

## Evaluations de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface de trois sous bassins de Tensift

**Auteur** : Mimouni, Yassine

**Promoteur(s)** : Deliege, Jean-Francois

**Faculté** : Faculté des Sciences

**Diplôme** : Master en sciences et gestion de l'environnement

**Année académique** : 2019-2020

**URI/URL** : <http://hdl.handle.net/2268.2/10128>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

ULiège - Faculté des Sciences –  
Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

**EVALUATIONS DE LA QUALITÉ  
PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE  
DES EAUX DE SURFACE DE TROIS SOUS  
BASSINS DE TENSIFT**

*Présenté par : MIMOUNI Yassine*

**MEMOIRE PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER EN SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT**

**ANNÉE ACADEMIQUE 2019-2020**

**REDIGE SOUS LA DIRECTION DU DR. JEAN-FRANÇOIS DELIEGE**

**COMITE DE LECTURE :**

**Dr. FRANCIS ROSILLON**

**Dr. KADIDJA SOSSEY**

**©Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique\* de l'Université de Liège.**

\* L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'ULiège

*Le présent document n'engage que son auteur*

MIMOUNI YASSINE

E-mail : [mimouni92yassin@gmail.com](mailto:mimouni92yassin@gmail.com)

## **REMERCIEMENTS**

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à : Monsieur J-F DELIEGE qui a accepté de m'encadrer et m'accorder son précieux temps dans la réalisation de ce travail, et pour son énorme soutien, qu'il n'a cessé de me prodiguer tout au long de la période du mémoire.

A monsieur Abdelillah BOURIQI pour le temps qu'il a consacré et pour les précieuses informations qu'il m'a prodiguées.

J'adresse aussi mes vifs remerciements aux membres des jurys pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail.

## Résumé

Les ressources hydrauliques dans le bassin de Tensift sont soumises à des intenses pressions anthropiques qui détériorent la qualité de l'eau, en plus, le Tensift est caractérisé par une pénurie d'eau due à son climat aride et ses précipitations irrégulières. Cette situation préoccupante, exige la réalisation d'études afin de mettre en place une gestion intégrée et durable des ressources en eau.

Cette étude représente un diagnostic de la qualité des eaux superficielles au niveau de trois sous-bassins de Tensift (Rhéraya, Ourika et Zat), ce travail a été réalisée par l'analyse des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de 11 stations de suivi situé au sein du bassin. La détermination de la qualité globale des eaux est effectuée par le calcul de l'indice pondéré, basé sur la grille marocaine, fixant les seuils de la qualité des eaux superficielles. En plus, et afin de comparer les deux systèmes d'évaluation, une analyse de la qualité de l'eau par le système de la qualité SEQ-Eau a été réaliser.

Les résultats obtenus en utilisant la grille marocaine de l'évaluation ont montrées que la qualité des eaux dans la zone d'étude est généralement moyenne à très mauvaise. L'altération des eaux est liée essentiellement au micro-organisme, au phosphate et au nitrite, révèle une pollution de type domestique et agricole.

## Abstrat

The hydraulic resources in the Tensift basin are subject to extreme anthropogenic pressures which deteriorate the quality of the water, in addition, the Tensift is characterized by a scarcity of water due to the arid climate and the irregular rainfall. This worrying situation requires the réalisation of studies to put in place an integrated and sustainable management of water resources.

This study represents a diagnosis of the quality of surface water at the level of three Tensift sub-basins (Rhéraya, Ourika and Zat), this work was made by analyzing the physicochemical and bacteriological parameters of 11 monitorings stations located in the basin. the determination of the overall water quality is réalizad by calculating the weighted index, based on the Moroccan grid, setting the thresholds for the quality of surface water. In addition, and in order to compare the two assessment systems, an analysis of the water quality by the SEQ-Eau quality system was achieved.

The results obtained using the Moroccan assessment grid showed that the quality of water in the study area is generally average to very poor quality. The deterioration of water is mainly linked to the microorganism, phosphate and nitrite, revealing domestic and agricultural pollution.

# Table des matières

**RESUME**

**ABSTRACT**

**RESSOURCE HYDRIQUE DU MAROC**.....1

**INTRODUCTION GENERALE**.....3

## **CHAPITRE I. PRESENTATION DU CADRE GENERAL**

I. Bassin versant de Tensift.....5

I.1. Situation géographique.....5

I.2. Cadre climatologique.....7

I.3. occupations du sol.....9

I.4. Cadre géologique.....9

I.5. Ressources en eau.....10

II. Présentation de la zone d'étude .....13

II.1. Présentation du bassin de Rhéraya.....13

II.2. Présentation du bassin d'Ourika.....17

II.3. Présentation du bassin de Zat.....21

## **CHAPITRE 2. METHODOLOGIE**

I. Réseau de suivi de la qualité des eaux.....25

II. La balance ionique .....26

III. Avantage et inconvénient d'utilisation des analyses physico-chimique.....29

IV. Types de mesures .....29

V. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau .....30

## **CHAPITRE 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS**

I. Minéralisation .....35

II. Évaluation de la qualité des eaux par l'indice pondéré global des différentes altérations...37

III. Cartographie des résultats .....46

IV. Discussions et interprétation.....48

V. Analyse en composante principale (ACP).....49

VI. Système d'évaluation de la qualité des cours d'eau SEQ-EAU.....54

**CONCLUSION** .....59

**BIBLIOGRAPHIE**.....60

**ANNEXES** .....63

## Liste des figures et tables

Figure 1 : Répartition géographique de la pluviométrie (Bouaicha, et al, 2010).....	1
Figure 2 : Représentation du stress hydrique dans le monde .....	2
Figure 3 : Carte de localisation du bassin versant de Tensift .....	6
Figure 4 : Carte des altitudes du bassin versant de Tensift .....	7
Figure 5 : Carte géologique simplifiée du bassin versant de Tensift.....	10
Figure 6 : Réseaux hydrographiques du bassin versant de Tensift .....	12
Figure 7 : carte de localisation des nappes souterrains dans le bassin de Tensift.....	13
Figure 8 : carte de localisation du sous bassin de Réghaya .....	14
Figure 9 : carte géologique du sous bassin Réghaya extraite de la carte géologique du Maroc au 1/1000000.....	15
Figure 10 : variations des précipitations annuelles au niveau de la station de Tahanaout entre 1971et 2015 .....	16
Figure 11 : variation des débits moyens mensuels interannuels à l'exutoire du bassin de la Rhéraya .....	16
Figure 12 : carte de localisation du sous bassin versant d'Ourika .....	18
Figure 13 :_carte géologique du sous bassin Réghaya extraite de la carte géologique du Maroc au 1/1 000 000.....	19
Figure 14 : variations des précipitations annuelles au niveau de la station de Tahanaout entre 1970 et 2013 .....	19
Figure 15 : variation des débits moyens mensuels interannuels à l'exutoire du bassin d'Ourika.....	20
Figure 16 : Carte de localisation du sous bassin versant de Zat.....	21
Figure 17 : carte géologique du sous bassin Zat extarite de la carte géologique du Maroc au 1/1000000.....	22
Figure 18 : répartition de la pluviométrie moyenne mensuelle et saisonnière à la station de Taferiate allant du 1983 à 2012 .....	23
Figure 19 : carte de localisation des stations d'échantillonnages dans la zone d'étude.....	33
Figure 20 : représentation de la minéralisation des stations par le diagramme de Schöeller- Berkaloff.....	35
Figure 21 : représentation de faciès des stations par les diagrammes de Piper et Stabler .....	36



Figure 22 : les températures d'eau enregistrée dans les stations durant la période allant de 2007 à 2017.....	38
Figure 23 : le pH de l'eau enregistrée dans les stations durant la période allant de 2007 à 2017.....	38
Figure 24 : l'indice pondéré globale calculé pour la station de Réghaya durant la période allant de 2007 à 2017.....	39
Figure 25 : l'indice pondéré globale calculé pour la station d'Ourika durant la période allant de 2007 à 2017S3 .....	41
Figure 26 : l'indice pondéré globale calculé pour la station de Zat durant la période allant de 2007 à 2017.....	43
Figure 27 : l'indice pondéré globale calculé pour la station d'Ait ourir durant la période allant de 2007 à 2017 .....	44
Figure 28 : l'indice pondéré globale calculé pour la station de Marrakech durant la période allant de 2007 à 2017 .....	45
Figure 29 : évolution dans l'espace de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux durant la période allant de 2007 à 2017.....	47
Figure 30 : représentation des variables sur le plan factoriel F1 et F2 .....	50
Figure 31: représentation des stations de prélèvement sur le plan factoriel F1 et F2.....	51
Figure 32 : représentation des variables sur le plan factoriel F1 et F2 .....	52
Figure 33: représentation des stations de prélèvement sur le plan factoriel F1 et F2.....	53
Figure 34: évolution dans l'espace de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface durant la période allant de 2007 à 2017 en fonction du SEQ-Eau .....	57
<hr/>	
Tableau 1 : Précipitation moyenne dans le bassin versant de Tensift.....	8
Tableau 2 : Extrait de la grille générale de la qualité physico-chimique utilisée pour la classification des eaux de surface.....	33
Tableau 3 : caractéristique des sources de pollution des eaux de surface au niveau de la zone d'étude.....	49
Tableau 4 : détermination de la classe pour les nitrates à partir des aptitudes à la biologie et aux usages .....	56
Tableau 5 : La différence des valeurs seuils d'ammonium entre le SEQ-Eau et la grille marocaine de l'évaluation de la qualité des eaux de surface.....	58

## Liste des abréviations

**ABHT** : Agence du bassin hydrographique de Tensift

**ACP** : Analyse en Composantes Principales

**BI** : Balance ionique

**GIEC** : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

**IP globale** : Indice pondéré globale

**ISO** : Organisation internationale de normalisation

**LPEE** : Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes

**NF** : Norme française

**S.E. Q-Eau** : Système d'Evaluation de la Qualité de l'eau

## Ressource hydrique du Maroc

Le Maroc est situé à l'extrémité Nord-Ouest de l'Afrique entre les 37° et 21° parallèles de latitude Nord et les 34° et 51° parallèles de latitude Sud., Il s'étend du détroit de Gibraltar jusqu'à pratiquement, aux confins sud du grand Sahara africain, il bénéficie de deux frontières maritimes, au nord la Méditerranée, à l'ouest l'océan Atlantique.

Le Maroc est doté à la fois d'un climat méditerranéen et atlantique, caractérisé par une saison sèche et chaude (de mai à septembre) et une saison froide (d'octobre à avril) ((Bouaicha & Benabdelfadel, 2019), son relief composé de hautes montagnes (Rif et Atlas) freinent les masses nuageuses atlantiques, ce qui crée des zones climatiques très différenciées au sein du pays. En effet, les zones littorales bénéficient d'un climat tempéré, alors que le climat est désertique dans le sud et l'est du pays. Ainsi, les précipitations moyennes annuelles se répartissent comme suit :

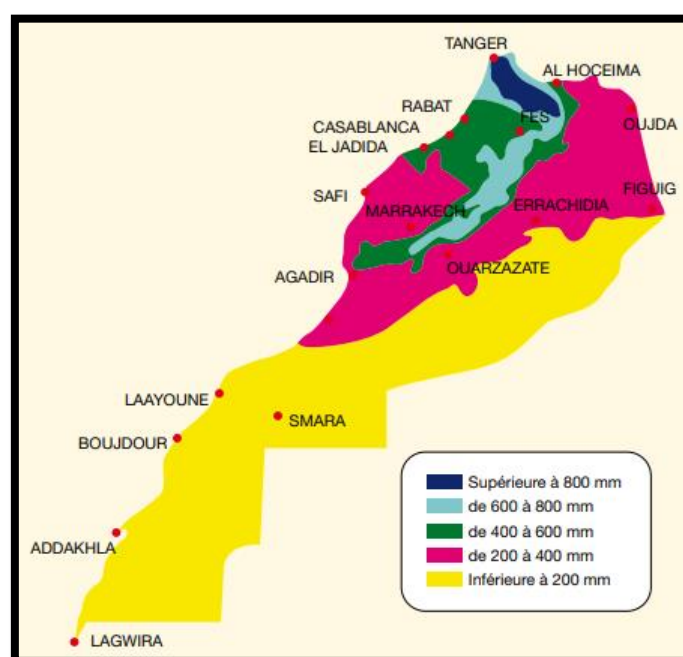


Figure 1 : Répartition géographique de la pluviométrie (Bouaicha, et al, 2010)

Les ressources en eau au Maroc dépendent essentiellement aux aléas climatiques et surtout aux précipitations, or les écoulements de surface représentent la majorité des ressources en eau mobilisable, de ce fait, le Maroc et depuis son indépendance a essayé de contrôler ses ressources en eaux superficielles par la construction d'une série d'aménagements hydrauliques (barrage, seuil, canaux...), ces derniers ont permis au pays d'avoir un potentiel hydrique de

l'ordre de 22 milliards de m<sup>3</sup>/an (L'Economiste », s. d.), soit l'équivalent de près 700 m<sup>3</sup>/habitant/an, inférieur au seuil de 1.000 m<sup>3</sup>/habitant/an (fig.2), communément admis comme seuil au-dessous duquel des pénuries et des crises latentes d'eau apparaissent.

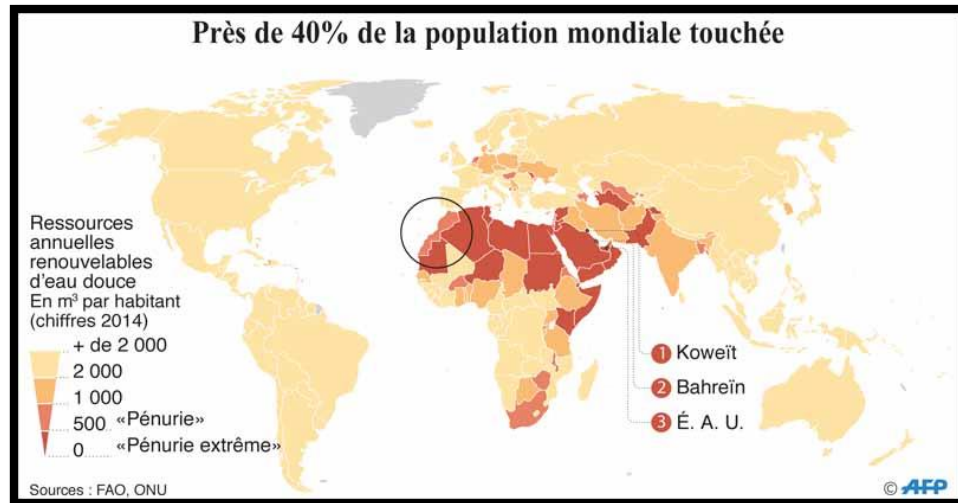


Figure 2 : Représentation du stress hydrique dans le monde

En réalité, le Maroc est fortement vulnérable à la sécheresse. La fréquence d'épisodes secs plus ou moins longs est une caractéristique dominante du régime des ressources en eau du pays, comme ce fut le cas durant les périodes 1956-1957, 1985-1989, 1994-1995, 1998-2000 et 2006-2007, auxquelles les apports annuels ont subi une baisse drastique atteignant des moyennes de 5 et 8 milliards de m<sup>3</sup> par an (ahattab, 2016). En outre, les changements climatiques vont impacter fortement le climat au niveau du pourtour méditerranéen provoquant des augmentations des températures et des baisses en précipitations, en effet les modèles climatiques développés par le GIEC prévoient une augmentation des températures et une tendance à la baisse des précipitations allant de -7% à 0% dans la partie Nord du pays et de -7,5% à +2,8% dans la partie Sud (J.AHATTAB, 2016).

### Problématique

Le développement socio-économique du pays exerce une pression importante sur les ressources hydriques à la fois qualitativement et quantitativement. Les activités industrielles et agricoles provoquent une altération de la qualité des eaux superficielles, menaçant ainsi leurs utilisations durables. La région de Marrakech et à cause de son développement économique et touristique n'échappe pas à cette situation, ceci démontre l'importance des études mener à la fois sur la qualité des eaux et sur leurs sources de pollution, afin de mettre en place une stratégie pour une gestion rationnelle de celle-ci.

## Introduction

Les milieux aquatiques font partie des écosystèmes les plus étudiés du fait de leurs intérêts écologiques et économiques. L'eau est, en effet, essentielle pour la survie de l'homme et de la faune, et indispensable pour le bon fonctionnement de nombreux secteurs de l'économie. Cependant, et à cause de l'amplification des activités humaines et l'urbanisation, certaines rivières sont soumises à de réelles agressions nuisibles principalement dans la partie aval de leur cours.

Au Maroc et comme d'ailleurs dans le monde, la problématique de l'eau est devenue un enjeu de plus en plus important, à cause de sa gestion irrationnelle, sa surexploitation et la dégradation de sa qualité. Celle-ci est influencée aussi bien par des processus naturels qu'anthropiques surtout là où les densités des populations sont élevées (Strobl & Robillard, 2008). Au niveau du bassin de Tensift, l'explosion démographique et le développement économique a conduit à la mobilisation de grande quantité d'eau afin d'accompagner ce développement, en plus de ce facteur, les eaux usées non épurées provenant des rejets urbains et industrielles dégradent la qualité des eaux superficielle, intensifiant ainsi les pressions exercées sur les ressources hydrauliques du bassin.

Ce document est consacré à l'étude des paramètres physicochimiques et bactériologiques des eaux de surface dans trois sous bassin de Tensift (Ourika, Rhéraya et Zat). Afin de déterminer la typologie de la qualité des ressources en eau dans la région, l'évaluation de la qualité de l'eau est réalisée à l'aide de méthodes « classiques » de mesure d'une série de paramètres physico-chimiques (DBO, DCO, Ammoniums, Nitrates, nitrites, pH, conductivité, oxygène dissous...) que l'on compare par la suite à des normes ou des critères de qualité éprouvés.

La méthodologie utilisée dans ce document est basée sur un protocole marocain d'évaluation de la qualité intitulé l'indice pondéré de la qualité global IpQG, testé pour la première fois par Errochdi et al sur deux bassins versant nord marocain Laou et Tahaddart. Autrement, une évaluation rapide par le système d'évaluation de la qualité de l'eau (SEQ-Eau) a été réalisée.

En effet, et afin de préserver les ressources en eau et prévenir leurs dégradations, une connaissance précise de la qualité des eaux dans le bassin est obligatoire, ceci nous permettra d'identifier les eaux les plus polluées et leur source de pollution, en vue d'agir avec une certaine précision et assurer un contrôle efficace de la qualité de l'eau.

## ***CHAPITRE I : PRESENTATION DU CADRE GENERAL***

## **I. Bassin versant de Tensift**

### **I.1. Situation géographique**

Localisé entre les latitudes 32° 10' et 30° 50' Nord et les longitudes 9° 25' et 7° 12' Ouest, le bassin du Tensift est situé au centre ouest du Maroc (fig. 3 et 4), ce large domaine continental occupe une superficie de 24 800 Km<sup>2</sup> qui représente 3% de la superficie totale du royaume (ABHT). Le bassin est traversé (de l'est en ouest) par l'oued Tensift qui prend sa naissance dans les montagnes du Haut Atlas, l'oued s'écoule ensuite sur une longueur de 260 km jusqu'à son exutoire à Souira Kédima où il rejoint l'océan atlantique.

Le bassin hydraulique de Tensift est limité au sud par la ligne de crête du Haut Atlas, au nord par le massif précambrien des Jbilet, à l'est par la ligne de partage des eaux séparant le bassin du Tensift de celui de la Tessaout et à l'ouest par l'océan Atlantique (Chaponnière, 2005).

Le bassin peut être subdivisé en trois domaines géographiques :

- 1) Les montagnes du Haute-Atlas (partie sud), qui représente un véritable château d'eau (Chaponnière, 2005). Cette zone englobe 9 sous-bassins avec des altitudes importantes arrive jusqu'à 4167 m à Jbel Toubkal. L'hydrogéologie de la zone est très active à cause d'une forte précipitation et des sols imperméables ce qui amplifie les débits au niveau de l'exutoire, ces caractéristiques font d'eux le premier approvisionneur en eaux de l'oued Tensift.
- 2) Les Jbilet (partie nord), s'étendent sur une superficie de 1500 km<sup>2</sup>, représentent un massif montagneux peu arrosé d'une faible altitude. Les jilet contribuent rarement à l'alimentation de l'oued de Tensift (à l'exception des événements pluvieux violents) (Hajhouji, 2019).
- 3) La partie médiane, composé de la plaine du Haouz et les plateaux d'Essaouira-Chichaoua. La plaine est une dépression de 6000 km<sup>2</sup>, traversé par la majorité des affluents de la rive gauche de l'oued Tensift (ABHT), avec des altitudes qui varie entre 250 m dans le nord-est et 800 m dans l'extrême sud-est. Ces particularités font d'elle une zone agricole consommateur d'eau. Les prélèvements pour l'irrigation des terrains agricole se font à partir d'un système de seguia (canal d'irrigation traditionnel à ciel ouvert) et d'un canal de dérivation achemine l'eau des barrages Moulay Youssef et Sidi Idriss jusqu'au le sous-bassin de N'Fis (Hajhouji, 2019).

La deuxième partie est constitués des plateaux d'Essaouira-Chichaoua limité à l'est par la plaine de Haouz et à l'ouest par la côte atlantique. Les altitudes varient dans cette région entre 400 et 800 m.

Le bassin de Tensift est sous la charge de l'agence de bassin hydraulique de Tensift, qui s'occupent de la gestion d'eau et les aménagements hydraulique du bassin. Administrativement, le bassin s'étend sur huit préfecture et province, elle couvre totalement la préfecture de Marrakech et les provinces d'Al Haouz, de Chichaoua, d'Essaouira et de Youssoufia et partiellement les provinces de Rehamna, de Kelaâ Sraghnas et de Safi (ABHT).

