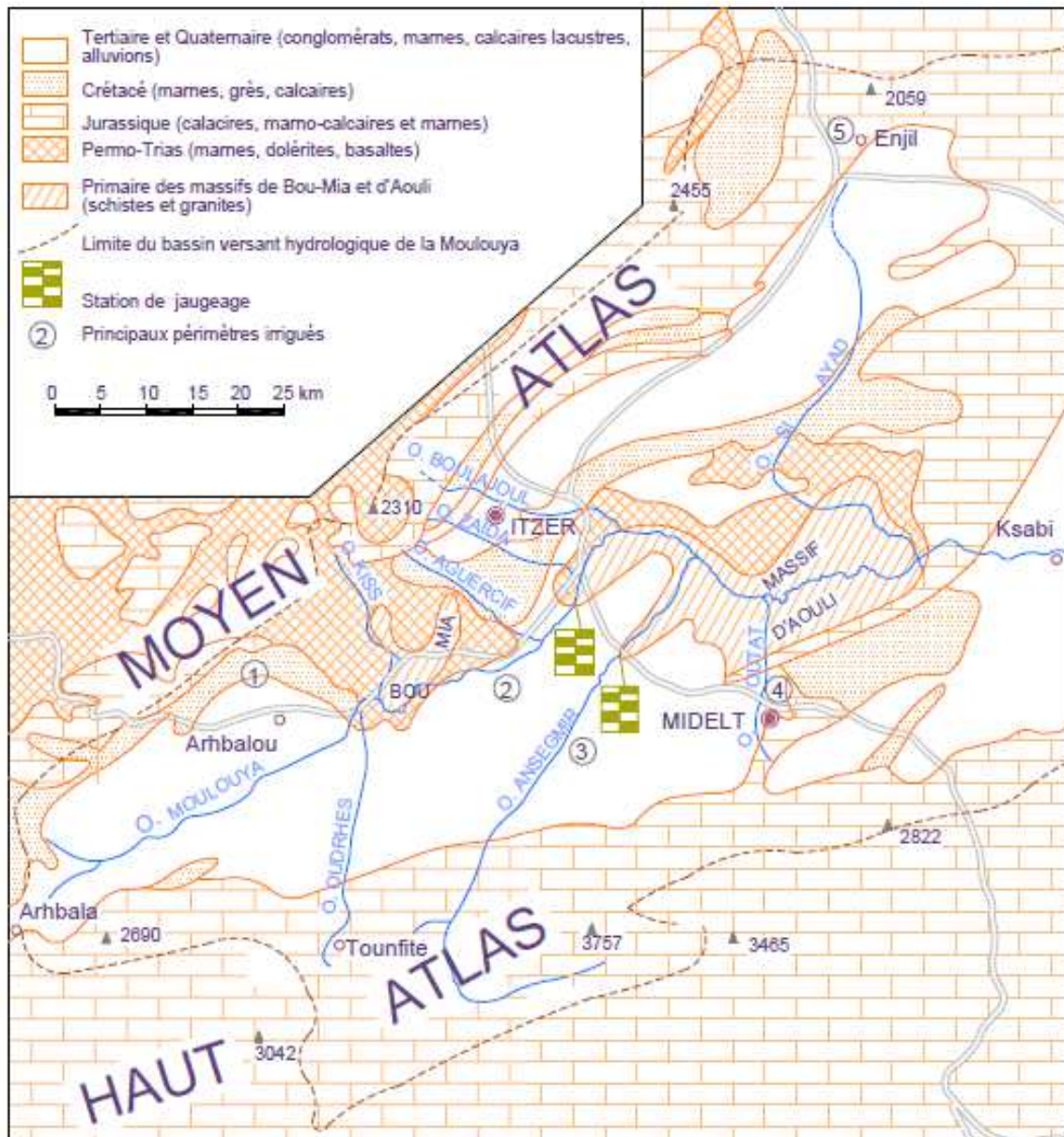
Le Crétacé débute par des marnes et grès rouges de 150 m d'épaisseur (Cénomaniens inférieur), surmontés par 50 m de marnes jaunes ou vertes (Cénomaniens supérieur) et suivis de 40 m de calcaires blancs (Turonien). Cette série affleure tout le long du Moyen Atlas et entre le massif d'Ahouli et la Haut Atlas, à l'E de Midelt.

Les formations tertiaires sont constituées de 5 à 30 m de conglomérats et de calcaires lacustres plissotés et à fort pendage N (Eocène et Oligocène), affleurant au S et SW de Midelt. Viennent ensuite 30 à 250 m de conglomérats, puis des marnes roses, des calcaires lacustres, des marnes blanches (Miocène) qui occupent la plus grande superficie de la cuvette.

Le Plio-Villafranchien, avec ses 40 m de marnes grises, de conglomérats et de grès affleurant à l'Est de Midelt (Gara Midelt) et sur l'oued Oudhrès, fait la jonction avec le Quaternaire constitué de poudingues, de galets, de sables, d'argiles sableuses et de travertins se répartissant dans les piémonts et cônes des Atlas.

La tectonique de la plaine est caractérisée par l'influence de ses deux bordures atlasiques : le Haut Atlas, formé d'anticlinaux failles d'axe WSW-ENE et chevauchant vers le N, et le Moyen Atlas, plissé largement suivant une direction SW-NE et déversé vers l'E. Une récente campagne de géophysique a permis de préciser la structure profonde de la plaine. Elle a mis en évidence une faille majeure de direction E-W au pied du Haut Atlas et effondrant le Lias.

Le toit du Lias forme ensuite un vaste synclinal dissymétrique sous la plaine, de même direction que l'accident atlasique, et qui s'interrompt au N sur le parallèle de Midelt. La profondeur du Lias varie donc beaucoup : elle est de 200 à 300 mètres au S de la plaine, 500 à 800 au centre et tend vers zéro au N (CHAPOND et COLAS, 196).



e.
ir ; 4.



3. *Cadre climatique*

La hauteur moyenne annuelle des précipitations est très variable sur l'ensemble du bassin et étroitement liée à l'altitude et à l'exposition. La pluie moyenne annuelle varie en plaine entre 210 mm à l'aval (Ansegmir) et 345 mm (Itzer), et s'élève jusqu'à 520 mm (Azerzou, Arhbal) en montant sur les bordures montagneuses. La moyenne du bassin s'établit autour de 300 mm/an.

Le régime des précipitations est caractérisé par deux maxima : le plus élevé est en novembre-décembre, le second est en mars sur la bordure occidentale, et en avril sur la bordure méridionale (ABHM, 2008).

4. *Cadre hydrographique et hydrologique*

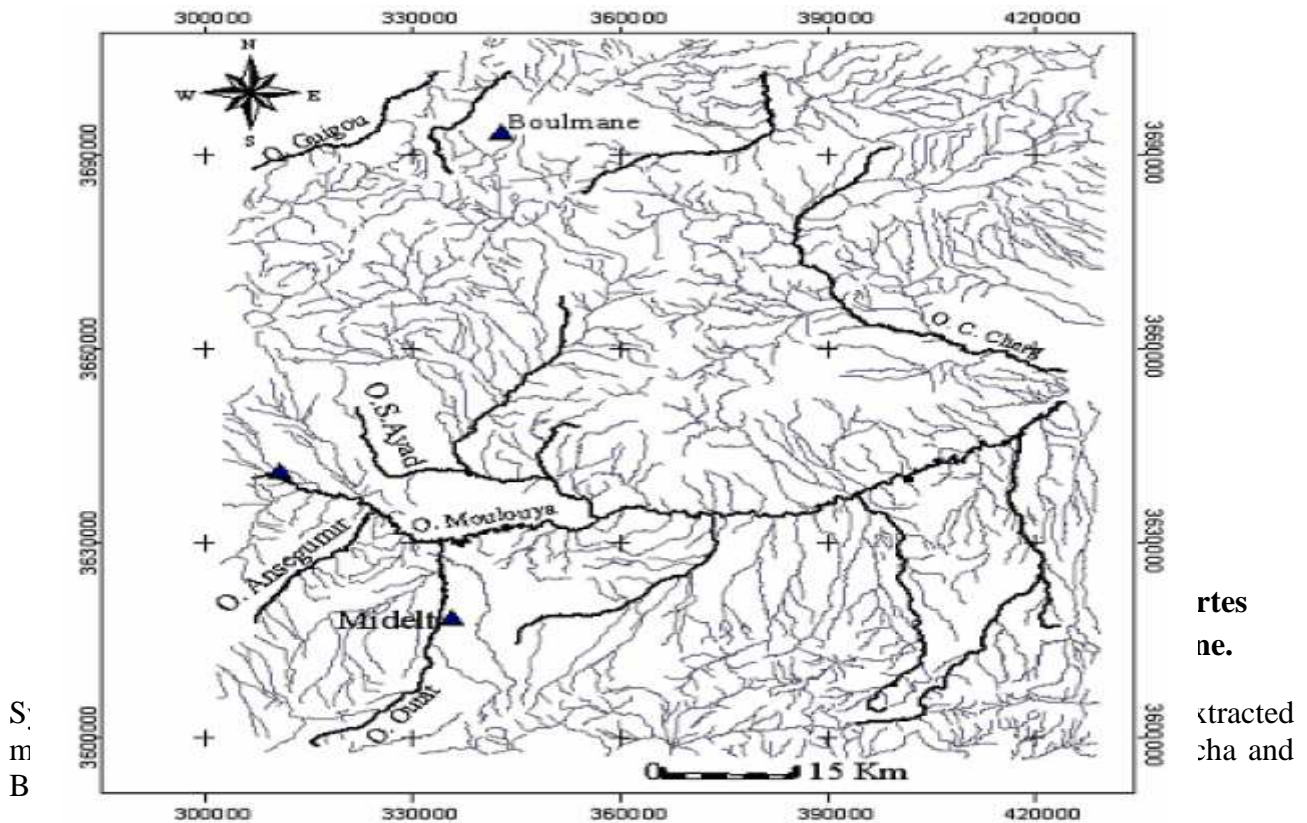
Le bassin de la Haute Moulouya est drainé par l'oued Moulouya qui prend sa source à Alemsid dans la zone de jonction des deux Atlas. Son cours amont prend une direction Nord-Est bissectrice entre les directions moyen-atlasique Nord-nord-est et haute atlasique Est-nord-est. Il bute contre le massif d'Ahouli et fait un coude brusque vers l'Est, puis reprend la direction Nord-nord-est à la sortie de ce massif où on rentre dans le cours moyen.

Dans le bassin de la Haute Moulouya, les affluents de la rive droite ont tous une origine haut-atlasique :

- L'oued Ansegmir est l'affluent principal de la Haute Moulouya, son bassin amont est largement développé dans les plis du Haut Atlas ; il est en fait constitué par la réunion, à l'Est de Tounfite, des oueds Ait Lahsen et Tourha, puis reçoit en rive droite l'oued Taarart qui naissant au Sud de jbel Ayachi. Est alimenté par de nombreuses sources issues tant du jbel Maoutfoud que du jbel Ayachi.
- Les sources de la maison forestière d'Idikel donnent naissance à l'oued Tigraria.
- L'oued Oudrhès

Les affluents de la rive gauche ont tous une origine haut-atlasique :

- L'oued Kiss
- Les oueds Aguarcif, Bou Hafs, Boulajoul et Tallat N'tounfit, naissant dans le Moyen Atlas (ABHM, 2008).



- Ain Tattiouine N°IRE 659/38 ; son débit varie de 250 à plus de 1500 l/s, avec une moyenne de 388 l/s sur la période 1982-2002.
- Ain Anzar Oufounes N°IRE 8/38 ; est située dans les gorges de l'oued tourha, un des affluents de l'Ansegmir. Son débit, très variable, peut aller de 5 à 1300 l/s ; sa moyenne sur la période 1982-2002 serait de 258l/s.
- Ain Laris N°IRE 152/30 ; son débit moyen serait d'environ 95 l/s (ABHM, 2008).

II. La commune rurale de Tanourdi

1. Situation de la commune

La commune rurale de Tanourdi est située dans le bassin de la haute Moulouya qui occupe la partie Sud-Ouest de la zone d'action de l'ABHM. Elle est limitée par la commune rurales ; au



Nord d'Itzer et l'Ouest Ifrane (Province d'Ifrane), au Sud de Boumia, à l'Ouest de Tizi N'Ghachou et à l'Est de Zaïda.

2. *Présentation de la commune*

La commune a été créée en 1992. Elle s'étend sur une superficie de 200 km² et compte une population totale de 2777 habitants. La commune se situe dans une zone montagneuse du Moyen Atlas couvert des forêts de cédre et de chêne-vert étendues sur 3000 ha. Le climat est continental, chaud et sec en été, froid et humide en hivers avec d'importantes chutes de neige. Le sol est 60% de type Hamri, 10% Biada et 30% de type divers.

La population s'intéresse dans sa quasi-totalité à l'agriculture et l'exploitation du domaine forestier. Ce dernier est à l'origine de 90% des revenus de la commune.

L'agriculture dans la commune se base principalement sur la céréaliculture, le maraîchage et l'arboriculture. L'élevage prend une place importante dans l'agriculture et compte un effectif de 24848 têtes constitué principalement des ovins.

2.1. *Potentialités des ressources en eau*

2.2. *Les eaux de surface*

La commune est traversée par les affluents de la rive gauche de l'oued Moulouya ; oueds Aguercef, Tirouadine, Bouhafs et Almagh. Ces oueds ne sont pas tous pérennes, ils naissent dans le Moyen Atlas, nourris par des sources issues de la nappe profonde des calcaires jurassiques.

2.3. *Les eaux souterraines*

Une grande partie de la commune présente un contexte hydrogéologique défavorable ; elle est dominée par les formations Permo-Triasiques et Oligo-Miocènes. La nappe circule dans les quelque intercalations gréseuses dans les marne triasiques ou dans les basaltes du Permo-Trias ou encore dans les lentilles des conglomérats piégés dans les marnes de l'Oligo-Miocène, avec écoulement orienté NW-SE.