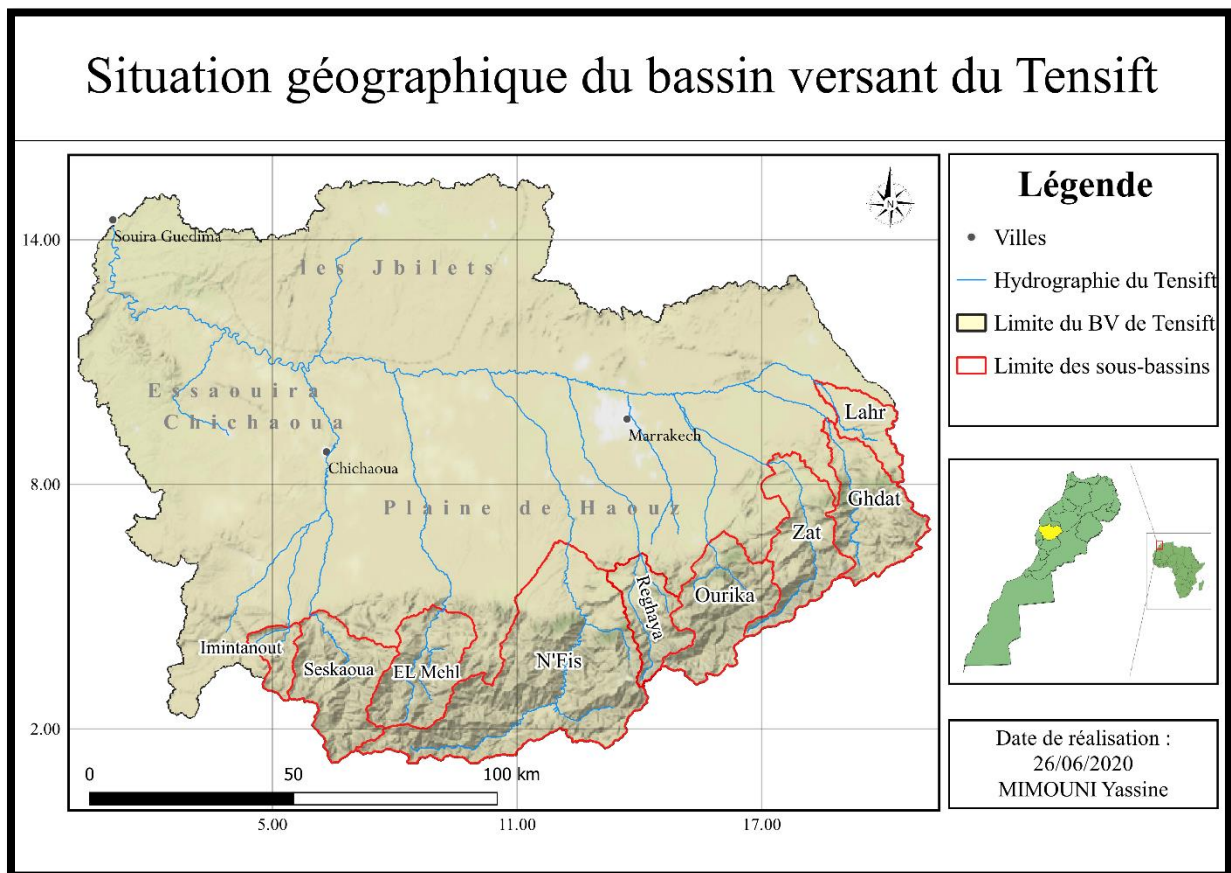


Figure 3 : Carte de localisation du bassin versant de Tensift (réalisation personnelle)



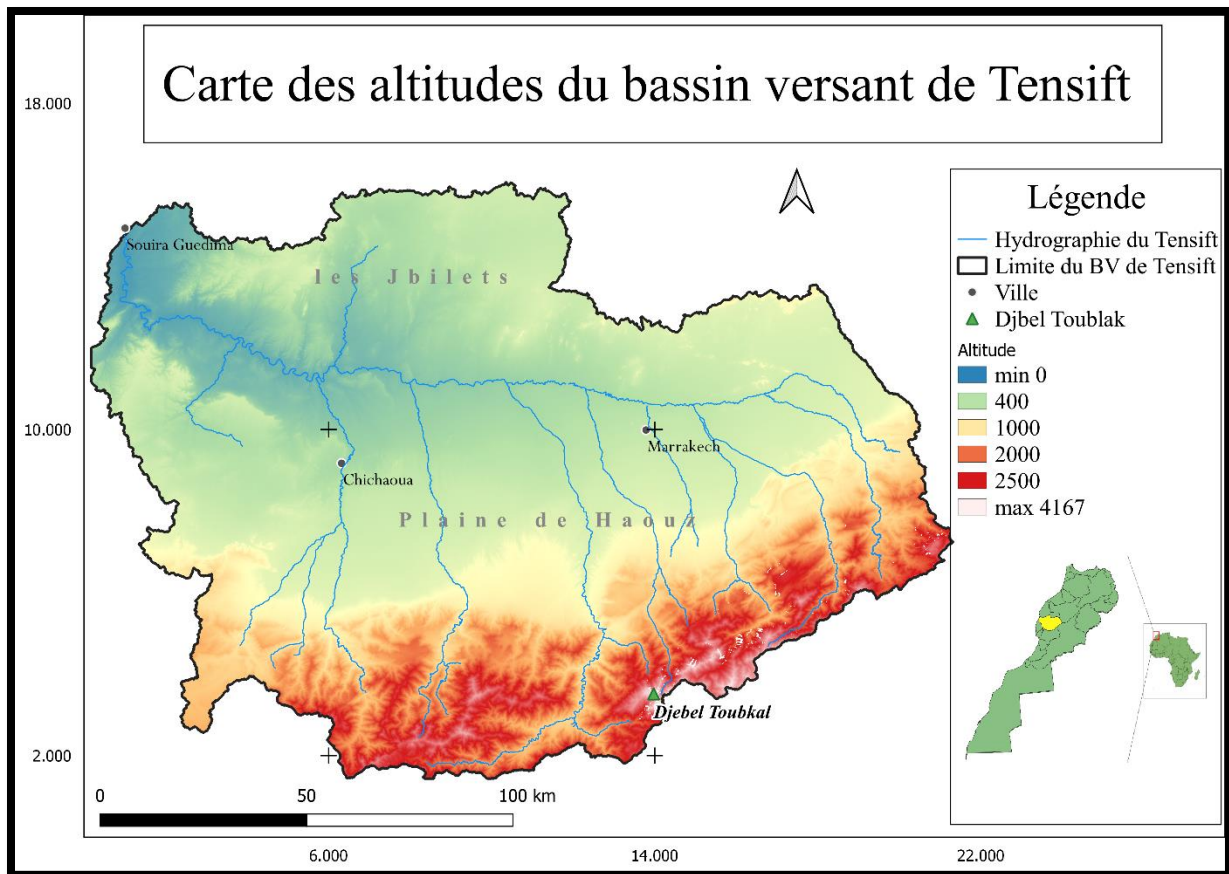


Figure 4 : Carte des altitudes du bassin versant de Tensift (réalisation personnelle)

## I.2. Cadre climatologique

Le climat régnant sur l'ensemble du bassin est de type aride à semi-aride à influence océanique avec une pluviométrie faible et irrégulière. En effet le régime climatique du bassin versant de Tensift est caractérisé par une hétérogénéité spatio-temporelle influencé essentiellement par l'altitude et en moindre mesure par la continentalité (Riad, 2003). L'hétérogénéité spatiale reflète celle de la topographie (Hajhouji, 2019), ainsi les précipitations moyennes annuelles mesurées entre les années 1970 et 2005, montre une augmentation des précipitations en fonction des altitudes (tab.1).

Cependant, l'hétérogénéité temporelle se marque par une différence des périodes de pluie entre l'est et l'ouest du bassin, en effet les études de (Chaponnière, 2005) ont montré que le bassin de Tensift peut être divisé en deux zones, une zone (Ouest du bassin) dont les mois les plus pluvieux sont novembre et décembre, tandis que l'autre zone (Est du bassin) est caractérisée par des précipitations intense entre les mois de février à avril. Généralement, les précipitations moyennes annuelles estimées sur tout le bassin, sont de l'ordre de 250 mm/an.

Station	Sidi Rahal	Aghbalou	Tahanaout	Lala Takerkoust	Marrakech	Abadla	Chicha-oua	Sidi Bouathmane	Iloudjane
Altitude	690	1070	925	630	460	250	340	820	757
Précipitation annuelle (mm)	349	535	368	259	216	176	185	345	339
Données	1970/71 – 2005/06							1989/90 - 2005/06	

Tableau 1 : Précipitation moyenne dans le bassin versant de Tensift (source : ABHT)

Les températures moyennes mensuelles varient entre 17°C et 20°C. Les mois les plus chauds sont généralement Juillet et Août avec 25°C à 29°C sur l'Atlas et la plaine de Haouz et 19°C à 24°C dans les zones côtières. Le mois le plus froid est Janvier avec 12°C sur l'Atlas et la plaine du Haouz et 13 à 14,5°C dans les zones côtières (Barchane, 2011). L'évaporation annuelle est de 1830 mm sur le versant atlasique et de 2640 mm dans la partie centrale de la plaine du Haouz (JICA, 2007).

#### Climat futur

Le Maroc a souvent confronté des périodes de sécheresse intense, cependant le pays connaît actuellement la plus longue période de sécheresse de son histoire moderne, caractérisée par une diminution des précipitations et une nette tendance à la hausse des températures (Chaponnière, 2005), par exemple à la ville de Marrakech qui est située au cœur du bassin, les études ont montré une diminution des précipitations au rythme de 0,18% en moyenne annuelle durant les 10 dernières années, avec une légère augmentation des températures depuis les années 1990 (JICA, 2007).

À long terme, les études menées par le groupe intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), ont montré que les changements climatiques vont se manifester dans la région par une augmentation moyenne de la température allant de 2 à 3 °C, et une baisse de précipitation de l'ordre de 20% à 30%. Ceci montre l'importance des études menées sur les ressources en eau du bassin, pour une meilleure gestion de celle-ci.

### **I.3. Occupation du sol**

La zone d'étude est occupée par 3 domaines ;

Les zones urbaines caractérisées par des grandes villes telles que la ville de Marrakech avec 928 850 habitants et une activité touristique importante.

Les forêts de chêne à feuilles persistantes localisés essentiellement dans la chaîne de montagne de Haut Atlas couvrent 541000 ha, avec des zones à intérêt écologique tel que les oasis des palmiers de Marrakech et les forêts d'Arganiers à Essaouira.

Des terrains agricoles, représenté par des cultures pluviales, et des cultures irriguées par le biais des canaux traditionnels et modernes. Les cultures regroupent une grande variété, y compris les céréales, l'olivier, l'abricotier, l'oranger, les rosiers, les pommiers et les plantes fourragères (JICA, 2007).

### **I.4. Cadre géologique**

Le bassin de Tensift représente une grande diversité de relief, de ce fait, sa géologie sera décrite en fonction de son aspect lithologique, le plus important pour l'hydrologie (fig.5).

#### **I. Plaine du Haouz :**

Caractérisée par une topographie plane et monotone s'étendant sur une largeur de 150 km d'Est en Ouest, elle composé par des dépôts du néogène au quaternaire alluviaux caillouteux, limoneux ou sableux (Riad, 2003). Ces formations sont généralement perméables et l'eau souterraine peut être exploitée.

#### **II. Essaouira-Chichaoua :**

Le plateau est composé de dépôts de dolomie, calcaire et marneux-calcaire allant du Crétacé à l'Eocène. Ces zones renferment des quantités exploitables en eaux utilisées pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable (JICA, 2007).

#### **III. Montagnes de Jblet :**

le massif est formé essentiellement par différente formation de schiste du paléozoïque (schistes sombres, schistes argileux et schistes gréseux), cependant on trouve des conglomérats, des affleurements calcaires et siliceux (Riad, 2003). Le caractère des formations ne permet pas l'emmagasinement d'eau et la formation d'aquifère.



conséquence, les apports annuels varient entre un minimum de 116 Mm<sup>3</sup> (million de m<sup>3</sup>) et un maximum de l'ordre de 2 677 Mm<sup>3</sup>, avec une estimation moyenne de 824 Mm<sup>3</sup>. (Barchane, 2011).

Le bassin de Tensift est doté de plusieurs aménagements hydrauliques permet un provisionnement régulier en eau (fig.6), on cite :

Barrage de Lalla Takerkoust : ce barrage a été construit en 1935, puis ça hauteur a été modifier pour répondre à la demande croissante en eau avec une capacité de rétention de 56 Mm<sup>3</sup>. Il est localisé au niveau du sous bassin versant de N'Fis, le barrage sert pour la production de l'électricité, d'eau potable pour la ville de Marrakech, et pour l'irrigation de 24 000 ha (JICA, 2007).

Barrage de Wirgane : ce barrage est mis en service en 2008, il est situé sur l'oued N'Fis à 20 Km en amont du barrage de Lalla Takerkoust, ça construction a pour objectif de renforcer l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech (JICA, 2007).

Barrage de Taskourt : localisé dans la province de Chichaoua, ce barrage est mis en service en 2008. Il vise à alimenter en eau une superficie de 6000 ha de périmètres irrigués de façon traditionnelle (JICA, 2007).

Canal de Rocate : c'est un aménagement hydraulique vise à alimenter la plaine de Haouz en eau d'irrigation provient du bassin d'Oum El Rbai, ça longueur totale est approximativement 118 Km et son débit et de l'ordre de 20 m<sup>3</sup>/s (JICA, 2007).

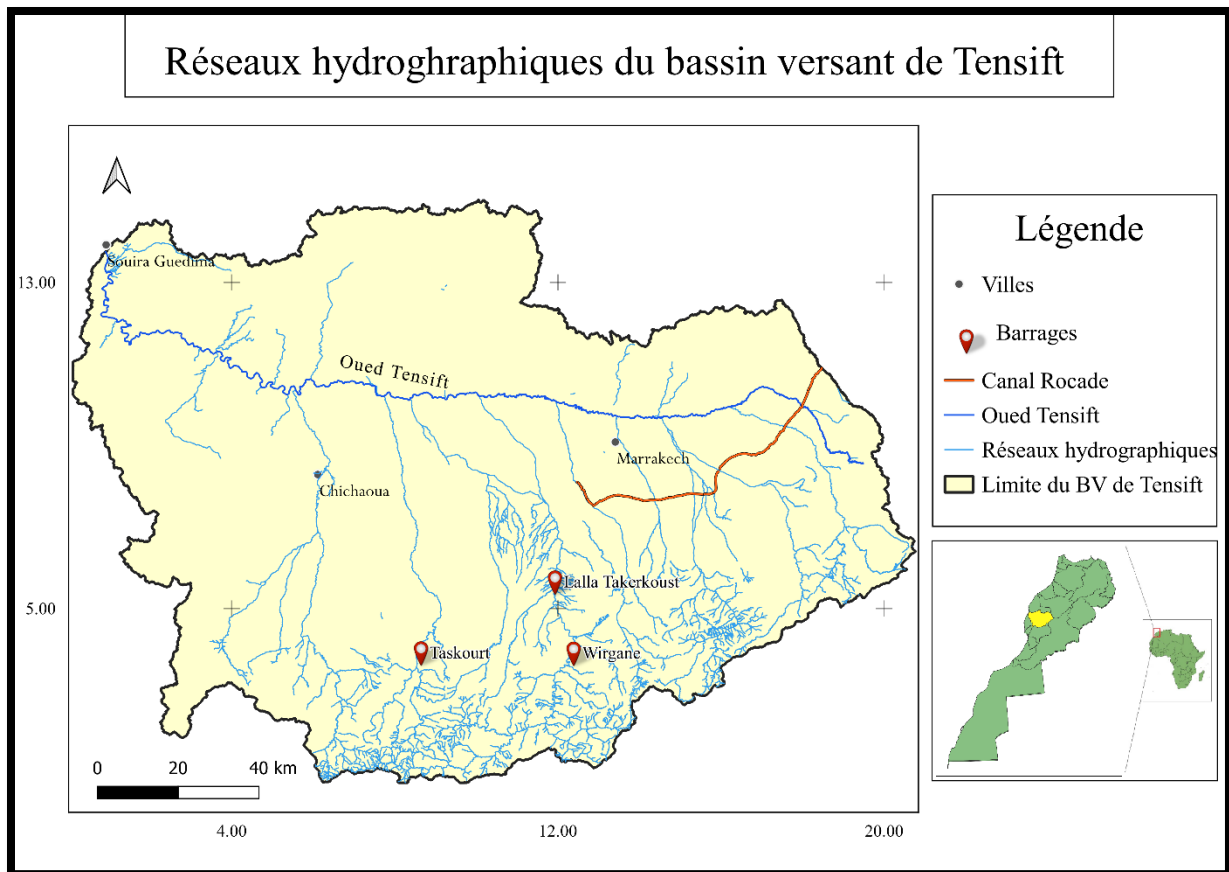


Figure 6 : Réseaux hydrographiques du bassin versant de Tensift (réalisation personnelle)

Eau souterraine :

Le bassin de Tensift présente une inégalité de répartition géographique des eaux souterraines, dû d'une part à la pluviométrie et des eaux de surface, et d'autre part, à la géologie caractérisée par la présence de structures très diversifiées (AÏT BOUGHROUS, 2007)

Le bassin est doté de plusieurs nappes aquifères (fig.7) on cite les plus important :

La nappe de Houz : Le principal aquifère de la plaine du Haouz, il est formé par les dépôts alluvionnaires plio-quaternaires. Le substratum reconnu de cet aquifère est le Miocène marneux (Hajhouji, 2019), c'est une nappe libre d'une superficie de 6800 km<sup>2</sup> dont l'écoulement se fait du sud vers l'oued Tensif. les bilans hydrologiques ont montré que la nappe a présenté un déficit cumulé pour la période de 2001 au 2008 de 1,1 milliards de m<sup>3</sup>, dû à la demande élevée de l'agriculture (Hajhouji, 2019).

La nappe du mejjat : s'étende sur une superficie de 1000 km<sup>2</sup> environ, elle renferme deux aquifères : la nappe phréatique plio-quaternaire et la nappe éocène. Les principales

alimentations de ce système proviennent des infiltrations directes des eaux de pluie sur les aires d’affleurement et des eaux de crue des oueds Imintanout et Ameznas (Barchane, 2011).

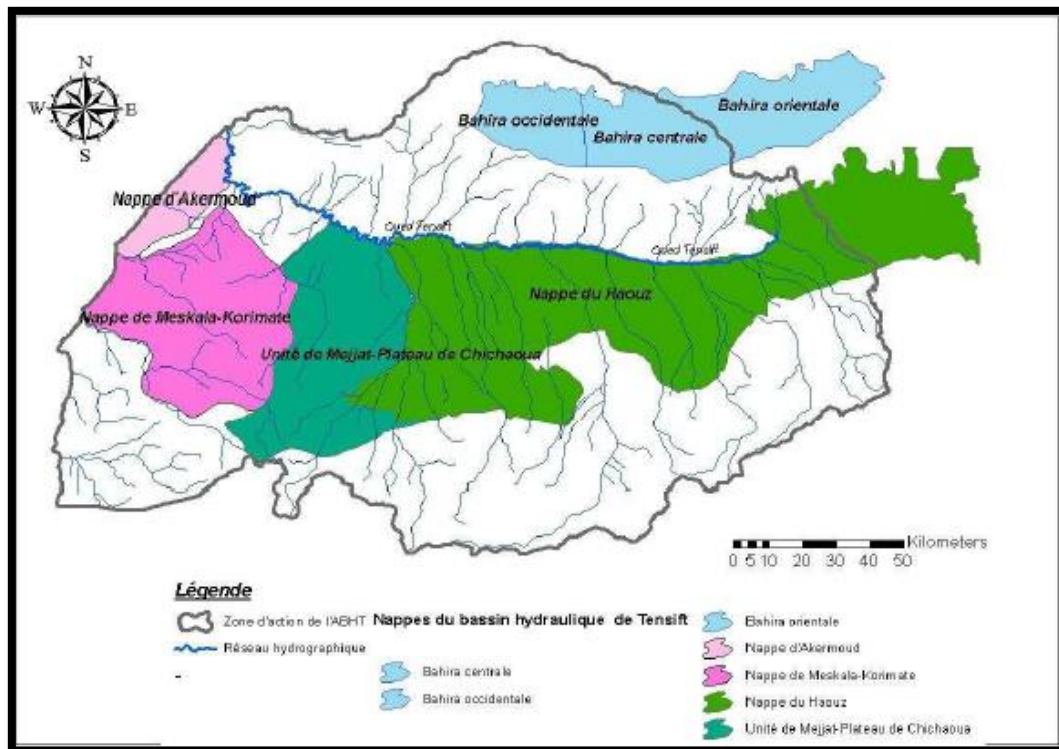


Figure 7 : carte de localisation des nappes souterraines dans le bassin de Tensift (source ABHT)

## II. Présentation de la zone d’étude

### II.1. Présentation du bassin de Rhéraya

#### Situation géographique

D’une superficie de 225 km<sup>2</sup>, le sous bassin de Rhéraya est situé dans le Haut Atlas à une quarantaine de kilomètres au sud de la ville de Marrakech. Il est localisé entre la latitude 30°10’’ et 30°20’’, et la longitude 7°40’’ et 8° Ouest. Ses altitudes varient entre 1030 m jusqu’à 4165 m à Toubkal qui présente le plus haut sommet de l’Afrique du Nord. Le bassin de Rhéraya est l’un des sous-bassins les plus actifs du Tensift, avec un débit moyen d’ordre de 1,15 m<sup>3</sup>/s calculer à son exutoire à Tahanaout (fig.8).

Le sous-bassin de Rhéraya est délimité au nord par la plaine de Houz, au sud par la ligne de crête de Haut Atlas, à l’ouest par le bassin de N’Fis et par le bassin d’Ourika à l’est.



L'agriculture dans la zone dépend de l'écoulement de l'eau, et l'existence des portions de terrain exploitable, la localisation de ces terrains près des talwegs favorise une agriculture en terrasses, à base d'arboriculture, céréales et cultures maraichères (Rheghaya, 2016).