Ces aquifères de très faible potentialité sont exploités par des puits de 4 à 25 m de profondeur et de moins de 1 à 20 m/sol de niveau statique. Ces ouvrages capent dans la majorité des cas un underflow à moins de 3 m/sol.

Les zones Nord et Est sont occupées respectivement par les calcaires di Lias et du Turonien qui constituent de bon réservoir d'eau souterraine. La nappe du Lias constitue un vrai château d'eau



pour la commune. Il donne naissance à plusieurs sources de débit variable. Des calcaires gréseux du Turonien émergent de petites sources qui alimentent l'oued Aguercif.

3. *Mobilisation et utilisation des ressources en eau*

La commune de Tanourdi utilise les eaux de surface et les eaux souterraines pour la consommation humaine et animale et pour l'irrigation gravitaire des cultures.

La commune dispose actuellement de 99 puits et forages destinés à l'irrigation pour un volume annuel d'environ 1.7 Mm³. Les prélèvements à partir des oueds exploitent un débit de 798 l/s.

4. *Qualité des ressources en eau*

La commune est dépourvue du réseau d'assainissement. Les eaux usées domestiques engendrées par la population sont rejetées de façon diffuse dans le sol par le biais de fosse et puits perdus ou sont superficiellement à proximité des habitations. Ce type de rejet expose les puits et la nappe à une contamination et une dégradation de la qualité des eaux.



Chapitre III :
Matériel et Méthodes

I. Situation et caractéristiques des sources étudiées

Les trois sources étudiées sont situées dans la Haut Moulouya. Les deux sources Aït Aziz (fig.4) et Aït Alla (fig.5) se situent dans la commune rurale de Tanourdi, et la troisième source Tadamoute (fig.6) près de la ville de Midelt.

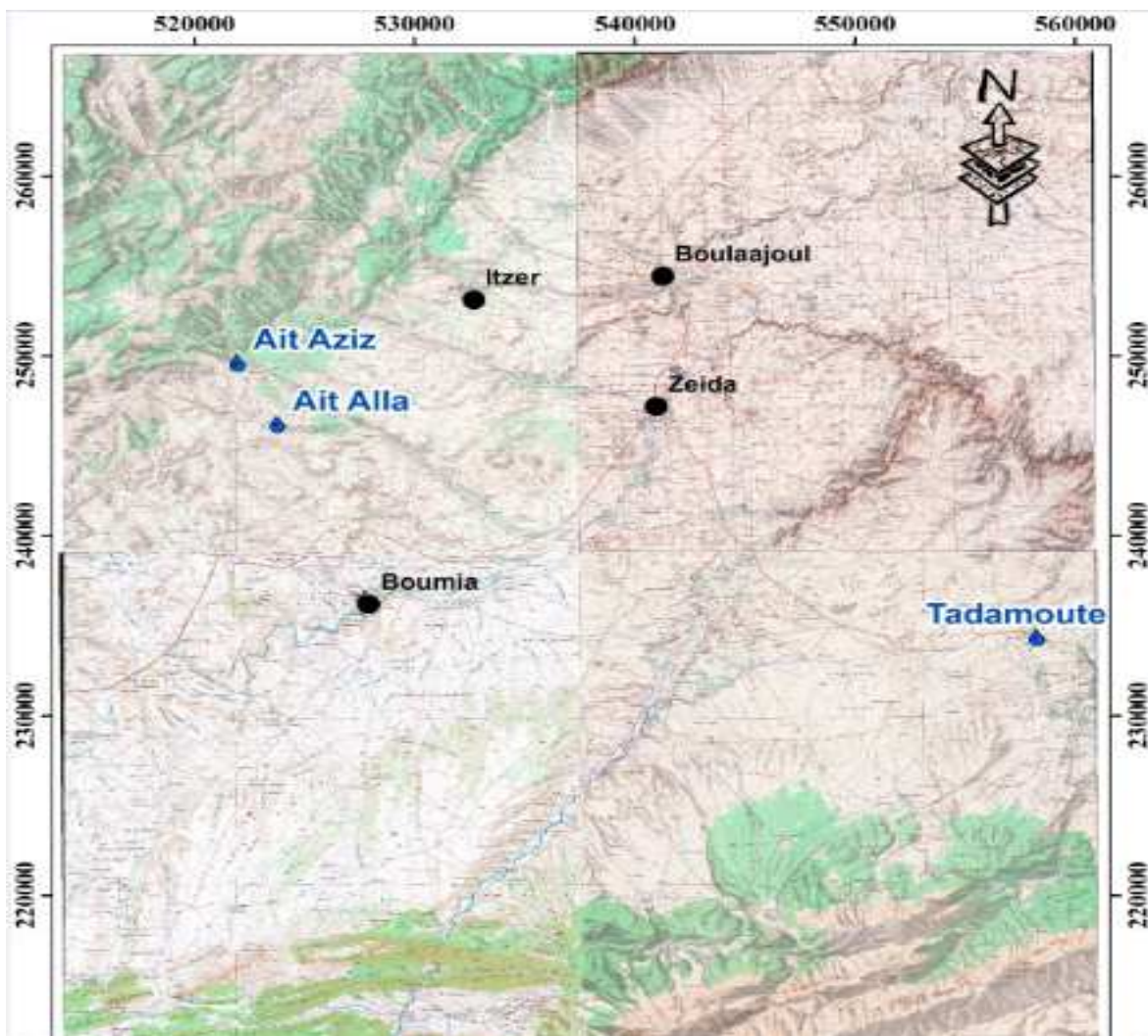


Figure 3 : Localisation géographique des sites de prélèvement

• **Source 1 : Aït Aziz**

- ❖ Altitude : 1816m ;
- ❖ Latitude : 32°50' ;
- ❖ Longitude : 5°09' ;
- ❖ Profondeur : 22cm ;
- ❖ Largeur : 123cm ;
- ❖ Vitesse : moyenne ;
- ❖ Substrat : galet, gravier et sable.



Figure 4 : Source Aït Aziz

• **Source 2 : Aït Alla**

- ❖ Altitude : 1822m ;
- ❖ Latitude : 32°48' ;
- ❖ Longitude : 5°08' ;
- ❖ Profondeur : 13cm ;
- ❖ Largeur : 90cm ;
- ❖ Vitesse : faible ;
- ❖ Substrat : graviers, sables et limons.



Figure 5 : Source Aït Alla

• **Source 3 : Tadamoute**

- ❖ Altitude : 1435m ;
- ❖ Latitude : 32°42' ;
- ❖ Longitude : 4°46' ;





- ❖ Profondeur : 30cm ;
- ❖ Largeur : 83cm ;
- ❖ Vitesse : très faible ;
- ❖ Substrat : graviers, sables et limons.

Figure 6 : Source Tadamoute

Afin d'évaluer la qualité aquatique, trois groupes de méthodes complémentaires ont été employées : l'analyse des paramètres physico-chimique, l'analyse par les indices biotiques et l'analyse bactériologique.

Avant de faire ces analyses nous avons effectué des prélèvements dans les trois sources sur lesquelles nous avons travaillé suivant le calendrier ci-dessous.

Prélèvement Paramètre	1	2	3
Physico-chimique	13/03/2012	15/04/2012	07/05/2012
Bactériologique	-	-	07/05/2012
Faunistique	13/03/2012	15/04/2012	07/05/2012
	Jour ensoleillé	Jour pluvieux	Jour ensoleillé

II. Analyses physico-chimiques de l'eau

Les prélèvements ont été effectués au niveau de l'émergence de chaque source dans des bouteilles de plastique (1,5 litre) rincés par l'eau distillée, puis rincés par l'eau du site et conservés à une température de 4°C.

✓ Mesures in situ :

Trois paramètres physico-chimiques (température, pH et conductivité électrique) ont été mesurés in situ à l'aide d'un appareil consort C532. En effet, ces paramètres sont très sensibles aux conditions de milieu et susceptible de varier dans des proportions importantes s'ils ne sont pas mesurés sur site.

✓ Mesures au laboratoire :



L'oxygène dissous, l'alcalinité, la dureté totale, la dureté calcique, les chlorures, oxydabilité au permanganate de potassium, oxygène dissous, les orthophosphates et les sulfates.

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 et *al.*, 1996.

1. Température (*T*)

La température joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, elle conditionne les équilibres de dissociation. La température, exprimée en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

2. Potentiel Hydrogène (*pH*)

Le potentiel Hydrogène mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau.

3. Conductivité

La conductivité peut se définir comme étant la quantité de sels dissous (ions) présents dans l'eau. On la mesure en faisant passer un courant alternatif de très basse tension entre deux électrodes. La conductivité s'exprime en micro-siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Elle augmente avec la température et la concentration en sels dissous, sa valeur est théoriquement nulle pour l'eau distillée.

4. 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.

5. Dureté ou titre hydrotimétrique (*TH*)



5.1. 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.

5.2. 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.

6. Chlorures (Mohr)

Les chlorures ont été évalués par volumétrie de Mohr, grâce à une solution de nitrate d'argent, en présence de chromate de potassium comme indicateur coloré. La fin du dosage est décelée par l'apparition de couleur rouge. Les résultats sont exprimés en mg/l.

7. Oxydabilité au KMnO_4

L'oxydabilité au permanganate de potassium KMnO_4 (ou indice de permanganate) correspond à l'oxydation des matières organiques par du permanganate de potassium de concentration connue en milieu acide selon un protocole normalisé (10 minutes à ébullition). Les résultats sont exprimés en mg/l d' O_2 .

8. 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.

9. Orthophosphates

En présence d'antimoine tartrate de potassium à une température de 40°C (bain marie), les ions orthophosphates (PO_4^{3-}) réagissent avec le molybdate d'ammonium pour former un complexe



antimoine phosphomolybdique qui sera réduit par l'acide ascorbique. Cette forme réduite de coloration bleue a un maximum d'absorption à 750 nm. Les résultats sont exprimés en mg/l.

10. Sulfates

Le dosage du sulfate a été effectué par précipitation de celui-ci en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de Baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de Tween. Les suspensions homogènes sont mesurées au spectrophotomètre à 650nm. Les résultats sont exprimés en mg/l.

Tableau 2: Paramètres mesurés et méthodes d'analyse utilisées

Paramètres	Méthodes d'analyse	Unités	Sources
Température	appareil consort C532	°C	
pH	appareil consort C532		
Conductivité	appareil consort C532	µs/cm	
L'oxygène dissous	Méthode de WINKLER	mg /l	Rodier (1996)
L'alcalinité	Méthode volumétrique	mg/l	Rodier (1996)
La dureté	Méthode volumétrique à l'EDTA	mg/l	Rodier (1996)
Les chlorures	Méthode de Mohr	mg/l	Rodier (1996)
Oxydabilité au KMnO ₄	Méthode à chaud	mg/l d'O ₂	Rodier (1996)
Les orthophosphates	Méthode colorimétrique au Molybdate d'ammonium	mg/l	Rodier (1996)
Les sulfates	Méthode Néphélométrique au chlorure de barium	mg/l	Rodier (1996)



III. Analyses bactériologiques

L'objectif de l'analyse bactériologique d'une eau n'est pas d'effectuer un inventaire de toutes les espèces présentes, mais de rechercher soit celles qui sont susceptibles d'être pathogènes, soit celles qui sont indicatrices de contamination fécales.

Le matériel utilisé lors de ses analyses est des flacons stériles pour éviter toute source de contamination.

1. Germes recherchés

Nous avons effectué pendant notre travail la recherche des germes indicateurs de pollution qui sont :

- ✓ Les coliformes totaux
- ✓ Les coliformes fécaux (thermotolérants)
- ✓ Les streptocoques fécaux
- ✓ La FMAT (la flore mésophile aérobie totale).

2. Méthode de la Membrane Filtrante

La méthode utilisée c'est le dénombrement par filtration sur membrane qui retient les micro-organismes. Après avoir filtré sous vide 100 ml de l'échantillon sur une membrane millipore stérile, dont la porosité est de 0,45 μm , cette dernière est déposée sur le milieu de culture spécifié pour chaque germe recherché, puis incubé dans la température optimal pour la multiplication des germes. Durant l'incubation, des colonies se forment à la surface de la membrane.





Figure 7 : Appareil de filtration utilisé pour les analyses bactériologiques

3. *Germes test de contamination fécale*

Pour les coliformes, le milieu de culture utilisé c'est le Tergitol 7 agar au TTC (Annexe 1) et l'incubation se fait pendant 24 à 48 heures à une température de 37°C pour les coliformes totaux et de 44°C pour les coliformes fécaux. Pour les streptocoques fécaux, le milieu de culture utilisé c'est le milieu m-Enterococcus (Annexe 1) et l'incubation se fait pendant 24 heures à une température de 37°C.

La flore mésophile aérobie totale (FMAT) a été recherchée par la méthode d'ensemencement en profondeur. La culture des FMAT a été réalisée sur milieu LB (Luria Bertani) (Annexe 1) et incubée à 37°C pendant 24 heures.

Les colonies jaunes-orange sont comptées comme des coliformes, les colonies rouges ou rouges brique sont comptées comme des streptocoques fécaux. Les résultats de dénombrement sont exprimés en unité formant colonies (UFC) par 100 ml. Et les colonies blanchâtres pour la FMAT, les résultats de dénombrement sont exprimés en unité formant colonies (UFC) par ml.

IV. Indice Biotique

Les Indices Biotiques, ou indices biologiques permettent de déterminer la qualité des eaux à partir de critères de présence-absence de diverses espèces d'invertébrés d'eaux douces bio indicateurs de qualité ou au contraire de pollution d'eau.

En effet, Les mesures physico-chimiques ne permettent de donner qu'un état ponctuel du milieu aquatique étudié. Ainsi, Pour connaître la qualité générale de l'eau, il faut interroger la faune, témoin et reflet de la santé du milieu.

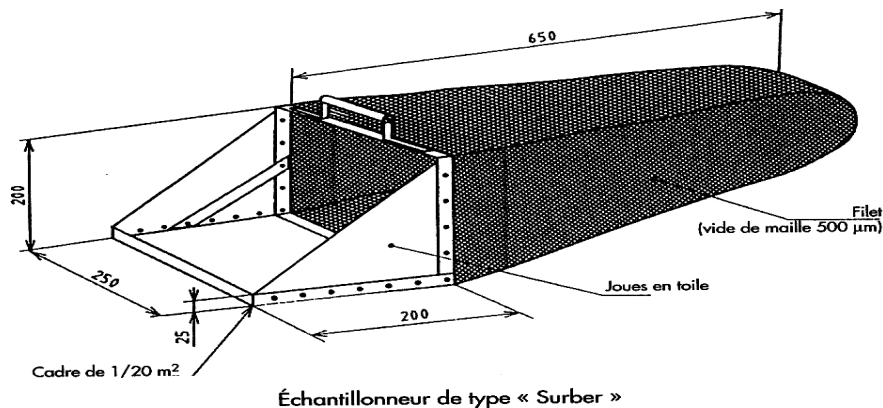
L'avantage des méthodes biologiques par rapport aux mesures physico-chimiques c'est qu'elles intègrent dans le temps les fluctuations des différents paramètres de l'eau ou l'existence de phénomènes ayant affecté la masse d'eau. Les analyses chimiques restent nécessaires pour

déterminer l'origine de la pollution. Les analyses biologiques doivent donc agir en complément des analyses chimiques.

1. Techniques et matériels de prélèvement

1.1. Outil de prélèvement

L'échantillonneur de type « Surber » est équipé d'un filet d'ouverture de maille 500 μm (Fig. 8). Il possède un cadre rectangulaire, avec une base de surface 1/20 m². Le surber est placé sur le fond du lit, l'ouverture du filet face au courant. Le substrat est alors gratté sur quelques centimètres à la main ou en raclant le cadre sur le substrat, le courant entraînant les organismes dans le filet. Chaque prélèvement est effectué sur une longueur de 50cm, d'où la surface échantillonnée est de l'ordre de 1m². Les échantillons ainsi récoltés par sources sont fixes dans une solution de formol à 5%.



1.2. Trait.

Au laboratoire, les échantillons sont rincés sur un tamis de maille 500 μm de diamètre, afin d'éliminer au maximum le substrat fin restant et les éléments grossiers (gravier, plantes feuilles...). L'identification de la faune se fait sous la loupe binoculaire. Les organismes sont manipulés à l'aide de pinces fines et d'aiguilles montées.

La détermination se fait au niveau générique ou spécifique pour certains taxons et au niveau de la famille ou l'ordre pour d'autres taxons vu les difficultés. La clé de détermination utilisée est celle de TACHET (2000) et TACHET *et al.* (1996).

2. Calcul de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)

Des groupes d'espèces sont des bio-indicateurs qui caractérisent une bonne ou une mauvaise qualité écologique du milieu. L'indice biologique officialisé (norme Afnor) est L'IBGN (indice biologique global normalisé) qui utilise une liste de référence de cent trente-huit familles

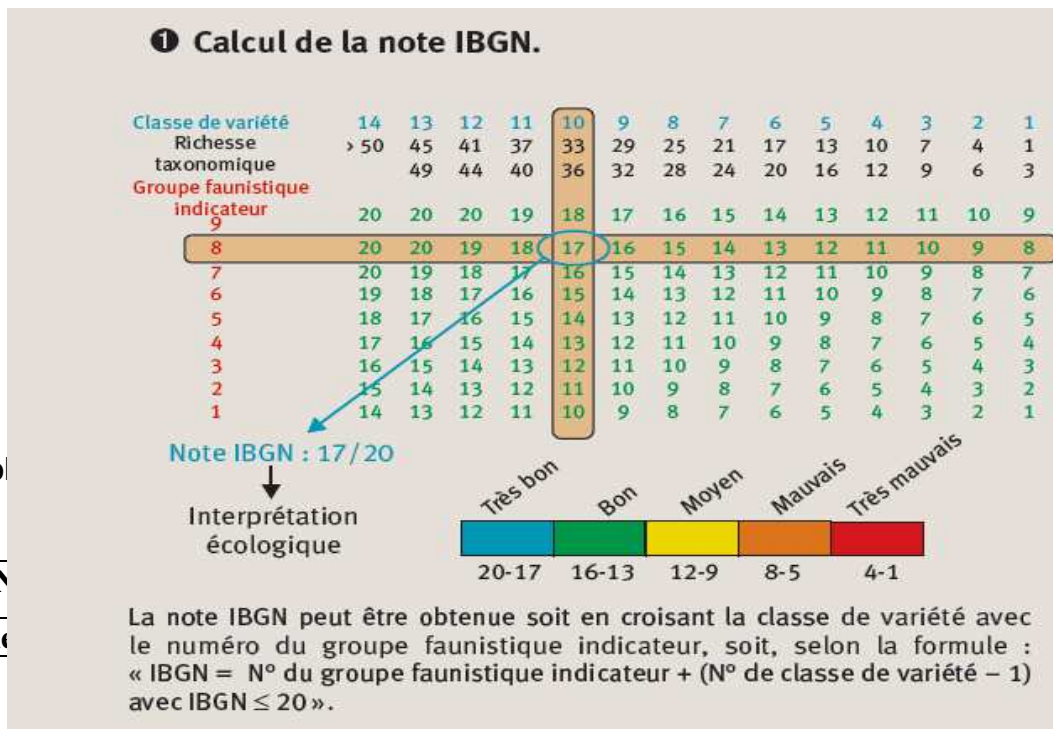


d'invertébrés (Annexe 6). L'identification des familles ou des groupes d'espèces récoltés et l'importance de la biodiversité permettent de donner une note de 0 à 20 au milieu étudié (CHEVALLIER, 2007).

A partir de la liste de taxons obtenus, un indice de qualité peut être calculé, telle la note d'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN). L'IBGN est calculé à partir de la variété taxonomique (nombre de taxons) du prélèvement et de son groupe faunistique indicateur (GI). Le GI correspond au taxon le plus sensible à la pollution (Annexe 7).

- la variété taxonomique de l'échantillon (Σt), égale au nombre total de taxons récoltés même s'ils ne sont représentés que par un seul individu. Ce nombre est confronté aux classes figurant en abscisse sur le tableau.
- le groupe faunistique indicateur (GI), en ne prenant en compte que les taxons indicateurs représentés dans les échantillons par au moins 3 individus ou 10 individus selon les taxons.

La détermination du GI s'effectue en prospectant l'ordonnée du tableau de haut en bas (GI 9 à GI 1) et en arrêtant l'examen à la première présence significative ($n > 3$ individus ou $n > 10$ individus) d'un taxon du répertoire en ordonnée du tableau. On déduit l'IBGN du tableau à partir de son ordonnée (GI) et de son abscisse (Σt).



on Afnor,

1

ge



Qualité de l'eau	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
------------------	------------	-------	---------	----------	----------

3. *Richesse taxonomique*

Correspond au nombre d'espèces ou de taxons (niveau genre, famille etc.) dans chaque station.

4. *Abondance relative*

L'abondance relative d'un groupe, ou d'une espèce, est le nombre d'individus de ce groupe, ou de cette espèce, par rapport au nombre total d'individus. La valeur est donnée en pourcentage :

$$\text{Abr} = n_i / N \times 100$$

n_i = le nombre d'individus de l'espèce i

N = le nombre total d'individus.

Chapitre IV :
Résultats et discussions



I. Paramètres Physico-chimiques

1. Température

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques. Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivant dans l'eau et particulièrement les microorganismes (MAKHOUKH *et al.*, 2011).

Le suivi de la température dans les trois sources étudiées montre qu'il n'y a pas une grande fluctuation durant la période d'étude (Fig.9), elle reste presque stable dans les trois sources pour les trois prélèvements. Aux alentours de 10°C pour S1, 13°C pour S2 et 16°C pour S3.

D'une façon générale, pour un milieu aquatique la température des eaux superficielles sont influencée par la température de l'air, et ceci d'autant plus que la profondeur est faible. Elle dépend de l'altitude, de la saison, de l'heure et du débit (RODIER, 1996).

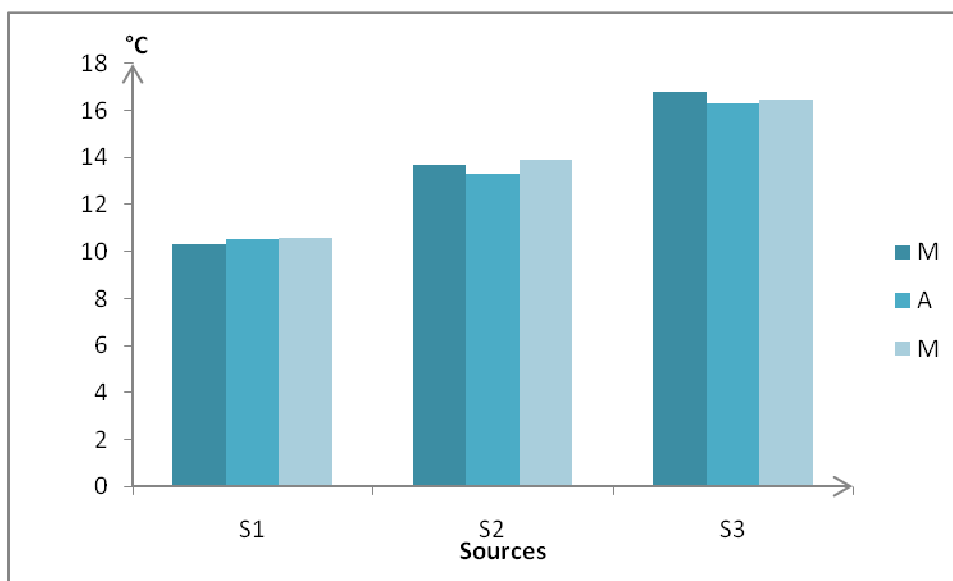


Figure 9: Evolution de la température de l'eau des sources étudiées.

2. *pH*

Les valeurs observées révèlent que le pH est autour de la neutralité dans toutes les sources. En effet, le pH varie entre 7,23 dans la S1 et 7,67 dans la S3 (Fig.10).

La source S1 présente des valeurs comprises entre 7,23 au mois de Mai et 7,58 au mois d'Avril. La source S2 montre des valeurs qui oscillent entre 7,34 enregistrée en Mars et 7,67 en Mai. Le pH enregistré au niveau de la source S3 varie de 7,3 et 7,53 (respectivement illustrés en Mars et Avril).

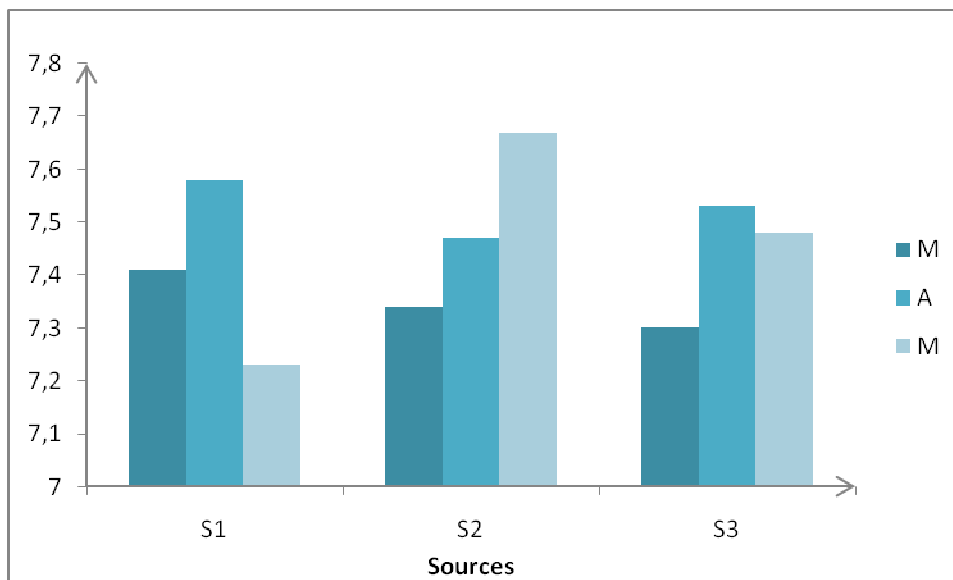


Figure 10: Evolution de pH de l'eau des sources étudiées.

3. *Conductivité*

La conductivité est la capacité d'une solution à conduire le courant électrique. Cette capacité dépend de plusieurs facteurs tels que la nature des ions présents et leurs concentrations totales. Elle donne une idée sur la salinité, permet une bonne appréciation des matières en solution (surtout minérales) dans une eau naturelle et permet de déceler les variations de la composition chimique de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit un pH anormal, soit, le plus souvent, une salinité élevée d'origine naturelle ou anthropique (rejet salins) (AZZAoui, 1999).

Les résultats de la conductivité sont illustrés dans la Figure 11 ; les valeurs varient entre 214 μ s/cm dans la source S1 notée au mois de Mai et 378 μ s/cm en Mars. Dans la source S2 les

valeurs balancent entre $210\mu\text{s}/\text{cm}$ enregistré en Mai et $326\mu\text{s}/\text{cm}$ en Mars. Au niveau de la source S3 la conductivité varie de $492\mu\text{s}/\text{cm}$ en Mai et $535\mu\text{s}/\text{cm}$ en Mars.

On note que la conductivité diminue pour chaque source en allant du mois de Mars vers le mois de Mai. L'explication de cette diminution peut résider dans la dilution des eaux par l'apport des eaux pluviales.