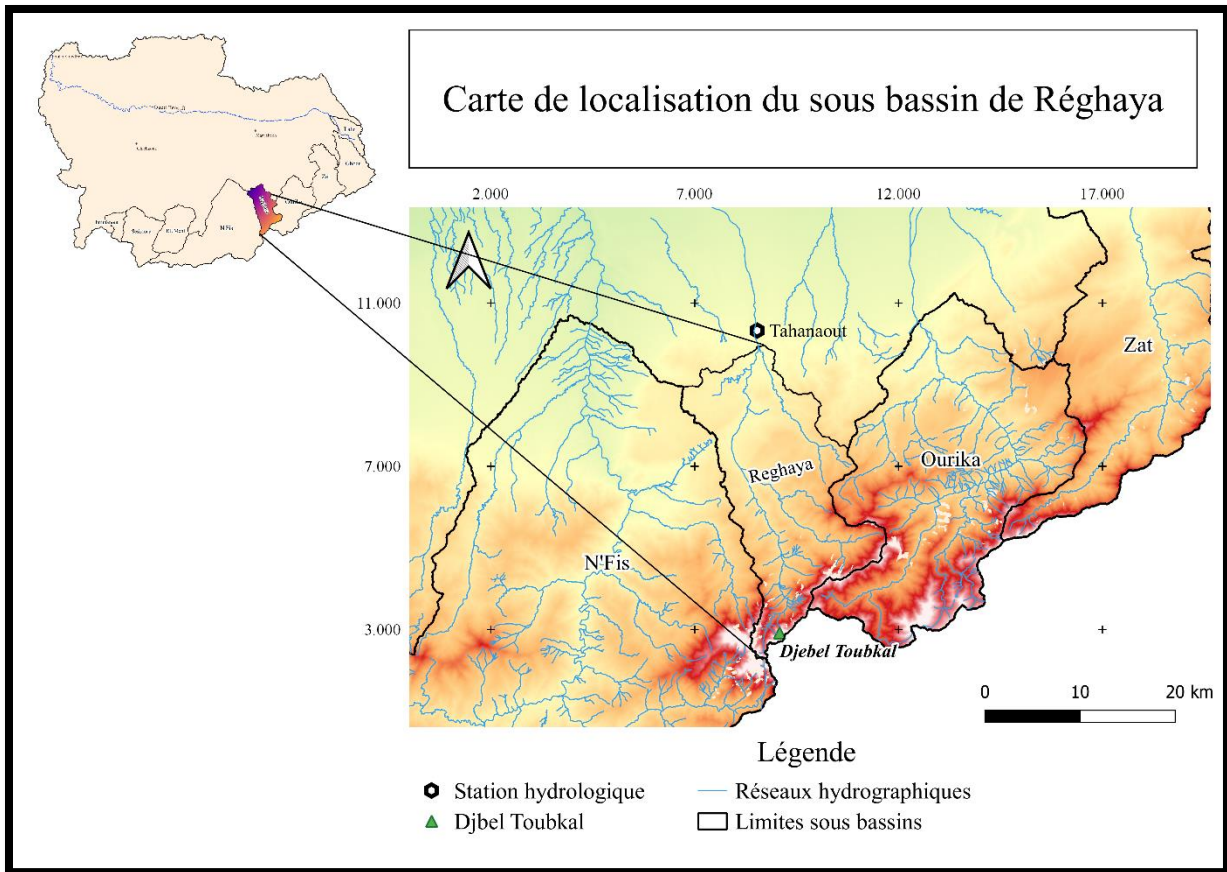


Figure 8 : carte de localisation du sous bassin de Réghaya (réalisation personnelle)

### Cadre géologique et hydrogéologique

Le sous-bassin du Rehraya est situé dans le Haut Atlas central siliceux, et peut être subdivisé en trois grandes zones géologiques (fig.9) :

- La zone sub-atlasique : couvre l'aval du bassin, caractérisé par des formations sédimentaires grés-argileuses et calcaires, datant du précambrien et paléozoïque (Hejhouji, 2019).
- Une zone intermédiaire : constitue un bloc plus élevé par rapport à la zone sub-atlasique, cette partie est composée de matériaux rocheux primaires (andésites) et permo-triasiques (basaltes doléritiques).
- la zone axiale : localiser dans les hauts sommets d'Atlas, constituer par des terrains de précambrien caractérisé par des andésites, rhyolites et trachytes (Chaponière, 2005).



En ce qui concerne l'hydrogéologie, les formations peuvent être regroupées en 3 classes (Chaponnière, 2005) :

- Formations imperméables : estimé à 59% constituer par des roches métamorphiques ou éruptives.
- Formations perméables : estimée à 26% constituer par des calcaires.
- Formations semi perméables : estimée à 15% constituer par des terrains grésos-argileuses localisées dans le bas du bassin.

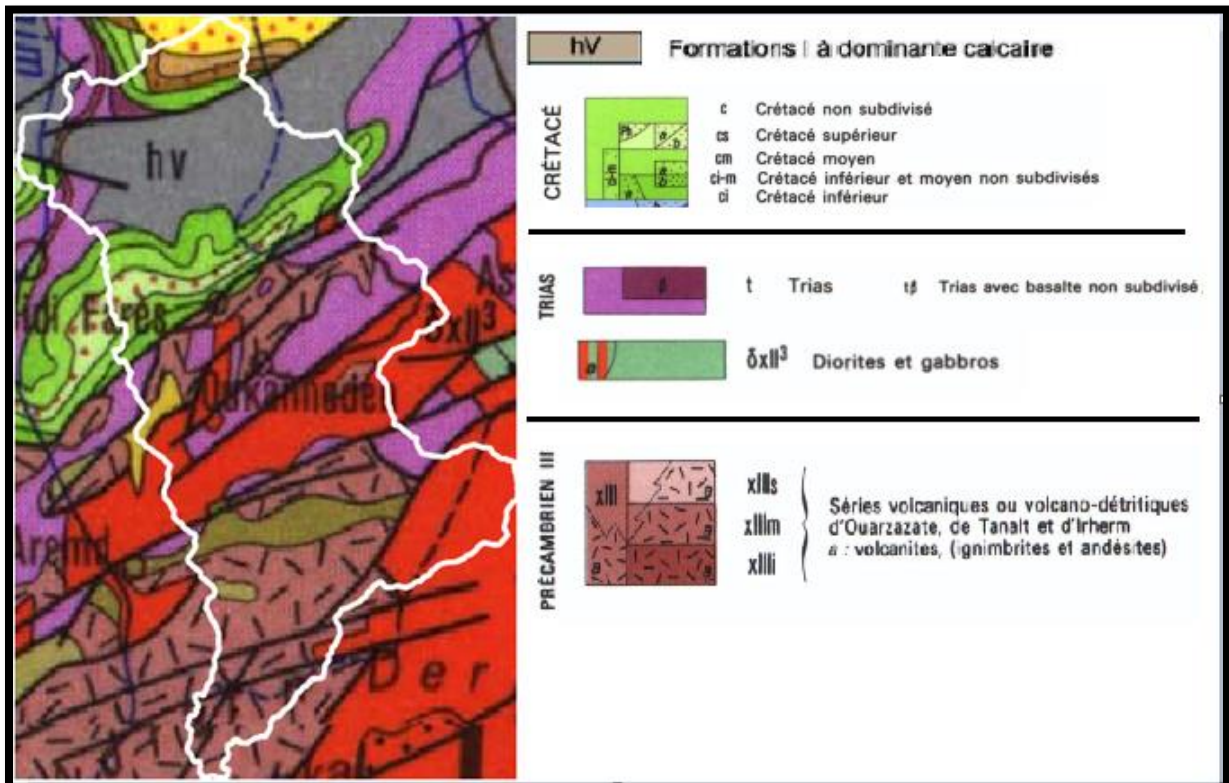


Figure 9 : carte géologique du sous bassin Réghaya extraite de la carte géologique du Maroc au 1/1000000

### Cadre climatique

#### *Pluviométrie :*

Les données de la pluviométrie sont enregistrées dans la station de Tahanaout à l'exutoire du sous-bassin (1064 m), et disponible depuis 1971.

Le sous-bassin de Tahanaout reçoit une pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 378 mm/an calculer sur une série de donnés allant de 1971 à 2015, avec un maximum annuel égale à 650 mm enregistré en 2014/2015, et un minimum de l'ordre de 200 mm enregistré en 1992/1993 (fig 10).

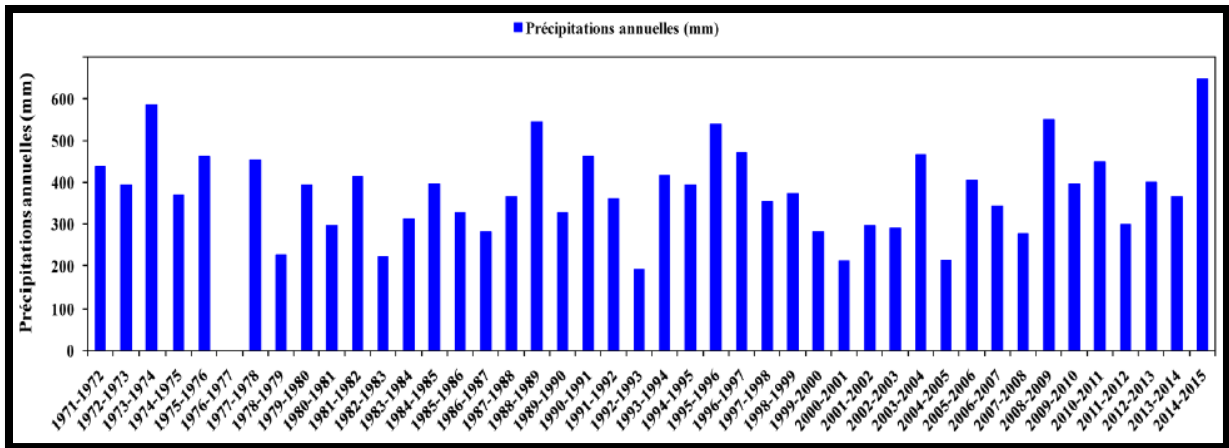


Figure 10 : variations des précipitations annuelles au niveau de la station de Tahanaout entre 1971 et 2015 (Hejhouji, 2019)

La répartition temporelle des précipitations annuelles, montre la présence de deux saisons, la première est humide, s'étend de l'octobre à avril et représente 83 % de la pluviométrie annuelle, la deuxième est sèche varie de mai à septembre et intervient avec 17% de la pluviométrie annuelle total (Rheraya, 2016)

*Débit :*

Le débit moyen calculé au niveau de la station de Tahanaout est de l'ordre de 1,15 m<sup>3</sup>/s, cependant le débit présente des variations mensuelles importantes, avec un pic en novembre dû essentiellement aux événements pluviométriques, et un pic en printemps résulte de la fonte de la neige (fig.11).

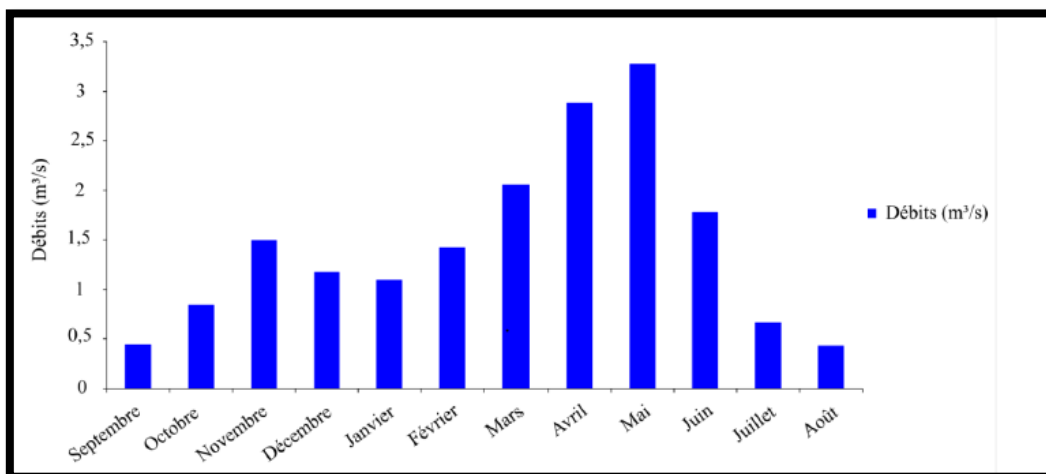


Figure 11 : variation des débits moyens mensuels interannuels à l'exutoire du bassin de la Rhéraya

## Activités économiques

L'intensité et la nature des activités économiques dans le bassin, dépendent de leur localisation, on trouve :

- Activités agricoles : au niveau de l'amont du bassin, une activité agricole est développée pour la production locale en légume et céréale, cependant la topologie des terrains réduit l'extension de celle-ci. En outre l'abondance des terrains agricoles et l'approvisionnement en eau d'irrigation, ont permis le développement de l'activité agricole au niveau de la plaine situé au Nord du bassin.
- Industrie : l'activité industrielle est concentrée dans la zone aval du bassin, elles sont composées de zone industrielle aménagée (eau potable, assainissement), et des zones industrielles informelles dépourvues de tout aménagement (accès, infrastructures de base, zonage, etc.). L'activité industrielle est diversifiée est composé d'industrie agroalimentaire (38%), d'industrie chimique et parachimie (30%), d'industrie de textile (15%), d'industrie active dans le secteur métallique et mécanique (14%) et d'industrie électrique ou électronique (3%) (Rheraya, 2016)

## **II.2. Présentation du bassin d'Ourika**

### Situation géographique

Le bassin d'Ourika est localisé au centre du Haut Atlas de Marrakech, il est limité au nord par la plaine de Haouz, au sud par la crête de partage du Haut Atlas, à l'ouest par le sous-bassin de Réhaya et à l'est par le sous-bassin de Zat. Il s'éloigne de 35 km au sud de la ville de Marrakech. Le bassin présente des altitudes variées de 1070 m à Aghbalou (exutoire du bassin) à 4001 m au point culminant en amont du bassin, avec une superficie de 503 km<sup>2</sup> (Saidi, 2006).

Le bassin est drainé par une rivière qui porte le même nom (Ourika). De sa source jusqu'à l'exutoire (Aghbalou), l'Ourika présente une longueur de 45.5 Km, la rivière change de nom (Ghmat) et continue son chemin jusqu'à rejoindre l'oued Tensift au niveau de la plaine de Haouz.

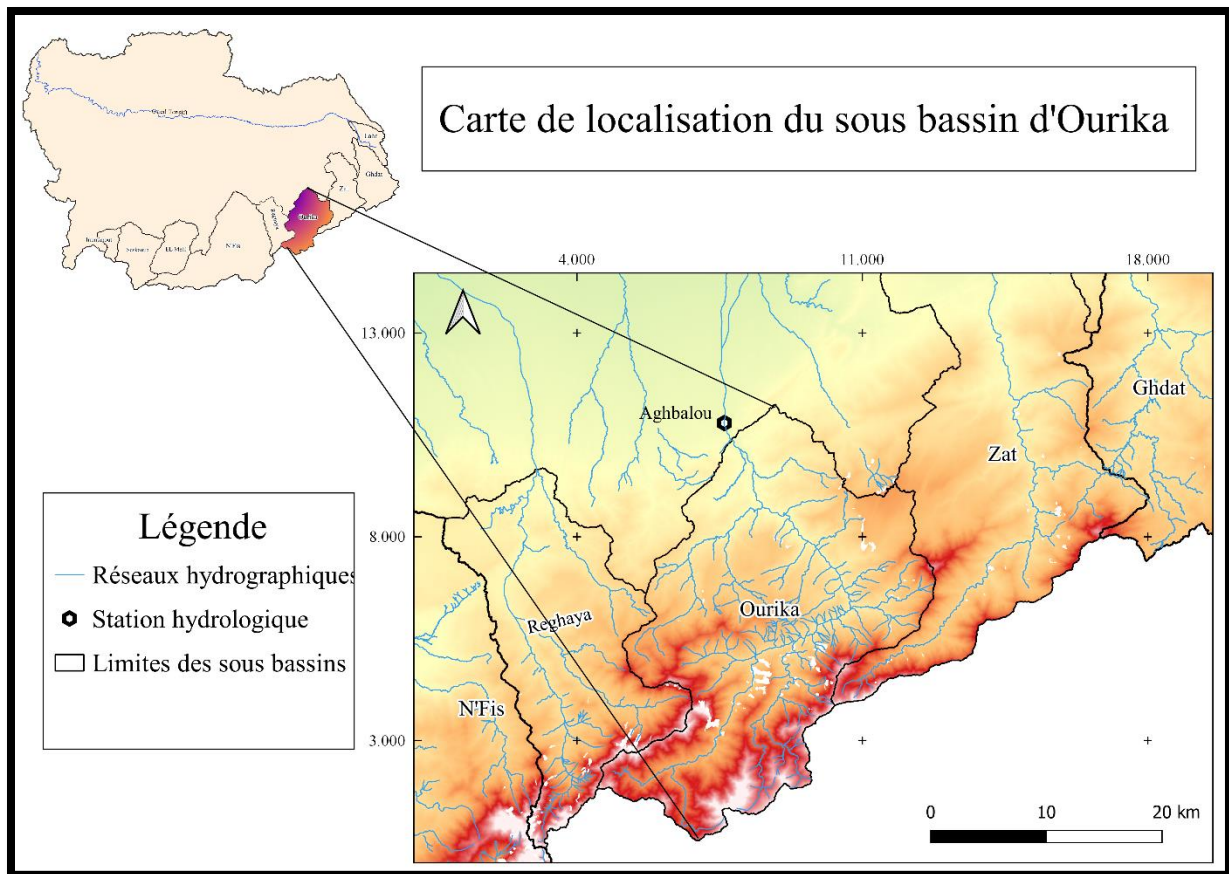


Figure 12 : carte de localisation du sous bassin versant d'Ourika (réalisation personnelle)

### Cadre géologique

L'étude de la géologie de la région est basée sur la carte géologique du Maroc au 1/1 000 000 (fig.13), le bassin est composé de deux zones géologiques bien distinguées :

La zone méridionale : située en amont du bassin, caractérisée par des formations de précambrien représentées par des roches magmatiques (andésites, rhyolites), et métamorphiques (gneiss et migmatites).

La zone septentrionale : située dans la partie aval du bassin, représentée par des grès et siltites (partie nord du domaine), et de siltites argileuses (parties sud du domaine), datant du permotriasiques et quaternaires (Saidi et al, 2010).

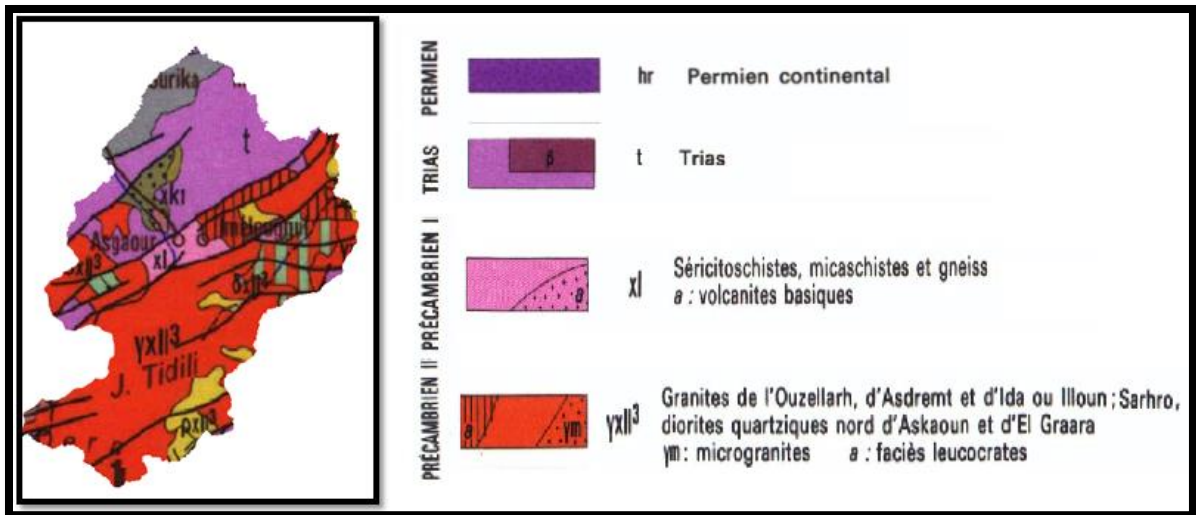


Figure 13 : carte géologique du sous bassin Régaya extraite de la carte géologique du Maroc au 1/1 000 000

### Cadre climatique

#### Pluviométries

Les données pluviométriques proviennent de la station hydro-pluviométrique d'Aghbalou (exutoire). Les données disponibles depuis 1970, ont permis de calculer la moyenne des précipitations qui égale 540 mm/an, sur une période de 34 ans (fig.14). les précipitations varient entre un maximum égal à 1000 mm/an enregistré en 1971/72, et un minimum enregistré en 1983/84 de l'ordre de 286 mm/an (Ourika, 2016)

En ce qui concerne les moyens mensuels, on constate la présence d'une période humide commence du mois d'octobre jusqu'à avril, et une période sèche allant de mai à septembre.

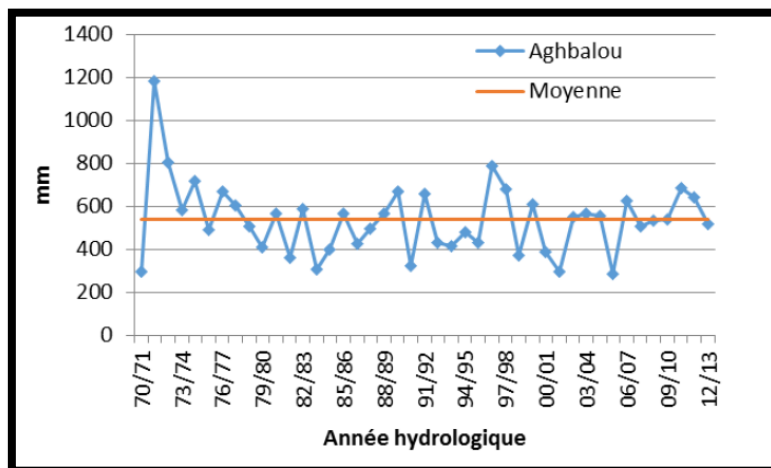


Figure 14 : variations des précipitations annuelles au niveau de la station de Tahanaout entre 1970 et 2013 (Ourika, 2016)

Débit :

Le débit moyen enregistré est de l'ordre de 5 m<sup>3</sup>/s, avec un maximum de 21 m<sup>3</sup>/s et un minimum de 0.46 m<sup>3</sup>/s. Le régime d'écoulement est semblable au régime du bassin de Réhaya, avec un apport en eau en période hivernal assuré par les événements de précipitations, et un apport en printemps assuré par la fonte des neiges, d'où l'appellation du régime d'écoulement ; pluvio-nival (fig.15).