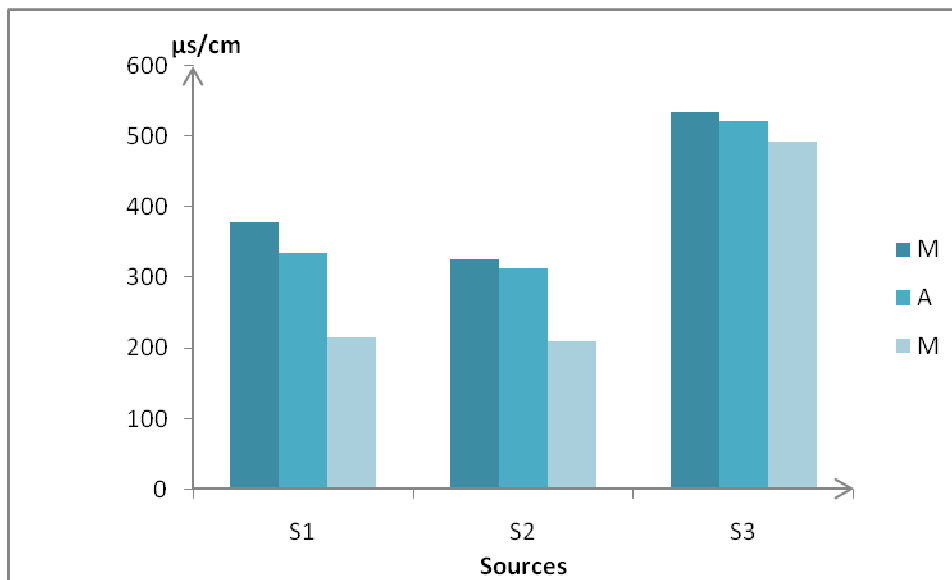


Figure 11: Evolution de la conductivité de l'eau des sources étudiées.

4. Oxygène dissous

L'oxygène est l'un des paramètres particulièrement utile pour l'eau et constitue un excellent indicateur de sa qualité. C'est l'un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'auto-épuration d'un cours d'eau.

Les résultats de l'évolution de l'oxygène dissous (Fig.12), montrent une légère augmentation en oxygène dissous en allant du mois Mars vers le mois de Mai de $7,04$ à $8,16\text{mg}/\text{l}$ au niveau de la source S1, de $6,88$ à $8,06\text{mg}/\text{l}$ dans la source S2 et de $5,92$ à $6,64\text{mg}/\text{l}$ dans la source S3.

Les sources S1 et S2 sont bien oxygénés par rapport à la source Tadamoute. Cette diminution est due à la température élevée de l'eau et le faible débit de cette source.

Une eau froide contient une plus grande quantité d'oxygène dissous qu'une eau chaude (Hébert et Légaré, 2000).

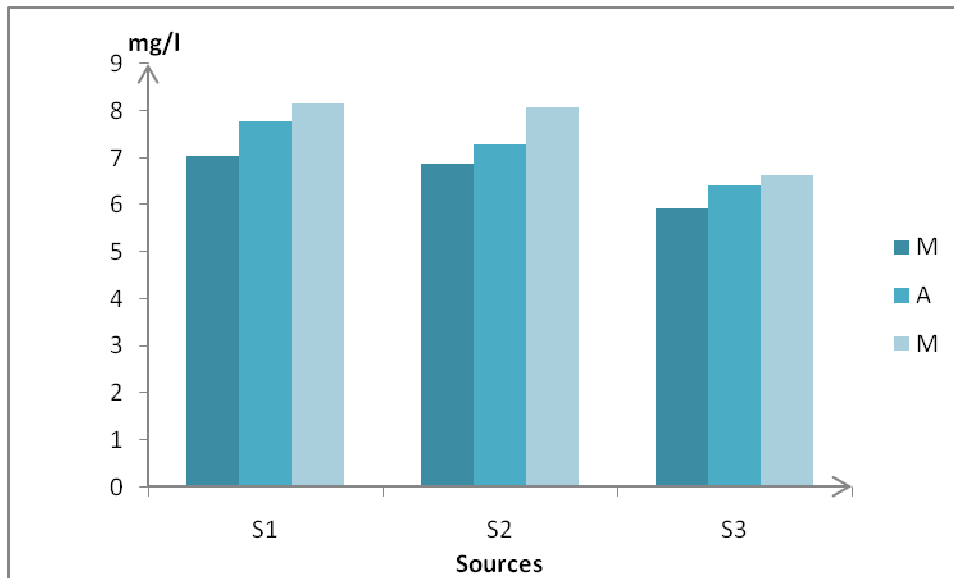


Figure 12: Evolution de l'oxygène dissous de l'eau des sources étudiées.

5. Chlorures

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux.

L'amplitude de variation de la teneur en chlorure (Fig.13), n'est pas importante dans chaque source. Les valeurs sont faibles et oscillent entre 39,05 et 53,25mg/l dans la source S1 et entre 24,85 et 42,6mg/l dans la source S2 alors qu'elles sont plus élevées au niveau de la source S3 et ils varient entre 81,65 et 99,4mg/l.

Les teneurs élevées en chlorure au niveau de la source S3 pourraient être expliquées par la nature géologique traversées (calcaire).

L'évolution temporelle est marquée par un léger abaissement des teneurs en chlorures résultant de la dilution par les précipitations pendant le deuxième prélèvement.

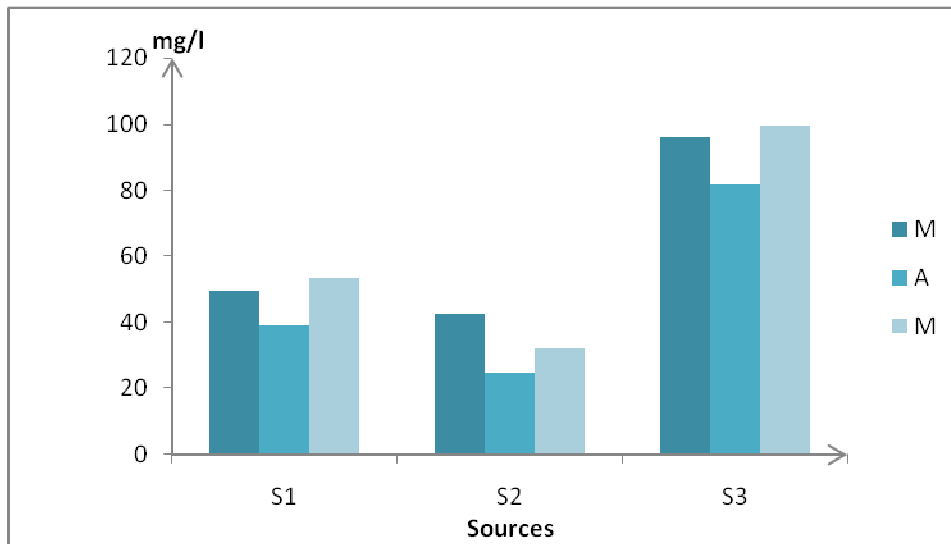


Figure 13: Evolution des chlorures de l'eau des sources étudiées.

6. Dureté calcique et magnésienne

Le calcium est l'élément le plus répandu dans la nature (évaporites, carbonates, etc.) surtout à l'état d'hydrogénocarbonates ou sous formes de sulfates ou chlorures. Il tient sa valeur globale de la nature géologique du milieu en particulier de grandes masses de roches organogènes. (SACCHI et TESTARD, 1971). Les teneurs en Ca^{2+} sont étroitement liés à la nature des terrains traversés.

L'évolution de la dureté calcique (Fig.14) montre que les concentrations sont moyennement élevées dans les trois sources. Elles varient de 59,18 à 89,11mg/l pour la source S1, de 53,74 à 85,03mg/l pour la source S2 et de 63,26 à 105,44mg/l pour la source S3.

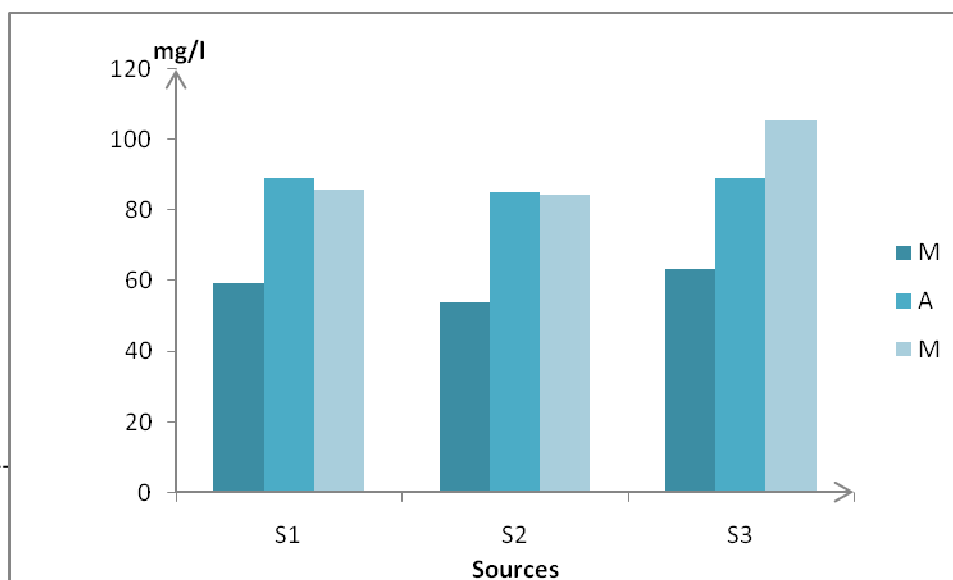


Figure 14: Evolution de la dureté calcique de l'eau des sources étudiées.

Le magnésium est également l'un des éléments les plus répandus dans la nature. Il constitue environ 2,1% de l'écorce terrestre. C'est un élément significatif de la dureté de l'eau. La teneur de magnésium dans l'eau dépend de la nature des terrains traversés et peut être élevée dans les eaux passant par les terrains riches en sulfate de magnésium ($MgSO_4$) (NISBET et VERNEAUX, 1970).

Pour le magnésium (Fig.15), la dureté magnésium est moyennement faible dans la source S1 46,94mg/l, très faible dans la source S2 8,84mg/l et élevée dans la source S3 97,27mg/l.

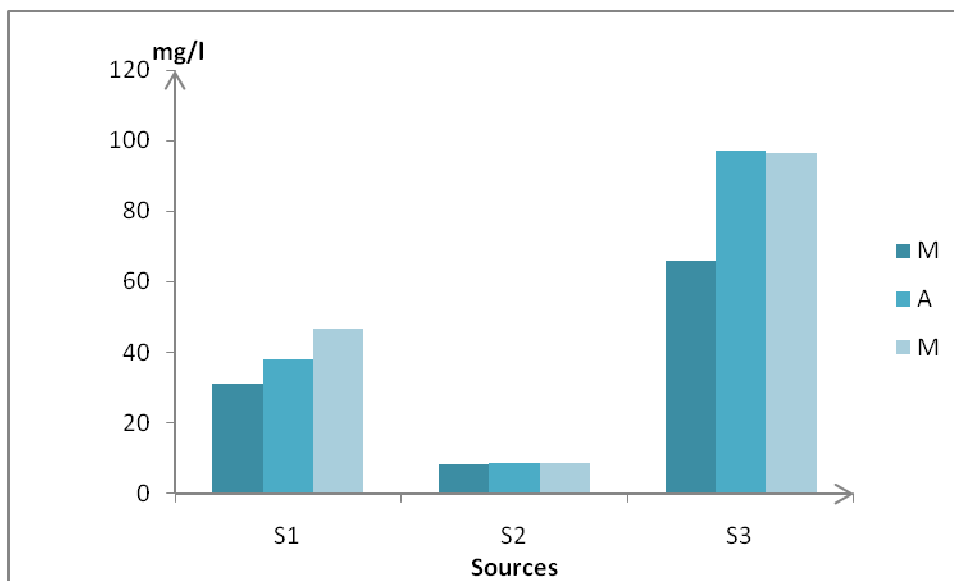


Figure 15: Evolution de la dureté magnésienne de l'eau des sources étudiées.

7. Dureté totale

La dureté totale ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations, à l'exception des ions H^+ et des cations des métaux alcalins. En pratique, cette dureté est surtout due à la dureté calcique et magnésienne. La dureté de l'eau peut influencer la toxicité et la bioaccumulation des métaux. Elle varie selon les conditions locales des eaux des régions où les roches de fond sont très douces (MCNEELY, 1988).

Les résultats de la dureté totale (Fig.16), montrent une augmentation en allant du mois Mars vers le mois Mai dans toutes les sources. Elle varie de 90,47 à 132,65mg/l pour la source S1, de 61,9 à 93,87mg/l pour la source S2 et de 129,25 à 202,04mg/l pour la source S3.

Les bicarbonates de calcium ou hydrogénocarbonates de calcium sont des sels d'origines calcaires (terrains traversés). Elles sont responsables de la dureté aquatique.

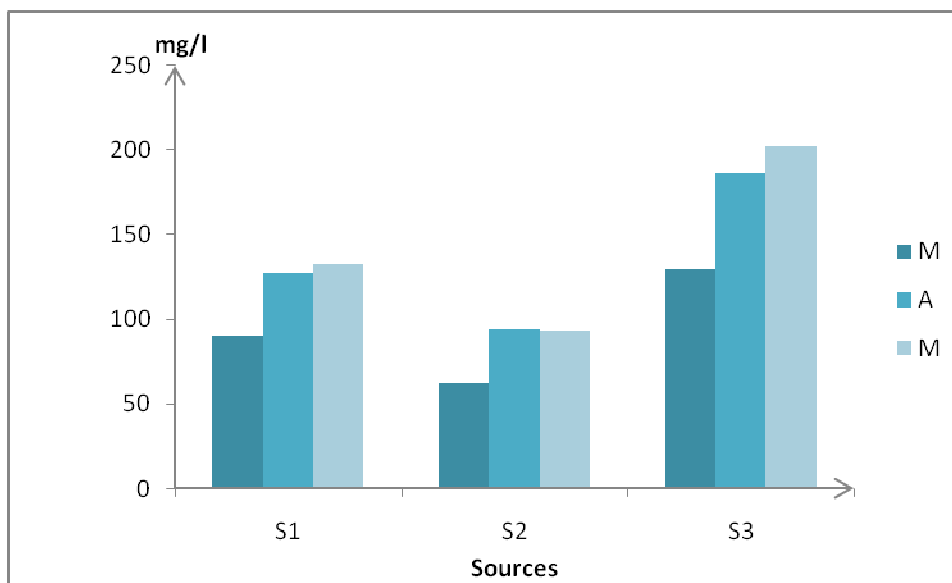


Figure 16: Evolution de la dureté totale de l'eau des sources étudiées.

8. Alcalinité

L'alcalinité caractérise la capacité que possède une eau à maintenir son pH constant. Elle est proportionnelle à la charge de l'eau en hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes du milieu. Ces types d'anions constituent le tampon principal des pH des systèmes d'eau douce.

Les bicarbonates de calcium ou hydrogénocarbonates de calcium sont des sels d'origines calcaires. Elles sont responsables de la dureté aquatique. Les principaux facteurs qui favorisent l'apparition des bicarbonates sont le déplacement vers les valeurs élevées du pH, de la température et de la salinité (NISBET et VERNEAUX, 1970).

Les résultats de la Figure 17 montrent une augmentation de l'alcalinité qui varie entre 89,11 et 331mg/l dans la source S1, entre 85,03 et 198mg/l dans la source S2 et entre 89,11 et 350mg/l dans la source S3.

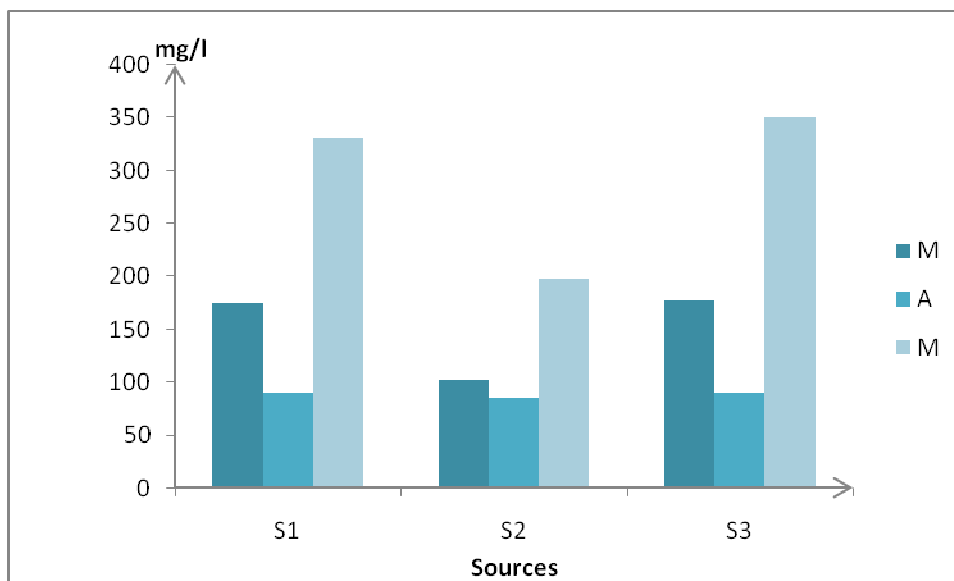


Figure 17: Evolution de TAC de l'eau des sources étudiées.

9. Oxydabilité au permanganate

La matière organique est présente dans l'eau sous forme particulaire (solide) et dissoute. Sous forme particulaire, elle constitue une partie des matières en suspensions. Sous forme dissoute, elle est en général directement accessible aux bactéries qui la dégradent.

La présence de matières organiques dans l'eau provoque l'existence et la prolifération des micro-organismes qui peuvent être pathogènes, donc la détermination de ces matières organiques est indispensable dans la surveillance de la qualité des eaux.

La figure 18 montre une variation de l'oxydabilité, elle varie entre 2,58 en mois Mars et 0,44 mg d'O₂/l en Avril au niveau de la source S1, entre 2,48 en Mars et 0,22 mg d'O₂/l en Avril



dans la source S2. La source S3 montre des valeurs qui oscillent entre 1,77 enregistrée en Mars et 0,23 mg d'O₂/l en Avril.

La diminution de l'oxydabilité de ces sources en mois d'Avril est due aux eaux de pluie qui contribuent à la dilution de la charge organique.

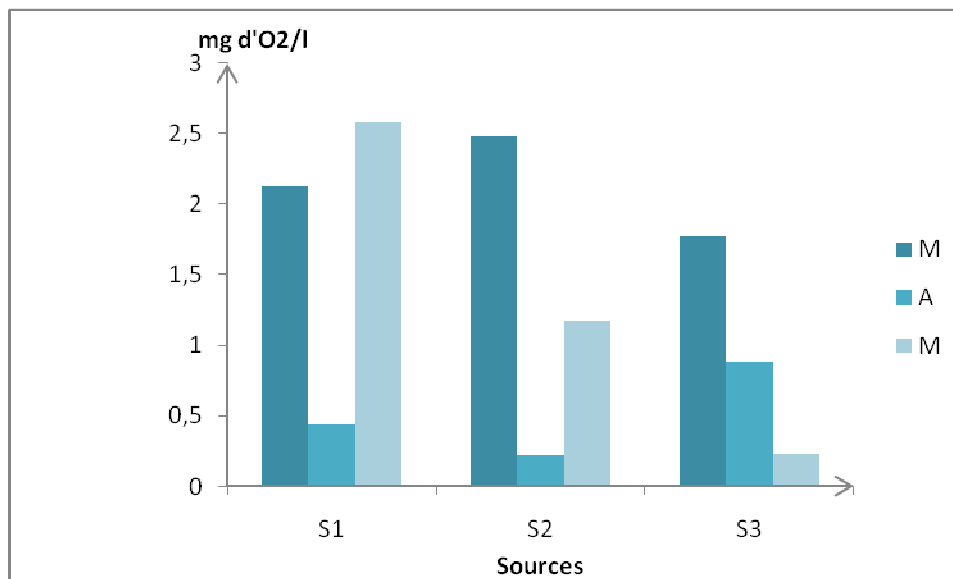


Figure 18: Evolution de l'oxydabilité au KMnO₄ de l'eau des sources étudiées.

10. Sulfates

Les sulfates sont très répandues dans les eaux naturelles et proviennent essentiellement de l'érosion, facteur qui constitue le principal agent d'enrichissement des eaux de surface par dissolution du gypse ou bien par oxydation des surfaces des substrats ou de la matière organique des sols. Les apports d'origine agricole peuvent constituer une source en sulfate.

La figure 19 montre que dans les sources S1 et S2, les concentrations en SO₄²⁻ restent presque stables avec des valeurs faibles qui ne dépassent pas les 18,4 mg/l. Alors que dans la source S3 les concentrations sont plus élevés peuvent atteindre jusqu'à 135,7mg/l.

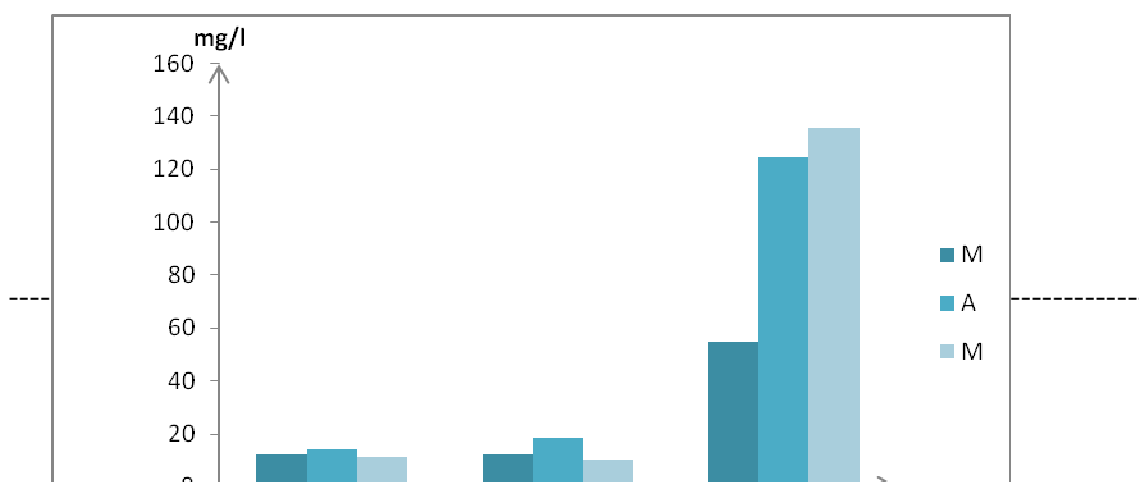




Figure 19: Evolution des sulfates de l'eau des sources étudiées.

11. Orthophosphates

Le phosphore, l'un des nutriments importants, peut se trouver sous différentes formes oxydées. C'est un élément de base des acides nucléiques ADN et ARN. Il participe à la distribution de l'énergie dans le corps humain (Claude et *al.*, 1998), et représente un élément biogène indispensable à la croissance des algues. Les teneurs élevées de cet élément dans les eaux de surface peuvent entraîner leur eutrophisation. Cependant, ils ont un effet bénéfique en jouant un rôle régulateur : ils favorisent tous les phénomènes de fécondation, la mise à fruit et la maturité des organes végétatifs (Vilain, 1989).

L'analyse des résultats montre que les concentrations en orthophosphates dans les trois sources sont inférieures à 0,001 mg/l.

Les teneurs en orthophosphates sont faibles pour les trois sources, expliquées par l'absence de la pollution d'origine anthropique (engrais, détergent, etc).

Conclusion de l'étude physico-chimique

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de ces trois sources montrent que:

La température est presque stable dans les trois sources. Elle dépend de l'altitude, de la saison, de l'heure et du débit

Le pH est autour de la neutralité au niveau des trois les sources.

Les sources Aït Aziz et Aït Alla sont bien oxygénés par rapport à la source Tadamoute. Cette diminution est due à la température élevée de l'eau et au faible débit de cette source.



Les teneurs élevées en chlorure au niveau de la source Tadamoute pourraient être expliquées par la nature géologique traversées.

La minéralisation de l'eau de la source Tadamoute est moyenne. Elle est due souvent aux teneurs en chlorures mais surtout aux teneurs élevées en calcium et en sulfates provenant du substrat calcaire caractéristique de la région.

Les teneurs en sulfate sont faibles à l'exception de la source de Tadamoute où les terrains traversés sont riches en soufre.

Les teneurs en orthophosphates sont faibles pour les trois sources, expliquées par l'absence de la pollution d'origine anthropique (engrais, détergent, etc).

Selon la dureté; Aït Aziz : moyennement douce à dure, Aït Alla : moyennement douce et Tadamoute : très dure.



II. Paramètres bactériologiques

Le tableau 4 représente les résultats de dénombrement des CT, CF, SF et FMAT pour les trois sources

Tableau 4: Concentrations des CT, CF, SF et FMAT des eaux de source.

Sources	Aït Aziz	Aït Alla	Tadamoute
Coliformes totaux (UFC/100ml)	0	300	51000
Coliformes fécaux (UFC/100ml)	0	0	0
Streptocoques fécaux (UFC/100ml)	0	0	0
FMAT (UFC/ml)	3.10^2	42.10^2	60.10^2

Ces résultats montrent que l'eau des trois sources a une concentration élevée en FMAT. L'eau de Tadamoute est la plus chargée en FMAT avec 60.10^2 UFC/ml suivie par l'eau d'Aït Alla avec 42.10^2 UFC/ml. L'eau d'Aït Aziz est la moins chargée avec 3.10^2 UFC/ml.

On observe des concentrations élevées en coliformes totaux 51000UFC/100ml au niveau de la source Tadamoute, faibles de l'ordre de 300 UFC/100ml dans la source Aït Alla alors qu'elles sont absentes dans la source Aït Aziz.

Pour les coliformes fécaux et les Streptocoques fécaux sont absentes dans les trois sources.

Selon les normes marocaines relatives à la microbiologie de l'eau potable (Annexe 3), les données microbiologiques constatés nous on montré que :

La valeur de la FMAT est dépasse la norme au niveau des trois sources.



La valeur des CT conforme aux normes au niveau de la source Aït Aziz, par contre elle dépasse les normes au niveau d'Aït Alla et Tadamout.

La valeur des CF et SF conforme aux normes au niveau des trois sources.

Ces résultats peuvent être expliqués en partie par le fait que les CT et la FMAT sont très répandus dans le sol et la végétation. Bien entendu cette interprétation reste à confirmer par d'autres analyses.

Conclusion de l'étude bactériologique

L'eau potable ne doit contenir aucune trace de CF et de SF. La présence des CT dans l'eau potable n'indique généralement pas une contamination fécale, mais plutôt une dégradation de la qualité bactérienne de l'eau.

La présence de la FMAT dans l'eau des sources est normale, elle en relation avec les composantes abiotiques tels que le sédiment, l'air, la matière organique totale,....

En conclusion finale et selon les normes marocaines (Annexe 3), la consommation de l'eau de ces trois sources représente un danger sanitaire, le moindre des choses à dire qu'il est limité. Notons que ces sources sont toujours utilisées par les habitants de ces régions sans aucune épidémie déclarée. Cependant, il faut rester très vigilant et un traitement par chloration est nécessaire voir obligatoire pour les sources Aït Aziz et Tadamoute



III. Indice Biotique

1. Inventaire faunistique des trois sources prospectées

Durant les trois mois (du Mars à Mai), le suivi de la composition faunistique des trois sources, nous a permis de récolter 22 taxons qui sont regroupés dans la liste faunistique (Annexe 5).