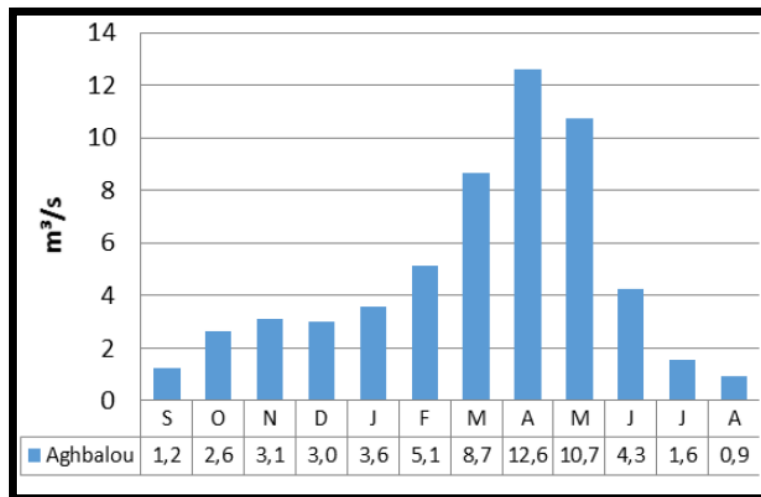


Figure 15 : variation des débits moyens mensuels interannuels à l'exutoire du bassin d'Ourika (Ourika, 2016)

### Activités économiques

Les activités au niveau du sous bassin d'Ourika est diversifiées et comportent des activités agricole et artisanale localisé surtout en aval du sous bassin, cependant la région est connue comme l'espace écotouristique la plus attractive dans la région, en effet le nord du bassin comporte deux sites touristiques : les aménagements de restauration et de loisir situé sur les rives de l'oued Ourika, et la station téléphérique d'Oukaïmeden qui attire les amateurs de Sky en période hivernal, cette dernière abrite des établissements d'hébergement touristique classés, d'une capacité d'accueil totale de 287 lits.



## II.3. Présentation du bassin de Zat

### Situation géographique

Le bassin de Zat est délimité à l'Est par le sous bassin Ghdat, au Sud par les montagnes du Haut Atlas, au Nord par la plaine de Haouz et à l'Ouest par le sous bassin d'Ourika (fig.16). Sa superficie est de 545 km<sup>2</sup>, et son altitude maximale est de 3915 m. l'exutoire du bassin est localiser à la station hydrologique de Taferiate (760 m) situer à 45 km de la ville de Marrakech. Le bassin est drainé par l'oued Zat d'une longueur de 55 km, et rejoint l'oued Ourika en aval.

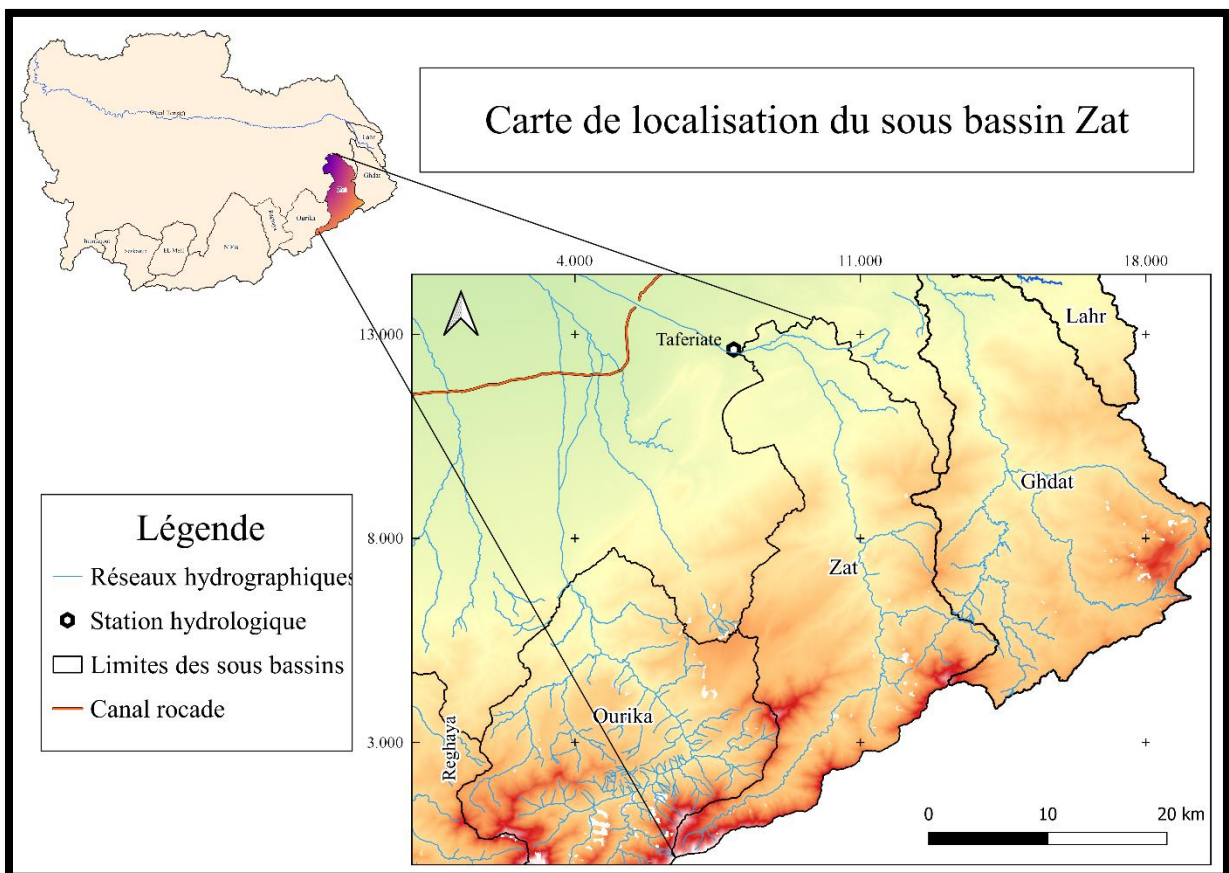


Figure 16 : Carte de localisation du sous bassin versant de Zat

### Cadre géologique

L'étude géologique basée sur la carte géologique au 1/1 000 000, montre trois grandes formations géologiques (fig.17). Le nord du bassin présente des dépôts sédimentaires du quaternaire, et des dépôts du Sénonien caractérisés par des formations marno-calcaire (Zat, 2016). La partie intermédiaire est composée de terrains permo-triasique constituer essentiellement d'un complexe rouge, grés marnes ou argiles salifères (Mlouk & Ahmed, 2015).

Tandis que la partie Haute Atlas est formée de roche magmatique et métamorphique précambrien (granites, diorites, et dolérites).

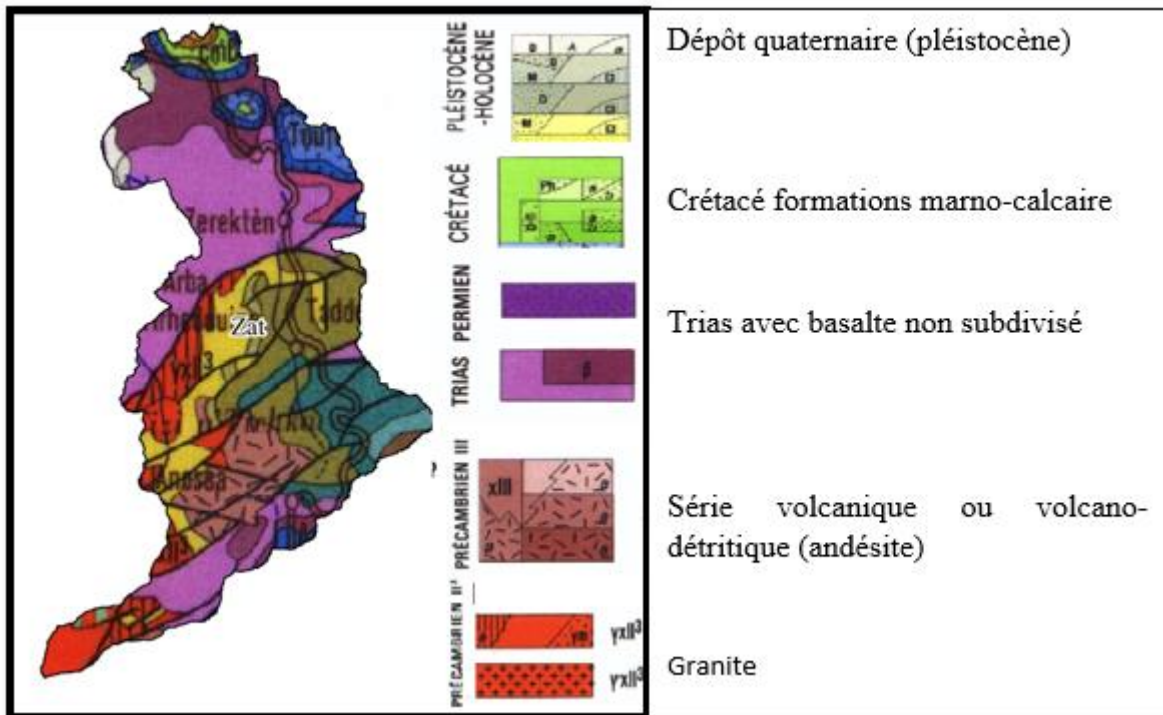


Figure 17 : carte géologique du sous bassin Zat extraite de la carte géologique du Maroc au 1/1000000

### Cadre climatique et hydrologique

#### Pluviométrie :

Les données pluviométriques collectées de la station de Taferiat montrent la succession d'une saison humide caractérisée par les fortes précipitations, suivies d'une saison sèche contribue rarement aux précipitations annuelles (fig.18). Les moyennes annuelles sont de l'ordre de 370 mm, avec un minimum de 196 mm enregistré en 1983/84 et un maximum de 624 mm enregistré en 1971/72. Au niveau mensuel, les mois de mars et janvier sont les plus arrosés avec des moyens de 50 mm, tandis que le mois le plus sec est le mois de juillet (Zat, 2016)

#### Débit :

Le débit moyen calculé au niveau de Taferiate est de l'ordre de 3m<sup>3</sup>/s, avec un maximum de 8,8 m<sup>3</sup>/s et un minimum de 0.31 m<sup>3</sup>/s. le régime d'écoulement et pluvio-nivale, dont le pic est enregistré en mois d'avril. l'oued de Zat apporte un volume d'eau moyen annuelle de 84 Mm<sup>3</sup>, enregistré pour la période allant de 1983 à 2013 (Zat, 2016).



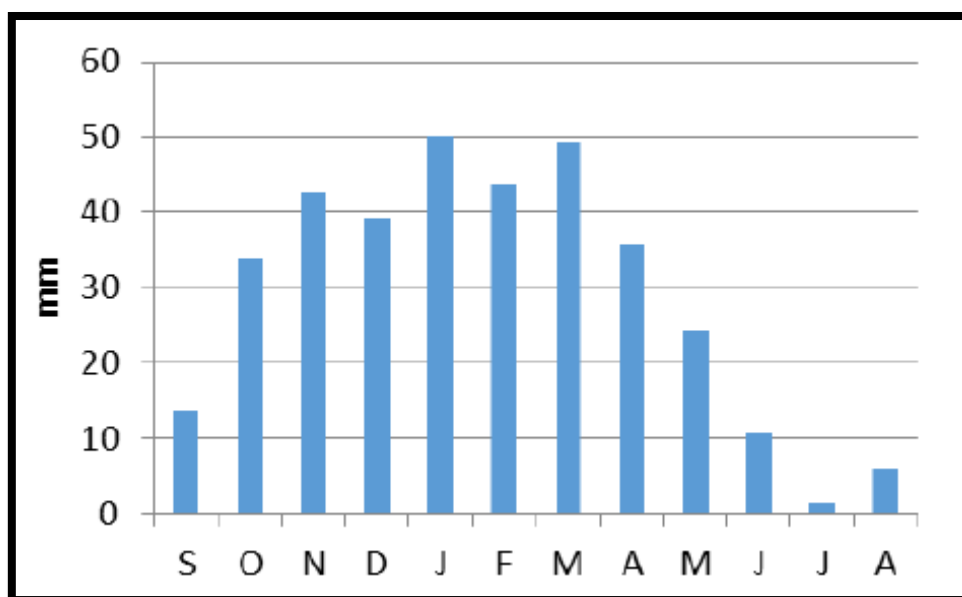


Figure 18 : répartition de la pluviométrie moyenne mensuelle et saisonnière à la station de Taferiate allant du 1983 à 2012 (ABHT)

### Activités économiques

Les activités économiques principales localisées dans le bassin sont : l'agriculture, basée surtout sur l'arboriculture et les céréales, localisé dans les montagnes et les hautes vallées et irrigués à partir des eaux de l'oued Zat et de ses confluent.

L'industrie est présentée principalement par six huileries et 10 stations de production avicole localisées dans la partie nord du bassin, en plus au niveau de la commune de Tamagueurt, il existe une unité de production de matériaux plastique et une carrière d'extraction d'argile.

Quant à l'artisanat, elle est présentée par 50 ateliers de menuiserie et 30 ateliers de ferronnerie, et 24 ateliers de poterie localisés dans la partie nord du sous bassin de Zat (Zat, 2016).

## ***CHAPITRE II : Méthodologie***

## **I. Réseau de suivi de la qualité des eaux**

Afin d'évaluer la qualité des ressources en eau au niveau du bassin-versant de Tensift, l'ABHT effectue de façon régulière des campagnes d'échantillonnages au niveau de plusieurs oueds dans le bassin. Le suivi de la qualité à plusieurs objectifs :

- établir une situation de référence de la qualité des ressources en eau dans le bassin.
- déterminer l'évolution spatio-temporelle de la qualité des ressources en eau dans le bassin.
- déterminer les sources de pollution existantes et accidentelles.
- établir une politique de gestion pour améliorer la qualité d'eau et protéger les ressources hydriques dans le bassin.

Les résultats d'analyses qui ont servi pour la réalisation de ce travail proviennent de l'ABHT, en effet ABHT a collaboré avec le laboratoire public d'essais et d'études, pour réaliser des analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau au sein du bassin. Les analyses fournies par l'agence couvrent une période de 10 ans, allant de 2007 à 2017. Les points d'échantillonnages ont été choisis par ABHT et visent à représenter la qualité d'eau dans le bassin d'une manière générale. Cependant, au niveau de cette étude, nous allons nous concentrer sur 11 points, localisés dans la plaine de Haouz et dans les trois sous-bassins qui nous intéressent (Rhéraya, Ourika et Zat).

### **I.2. Fréquence des analyses**

Les données d'ABHT ont été fournies sous forme de tableaux Excel qui contenaient :

- le nom de point, formé d'une série de numéros (Exemple : 2089/53).
- la date d'échantillonnage (Exemple : mai-07).
- les coordonnées X et Y de chaque point nécessaire à sa localisation
- une série de résultats de plusieurs analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, DBO<sub>5</sub>, DCO, CT, métaux).

Les données d'analyses pour les 11 stations choisies dans cette étude, présentent une irrégularité significative, à la fois de point de vue quantité et qualité :

- quantitativement, certains points représentent une fréquence d'échantillonnage moins importante par rapport aux autres, avec un minimum d'une seule analyse pendant 10 ans (pour 3 points) et un maximum de 24 analyses effectuées pendant 10 ans pour le point numéro 2. D'une manière générale, le LPEE a réalisé 132 analyses pour 11 stations durant 10 ans, ce qui

représente une moyenne de 1.2 analyse par an et par station. Cette valeur reste faible pour mettre en place un système efficace de suivi de la qualité des eaux superficielles.

- en ce qui concerne la qualité, certaines données ne dispose pas de tous les paramètres classiques d'analyse physico-chimique de l'eau, tel que les analyses des cations et anions majeurs ( $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ , etc.), et par conséquent la vérification de la qualité de tous les analyses par la balance ionique par exemple devient impossible. Cependant, les données disposent d'une série de paramètres majoritairement complète, essentielle pour l'élaboration de la grille de la qualité ( $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ , DBO5, DCO). En plus les paramètres mesurés *in situ* ( $T^\circ$ ,  $O_2$ , turbidité, CE) sont généralement bien représenter.

Les campagnes d'échantillonnages effectuées par le LPEE sont soumises à la norme NF EN 25667 (ISO 5667) relative aux conditions de l'échantillonnage, qui présente les exigences générales relatives à l'échantillonnage, la conservation, la manipulation, le transport et le stockage de tous les échantillons d'eau, y compris ceux destinés à des analyses biologiques (ISO, 2018). L'application de cette norme exige que l'échantillonnage doive se faire aux mêmes points en plusieurs saisons, ce qui en résulte la répartition des données entre la saison humide (janvier, février, mars, septembre octobre) et la saison sèche (mai, juin, juillet).

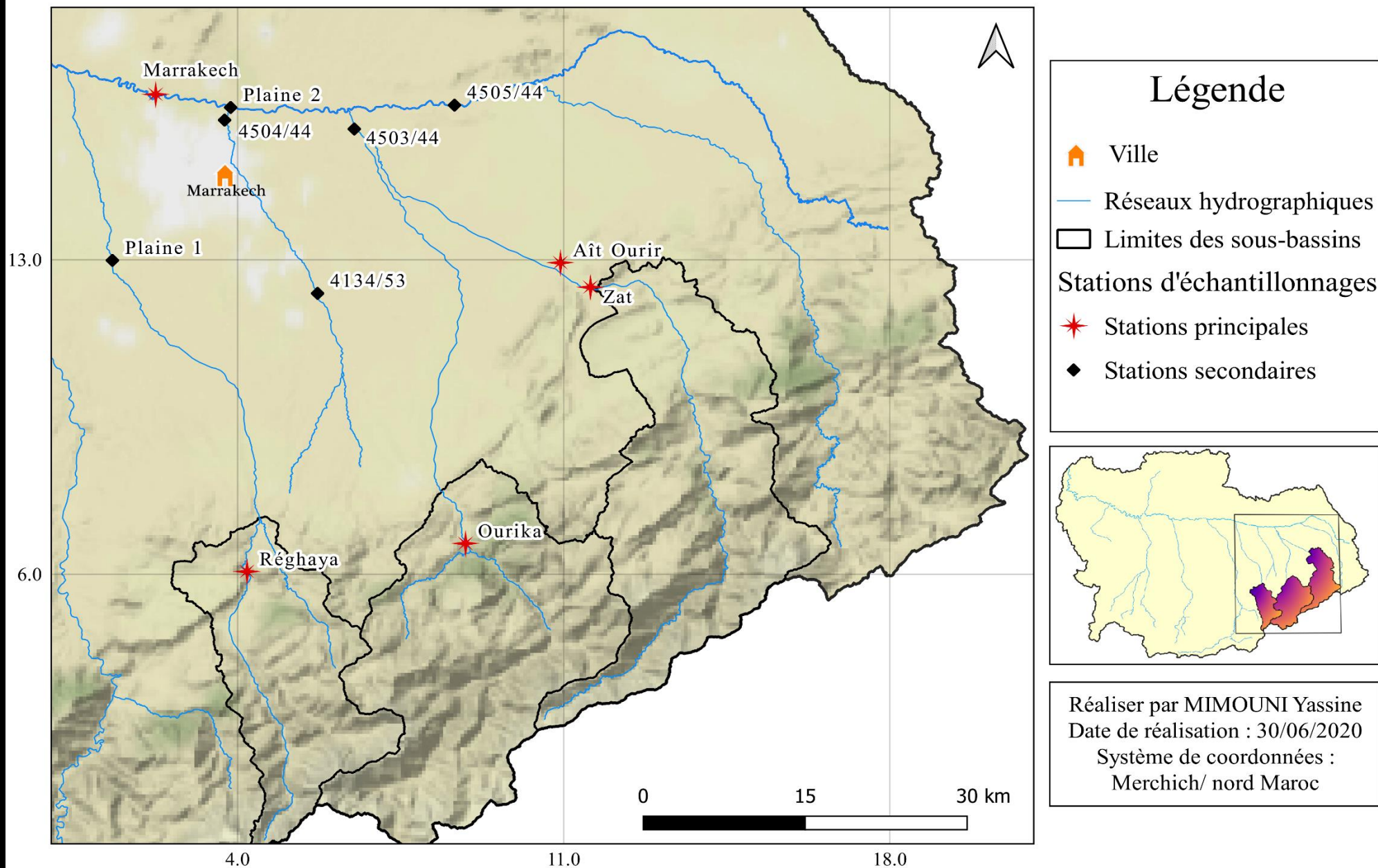
Afin de mieux évaluer la qualité de l'eau dans le bassin de Tensift, nous avons différencié les stations en fonction de leur fréquence d'échantillonnage, et par conséquent les stations qui représentent au moins 2 échantillonnages par an sont définie comme station principale, tandis que les stations qui se manifestent par une ou moins d'une analyse par an sont définie comme station secondaire (fig.19).

## **II. La balance ionique**

La méthode de la balance ionique nous permet de vérifier la fiabilité des analyses chimiques de l'eau par la vérification de la charge électrique des cations et anions majeur, cette méthode est une étape nécessaire avant toute interprétation des résultats. En effet, l'eau naturelle est composée de plusieurs ions chargés électriquement, à savoir des cations (chargés positivement) et des anions (chargés négativement), cependant sa charge électrique total est neutre, ceci n'est possible que si, la somme des charges positives égale à la somme des charges négatives ; c'est le principe de la balance ionique (Brouyère, 2020).

Figure 19 : carte de localisation des stations d'échantillonnages dans la zone d'étude (réalisation personnelle).

## Carte de localisation des stations d'échantillonnages



Le calcul de la balance ionique se fonde sur l'équation suivante :

$$\text{Balance ionique (\%)} = \left( \frac{\sum \text{Cations} - \sum \text{Anions}}{\sum \text{Cations} + \sum \text{Anions}} \right) \times 100$$

Quoi que, théoriquement la balance ionique doit être égale à 0, mais c'est rarement obtenu, cette différence dans la balance ionique est due à d'éventuelles erreurs d'analyse ou à la présence d'ion mal connu, cependant, la valeur de la balance ionique ne doit pas dépasser les 2% à 5%. D'une manière générale, les résultats des analyses sont considérés de la manière suivante (BRGM, 2007):

- $-1\% < \text{BI} < 1\%$  : fiabilité des résultats d'analyses excellente.
- $-5\% < \text{BI} < 5\%$  : fiabilité des résultats d'analyses acceptable.
- $-10\% < \text{BI} < 10\%$  : fiabilité des résultats d'analyses médiocre.
- $\text{BI} < -10\%$  ou  $\text{BI} > 10\%$  : mauvaise fiabilité des résultats d'analyses.

Par ailleurs, une grande différence de la balance ionique peut être révélatrice d'une :

- protocole/méthode d'analyse pas assez précise ;
- eau faiblement minéralisée (l'erreur est relativement plus grande.) ;
- des ions oubliés présentent des concentrations élevées ;
- présence de polluants (exemple : des composés organiques polaires et ionisantes peuvent intervenir dans l'équilibre) ;

En ce qui concerne les données récoltées pour cette étude, l'analyse de la balance ionique est effectuée sur 92 échantillons par rapport à 132 disponible (comme déjà mentionner, certains échantillons ne dispose pas d'analyse de tous les ions majeurs).

Les valeurs de la balance ionique se répartissent comme suit :

17 % d'échantillons présentent une mauvaise fiabilité.

15 % d'échantillons présentent une fiabilité médiocre.

40 % d'échantillons présentent une fiabilité acceptable.

28 % d'échantillons présentent une fiabilité excellente.

Et par conséquent, 17 % des analyses effectuées ne seront pas prises, ce qui représente 16 échantillons.

### **III. Avantage et inconvénient d'utilisation des analyses physico-chimique**

#### **III.1. Avantages**

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques restent l'outil le plus utilisé pour identifier la qualité de l'eau par rapport à d'autres outils (Ex : outils biologiques), il a l'avantage de fournir une mesure précise de la concentration des polluants dans l'eau, ce qui permet de déterminer les polluants qui dépassent les seuils de qualité prédéfinie, en plus les prélèvements d'échantillonnages sont simples, rapides et demandent peu de matériels.

#### **III.2. Inconvénients**

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques présentent par ailleurs quelques inconvénients, ils offrent une information ponctuelle et indiquent la qualité de l'eau au moment et à l'endroit du prélèvement, et ne prennent pas en charge les fluctuations horaires et journalières dues à la différence de la charge polluante. Néanmoins, l'augmentation du nombre des prélèvements et la distribution de leurs localisations tout au long de la rivière peuvent pallier à ce problème.

En outre les prélèvements d'échantillons nécessitent un savoir-faire pour éviter des fausses manœuvres qui en résultent des faux résultats, autrement les résultats de certaines analyses (Ex : analyses bactériologiques) nécessitent plus de temps et un laboratoire équipé.

### **IV. Types de mesures**

Pour chacune des stations prélevées, plusieurs facteurs physico-chimiques ont été déterminés afin d'évaluer au mieux la qualité de l'eau.

#### **IV.1. Les paramètres mesurés *in situ***

De nombreuses réactions (chimiques, physiques ou biologiques) peuvent se produire au sein d'un échantillon destiné à l'analyse, modifiant sensiblement les concentrations de certains éléments, donc un certain nombre de mesures sont effectuées obligatoirement sur le terrain, de préférence dans la rivière même, si non dans un récipient de grande capacité.

Il s'agit des paramètres suivants : la température, l'oxygène dissous, la conductivité et le pH. Ces mesures sont réalisées à l'aide d'appareils portatifs spécifiques.

#### **IV2. Les paramètres mesurés au laboratoire**

Parallèlement aux mesures effectuées *in situ*, d'autres analyses sont faites au laboratoire. Elles concernent notamment l'alcalinité, la dureté totale, la dureté calcique, les chlorures, les nitrites, les nitrates, l'ammonium, les phosphates, les sulfates et les coliformes totaux, etc.

### **V. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau**

Afin de déterminer la qualité des eaux superficielles dans la zone d'étude, une interprétation et analyse des données sera effectuée. Au départ, nous allons analyser la minéralisation des eaux superficielles et leur faciès, puis nous allons évaluer la qualité de l'eau en se basant sur la grille marocaine de la qualité, définie par l'arrêté conjoint du ministère de l'équipement et du ministre chargé de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement n° 1275-02 du 10 Chaabane 1423 (17 octobre 2002).

#### **V.1. Minéralisation et faciès des eaux**

L'analyse hydro-chimique des eaux naturelles comporte :

- la minéralisation des eaux : déterminer par la concentration des ions présentés en solution et par conséquent une grande minéralisation peut être révélateur d'une contamination des eaux. La minéralisation des différentes stations est représentée via le diagramme de **Schöeller-Berkaloff**, où chaque échantillon est représenté par une ligne brisée et la concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques (Rahmani, 2016).
- le faciès hydro-chimique de l'eau décrit les proportions relatives d'ions les uns par rapport aux autres ce qui nous permet de déterminer les variations relatives dans la composition de



chaque échantillon, nous avons représenté le faciès des différentes stations par le biais de diagramme de **Piper**, Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global. Le principe consiste à représenter dans chaque triangle équilatéral les quantités en réaction par rapport à la concentration totale des anions et des cations, on obtient ainsi deux points représentatifs indiquant la dominance d'un anion ou d'un cation (Rahmani, 2016).

Les diagrammes utilisés dans l'élaboration de cette étude proviennent du logiciel Diagramme, développé par l'équipe du laboratoire hydrogéologie de l'université d'Avignon. Le logiciel est gratuit et permet une manipulation simple du jeu de données.

## **V.2. Utilisation de l'indice de qualité pondéré**

L'évaluation de la qualité de l'eau est une procédure délicate dépend de plusieurs descripteurs (phosphate, oxygène, PH, etc.) et nécessite une connaissance scientifique solide du domaine de l'eau, d'où l'utilisation d'indice de qualité pour pallier à ce problème. Les indices de la qualité de l'eau sont des outils de représentation simplifier de la qualité afin de faciliter la compréhension auprès des décideurs et du grand public. L'élaboration des indices dans le monde suit un peu le même raisonnement, il se base sur la transformation des concentrations de certains descripteurs (bien choisie), en sous-indice adimensionnel par le biais de formule mathématique (HÉBERT, 1996).

Dans cette étude, nous allons utiliser le système élaboré par la Direction des Ressources et la Planification de l'Eau (DRPE) au Maroc, le système est basé sur la notion de l'indice de qualité pondéré (Errochdi et al., 2012), le calcul est effectuer pour 12 descripteurs physico-chimiques et bactériologiques (paramètres), regroupés en 7 altérations.

La formule du calcul de l'indice pondéré pour chaque paramètre est la suivante :

$$\mathbf{IPpa} = \mathbf{Ii} + [(\mathbf{Is} - \mathbf{Ii}) / (\mathbf{bs} - \mathbf{bi})] \times (\mathbf{bs} - \mathbf{pa})$$

- ❖ **IPpa** : indice pondéré du paramètre analysé
- ❖ **Ii** : Indice inférieur
- ❖ **Is** : Indice supérieur
- ❖ **bi** : borne inférieure
- ❖ **bs** : borne supérieure
- ❖ **pa** : paramètre analysé

En effet, l'indice d'un paramètre s'obtient par pondération et l'indice d'une altération s'obtient par la moyenne des valeurs pondérées des paramètres caractérisant la dite altération (IP) (Errochdi et al., 2012). L'indice de qualité global de l'eau est l'indice d'altération le plus mauvais.

La grille générale présente cinq classes réparties selon les indices pondérés (tab 2), on trouve :

- Classe de qualité excellente : l'indice pondéré 100\_80, couleur : bleue
- Classe de qualité bonne : l'indice pondéré varie entre 80\_60, couleur : verte
- Classe de qualité moyenne : l'indice pondéré varie entre 60\_40, couleur : jaune
- Classe de qualité mauvaise : l'indice pondéré varie entre 40\_20, couleur : violette
- Classe de qualité très mauvaise : l'indice pondéré varie entre 20\_0, couleur : rouge

Classes de qualité		CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE4	CLASSE5
		Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très Mauvaise
Indices pondéré		100 _ 80	80 _ 60	60 _ 40	40 _ 20	20 _ 0
Paramètres	Unités	Altération				
I- Matières organiques et oxydables MOOX						
O2 dissous	mg/l	>7	7-5	5-3	3-1	<1
Ammonium	mg/l	≤0,1	0,1-0,5	0,5-2	2-8	8 - 50
DBO 5	mg/l	<3	03_06	06_10	10_25	>25
DCO	mg/l	<30	30-35	35-40	40-80	>80
II- Minéralisation						
Conductivité à 20°C	µS/cm	100 - 750	750-1300	1300-2700	2700-3000	3000 -7000
III- Matières en suspension MES						
Turbidité	NTU	<15	15-35	35-70	70-100	>100
IV- Nitrates						
Nitrates (NO3-)	mg/l	≤10	10-25	25-50	>50	
V- Eléments azotés hors nitrates						
Ammonium	mg/l	≤0,1	0,1-0,5	0,5-2	2-8	8 – 50
Nitrite (NO2-)	mg/l	≤0,03	0,0.3-0,3	0,3-0.5	0.5-1	>1
VI- Matière phosphorées						
Ortho-phosphate (PO43-)	mg/l	≤0,2	0,2-0,5	0,5-1	1-5	>5
VII – Micro-organismes						
Coliformes fécaux	(UFC/100ml)	≤20	20-2000	2000-20000	20000-50000	>50 000
Coliformes totaux	(UFC/100ml)	≤50	50-5000	5000-50000	>50 000	
Streptocoques fécaux	(UFC/100ml)	≤20	20-1000	1000-10000	>10 000	

Tableau 2 : Extrait de la grille générale de la qualité physico-chimique utilisée pour la classification des eaux de surface

## ***CHAPITRE II : Résultats et discussions***

# I. Minéralisation

## I.1 Diagramme de Schöeller-Berkaloff

Pour mieux visualiser la minéralisation des stations, nous avons choisi d'utiliser le graphique de Schöeller-Berkaloff, qui a l'avantage de présenter à la fois la minéralisation et les éléments ioniques responsable. On ce qui concerne cette étude, nous avons représenté la minéralisation de 7 stations répartie sur toute la zone d'étude. Les données physico-chimiques des 7 stations, allant de 2007 à 2017 ont été regroupées selon leur centile 90.

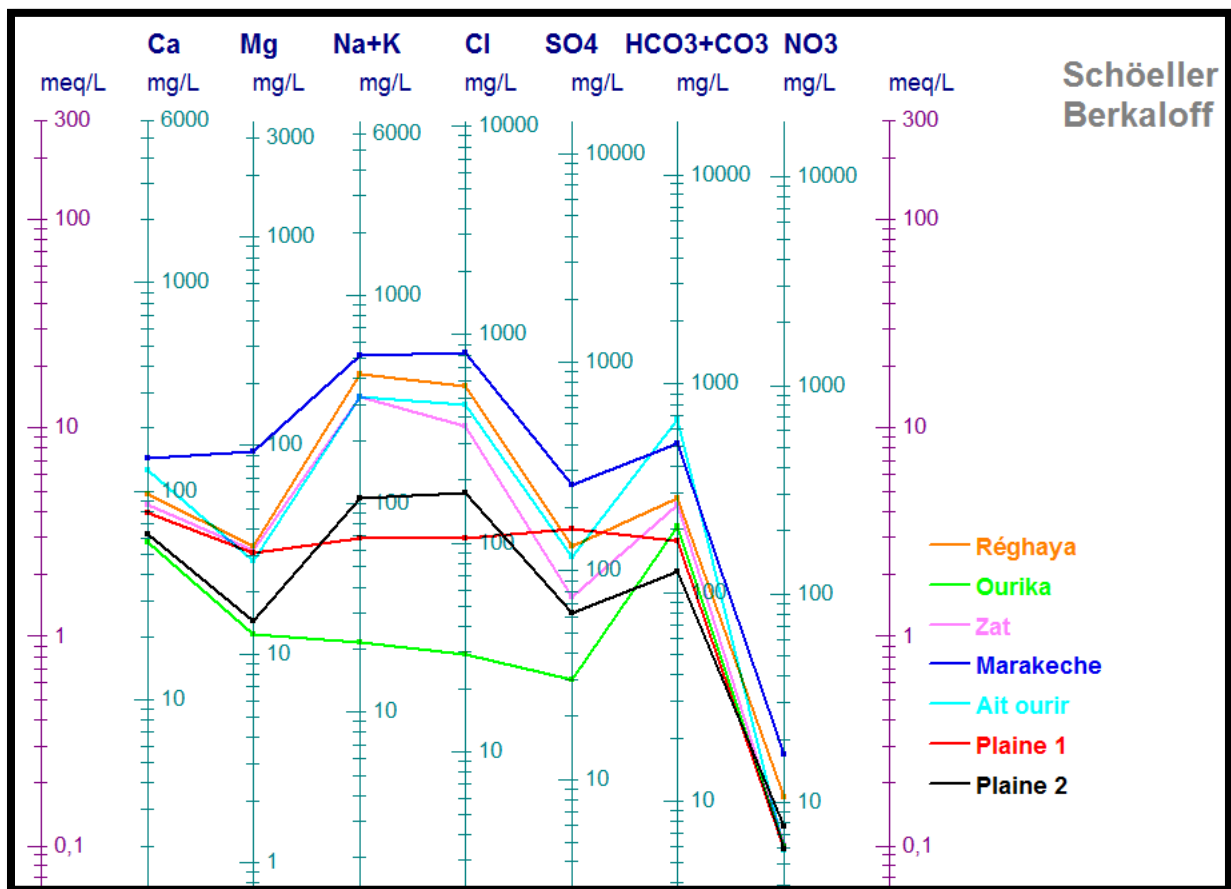


Figure 20 : représentation de la minéralisation des stations par le diagramme de Schöeller-Berkaloff.

L'analyse des résultats de la minéralisation montre l'existence de 3 groupes :

- groupe minéraliser : représenté par les stations de Marrakech, Aït ourir, Régghaya et Zat, la conductivité de ce groupe varie entre 2930  $\mu\text{s}/\text{cm}$  à Marrakech et 1826  $\mu\text{s}/\text{cm}$  à Zat. La minéralisation élevée de ces stations est due probablement à une contamination par des rejets

urbains. Et par conséquent, la conductivité de ses stations les place dans la classe moyenne de la qualité des eaux.

- groupe peu minéralisé : formé par les stations plaines 1 et 2, localiser dans la plaine de Haouz avec des conductivités de l'ordre de 765  $\mu\text{s}/\text{cm}$ . La minéralisation des eaux de ces stations est peu influencée par les rejets urbains et l'agriculture, et par conséquent leur conductivité est placée dans la classe bonne de la qualité des eaux.

- groupe faiblement minéralisé : constituer par la station située dans le sous bassin d'Ourika. La conductivité de l'eau dans cette région est de l'ordre de 376  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , ainsi l'eau est dotée d'une excellente qualité.

## I.2. Diagramme de Piper et Stabler

En ce qui concerne le faciès hydro-chimique des échantillons, nous avons choisi de le représenter par le biais des diagrammes de Piper et Stabler, ceci nous permettra de déterminer le type de faciès des différentes stations et la proportion des éléments chimiques au niveau du même échantillon, les résultats sont présentés sur la figure 21.

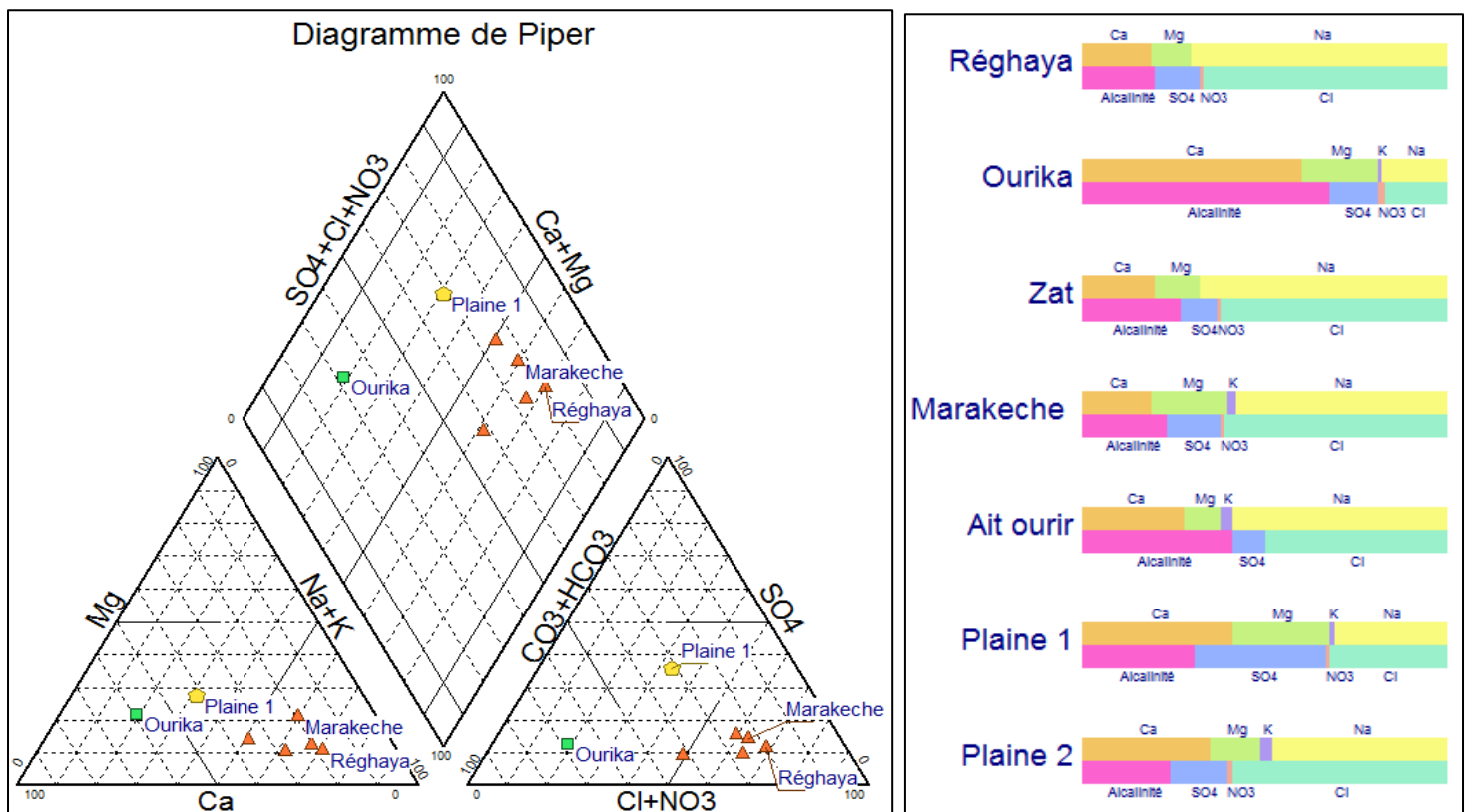


Figure 21 : représentation de faciès des stations par les diagrammes de Piper et Stabler.

On constate que les stations se répartissent en 3 groupes en fonction de leur faciès :

- Le groupe de faciès chloruré sodique : composé de la majorité des stations (Marrakech, Aït Ourir, Réghaya, Zat et plaine 2), il est caractérisé par une dominance de sodium au niveau des cations et une grande proportion d'ions chlorures. L'augmentation de ces deux éléments résulte d'une part aux rejets urbains caractéristique des grandes agglomérations (Marrakech et Ait Ourir) et d'autre part, aux formations géologiques dominantes dans la partie amont des sous bassins, caractérisées par des terrains évaporitiques salifères. Les concentrations de ces deux éléments dépassent dans certains points (Marrakech et Ait Ourir) les normes de la qualité de l'eau de surface, et les normes de la potabilisation de l'eau fixer par la norme marocaine : NM 03.7.024 qui donne comme valeur limite 750 mg/l en ions chlorures (AAKAME Rachid et al., 2019).
- Le groupe de faciès bicarbonaté calcique : composé de la station dans le sous-bassin de l'Ourika, au niveau de ce point, l'eau est caractérisée par une dominance des calciums et des bicarbonates. La différence dans cette station peut être due à sa position éloignée des sources potentielle de pollution ce qui fait que sa teneur en ions chlorure et de sodium est faible.
- Le groupe de faciès chloruré et sulfatique, calcique et magnésienne représenté par la station située dans la plaine en zone intermédiaire entre l'amont et l'aval du bassin. En effet, le faciès hydro-chimique de l'eau dans ce point, se manifeste par des proportions égales des cations et anions majeur.

## **II. Évaluation de la qualité des eaux par l'indice pondéré global des différentes altérations**

### **II.1. Évolution des paramètres mesurés in situ**

#### Température :

C'est une caractéristique physique importante, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz dont, entre autres, l'oxygène nécessaire à l'équilibre de la vie aquatique (DE VILLERS et al, 2005), en plus la température est primordiale pour déterminer d'autres paramètres physiques tel que le pH et la conductivité. En outre, la température de l'eau dépend essentiellement de la température de l'air, cependant d'autres facteurs locaux peuvent l'influencer, par exemple les facteurs morphologiques (la pente), l'ombrage de la végétation riveraine et l'alimentation par les eaux souterraines.

Dans les stations étudiées, la température de l'eau varie entre un minima de 9.5 C° enregistré à Réghaya et un maximum de 31 C° enregistré à Marrakech, d'une façon générale, les mesures montrent que la température des eaux diminue avec l'augmentation de l'altitude. Ces valeurs sont généralement à l'intérieur des limites fixées par les normes marocaines de la qualité pour les eaux de surfaces (fig.22).