2. Richesse taxonomique dans chaque source

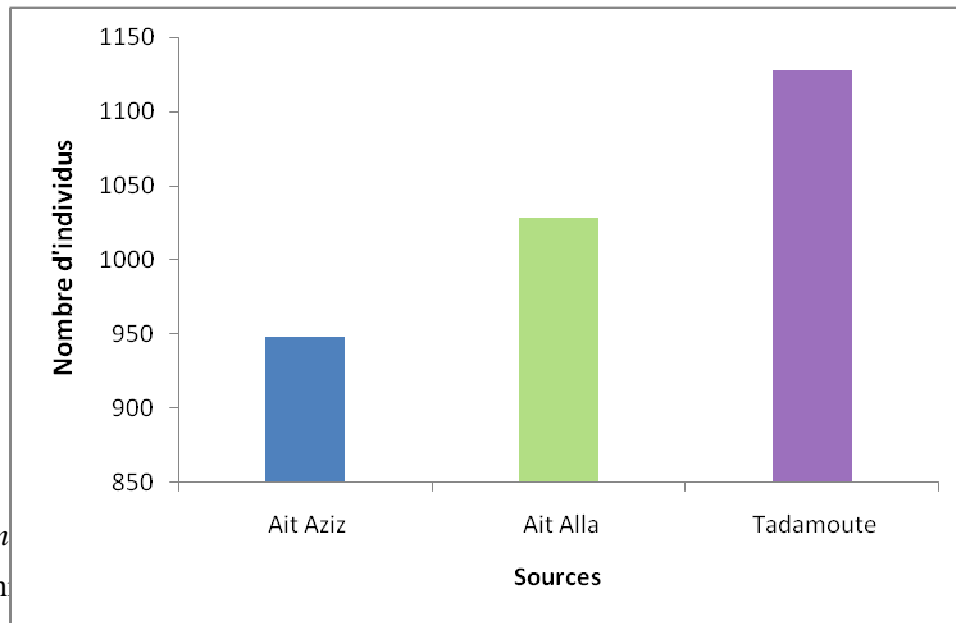
La richesse taxonomique au niveau de source Aït Aziz est relativement élevée 17 taxon, alors qu'elle est de 13 et 11 taxons au niveau de les sources Aït Alla et Tadamoute.



3. Abon L'abon cours de la période d'étude (Figure 21). Ainsi la source Tadamoute représente le plus grand effectif



récolté avec 1128 individus, suivie par Aït Alla 1028 individus et 948 individus au niveau de Aït Aziz.



4. Abon
Au n

ères sont les plus représentés avec respectivement 65% et 22% alors que les Mollusques représentent 7%, les Plécoptères et Trichoptères 2%.

Les Crustacés (Gammars) constituent le groupe le plus abondant au niveau de la source Aït Alla avec 88 %, suivie par les Mollusques avec 8 % et les Trichoptères 2 %.

Les Mollusques représentent 68 % du peuplement de la source Tadamoute, suivis par les Crustacés 29% et les Achètes 3%.

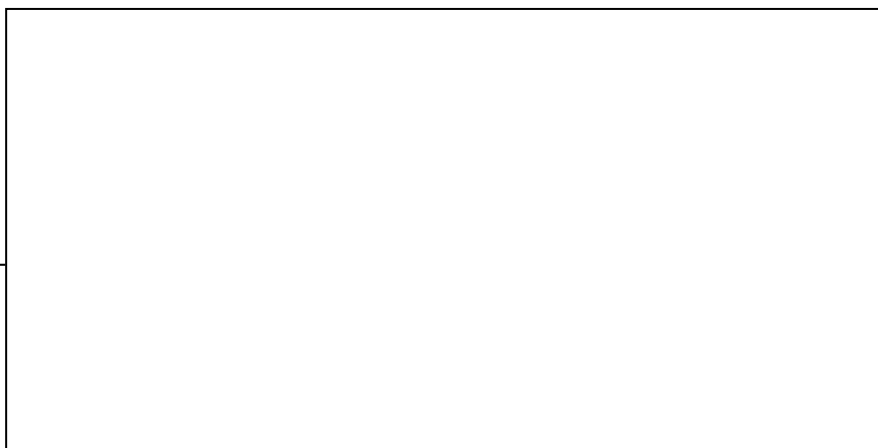




Figure 22 : Abondance relative des principaux groupes faunistiques des sources.

5. Notes de l'IBGN

Tableau 5: Les valeurs moyennes de l'I.B.G.N et la qualité biologique des sources étudiées.

Indices	Aït Aziz	Aït Alla	Tadamoute
Groupes indicateurs (GI)	9	6	2
Variété Taxonomique (VT)	17	13	11
IBGN	14	9	5
Couleur	vert	jaune	orange
Qualité Biologique	Bonne	Moyenne	Médiocre

Les résultats du tableau 5, montre une la valeur élevée de l'IBGN dans la source Aït Aziz (eau de bonne qualité) est s'expliquée par les grands nombre de groupes indicateurs et par la variété taxonomique importante. La source Aït Alla est classée parmi les eaux de moyenne qualité expliquée par une moyenne variété taxonomique. Par contre la source Tadamoute dont l'IBGN est



faible appartient à la classe médiocre. Cette faible valeur pourrait s'expliquer par des faibles valeurs des groupes indicateurs et de la variété taxonomique résultat de la dégradation de la qualité de l'eau dans cette source.

6. Conclusions de l'indice biotique

Les communautés des macroinvertébrés sont très sensibles à la variabilité environnementale. Par conséquent, la diversité des espèces présentes et leur abondance peut apporter des indications importantes sur la qualité du milieu aquatique.

La note de l'IBGN dépend du taxon dominant de chaque source ainsi que le taxon le plus sensible à la pollution. Donc les sources étudiées on peut les classer comme suite :

- Source Aït Aziz est de bonne qualité, le taxon dominant est représenté par les Crustacés (esp. *Gammarus gauthieri*) et les Ephéméroptères (F. *Heptageniidae*), le taxon le plus sensible les Plécoptères (F. *Taeniopterygidae*).
- Source Aït Alla est de moyenne qualité, le taxon dominant sont les Crustacés (esp. *Gammarus gauthieri*) alors que le taxon le plus sensible sont les Ephéméroptères (F. *Heptageniidae*).
- Source Tadamoute est de qualité médiocre, le taxon dominant sont les Mollusques (F. *Physidae*) et le taxon le plus sensible sont les Mollusques.

Les paramètres physico-chimiques ainsi que la nature de substrat, et la vitesse du courant influencent la répartition des macroinvertébrés.



Conclusion générale

L'étude physico-chimique a montré que l'eau de ses trois sources est conforme avec les directives et les normes de qualité pour les eaux de surface destinées à la production d'eau potable (Annexe 3). Donc l'étude physico-chimique de ces sources a montré la bonne qualité chimique de l'eau des trois sources Aït Aziz, Aït Alla et Tadamoute.

On peut classer ses sources (Annexe 4) :

- Selon la dureté : Aït Aziz moyennement douce à dure, Aït Alla moyennement douce et Tadamoute très dure.
- Selon la conductivité : Aït Aziz et Aït Alla d'excellente qualité de l'eau et de minéralisation moyenne alors que la source Tadamoute de bonne qualité de l'eau et de minéralisation moyenne accentuée.

La minéralisation de l'eau de la source Tadamoute est moyenne accentuée. Elle est due souvent aux teneurs en chlorures mais surtout aux teneurs élevées en calcium et en sulfates provenant du substrat calcaire caractéristique de la région.

Selon les normes marocaines relatives à la microbiologie de l'eau potable, la consommation de l'eau de ces trois sources peut représenter un danger sanitaire. Notons que ces sources sont toujours utilisées par les habitants de ces régions sans aucune épidémie déclarée. Cependant, il faut rester très vigilant et un traitement par chloration est nécessaire voir obligatoire pour les sources Aït Aziz et Tadamoute.

L'indice biotique IBGN dépend de la richesse spécifique qui elle-même liée à la diversité des habitats des sources. L'IBGN le plus élevé est obtenu dans la source Aït Aziz. Par ailleurs, les valeurs les plus faibles sont relevées dans les sources Aït Alla et Tadamoute. La diminution de cet indice biotique est causée par l'absence de nombre important des groupes faunistiques indicateurs.

La valeur de l'IBGN nous a permis de classer l'eau de ces trois sources comme suite : Aït Aziz est de bonne qualité, Aït Alla est de moyenne qualité et Tadamoute est de qualité médiocre.



Cet indice s'est avéré de bon traceur biologique de la qualité des eaux et d'indicateur de pollution même insidieuse. Il est donc très recommandé de généraliser leur utilisation pour permettre de compléter les analyses physicochimiques qui ont une signification ponctuelle.

Références Bibliographiques

- AFNOR, 1992.** Détermination de l'indice biologique global normalisé (I.B.G.N.) : 9 p.
- Agence de Bassin Hydraulique Moulouya, 2008.** Etude du PDAIRE du bassin de la Moulouya-sous mission I.2A : Ressources en eau souterraine ; volume A. INGEMA-SCET/SCOM.
- AZZAOUI S., 1999.** Les métaux lourds dans le bassin versant du Sebou ; Géochimie, sources de pollution et impact sur la qualité des eaux de surface. Thèse de Doctorat National, Université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc : 138p.
- BLIEFERT C. et PERRAUD R., 2001.** Chimie de l'environnement: Air, Eau, Sols, Déchets. Paris, Deboeck Université : 477 p.
- BONCHE P., 2002.** Le Nucléaire expliqué par des physiciens : 322 p.
- BREMOND R. et VUICHARD R., 1973.** Paramètres de la qualité des eaux, OSPEPE, Paris
- CHALON C., LEROY D., THOME J-P. & GOFFART A., 2006.** Les micropolluants dans les eaux de surface en Région wallonne : Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon. AQUAPOLE-Ulg. Liège : 137 p.
- CHAPOND G. & COLAS des FRANCS E. 1961.** Reconnaissance hydrogéologique du sillon Itzer-Enjil. Rapp. inéd., MTPC/DH/DRE, 8 pp., 1 carte géol. au 1/200 000, 1 coupe géol., diagr. log., 1 diagr. en losange.
- CHEVALLIER H., 2007.** L'eau un enjeu pour demain. Ed. Sang de la Terre, de l'Université de Nantes, Paris : 348 p.
- CLAUDE, F., CHRISTIANNE, F., PAUL M., JEAN, D., 1998.** Ecologie : Approche scientifique et pratique, 4^{ème} Edition, Lavoisier TEC and DOC, Paris.
- EL OUALI LALAMI A., MERZOUKI M., EL HILLALI O., MANIAR S., IBNSOUDA KORAICHI S., 2011.** Pollution des eaux de surface de la ville de FES au MAROC: Typologie, origine et conséquences.
- EZZAOUAQ M. 1991.** Caractérisation hydrodynamique, physico-chimique et bactériologique des eaux superficielles de l'estuaire du Bouregreg (Maroc) soumis aux rejets des villes de Rabat-Salé. Thèse D.E.S. Fac. Sci. Rabat : 140 p.
- FACTS G., 2008.** Ressources en eau 'Résumé du deuxième Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau'.
- GENIN B., CHAUVIN C., MENARD F., 2003.** Cours d'eau et indices biologiques : pollution, méthodes, IBGN ; 2^{ème} édition : 221 p.



- HADÉ A., 2003.** Nos Lacs: Les Connaitre Pour Mieux les Protéger : 359 p
- HARLYE John P., KLEIN Donald A., PRESCOTT Lansing M., 2010.** Microbiologie, 3^{ème} édition : 1216 p.
- HEBERT S., LEGRE S., 2000.** Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec : 5 p.
- Institut National de Santé Publique du Québec, 2010.** Fiches Synthétiques sur l'Eau Potable et la Santé Humaine. Direction de la santé environnementale et de la toxicologie
- JEAN BAPTISTE G. et RABEL L., 1995.** Premier cours national post-graduate sur l'irrigation, le drainage et la gestion des ressources hydriques.
- KARROUCH L., CHAHLAOUI A., 2009.** Bio-évaluation de la qualité des eaux de l'oued (MEKNES, MAROC), Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences Meknès, Maroc. Biomatec Echo, Volume 3, Number 6 : pp. 6 – 17.
- LAOUINA A., 2010.** L'eau au Maroc. Université Mohammed V, Rabat.
- LEVEQUE C., 1996.** Écosystèmes aquatiques. Hachette, Paris : 159 p.
- MAKHOUKH M., SBAA M., BERRAHOU A., VAN. CLOOSTER M., 2011.** Contribution à l'Etude Physico-chimiques des Eaux Superficielles de l'Oued Moulouya (MAROC ORIENTAL). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 09, Décembre 2011 : pp. 149-169.
- MCNEELY J.A., 1988.** Economics and biological diversity: developing and using economic incentives to conserve biological resources, UICN, Gland, Suisse.
- MOISAN J., 2006.** Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec – Surveillance volontaire des cours d'eau peu profonds, Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN-13 : 82 p.
- MURPHY J. et RILEY J.P., 1962.** A modified single method for determination of phosphates in natural waters. Anal. Chim. Acta, 12:pp. 162 - 170.
- NALCO, 1983.** Manuel de l'eau, TEC- DOC – Lavoisier, Paris.
- NISBET M. et VERNEAUX J., 1970.** Composantes chimiques des eaux courantes. Discussion et proposition des classes en tant que base d'interprétation des analyses chimiques. Annales de limnologie. 6 (2): pp 161-190.
- Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD, Organisation for Economic Co-Operation and Development Staff , 2008.** La performance environnementale de l'agriculture dans les pays de l'OCDE depuis 1999 : 657 p.
- REDVET, 2009.** Effet d'une pollution thermique et d'une eutrophisation côtière sur la distribution du phytoplancton de la baie de Sousse, Tunisie. Revista electrónica de Veterinaria. ISSN: 1695-7504 Vol. 10, N° 9.
- RODIER J., BAZIN C., CHANBON P., BROUTIN J.P., CHAMPSAUR H., et RODI L., 1996.** L'analyse de l'eau ; eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} édition. Dunod, Paris : 1383p.