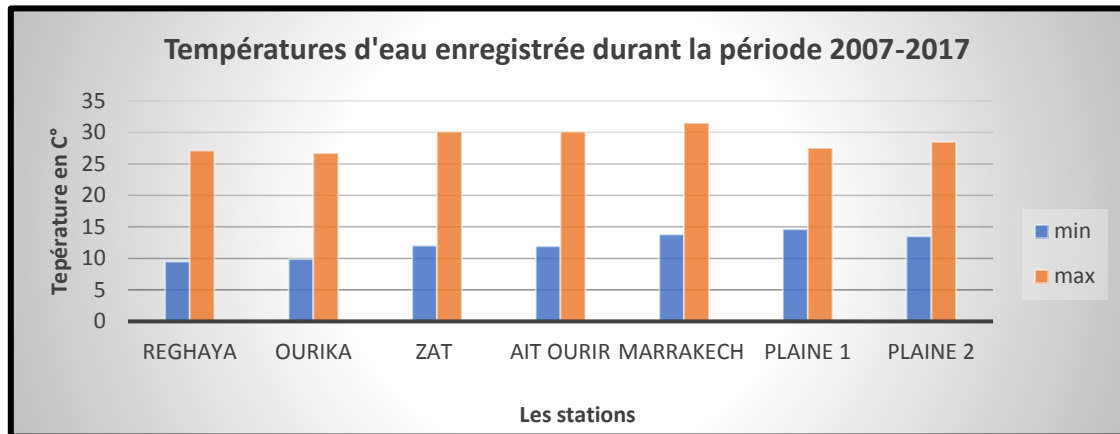


Figure 22 : les températures d'eau enregistrée dans les stations durant la période allant de 2007 à 2017.

pH :

Le pH est une mesure de l'acidité de l'eau c'est-à-dire de la concentration en ions d'hydrogène (H<sup>+</sup>), Le potentiel d'hydrogène dépend de la nature des eaux, de la nature de matériels géologique traversé et de la contamination des eaux par les polluants. Le ph conditionne la solubilité des métaux dans l'eau, en effet, un pH faible augmente la concentration des métaux sous forme ioniques plus toxique, tandis qu'un pH élevé favorise la formation d'ammoniac dans l'eau (DE VILLERS et al, 2005).

Les valeurs mesurées in situ révèlent que le pH est neutre à alcalin dans toutes les stations et varie entre 9.5 à Marrakech et 6.76 à Ourika, en effet le pH classe les eaux de la zone d'étude dans la qualité bonne à excellente, sauf la station de Marrakech et Ait Ourir dont le pH dépasse les normes (> 9.2) et la qualité devienne mauvaise (fig.23).

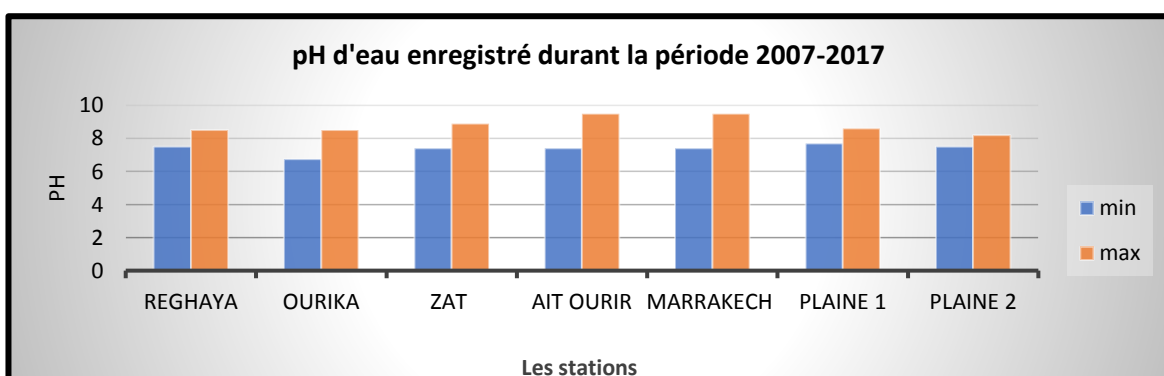


Figure 23 : le pH de l'eau enregistrée dans les stations durant la période allant de 2007 à 2017



## II.2. Évolution de la qualité physico-chimique des 5 stations principale de la zone d'étude

Rhéghaya :

Les résultats numériques des indices pondérés des différents paramètres et de la qualité globale calculés au niveau de la station de Réghaya durant la période 2007-2017 sont résumés dans la figure 24 et l'annexe 1. Nous avons choisi de ne pas représenter l'indice pondéré de la turbidité, à cause que ce dernier représente de très mauvaise qualité ce qui peut masquer l'analyse de la qualité des autres paramètres.

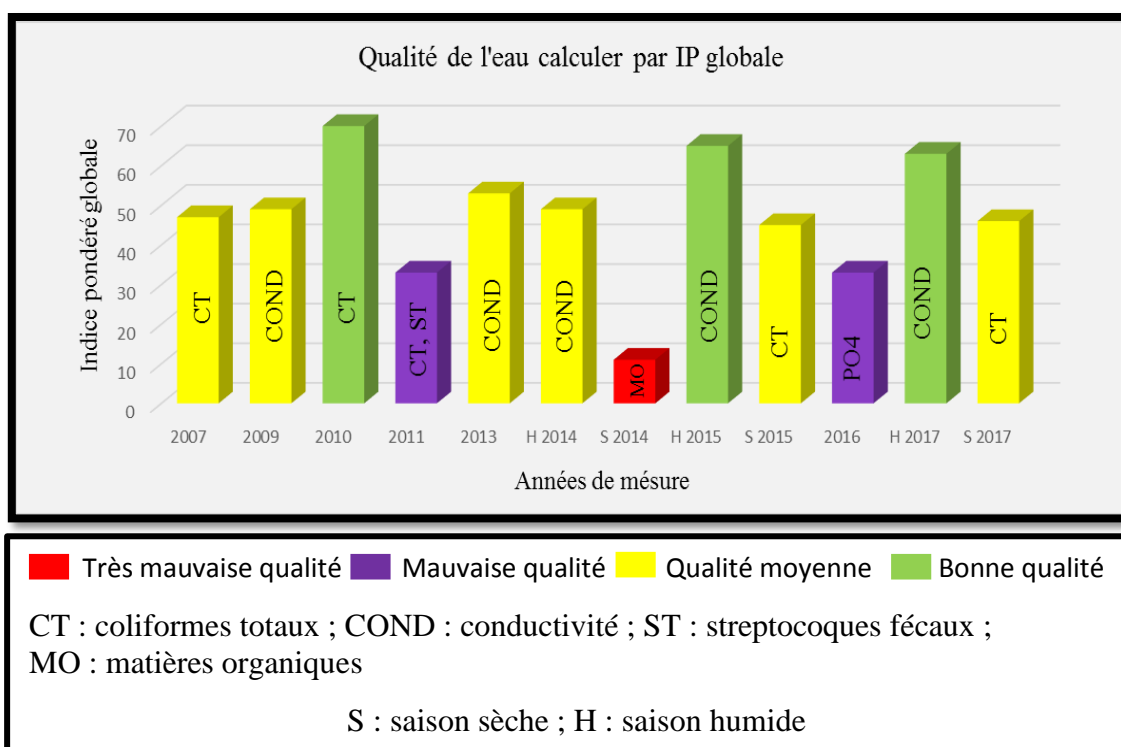


Figure 24 : l'indice pondéré globale calculé pour la station de Réghaya durant la période allant de 2007 à 2017

D'après les résultats, on constate que la qualité de l'eau dans la station de Réghaya varie d'une année à l'autre, avec une dominance de la qualité moyenne qui représente 50% des échantillons.

Les résultats nous montrent que les deux paramètres les plus influents sur la qualité de l'eau au niveau de la station de Réghaya, sont les coliformes totaux et la conductivité, avec des taux égaux de 42% chacun. À propos de la conductivité et comme déjà mentionné dans le paragraphe de la minéralisation, la source probable de cette contamination sont les formations géologiques salifère, qui augmente la teneur du chlore et du sodium dans l'eau. En ce qui

concerne les coliformes totaux qui représente un groupe de bactéries fréquent dans l'environnement (sol et végétation), ainsi que dans les intestins des mammifères, dont les êtres humains, leur présence peut être révélateur d'une contamination par la matière fécale humains ou d'une contamination par des eaux de ruissellement lors des périodes des précipitations.

En outre, les résultats montrent une différence claire entre les saisons sèches et les saisons humides, on remarque que durant les années 2014, 2015 et 2017, la période sèche présente une qualité d'eau mauvaise par rapport à la qualité de la saison humide, ceci est expliqué par le fait que le débit de la rivière durant la période sèche diminue et les concentrations des polluants augmentent, tandis que les précipitations au cours des périodes humides provoquent la dilution des polluants.

Par ailleurs, l'analyse de l'annexe 1 qui regroupe les indices pondérés de chaque paramètre, donnent plus d'information concernant l'état de la qualité des eaux dans le Réghaya, on constate que :

- les paramètres qui indiquent une bonne à excellente qualité représentent 66% de toutes les analyses réalisées dans la période allant de 2007 à 2017
- les nitrates et les nitrites représentent des excellentes qualités, ceci est dû à la pénurie des terrains agricole dans le sous-bassin.
- la teneur en oxygène, le DBO5, le DCO et le NH4, représentent majoritairement des bonnes à excellente qualité, sauf la saison sèche de 2014 dont nous constatons une altération élevée des matières organiques et oxydables, probablement résultent d'une contamination accidentelle de la rivière.
- la turbidité détériore gravement la qualité de l'eau durant les années 2009,2010 et 2011. Cependant, celle-ci est due probablement à l'altération des terrains meubles à cause de la nature torrentiel de l'écoulement et la rareté du couvert végétal.
- les streptocoques fécaux montrent des proportions non négligeables et présentent un risque pour la santé humaine, en effet les streptocoques fécaux englobe le genre « Enterococcus » et les streptocoques du groupe antigénique D. Le genre Enterococcus comprend une vingtaine d'espèces qui se retrouvent souvent dans le tractus gastro-intestinal des humains et de plusieurs animaux. Les streptocoques du groupe D sont plutôt typiques des déjections animales, comme Streptococcus bovis (INSPQ, 2002). L'infection par ces bactéries provoque le développement

d'une gastro-entérite, ce qui cause des diarrhées, des crampes, des nausées, des vomissements et de la fièvre (MediPedia, 2020).

### Ourika :

Les résultats du calcul de l'indice pondéré globale et les indices pondérés de chaque paramètre sont résumés dans la figure 25 et l'annexe 2. Nous avons choisi de ne pas représenter l'indice pondéré de la turbidité, à cause que ce dernier représente de très mauvaise qualité ce qui peut masquer l'analyse de la qualité des autres paramètres.

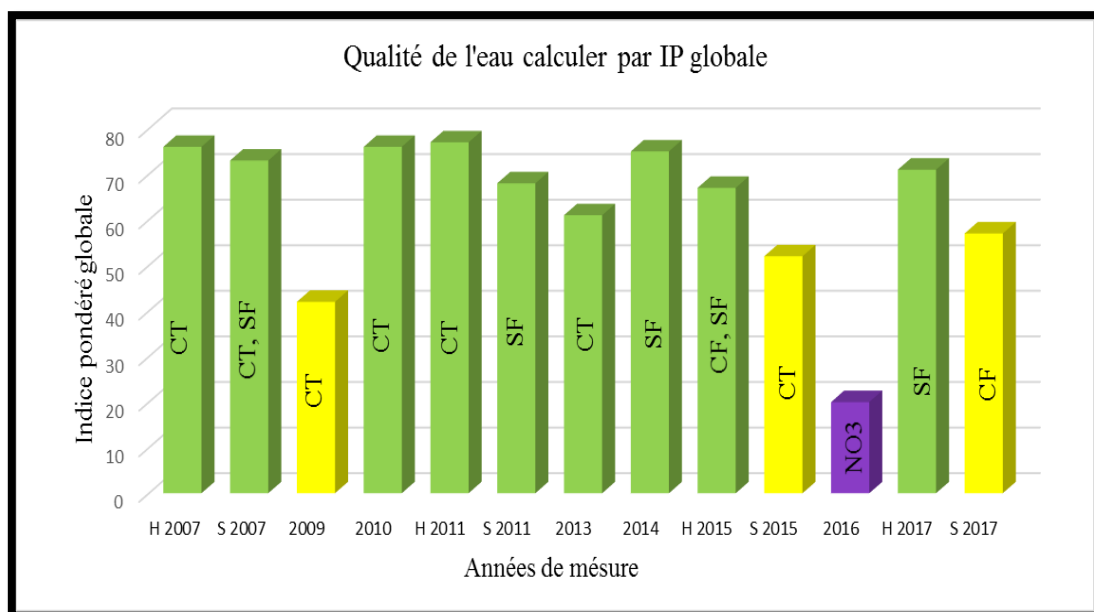


Figure 25 : l'indice pondéré globale calculé pour la station d'Ourika durant la période allant de 2007 à 2017

L'analyse de la figure 25, indique que la qualité de l'eau dans la station de l'Ourika est majoritairement bonne et représente 70% des échantillons.

On constate que les microorganismes sont les causes principales de l'altération de la qualité de l'eau dans le sous bassin. En effet, et durant la période allant de 2007 à 2017 seule une fois, les paramètres physico-chimiques (nitrate) étaient le responsable de l'altération de la qualité.

L'altération de la qualité par les microorganismes est due essentiellement aux streptocoques fécaux et aux coliformes totaux, ce qui indique une contamination par la matière fécale.

En ce qui concerne les nitrates, ils sont responsables de la détérioration de la qualité de l'eau en 2016 avec une concentration de 121 mg /l, cette valeur est exceptionnelle et révèle soit une contamination accidentelle ou une fausse analyse hydro-chimique.

En outre, l'analyse de l'annexe 2 qui regroupe les indices pondérés de chaque paramètre, donnent plus d'information concernant l'état de la qualité des eaux dans l'Ourika ont conclue :

- les indices pondérés des paramètres qui représentent une qualité excellente à bonne sont de l'ordre de 87 %
- les paramètres nitrite, ammonium, phosphate, DBO5 et DCO représentent des qualités excellentes.
- la conductivité est d'excellente qualité indique une minéralisation faible de l'eau.
- la turbidité dote l'eau d'une qualité très mauvaise, cependant, les cause de cette détérioration reste naturel.
- on constate une altération de la qualité de l'eau durant les périodes sèches, en effet, c'est durant ces périodes qu'on enregistre des qualités moyennes.

Zat :

Les résultats numériques des indices pondérés des différents paramètres et de la qualité globale calculés au niveau de la station de Zat durant la période 2007-2017 sont résumés dans la figure 26 et l'annexe 3. Nous avons choisi de ne pas représenter l'indice pondéré de la turbidité, à cause que ce dernier représente de très mauvaise qualité ce qui peut masquer l'analyse de la qualité des autres paramètres.

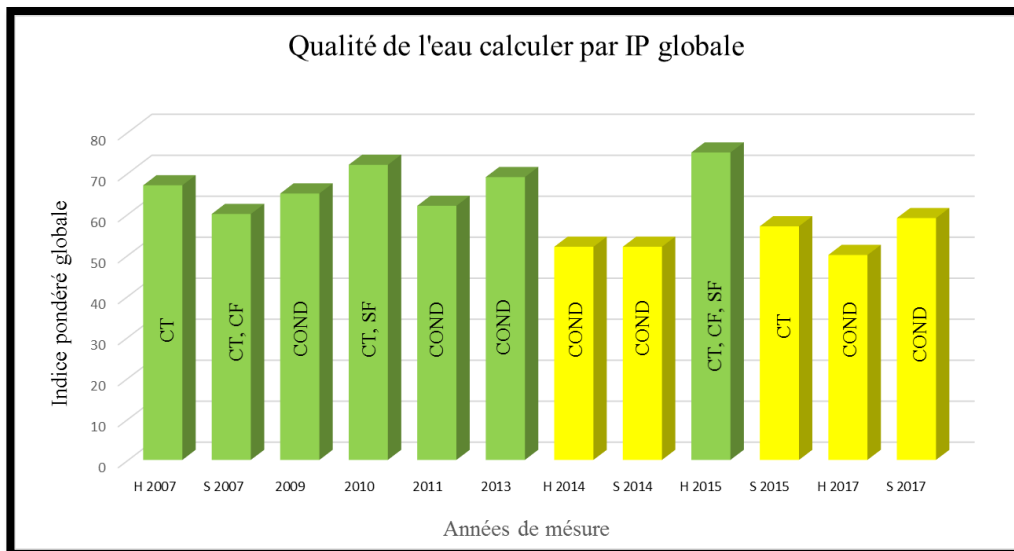


Figure 26 : l'indice pondéré globale calculé pour la station de Zat

D'après les résultats représentés dans la figure 26, nous remarquons une dominance de la qualité bonne de l'eau dans la station de Zat avec 58 % des échantillons. Tandis que la qualité moyenne représente 42 % des analyses.

En ce qui concerne les causes principales de la détérioration de la qualité de l'eau, on trouve la conductivité avec 58% des échantillons, et les microorganismes représenter majoritairement par les coliformes totaux.

En absence de pollution due aux matières organiques, on peut lier cette augmentation de la conductivité à des causes naturelles principalement le matériel géologique salifère. Par contre la présence de plusieurs groupes de micro-organismes indique une contamination par des matières fécales.

En outre les indices pondérés des paramètres, résumés dans l'annexe 3 nous permet de constater que :

- les paramètres qui indiquent une bonne à excellente qualité représentent 84% de toutes les analyses réalisées dans la période allant de 2007 à 2017.
- les paramètres nitrite, ammonium, nitrate, et phosphate représentent des qualités excellentes dans toute la période de suivi.
- le DBO5, le DCO, représentent majoritairement des excellentes qualités, sauf pour la saison sèche de 2014, dont là quel, le DCO a présenté un indice de qualité très mauvaise.

- la turbidité dans le sous bassin de Zat présente l'un des paramètres les plus polluants avec des valeurs arrive à 896 NTU.

#### Aït Ourir :

Les résultats du calcul de l'indice pondéré globale et les indices pondérés de chaque paramètre sont résumés dans la figure 27 et l'annexe 4. Nous avons choisi de ne pas représenter l'indice pondéré de la turbidité, à cause que ce dernier représente de très mauvaise qualité ce qui peut masquer l'analyse de la qualité des autres paramètres.

Les résultats repris dans la figure 27, indiquent que la station de Aït Ourir est caractérisée par une très mauvaise qualité. En effet, est durant la période de suivi de la qualité allant de 2007 à 2017, la mauvaise et la très mauvaise qualité représentent 77% des échantillons.

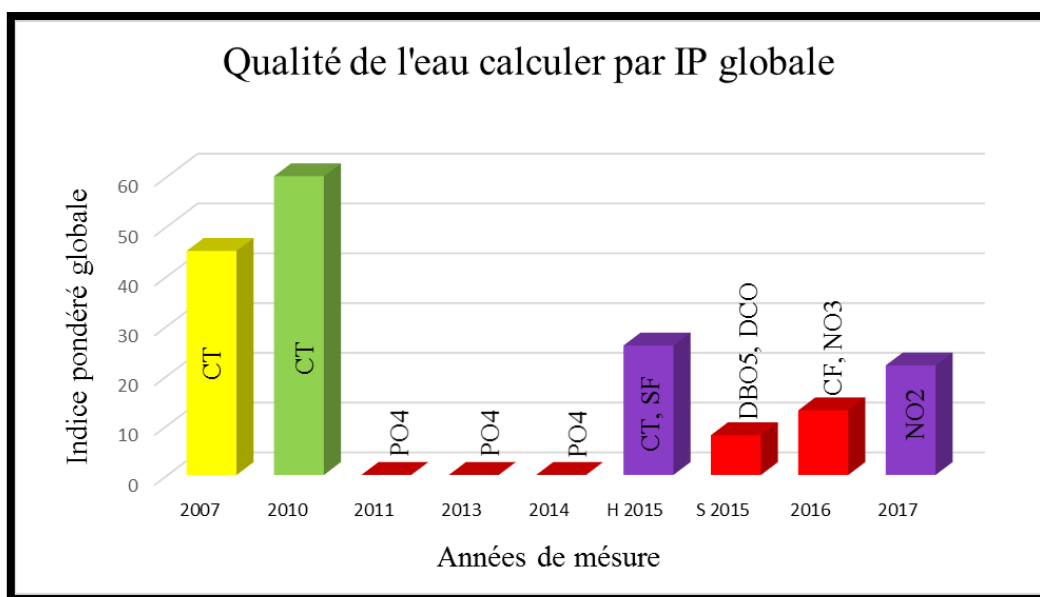


Figure 27 : l'indice pondéré globale calculé pour la station d'Aït Ourir

En ce qui concerne les paramètres responsables de l'altération de la qualité, on trouve un cocktail de polluants physico-chimiques et bactériologiques, en effet le paramètre principal de l'altération diffère d'une année à autre, et la majorité des polluants participent à la détérioration de la qualité. Cependant, on note dans les années 2011, 2013 et 2014, une très mauvaise qualité due au phosphate avec des concentrations arrivant à 9.5 mg/l.

L'analyse des indices pondérés des paramètres résumés dans l'annexe 4 montre que :

- les paramètres qui indiquent une mauvaise à très mauvaise qualité représentent 48% de toutes les analyses réalisées dans la période allant de 2007 à 2017.
- la DBO5, DCO, NH4 et les coliformes fécaux représentent de très mauvaise qualité (55 % des totales d'analyse) avec des indices pondérés égale à 0.
- la turbidité et le paramètre le plus polluants avec 66 % des échantillons dotés de très mauvaise qualité.
- le phosphate représente des grandes concentrations dans les période sèche (septembre 2011, juillet 2013 et juin 2014) ce qui peut indiquer une contamination par ruissellement des eaux d'irrigation chargé d'engrais.

Marrakech :

Les résultats du calcul de l'indice pondéré globale et les indices pondérés de chaque paramètre sont résumés dans la figure 28 et l'annexe 5. Nous avons choisi de ne pas représenter l'indice pondéré de la turbidité, à cause que ce dernier représente de très mauvaise qualité ce qui peut masquer l'analyse de la qualité des autres paramètres.

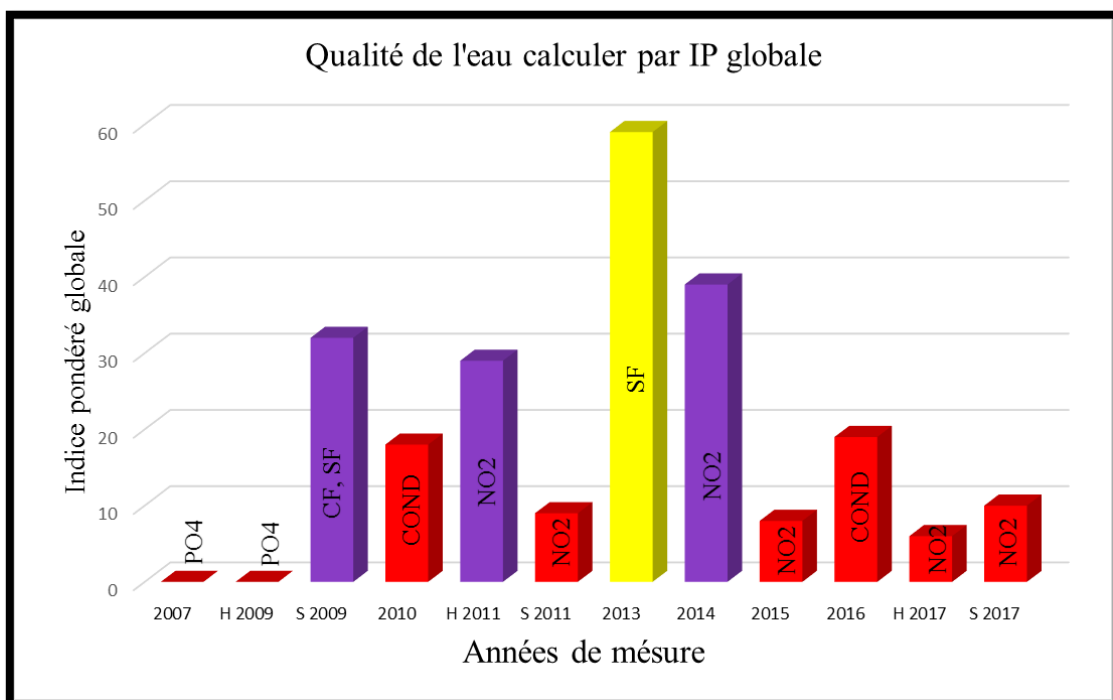


Figure 28 : l'indice pondéré globale calculé pour la station de Marrakech

D'après les résultats représentés dans la figure 28, nous remarquons une dominance de la qualité très mauvaise avec 66 % des échantillons. Les responsables de cet état de qualité sont le nitrite, la conductivité et le phosphate, cependant les autres paramètres comme les matières organiques et les micro-organismes représente aussi de très mauvaise qualité.

L'analyse des indices pondérés des paramètres résumés dans l'annexe 5 montre que :

- 43 % des analyses sont caractérisées par une qualité mauvaise à très mauvaise.
- à l'exception des nitrates, tous les paramètres en enregistré au moins une fois, une très mauvaise qualité durant le suivi allant de 2007 à 2017.
- la turbidité, les nitrites et les streptocoques fécaux sont les paramètres les plus polluants avec 50 % d'analyse très mauvaise sur une totale de 12 analyses effectuées depuis 2007 à 2017. En effet, les nitrites dans cette station de mesure atteignent des concentrations spectaculaires de l'ordre de 7.9 mg/l, le nitrite est un élément très toxique pour la vie aquatique et les humains, le nitrate et le nitrite sont responsable de la méthémoglobinémie, qui se manifeste par une réduction de la capacité du transport de l'oxygène par l'hémoglobine, en fait le nitrate/nitrite va se fixer sur les ions de fer et par conséquent ces derniers deviennent incapable de fixer l'oxygène.

Le nitrite est considéré comme une molécule transitoire dans l'environnement et qu'il s'oxyde rapidement en nitrate, sa présence avec des grandes concentrations dans l'environnement est le résultat de plusieurs réaction influencé par le PH, la température et la concentration de NH<sub>3</sub> libre, en effet, les processus responsables de la formation du nitrite sont la nitrification (NH<sub>4</sub> → NO<sub>2</sub>), la dénitrification (NO<sub>3</sub> → N<sub>2</sub>) et la réduction dissimulatrice du nitrate en ammonium (NO<sub>3</sub> → NH<sub>4</sub>), ces processus sont largement conditionner par les paramètres du milieu (PH, T°, O<sub>2</sub>, etc.) (Julie Corriveau, 2009).

### **III. Cartographie des résultats**

Afin de valoriser les résultats et mettre en évidence l'évolution de la qualité de l'eau dans la zone d'étude, nous avons élaboré plusieurs cartes de la qualité. Les données utilisées pour la réalisation de ces cartes ont été regroupées par le centile 90, et par conséquent, les cartes représentent une qualité générale du réseaux hydrographiques de la zone d'étude durant la période de 2007 à 2017.



## Qualité physico-chimique et bactériologique des réseaux hydrographiques de la zone d'étude en fonction du IP global

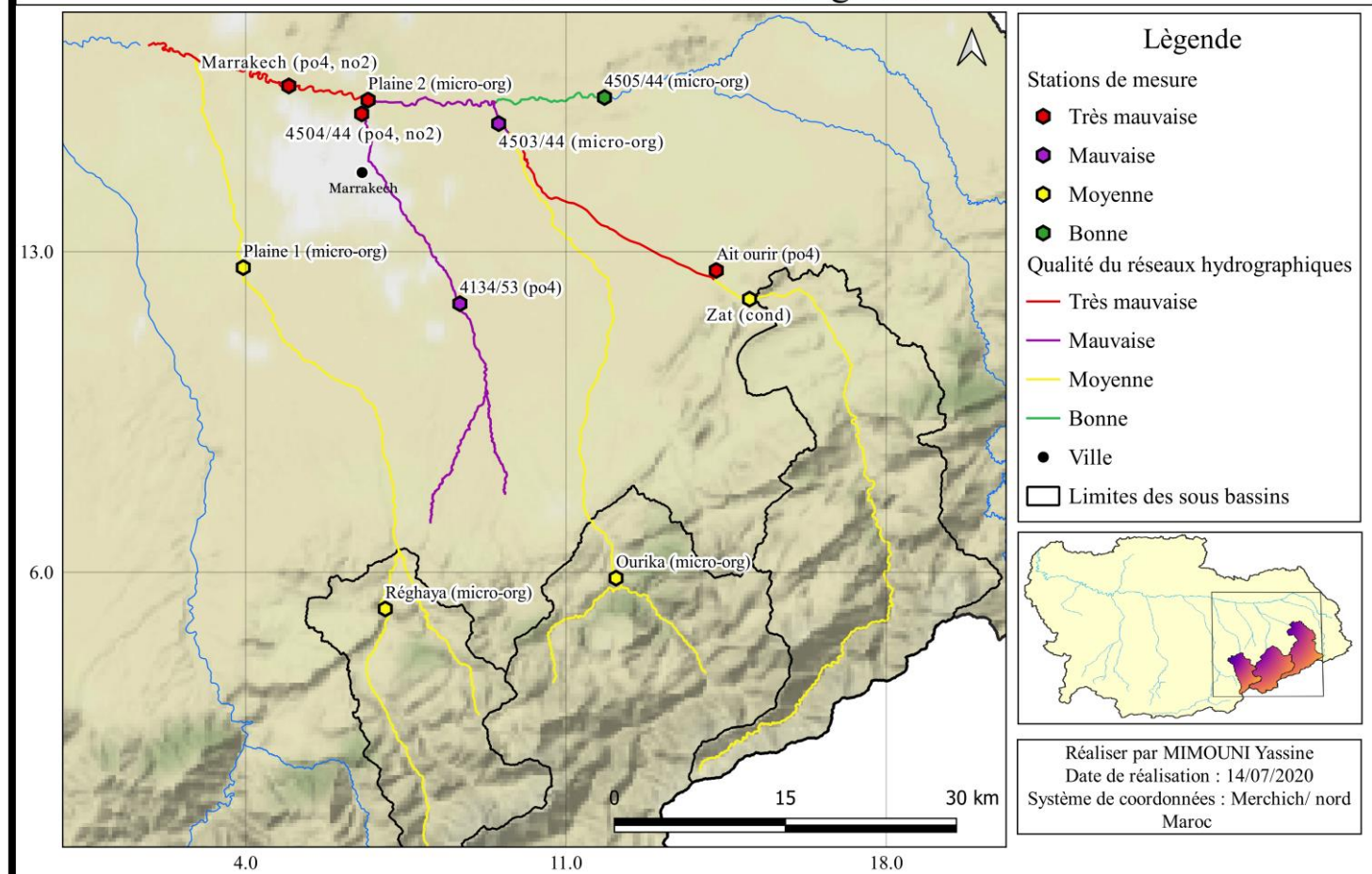


Figure 29 : évolution dans l'espace de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux durant la période allant de 2007 à 2017

La figure 29 présente la qualité et le paramètre responsable de l'altération de l'eau pour toute la période de 2007 à 2017, nous remarquons que :

- les sous bassins et la plaine (aval du bassin) ne représentent pas la même qualité, en effet les trois sous bassins sont caractérisés par une qualité moyenne avec des indices pondérées globale de l'ordre de 50, tandis que la plaine de Haouz présente une qualité très mauvaise et des indices pondéré très faible.
- les paramètres responsables de l'altération de la qualité se diffèrent d'une zone à l'autre, en fait l'amont du bassin est caractérisé par la présence des micro-organismes et des taux élevés de conductivité, cependant la plaine de Haouz est altérée essentiellement par les phosphates, l'azote et les micro-organismes. La différence entre les responsables de la pollution dans les deux zones est liée principalement à la différence de l'occupation des sols et les activités économiques, en réalité les activités agricoles est dominante dans la plaine de Haouz avec des

pratiques agricoles intensif ce qui génère une pollution diffuse par les engrais, la partie aval du bassin est caractériser par des rejets domestiques non traité augmentant ainsi la concentration des micro-organismes.

L'analyse des résultats présentées sur les annexes 6, 7 et 8 montrent que :

- les matières oxydables présentent une excellente à bonne qualité dans tout le bassin à l'exception de la station de Ait Ourir et la station de Marrakech où la qualité de ce paramètre est mauvaise
- les nitrates possèdent une excellente qualité dans tout le bassin à l'exception de la station de Marrakech doté d'une qualité très mauvaise. En outre, l'altération par les matières azotées ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ) représente de mauvaise qualité dans les deux stations de Ait Ourir et Marrakech
- en ce qui concerne les micro-organismes les stations de Ait Ourir et Marrakech sont caractérisés par une très mauvaise qualité, les sous bassin de l'Ourika et Réghaya présentent une moyenne qualité et le bassin de Zat est d'une bonne qualité.

#### **IV. Discussions et interprétation**

D'une façon générale et d'après les résultats de l'analyse de la qualité présentées dans les chapitres précédents, on peut conclure que la qualité des eaux de surface dans l'amont du bassin est meilleure que la qualité des eaux dans l'aval, en effet la qualité de l'eau dépend énormément de la position de la station de suivi par rapport aux différentes sources de pollution.

Les stations de suivi dans les sous-bassins versant sont situées à proximité d'agglomération moyennement peuplé, caractériser par l'absence de système de collecte et de traitement des eaux usées domestiques, les foyers dans ces zones rejettent l'eau usée soit directement dans la rivière ou dans des fausses septiques, cependant le faible débit et la faible charge polluante ne cause pas une grande détérioration de la qualité de l'eau.

L'aval du bassin est caractérisé par une activité économique plus importante et par conséquent la présence d'une grande population, les stations étudiées situées dans cette zone sont la station de Ait ourir et de Marrakech doté d'une mauvaise à très mauvaise qualité pour la majorité des paramètre étudiées, cette pollution est due essentiellement au rejet d'eaux usées domestique, en effet la station d'Ait Ourir est localisée dans l'aval de la ville d'Ait Ourir, cette dernière est caractérisé par une population de l'ordre de 39.108 habitants (en 2014) et possède un système de collecte d'eaux usées qui déverse directement dans la rivière sans traitement

préalable, ce qui influence largement la qualité de l'eau dans ce point. En ce qui concerne la station de Marrakech, elle est située dans l'aval de la ville de Marrakech avec 1 million d'habitants recensé en 2014, les eaux usées de la ville sont récoltées et traitées au niveau de la station d'épuration avant d'être rejetées dans la rivière, cependant le suivi de la qualité à l'aval de la station montrent une dégradation importante des eaux de surface pour la majorité des paramètres analysés, ce qui révèle soit un traitement de la station inefficace ou une contamination par des eaux usées non récoltées.

En plus, la plaine de Haouz avec ces périmètres irrigués et le développement d'une agriculture intensive participent à la pollution du Tensift, en effet le suivi de la qualité de l'eau montre la présence de grande concentration de phosphate et de l'azote qui indique la contamination par les fertilisants minéraux, principalement utilisés dans l'agriculture.

Stations	Source de pollution	Nombre d'habitants	Débit des eaux usées générées (Mm <sup>3</sup> /an)
Ait Ourir	Agglomération d'Ait Ourir	39.108	1
Marrakech	Aval de la ville de Marrakech / STEP	989.115	46

Tableau 3 : caractéristique des sources de pollution des eaux de surface au niveau de la zone d'étude

## V. Analyse en composante principale (ACP)

Étant donné le grand nombre des variables utilisées, et afin de bien visualiser les tendances majeures entre les variables et les stations de mesure, une analyse en composante principale a été effectuée par le biais du logiciel XLSTAT 2016.

En effet l'ACP constitue un outil puissant de compression et de synthèse de l'information, il sert à traiter et interpréter un nombre très important de données quantitatives (Guerrin & Marc, 2003). Le principe de l'ACP réside dans la transformation des variables quantitatives initiales corrélées entre elles, en nouvelles variables quantitatives, non corrélées, appelées composantes principales (Mounjid & Cohen, 2014).

L'analyse statistique a été réalisée sur deux matrices de donnée brut comprend 11 variables et 10 stations, les paramètres retenus pour cette étude sont : les composés azotés (NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> et NH<sub>4</sub>), l'ortho phosphates (PO<sub>4</sub>), l'oxygène dissous (O<sub>2</sub>), la turbidité, la Demande Biochimique en Oxygène (DBO<sub>5</sub>), la Demande Chimique en Oxygène (DCO), et les micro-organismes (CT, SF et CF). En effet, l'objectif de la réalisation de l'ACP dans cette étude est de démontrer les paramètres responsables de la pollution entre les saisons sèches et humides, et par conséquent nous avons effectué deux ACP sur deux matrices constituées par des données des saisons sèche et humide.

### V.1. Saison humide

L'analyse des résultats de l'ACP montre que l'axe 1 englobe 72 % de l'information totale et l'axe 2 représente 17% de l'information totale, le plan factoriel F1-F2 expose 89 % de l'inertie totale et par conséquent l'analyse des résultats de l'ACP se limitera sur ces deux axes.

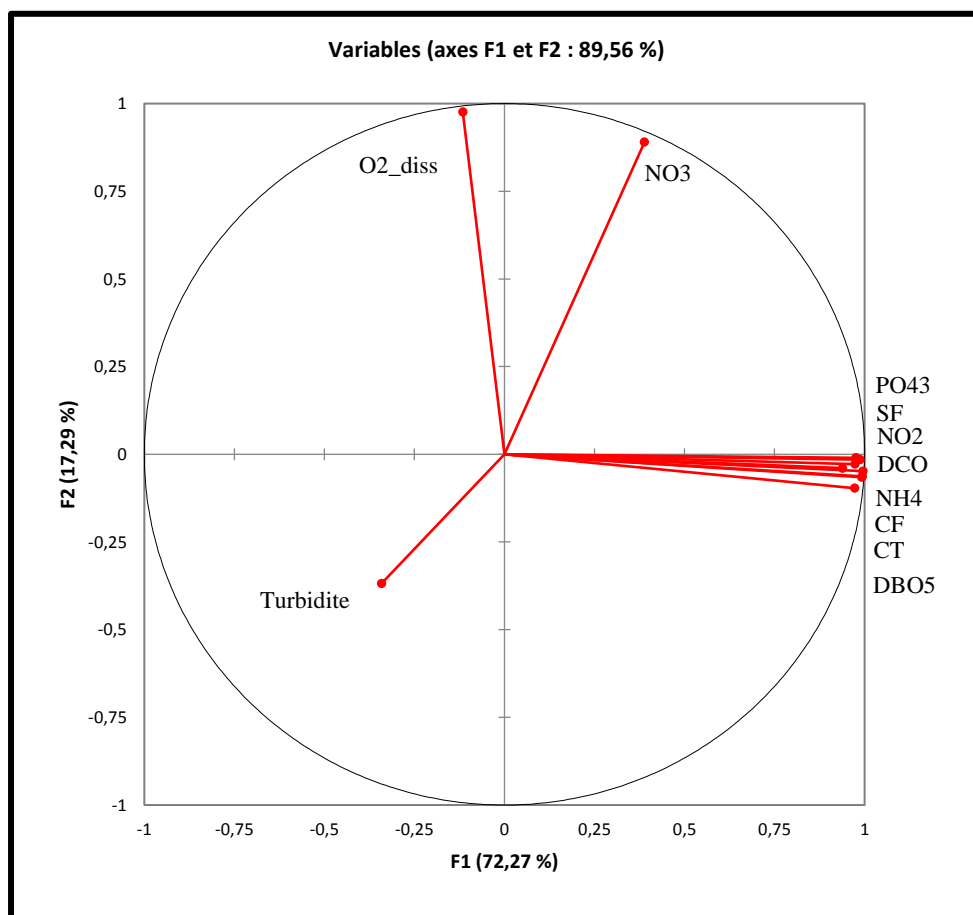


Figure 30 : représentation des variables sur le plan factoriel F1 et F2

L'analyse de cercle de corrélation (fig.30) montre que la majorité des variables contribuent à la détermination de l'axe F1 avec des corrélations très importante entre les paramètres PO4, NH4, NO2, DCO, DBO5, CF, CT et SF, ce qui indique qu'ils ont la même origine. De ces résultats on déduit que l'axe F1 traduit une pollution organique des eaux de surface.

En outre, le nitrate l'oxygène et la turbidité contribuent avec 98% dans la formation de F2 et présentent des corrélations inverse (positif pour le nitrate et l'oxygène dessous, négatif pour la turbidité).

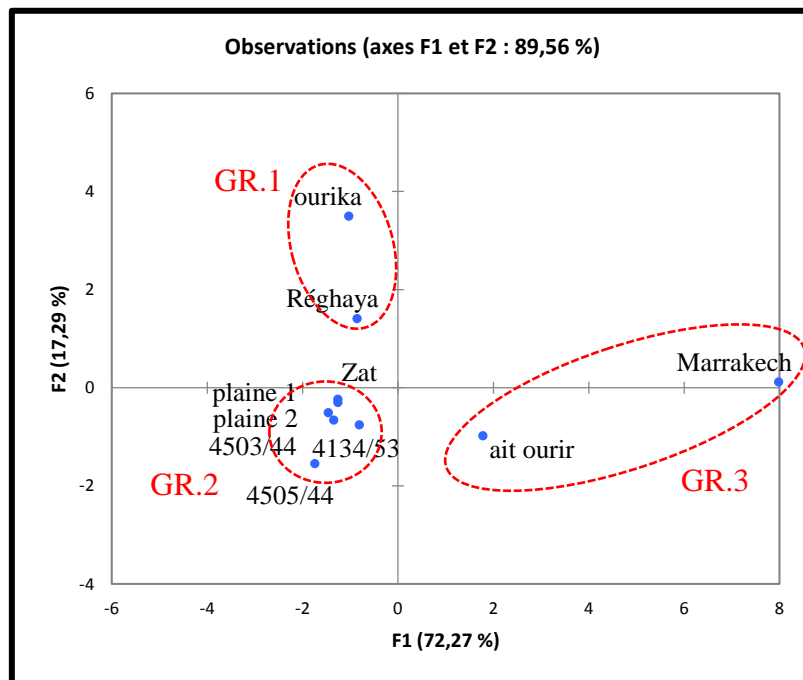


Figure 31 : représentation des stations de prélèvement sur le plan factoriel F1 et F2.

La projection des stations sur le plan factoriel F1-F2 montre 3 groupes distincts :

Groupe 1 : constitué par des stations de Réghaya et Ourika, ces deux stations présentent des eaux moyennement polluées par les nitrates et riche en oxygène dessous, les concentrations des autres paramètres reste faible.

Groupe 2 : représenté par la majorité des stations, ce groupe est moins pollué par les polluant organique, cependant, il présente des taux élevés en termes de turbidité.

Groupe 3 : composé de la station de Marrakech fortement pollué essentiellement par les nitrites et les phosphates, et la station de Ait Ourir caractérisée par un taux élevé d'ammonium et de phosphate.

## V.2. Saison sèche

L'analyse des résultats de l'ACP montre que l'axe 1 englobe 62 % de l'information totale et l'axe 2 représente 18% de l'information totale, le plan factoriel F1-F2 expose 81 % de l'inertie totale et par conséquent l'analyse des résultats de l'ACP se limitera sur ces deux axes. Cependant, les paramètre turbidité et oxygène dessous sont plus concentrer sur le plan factoriel F3-F4.

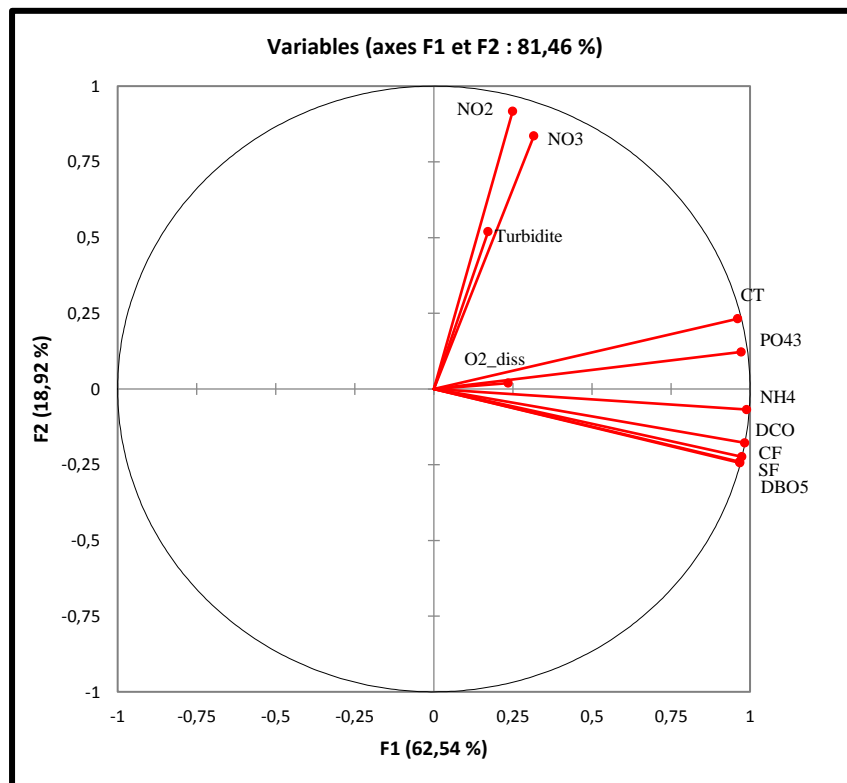


Figure 32 : représentation des variables sur le plan factoriel F1 et F2

Le cercle de corrélation de la période sèche (fig.32) montre des grandes différences par rapport à celui du période humide. L'axe F1 est toujours déterminé par la majorité des paramètres. Cependant, les paramètres représentent moins de corrélation entre elle. Nous constatons des corrélations importantes entre les paramètres : NH4, DCO, DBO5, CF, SF ce qui indique une contamination par des eaux usées domestiques. Par ailleurs, le phosphate et

plutôt corrélé avec le CT indiquant probablement une contamination lors du ruissellement chargé de PO<sub>4</sub> et des micro-organismes du sol.