-
- SACCHI et TESTARD, 1971.** Écologie animale: organismes et milieu: 480 p
- SAINT-JACQUES N. et RICHARD Y., 1998.** « Développement d'un indice de qualité de la bande riveraine : application à la rivière Chaudière et mise en relation avec l'intégrité biotique du milieu aquatique », dans Ministère de l'Environnement et de la Faune (éd.), Le bassin de la rivière Chaudière : l'état de l'écosystème aquatique – 1996, Direction des écosystèmes aquatiques, Québec, Envirodoq no EN980022 : p. 6.1-6.41.
- SCHOELLER H., 1949.** La température des eaux souterraines : 187 p.
- TACHET H., 2000 :** Invertébrés d'eau douce : Systématique, biologie, écologie. CNRS édit, Paris : 588p.
- TACHET H., BOURNAUD M. & RICHOUX P., 1996.** Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces; systématiques élémentaires et aperçu écologique. Paris ; Bordas : 151p.
- TAZI SADEQ H., 2007.** Du droit de l'eau au droit à l'eau au Maroc et ailleurs : 473 p.
- THILL G. et EZIN J.P., 2002.** L'eau, patrimoine mondial commun: Co-expertise scientifique et participative et gouvernance : 303 p.
- VILAIN M., 1989.** La production végétale. Vol 2: la maîtrise de technique de la production. ED. Lavoisier (ed.J. Baillié).Paris- France.
- ZGHEIB S., 2009.** Flux et Sources des Polluants Prioritaires dans les Eaux Urbaines en lien avec l'Usage du Territoire. Thèse, L'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées : 359 p.



Annexes

Annexe 1 : Composition des milieux de culture

Tergitol 7 agar au TTC

- Peptone de viande5g
- Extrait de levure3g
- Lactose.....10g
- Haptadecylsulfate de sodium.....0.1g
- Bleu de bromothymol.....0.025g
- Agar.....12g
- Eau distillée.....1000 ml

m-Enterococcus

- Peptone de caséine15 g
- Extrait de levure5 g
- Peptone de soya5 g
- Glucose2 g
- Phosphate monopotassique.....4 g
- Azide de sodium.....0,4 g
- Chlorure de Triphenyltetrazolium (TTC).....0,1 g
- Gélose10g
- Eau distillée.....1000ml

Milieu LB

- Peptone.....10g
- Extrait de levure.....5g
- Chlorure de sodium.....10g
- Agar.....15g



-
- Eau distillée.....1000ml



Annexe 2 : Résultats des analyses physicochimiques des sources

Annexe 2-1 : résultats des analyses physicochimiques du mois Mars

Sources	Aït Aziz	Aït Alla	Tadamoute
Température (°C)	10.3	13.7	16.8
pH	7.41	7.34	7.30
Conductivité (µs/cm)	378	326	535
Oxygène dissous (mg/l)	7.04	6.88	5.92
Chlorures (mg/l)	49.7	42.6	95.85
Dureté totale (mg/l)	90.47	61.9	129.25
Dureté calcique (mg/l)	59.18	53.74	63.26
Dureté magnésique (mg/l)	31,3	8,16	65,98
TAC (mg/l)	175	102	177
Indice de Permanganate (mg/l)	2.13	2.48	1.77
Sulfates (mg/l)	12.3	12.1	54.6
Orthophosphates (mg/l)	< à 0.001	< à 0.001	< à 0.001



Annexe 2-2 : résultats des analyses physicochimiques du mois Avril

Sources	Aït Aziz	Aït Alla	Tadamoute
Température (°C)	10.5	13.3	16.3
pH	7.58	7.34	7.53
Conductivité (µs/cm)	334	313	521
Oxygène dissous (mg/l)	7.76	7.28	6.4
Chlorures (mg/l)	39.05	24.85	81.65
Dureté totale (mg/l)	127.21	93.87	186.39
Dureté calcique (mg/l)	89.11	85.03	89.11
Dureté magnésique (mg/l)	38,1	8,84	97,27
TAC (mg/l)	254	164	270
Indice de Permanganate (mg/l)	0.44	0.22	0.88
Sulfates (mg/l)	14.25	18.4	124.8
Orthophosphates (mg/l)	< à 0.001	< à 0.001	< à 0.001



Annexe 2-3: résultats des analyses physicochimiques du mois Mai

Sources	Aït Aziz	Aït Alla	Tadamoute
Température (°C)	10.6	13.9	16.5
pH	7.23	7.67	7.48
Conductivité (µs/cm)	214	210	492
Oxygène dissous (mg/l)	8.16	8.06	6.64
Chlorures (mg/l)	53.25	31.95	99.4
Dureté totale (mg/l)	132.65	93.2	202.04
Dureté calcique (mg/l)	85.7	84.35	105.44
Dureté magnésique (mg/l)	46,94	8,84	96,59
TAC (mg/l)	331	198	350
Indice de Permanganate (mg/l)	2.58	1.17	0.23
Sulfates (mg/l)	11.2	10.14	135.7
Orthophosphates (mg/l)	< à 0.001	< à 0.001	< à 0.001



Annexe 3 : Les normes de l'eau potable

Normes marocaines 03.7.001 version 1991 de l'eau potable

Paramètres physico-chimiques

PARAMETRES	EXPRESSION DES RESULTATS	VMA	COMMENTAIRES
Odeur	Seuil de perception à 25°C	3	
Saveur	Seuil de perception à 25°C	3	
Couleur réelle	Unité Pt mg/1	20	
Turbidité	Unité de turbidité néphélométrique (NTU)	5	Turbidité médiane ≤ 1 NTU et Turbidité de l'échantillon ≤ 5 NTU.
Température	°C	Acceptable	
Potentiel hydrogène	Unités pH	$6,5 < \text{pH} < 8,5$	Pour que la désinfection de l'eau par le chlore soit efficace, le pH doit être de préférence < 8
Conductivité	$\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C	2700	
Chlorures	Cl:mg/1	750	
Sulfates	SO4:mg/1	400	
Oxygène dissous	O ₂ :mg O ₂ /1	$5 \leq \text{O}_2 \leq 8$	
Aluminium	Al : mg/1	0,2	
Ammonium	NH ₄ : mg/1	0,5	
Oxydabilité au KMNO ₄	O ₂ : mg O ₂ /1	5	La valeur de 2 mg O ₂ /1 doit être respectée au départ des installations de traitement

Paramètres bactériologiques

Coliformes	0/100 mL	- Pas de coliformes dans 95% des échantillons prélevés sur une période de 12 mois - Pas de résultats positifs dans deux échantillons consécutifs
Spores de micro-organismes anaérobies sulfite-réducteurs (clostridia)	0/100 mL	Ce paramètre doit être mesuré lorsque l'eau est d'origine superficielle ou influencée par une eau d'origine superficielle.
Micro-organismes revivifiables à 22 °C et 37 °C	20/1 mL à 37°C 100/1 mL à 22°C	Variation dans un rapport de 10 par rapport à la valeur habituelle



Normes de l'eau potable selon la directive de l'OMS 2002

Paramètres physico-chimiques

Eléments	Valeurs indicatives en mg/l
Cuivre.....	1 mg/l
Cyanures.....	0,07 mg/l
Fluorures.....	1,5 mg/l
Manganèse.....	0,1 mg/l
Mercure.....	0,001 mg/l
Nitrates.....	50 mg/l
Nitrites.....	3 mg/l
Ammoniac.....	15 mg/l
Plomb.....	0,01 mg/l
Chlore.....	5 mg/l
Couleur.....	15 UCV (unité de couleur vraie)
Turbidité.....	5 UTN (unité de turbidité néphélogéométrie)
Aluminium.....	0,2 mg/l
Chlorure.....	250 mg/l
Dureté.....	-
Fer.....	0,3 mg/l
pH.....	6,5 – 8,5
Sodium.....	200 mg/l
Sulfates.....	250 mg/l
Solides totaux en solution.....	1000 mg/l
Zinc.....	3mg/l



Annexe 4 : Qualité de l'eau en fonction de la dureté et la conductivité

- ✓ Qualité de l'eau en fonction de la dureté (BREMONT R. et VUICHARD R., 1973)

Dureté (mg/l CaCO ₃)	Qualification de l'eau
0-30	Très douce
31-60	Douce
61-120	Moyennement douce
121-180	Dure
>180	Très dure

- ✓ Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique (NALCO, 1983)

Conductivité électrique (µs/cm)	Qualité de l'eau
50 à 400	excellente
400 à 750	bonne qualité
750 à 1500	médiocre mais eau utilisable
> à 1500	minéralisation excessive

- ✓ Relation entre la minéralisation et la conductivité électrique (RODIER J., 1984)

Conductivité électrique	Taux de minéralisation
CE < 100 µs /cm	minéralisation très faible
100 < C.E < 200 µs /cm	minéralisation faible
200 < C.E < 333 µs / cm	minéralisation moyenne
333 < C.E < 666 µs / cm	Minéralisation moyenne accentue
666 < C.E < 1000 µs/ cm	Minéralisation importante



C.E > 1000 μ s/cm	Minéralisation élevée
-----------------------	-----------------------

Annexe 5: liste faunistique des trois sources étudiées

Nbr d'indiv /prélév	Source Ait Aziz			Source Ait Alla			Source Tadamoute		
	M	A	M	M	A	M	M	A	M
O. Plécoptères									
sO. Flialpia									
F. Taeniopterygidae	6		3						
F. Nemouridae	5	4							
O. Trichoptères									
F. Sericostomatidae	2								
F. Limnephilidae									
sF. Limnephilinae	6	2	2	4	3	7			
F. Philopotamidae		3							
O. Ephéméroptères									
F. Heptageniidae									
g. Heptagenia	60	15	134	4					
O. Odonates									
sO. Zygoptères									
F. Calopterygidae							3		
O. Coléoptères									
F. Elmidae									
g. Elmis	1	2	2						
F. Hydrophilidae						2			
F. Dryopidae		4							
E. Mollusques									
CL. Gastéropodes									
sCL. Prosobranche									
F. Bithyniidae									
g. Bithynia	5	5		1	4		1		
F. Valvatidae									
g. valvata			2						
F. Melanoidae							20	14	21
sCL. Pulmonés									
F. Planorbidae	2		1	5	3	9	21	4	11
F. Ancyliidae									
g. Ancyclus	1	4	3						
F. Physidae							296	112	415
CL. Bivalves									



F. Unionidae									
g. Unio	27	5	15	36	7	17			6
CL. Crustacés									
O. Amphipodes									
F. Gammaridae									
g. Gammarus									
esp. gauthieri	240	52	323	351	143	413	60	64	55
O. Héteroptères									
F. Nepidae							1		1
O. Diptères									
sO.Nématocères									
F. Chironomidae	2					1			2
F. Ceratopogonidae									
g. Dasyhelea	2								
CL. Achètes									
F. Hirudidae	2	3	3	8	4	1	6	1	10



Annexe 6 : Répertoire des organismes retenu (138 taxons) pour le calcul de l'IBGN

INSECTES PLÉCOPTÈRES <u>Capniidae</u> <u>Chloroperlidae</u> <u>Leuctridae</u> <u>Nemouridae</u> <u>Perlidae</u> <u>Perlodidae</u> <u>Taeniopterygidae</u> TRICHOPTÈRES <u>Beraeidae</u> <u>Brachycentridae</u> <u>Ecnomidae</u> <u>Glossosomatidae</u> <u>Goeridae</u> <u>Helicopsychidae</u> <u>Hydropsychidae</u> <u>Hydroptilidae</u> <u>Lepidostomatidae</u> <u>Leptoceridae</u> <u>Limnophilidae</u> <u>Molannidae</u> <u>Odontoceridae</u> <u>Philopotamidae</u> <u>Phryganeidae</u> <u>Polycentropodidae</u> <u>Psychomyidae</u> <u>Rhyacophilidae</u> <u>Sericostomatidae</u> <u>Thremmatidae</u> ÉPHÉMÉROPTÈRES <u>Baetidae</u> <u>Caenidae</u> <u>Ephemerellidae</u> <u>Ephemeridae</u> <u>Heptageniidae</u> <u>Leptophlebiidae</u> <u>Oligoneuriidae</u> <u>Polymitarcidae</u> <u>Potamanthidae</u> <u>Prosopistomatidae</u> <u>Siphonuridae</u>	HÉTÉROPTÈRES <u>Aphelocheiridae</u> <u>Corixidae</u> <u>Gerridae</u> <u>Hebridae</u> <u>Hydrometridae</u> <u>Naucoridae</u> <u>Nepidae</u> <u>Notonectidae</u> <u>Mesoveliidae</u> <u>Pleidae</u> <u>Veliidae</u> COLÉOPTÈRES <u>Curculionidae</u> <u>Donaciidae</u> <u>Dryopidae</u> <u>Dytiscidae</u> <u>Eubriidae</u> <u>Elmidae</u> <u>Gyrinidae</u> <u>Haliplidae</u> <u>Helodidae</u> <u>Helophoridae</u> <u>Hydraenidae</u> <u>Hydrochidae</u> <u>Hydrophilidae</u> <u>Hydroscaphidae</u> <u>Hygrobiidae</u> <u>Limnebiidae</u> <u>Spercheidae</u> DIPTÈRES <u>Anthomyidae</u> <u>Athericidae</u> <u>Blephariceridae</u> <u>Ceratopogonidae</u> <u>Chaoboridae</u> <u>Chironomidae</u> <u>Culicidae</u> <u>Dixidae</u> <u>Dolichopodidae</u> <u>Empididae</u> <u>Ephydriidae</u> <u>Limoniidae</u> <u>Psychodidae</u>	<u>Ptychopteridae</u> <u>Rhagionidae</u> Scatophagidae <u>Sciomyzidae</u> <u>Simuliidae</u> <u>Stratiomyidae</u> <u>Syrphidae</u> <u>Tabanidae</u> <u>Thaumaleidae</u> <u>Tipulidae</u> ODONATES <u>Aeschnidae</u> <u>Calopterygidae</u> <u>Coenagrionidae</u> <u>Cordulegasteridae</u> <u>Corduliidae</u> <u>Gomphidae</u> <u>Lestidae</u> <u>Libellulidae</u> <u>Platycnemididae</u> MÉGALOPTÈRES <u>Sialidae</u> PLANIPENNES <u>Osmylidae</u> <u>Sysyridae</u> HYMÉNOPTÈRES LÉPIDOPTÈRES <u>Pyrilidae</u> CRUSTACÉS BRANCHIOPODES AMPHIPODES <u>Gammaridae</u> ISOPODES <u>Asellidae</u> DÉCAPODES <u>Astacidae</u> <u>Atyidae</u> <u>Grapsidae</u> <u>Cambaridae</u>	MOLLUSQUES BIVALVES <u>Corbiculidae</u> <u>Dreissenidae</u> <u>Sphaeriidae</u> <u>Unionidae</u> GASTÉROPODES <u>Ancylidae</u> <u>Bithynidae</u> <u>Bythinellidae</u> <u>Hydrobiidae</u> <u>Limnaeidae</u> <u>Neritidae</u> <u>Physidae</u> <u>Planorbidae</u> <u>Valvatidae</u> <u>Viviparidae</u> VERS PLATHELMINTHES TRICLADES <u>Dendrocoelidae</u> <u>Dugesiidae</u> <u>Planariidae</u> NÉMATHELMINTHES ANNÉLIDES ACHÈTES <u>Erpobdellidae</u> <u>Glossiphoniidae</u> <u>Hirudidae</u> <u>Piscicolidae</u> OLIGOCHÈTES HYDRACARIENS HYDROZOAIRENS SPONGIAIRES BRYOZOAIRENS NÉMERTIENS
--	--	---	---



Annexe 7: Valeurs de l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique de la macrofaune

Classe de variété		14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Taxons	Zt Gl	>	49	44	40	36	32	28	24	20	16	12	9	6	3
		50	45	41	37	33	29	25	21	17	13	10	7	4	1
<i>Chloroperlidae</i> <i>Perlidae</i> <i>Periodidae</i> <i>Taeniopterygidae</i>	9	20	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
<i>Capniidae</i> <i>Brachycentridae</i> <i>Odontoceridae</i> <i>Philopotamidae</i>	8	20	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
<i>Leuctridae</i> <i>Glossosomatidae</i> <i>Beraeidae</i> <i>Goeridae</i> <i>Leptophlebiidae</i>	7	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7
<i>Nemouridae</i> <i>Lepidostomatidae</i> <i>Sericostomatidae</i> <i>Ephemeridae</i>	6	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
<i>Hydroptilidae</i> <i>Heptageniidae</i> <i>Polymitarcidae</i> <i>Potamantidae</i>	5	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
<i>Leptoceridae</i> <i>Polycentropodidae</i> <i>Psychomyidae</i> <i>Rhyacophilidae</i>	4	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4
<i>Limnephilidae</i> ¹⁾ <i>Hydropsychidae</i> ¹⁾ <i>Ephemerellidae</i> ¹⁾ <i>Aphelocheiridae</i>	3	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
<i>Baetidae</i> ¹⁾ <i>Caenidae</i> ¹⁾ <i>Elmidae</i> ¹⁾ <i>Gammaridae</i> ¹⁾ <i>Mollusques</i>	2	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2
<i>Chironomidae</i> ¹⁾ <i>Aesellidae</i> ¹⁾ <i>Achétes</i> <i>Oligochètes</i> ¹⁾	1	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

¹⁾ Taxons représentés par au moins 10 individus — Les autres par au moins 3 individus.



Grille de détermination d'un indice biotique

NATURE DES GROUPES FAUNISTIQUES classés par ordre de sensibilité décroissante à la pollution		NOMBRE D'UNITES SYSTEMATIQUES DANS L'ECHANTILLON					Classe dequalité		
		Pour le groupe le plus sensible	NOMBRE TOTAL						
			1	2-5	6-10	11-15		16 et plus	
VALEUR DE L'INDICE									
A	PLÉCOPTÈRES OU ECDYONURIDAE		1	7	8	9	10	1A	
			11	1	5	6	7		8
B	TRICHOPTÈRES A FOURREUX		1	6	7	8	9		1B
			21	1	5	5	6		
C	ANCYLIDAE - ÉPHÉMÉROPTÈRES (SAUF ECDYONURIDAE)		2	5	6	7	8	2	
			31	2	3	4	5		
D	APHÉLOCHEIRUS OU ODNATES OU GAMMARIDAE OU MOLLUSQUES (SAUF SPHAERIDAE OU ANCYLIDAE)		3	4	5	6	7		3
			40	2	3	4	5		
E	ASELLUS OU HIRUDINAE OU SPHAERIDAE OU HÉMIPTÈRES (SAUF APHELOCHEIRUS)		2	3	4	5		4	
			50	1	2	3			
F	TUBIFICIDAE OU CHIRONOMIDAE du groupe Thumniplumosus		1	2	3				Hors classe
			60	0	1	1			
G	ERISTALINAE		0	1	1			Hors classe	
			70						

pour tous les efforts qu'elle a déployés envers moi et pour sa gentillesse.



Je tiens à remercier Monsieur le Délégué de l'Agence du Bassin Hydraulique Moulouya de MIDELT de m'avoir donné les informations nécessaires pour la rédaction de ce projet.

Mes sincères remerciements à Madame Amal AZZOUZI, à Madame Naima EL GHACHTOULI et à Monsieur Hassan EL HARCHLI de leur disponibilité, de leur aide au laboratoire et de leur gentillesse.

Mes remerciements et ma reconnaissance vont à tous les membres du jury de ce rapport : Madame Naima EL GHACHTOULI, Amal AZZOUZI et Monsieur Saad RACHIQ.

Ce manuscrit est le fruit d'un travail collectif avec plusieurs collaborations. Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à sa réalisation.

Sommaire

[Dédicace](#)

[Remerciement](#)

[Liste des Figures](#)

[Liste des Tableaux](#)

[Liste des Annexes](#)

[Liste des Abréviations](#)

Résumé

Introduction 3

Chapitre I : Etude Bibliographique

I-	Pollution des eaux	5
1.	Différents types de pollution	6
1.1	. Pollution domestique	6
1.2	. Pollution agricole	6
1.3	. Pollution industrielle	7



2.	Principaux types de polluants et leur toxicité.....	7
2.1.	Polluants chimiques.....	7
a.	Nitrates.....	7
b.	Phosphates	8
c.	Sulfates et chlorures	8
d.	Micropolluants	8
2.2.	Polluants physiques	10
a.	Thermique	10
b.	Pollution radioactive.....	11
2.3.	Polluants biologiques.....	11
2.4.	Maladie hydriques.....	11
II-	Eau de source.....	13
1.	Définition de la source	14
2.	Classification des sources	14
3.	Surveillance biologique des eaux de sources.....	15
3.1.	Définition et principe	15
3.2.	Macroinvertébrés benthiques en tant qu'indicateurs.....	15

Chapitre II : Présentation Générale de la Zone d'Etude

I.	Bassin de la Haute Moulouya	17
1.	Cadre géographique.....	17
2.	Cadre géologique.....	17
3.	Cadre climatique.....	20
4.	Cadre hydrographique et hydrologique	20
II.	La commune rurale de Tanourdi	21
1.	Situation de la commune.....	21
2.	Présentation de la commune	22
2.1.	Potentialités des ressources en eau	22
2.2.	Les eaux de surface.....	22
2.3.	Les eaux souterraines	22
3.	Mobilisation et utilisation des ressources en eau	23



4. Qualité des ressources en eau	23
--	----

Chapitre III : Matériel et Méthodes

I. Situation et caractéristiques des sources étudiées	24
II. Analyses physico-chimiques de l'eau.....	26
1. Température (T).....	27
2. Potentiel Hydrogène (pH)	27
3. Conductivité	27
4. Alcalinité	27
5. Dureté ou titre hydrotimétrique (TH)	27
5.1. Dureté totale.....	28
5.2. Dureté calcique	28
6. Chlorures (Mohr)	28
7. Oxydabilité au KMnO ₄	28
8. Oxygène dissous (WINKLER)	28
9. Orthophosphates.....	28
10. Sulfates.....	29
III. Analyses bactériologiques	30
1. Germes recherchés	30
2. Méthode de la Membrane Filtrante	30
3. Germes test de contamination fécale.....	31
IV. Indice Biotique.....	31
1. Techniques et matériels de prélèvement.....	32
1.1. Outil de prélèvement.....	32
1.2. Traitement du matériel biologique et diagnose	32
2. Calcul de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN)	32
3. Richesse taxonomique	34
4. Abondance relative	34

Chapitre IV : Résultats et discussions

I. Paramètres Physico-chimiques	35
1. Température	35



2. pH.....	36
3. Conductivité	36
4. Oxygène dissous	37
5. Chlorures.....	38
6. Dureté calcique et magnésienne	39
7. Dureté totale	40
8. Alcalinité	41
9. Oxydabilité au permanganate	42
10. Sulfates.....	43
11. Orthophosphates	44
II. Paramètres bactériologiques.....	46
III. Indice Biotique.....	48
1. Inventaire faunistique des trois sources prospectées	48
2. Richesse taxonomique dans chaque source	48
3. Abondance absolue au niveau de chaque source	48
4. Abondance relative des taxons	49
5. Notes de l'IBGN	50
6. Conclusions de l'indice biotique	51
Conclusion générale.....	52
Références Bibliographiques	53
Annexes	56



Liste des Figures

Figure 1 : Haute Moulouya et sillon d'Itzer, plan de situation et schéma géologique. Principaux périmètres irrigués : 1. Arhbalou-n'Serdane ; 2. Boumia ; 3. oued Ansegmir ; 4. Midelt ; 5. Enjil	19
Figure 2: Carte régionale du réseau de talwegs extrait manuellement à partir des cartes topographiques 1 : 100 000 de Midelt, Ksabi, Immouzer de Mermoucha et Boulmane.	21
Figure 3 : Localisation géographique des sites de prélèvement.....	25
Figure 4 : Source Aït Aziz	25
Figure 5 : Source Aït Alla	25
Figure 6 : Source Tadamoute	26
Figure 7 : Appareil de filtration utilisé pour les analyses bactériologiques.....	31
Figure 8 : Echantillonneur de type « Surber ».	32
Figure 9: Evolution de la température de l'eau des sources étudiées.	35
Figure 10: Evolution de pH de l'eau des sources étudiées.	36
Figure 11: Evolution de la conductivité de l'eau des sources étudiées.....	37
Figure 12: Evolution de l'oxygène dissous de l'eau des sources étudiées.....	38
Figure 13: Evolution des chlorures de l'eau des sources étudiées.....	39
Figure 14: Evolution de la dureté calcique de l'eau des sources étudiées.	40
Figure 15: Evolution de la dureté magnésienne de l'eau des sources étudiées.....	40
Figure 16: Evolution de la dureté totale de l'eau des sources étudiées.....	41
Figure 17: Evolution de TAC de l'eau des sources étudiées.	42
Figure 18: Evolution de l'oxydabilité au $KMnO_4$ de l'eau des sources étudiées.....	43
Figure 19: Evolution des sulfates de l'eau des sources étudiées.....	44
Figure 20 : Richesse taxonomique dans chaque source au cours de la période d'étude.....	48
Figure 21 : Abondance absolue au niveau de chaque source.....	49
Figure 22 : Abondance relative des principaux groupes faunistiques des sources.	50



Liste des Tableaux

Tableau 1 : Principaux types de pollution des eaux continentales, nature de produits polluants et leurs origines (LEVEQUE, 1996).....	13
Tableau 2: Paramètres mesurés et méthodes d'analyse utilisées	29
Tableau 3: Les valeurs de l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN) selon Afnor, 1992.33	
Tableau 4: Concentrations des CT, CF, SF et FMAT des eaux de source.....	46
Tableau 5: Les valeurs moyennes de l'I.B.G.N et la qualité biologique des sources étudiées.	50



Liste des Annexes

Annexe 1 : Composition des milieux de culture	56
Annexe 2 : Résultats des analyses physicochimiques des sources	58
Annexe 3 : Les normes de l'eau potable	61
Annexe 4 : Qualité de l'eau en fonction de la dureté et la conductivité	63
Annexe 5: liste faunistique des trois sources étudiées	64
Annexe 6 : Répertoire des organismes retenus (138 taxons) pour le calcul de l'IBGN.....	66
Annexe 7: Valeurs de l'IBGN selon la nature et la variété taxonomique de la macrofaune ...	67



Liste des Abréviations

ABHM	: Agence du Bassin Hydraulique Moulouya
N°IRE	: Numéro respectif d'inventaire des ressources en eau
S1	: Source Aït Aziz
S2	: Source Aït Alla
S3	: Source Tadamoute
M	: Mars
A	: Avril
M	: Mai
E	: Est
O	: Ouest
N	: Nord
S	: Sud
CF	: Coliformes Fécaux
SF	: Streptocoques Fécaux
CT	: Coliformes Totaux
FMAT	: Flore Mésophile Aérobie Totale
UFC	: Unité Formant colonie
E. Coli	: Escherichia coli
IBGN	: Indice biologique général normalisé
pH	: Potentiel d'Hydrogène
TAC	: Titre Alcalin Complet
TH	: Titre Hydrotimétrique
KMnO₄	: Permanganate de potassium
EDTA	: Acide Ethylène Diamine Tétracétique
µs/cm	: Microsiemens par centimètre
Fig	: Figure
Tab	: Tableau