En ce qui concerne le F2, il est déterminé par le nitrate et le nitrite avec une bonne corrélation entre ces deux, ce qui révèle probablement qu'ils ont la même source.

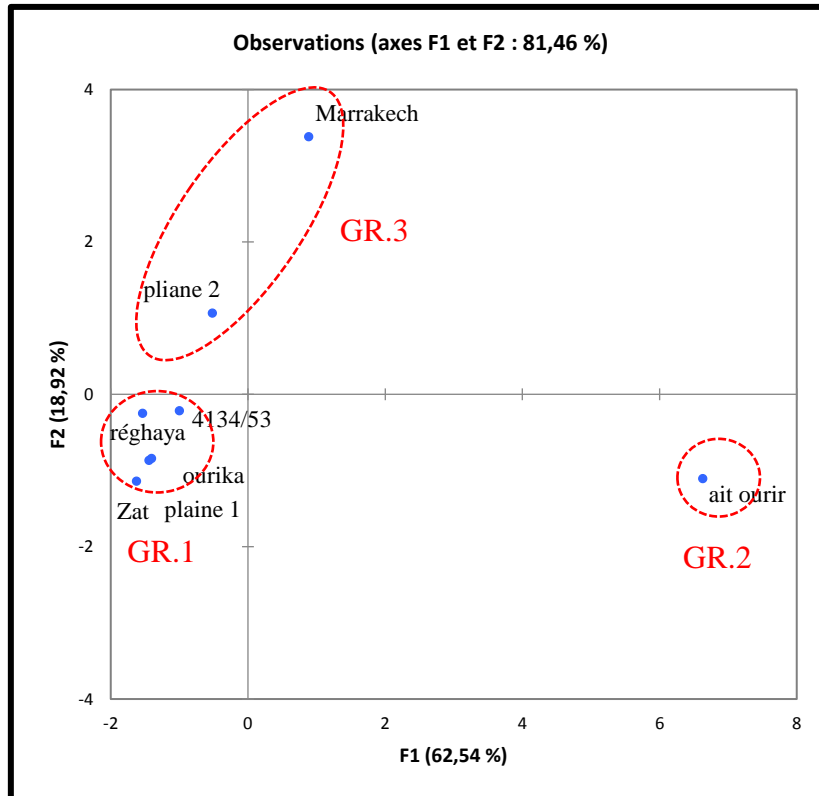


Figure 33 : représentation des stations de prélèvement sur le plan factoriel F1 et F2.

En se basant sur la carte factorielle F1 x F2 (Figure 33), les résultats de l'ACP montrent que les différentes stations se positionnent selon leurs degrés de pollution, ainsi ont distincts 3 groupes :

groupe 1 : composé par la majorité des stations, il est moins pollué par rapport aux autres stations.

groupe 2 : constitué par la station d'Ait Ourir, caractériser par une pollution organique et des taux élevé en NH<sub>4</sub> et PO<sub>4</sub>.

groupe 3 : englobe la station de Marrakech et la station plaine 2, caractérisées par des taux élevés en nitrate et nitrite.

D'après les résultats de l'analyse des deux ACP, on observe deux différences majeures entre la saison sèche et humide, les stations situées dans l'aval du bassin (Zat, Ourika, Régahya) présentent des concentrations élevées en nitrate durant les périodes de précipitation. Au niveau de la station de Marrakech la source principale de pollution change entre les deux saisons avec une pollution essentiellement organique durant la période humide identique d'une contamination par des eaux usées domestiques, cependant, durant la période sèche la concentration de nitrate et nitrite augmente significativement révélant ainsi une contamination probablement agricole.

## **VI. Système d'évaluation de la qualité des cours d'eau SEQ-EAU**

Le système d'évaluation de la qualité de l'eau, ou SEQ, est un outil élaboré dans les années 90 par les agences de l'eau et le ministère de l'environnement français. Il avait pour but de développer et mettre à jour la grille d'évaluation de la qualité de l'eau utilisée depuis les années 70 (MEDD, 2003). Initialement, le SEQ était composé de trois volets :

- SEQ-Eau : détermine la qualité physicochimique de l'eau et son aptitude à soutenir le développement des différents organismes aquatiques.
- SEQ-Bio : qui utilise les indicateurs biologiques et le développement de la biocénose aquatique pour évaluer la qualité de l'eau.
- SEQ-Physique : évalue les caractéristiques physiques du cours d'eau tel que les caractéristiques du lit mineur, lit majeur et les berges.

Ultérieurement, seul le volet SEQ-Eau a donné lieu à un outil modernisé pour l'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau. La première version du SEQ-Eau a été réalisée en 1999, suivie en 2003 par la version numéro 2 qui va être utilisée lors de cette étude (SEQ).

L'évaluation de la qualité de l'eau par le SEQ-Eau est basée sur la notion de l'altération. En effet, les paramètres (environ 150 paramètres possibles) qui ont les mêmes effets sur le milieu aquatique, sont regroupés en 16 altérations indicatrices du type de pollution. On distingue :

- Matière organique et oxydable
- Matières phosphorées
- Nitrates



- Les pesticides
- Les effets de prolifération végétale, etc.

En plus, l'évaluation de la qualité de l'eau est examinée en fonctions de l'usage spécifique de l'eau (aptitudes à la biologie ou aptitudes aux usages), et par conséquent les valeurs seuil pour le même paramètre peuvent être différent selon la fonctionnalité de l'eau (tab.4). Pour chaque aptitude (aptitudes à la biologie ou aptitudes aux usages), l'outil représente la qualité en fonction de cinq classes présentées chacune par une couleur spécifique.

l'aptitude à la biologie présente en plus des classes, des indices plus précis et plus adéquat pour le suivi de l'évolution de la qualité de l'eau dans le temps, les indices varient de 0 à 100 par tranche de 20, réparties sur cinq classes. Les indices sont des valeurs adimensionnelles déterminés à partir des courbes résultant des modèles mathématiques, en effet le calcul de l'indice ce fait pour chaque paramètre en fonction de quatre types de modèles, adapté pour les différents cas rencontrés (MEDD, 2003).

La classe de la qualité de chaque altération est déterminée en fonction du paramètre le plus décroissant, c'est-à-dire le paramètre qui représente la qualité la plus mauvaise, de plus le SEQ-Eau donne la possibilité de regrouper les données afin de déterminer la qualité de l'eau annuelle ou interannuelle avec un maximum de 3 ans, les données sont regroupées avec la règle des 90% afin de conserver 90% des résultats, les 10% qui restent sont considérés exceptionnels (SEQ).

Le SEQ-Eau recommande une fréquence minimale d'échantillonnages afin de représenter de mieux la qualité de l'eau, il a fixé au minimum 4 prélèvements répartis sur toute l'année. Cependant, dans le cas du suivi de certains paramètres spécifiques d'un type de pollution, par exemple la pollution agricole le nombre de prélèvements peut diminuer. De plus Le SEQ-Eau recommande d'éviter l'évaluation des paramètres qui représentent des concentrations naturellement élevés ou faibles, et qui dépendent de la typologie du milieu.

Afin de déterminer la qualité de l'eau indépendamment de sa fonctionnalité (aptitudes à la biologie ou aptitudes aux usages), une grille de qualité a été élaboré par le SEQ-Eau, les valeurs seuil de cette grille représentent les seuils les plus stricts des aptitudes, en ce qui suit un exemple pour faciliter la compréhension :

La qualité de l'eau pour aptitude biologique en fonction des nitrates est de 2 mg/l, toutes les concentrations qui dépassent ce seuil sont classé dans la bonne qualité. Au niveau d'usage de l'eau comme eau potable la concentration 50 mg/l est le seuil d'une très bonne qualité, n'importe quelle concentration au-delà de 50 mg/l est considérées dans la classe mauvaise. Et par conséquent, la grille de qualité globale a pris le seuil le plus strict (usage biologique) pour déterminer la très bonne qualité.

Nitrates NO <sub>3</sub> - (mg/l)	Très bonne 100_80	Bonne 80_60	Passable 60_40	Médiocre 40_20	Mauvaise 20_0
Aptitude à la Biologie	2	-	-	-	-
Aptitude aux usages ex : eau potable	50	-	-	-	-
Qualité de l'eau	2	10	25	50	>50

Tableau 4 : détermination de la classe pour les nitrates à partir des aptitudes à la biologie et aux usages

Remarque : lors de cette étude, nous allons représenter la qualité de l'eau dans la zone d'étude durant la période de 2007 à 2017, ce qui oppose aux recommandations de la SEQ-Eau. Cependant, l'évaluation durant toute la période va nous permettre de comparer la différence entre les deux systèmes d'évaluations de la qualité (SEQ-Eau et la grille marocaine d'évaluation de la qualité).

### **VI.1. Cartographie des résultats de la qualité des ressources en eau selon la SEQ-Eau**

Afin de comparer les résultats des deux systèmes d'évaluation des eaux de surface, une cartographie de la qualité de l'eau dans la zone d'étude à été effectuée en se basant sur les

valeurs seuil déterminées par le SEQ-Eau (fig.34), les valeurs des paramètres ont été regroupées par le centile 90 et présentent la qualité durant toute la période allant de 2007 à 2017.

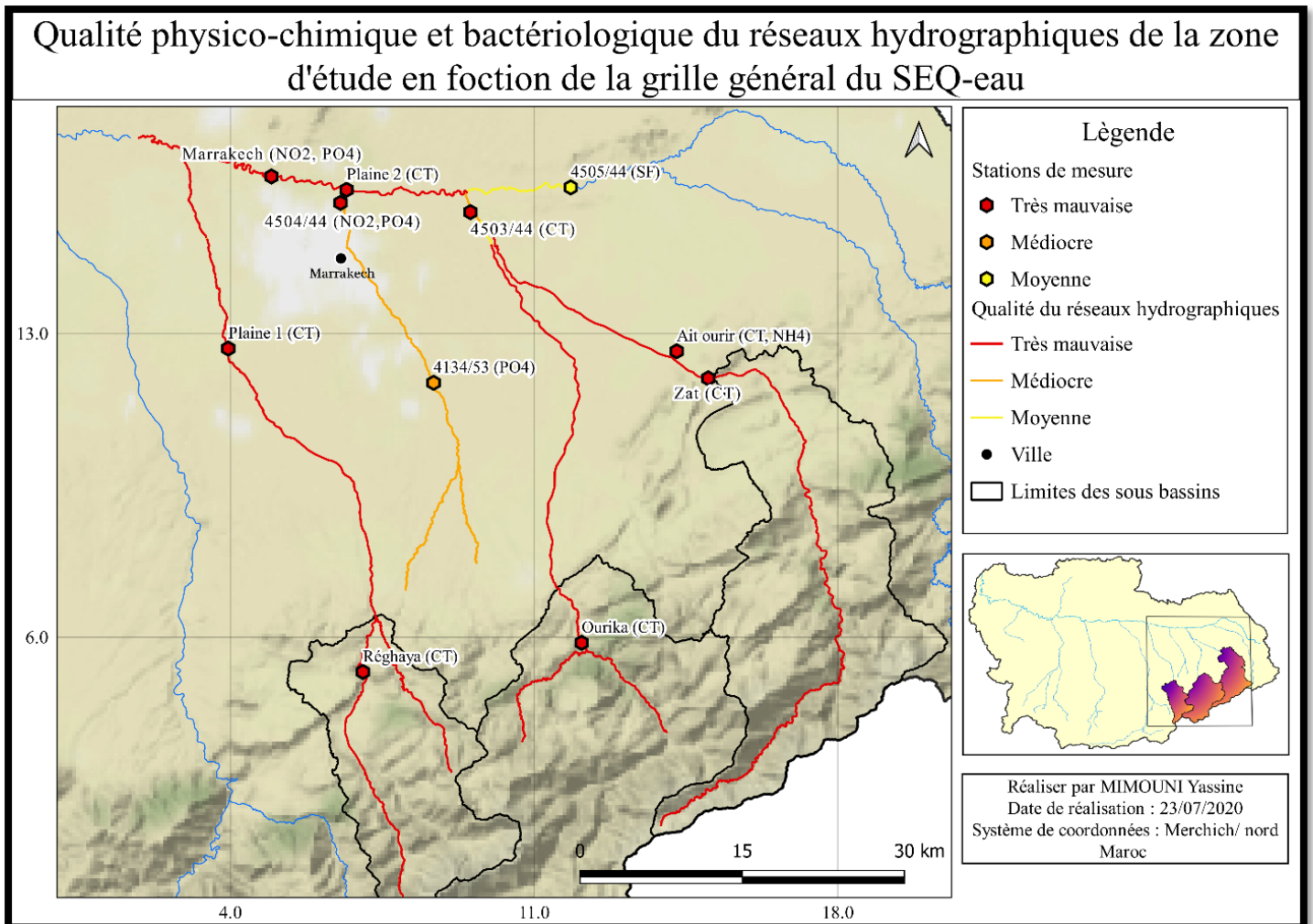


Figure 34 : évolution dans l'espace de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface durant la période allant de 2007 à 2017 en fonction du SEQ-Eau

D'après la figure 34, on constate une très grande différence dans les résultats, entre l'évaluation de la qualité par le SEQ-Eau et l'évaluation par la grille marocaine (fig.29), d'une façon générale, la qualité déterminée par le SEQ-Eau est moins bonne par rapport à celle déterminée par la grille marocaine, en effet, l'évaluation de la qualité de l'eau par le SEQ-Eau représente une très mauvaise qualité dans la majorité des stations de suivi, et la qualité ne dépasse pas la classe moyenne. La grande différence entre les deux figures se manifeste surtout dans les trois sous bassins de la zone d'étude, où nous constatons une diminution de la qualité qui s'évolue de la classe moyenne vers la classe très mauvaise.

La différence entre les deux systèmes d'évaluation est dû à deux raisons majeures :

- Les valeurs seuils des paramètres varie d'un système à l'autre, ce qui provoque la diminution de la classe, un exemple est illustré dans le tableau 4, qui montre les différences dans les seuils d'ammonium entre les deux systèmes ce qui influence sur les résultats.

Classe systèmes	Excellente/Très bonne	bonne	moyenne	Mauvaise/ Médiocre	Très mauvaise
Grille marocaine d'évaluation (mg/l)	$\leq 0,1$	0,1_0,5	0,5_2	2_8	8_50
Le SEQ-Eau (mg/l)	$\leq 0,5$	0,5_1,5	1,5_2,8	2,8_4	$>4$

Tableau 5 : La différence des valeurs seuils d'ammonium entre le SEQ-Eau et la grille marocaine de l'évaluation de la qualité des eaux de surface

- en outre, la méthodologie de la représentation de la qualité diffère d'un système à l'autre, en effet, au niveau de la grille marocaine, la classe de l'altération est déterminée par la moyenne des paramètres qui compose celle-ci, ce qui équilibre les indices pondérés dans le cas où l'un des paramètres représente une très mauvaise qualité. Tandis qu'au niveau du SEQ-Eau la classe de l'altération est représentée par le paramètre le plus mauvais, ce qui rend l'indice pondéré trop faible et par conséquent une qualité plus mauvaise.

## Conclusion

Le présent travail a permis l'élaboration d'un diagnostic global de l'état de pollution des eaux de surface des trois sous-bassins de Réghaya, Ourika et Zat. Malgré le nombre réduit de stations et la mauvaise qualité des analyses, on a pu en ressortir certains résultats intéressants.

Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques ont montré que la qualité des eaux de surface dans la zone d'étude est caractérisée par une qualité moyenne au niveau de l'amont des oueds et une qualité globalement mauvaise surtout à l'aval des villes et des agglomérations. La dégradation de la qualité globale de l'eau au niveau de la zone d'étude est due essentiellement aux micro-organismes, phosphate et nitrite, il résulte des rejets lessiviels via l'usage abusif des détergents mais également à la contamination des rivières par les eaux usées non traitées qui provient des grandes agglomérations, ce qui menace toute utilisation humaine de l'eau surtout alimentaire.

La remédiation de cette situation nécessite l'élaboration d'un plan de travail qui fixe des objectifs à court et à long terme afin d'améliorer la qualité de l'eau. Autrement, des études plus détaillées doivent être réalisées surtout au niveau des rejets d'origine urbaine afin de déterminer la fluctuation dans les concentrations des différents polluants au cours des temps, en plus il faut renforcer le réseau de suivi de la qualité pour inclure la plaine de Haouz responsable de la pollution d'origine agricole.

En outre, plusieurs études préviennent une diminution significative des précipitations dans la zone d'étude et d'ailleurs dans tout le Maghreb, ces diminutions de précipitation due au changement climatique sont accompagnées d'une augmentation de température ainsi d'une augmentation d'évapotranspiration, ce qui va réduire de plus les quantités d'eau disponibles pour les activités humaines, de ce fait l'amélioration de la qualité de l'eau et le traitement immédiat des sources de pollution est une opération primordiale et indispensable pour une bonne gestion des ressources en eau.

## Bibliographie

- AAKAME Rachid, B., Nezha, B., Rokya, A., & HAMRI Hecham, E. (2019). *Guide des Analyses Physico-chimiques des eaux destinées à la consommation humaine version 2019. Guide des Analyses Physico-chimiques des eaux destinées à la consommation humaine version 2019* (Vol. INH).
- ABHT. (s. d.). Consulté 28 juin 2020, à l'adresse <http://www.eau-tensift.net/>
- AÏT BOUGHROUS. (2007). Biodiversité, écologie et qualité des eaux souterraines de deux régions arides du Maroc : le Tafilalet et la région de Marrakech. *Université Cadi Ayyad Faculté Des Sciences Semlalia Marrakech*, 207.
- Barchane. (2011). Master es Sciences & Techniques de Tensift : diagnostic , impact sur les ressources en eau et Remerciements. *Memoire fin d'etude*, (Urac 42), 87.
- Bouaicha, R., & Benabdefadel, A. (2019). Variabilité et gestion des eaux de surface au Maroc. *Sécheresse*, 21(4), 325-326. <https://doi.org/10.1684/sec.2010.0272>
- BRGM. (2007). *BRGM/RP-55499-FR : Controle de surveillance de la qualité des masses d'eau souterraine de la Martinique relatif ; • aux prescriptions de la Directive ^j ! \ Cadre européenne sur l'Eau : campagne de saison sèche 2007 Rapport final "«is r\*-in Direction rég.*
- Brouyère, S. (2020). Cours: GEOL1031-1 Gestion quantitative et qualitative des eaux souterraines - Pollution des eaux souterraines, 133.
- Chaponnière, a. (2005). Fonctionnement hydrologique d'un bassin versant montagneux semi-aride Cas du bassin versant du Rehraya (Haut Atlas marocain). *Paris-Grignon [Hydrologic functioning of a*, 1-268. Consulté à l'adresse <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010047426>
- Errochdi, S., El Alami, M., Bennas, N., Belqat, B., Ater, M., & Fdil, F. (2012). Étude de la qualité physicochimique et microbiologique de deux réseaux hydrographiques nord marocains : Laou et Tahaddart. <http://journals.openedition.org/mediterranee>, (118), 41-51. <https://doi.org/10.4000/MEDITERRANEE.6221>
- Guerrien, M., & Marc. (2003). L'intérêt de l'analyse en composantes principales (ACP) pour la recherche en sciences sociales. <http://journals.openedition.org/cal>, (43), 181-192. <https://doi.org/10.4000/CAL.7364>
- Hajhouji, Y. (2019). Modélisation hydrologique du bassin versant de l'oued Rheraya et sa contribution à la recharge de la nappe du Haouz (bassin du Tensift, Maroc).

- HÉBERT, S. (1996). *Développement d'un indice de la qualité bactériologique et Physicochimique, de l'eau pour les rivières du Québec, Québec, ministère de l'environnement et de la faune Direction des écosystèmes aquatiques, envirodoq no EN/970102, 20 p., 4 annexes.* Consulté à l'adresse [http://repository.upi.edu/1360/1/s\\_d5451\\_0604180\\_chapter1.pdf](http://repository.upi.edu/1360/1/s_d5451_0604180_chapter1.pdf)
- INSPQ, 2002. (s. d.). Entérocoques et streptocoques fécaux | Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine | Institut national de santé publique du Québec. Consulté 10 juillet 2020, à l'adresse <https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/enterocoques>
- ISO, 2018. (s. d.). ISO 5667-3:2018(fr), Qualité de l'eau — Échantillonnage — Partie 3: Conservation et manipulation des échantillons d'eau. Consulté 29 juin 2020, à l'adresse <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:5667:-3:ed-5:v1:fr>
- J.AHATTAB. (2016). Readaptation des methodes d'estimation de crues aux donnees hydrologiques extremes recentes des bassins versants de tensift et essaouira.
- JICA. (2007). Etude du plan de gestion intégrée des ressources en eau dans la plaine du Haouz royaume du Maroc, 138.
- Julie Corriveau. (2009). *Étude des concentrations toxiques de nitrite dans les cours d'eau d'un bassin versant agricole Human Impacts on Aquatic Ecosystems Processes Canada Centre for Inland Waters Eric van Bochove Agriculture et Agroalimentaire Canada.*
- Le Maroc à la frontière du stress hydrique | L'Economiste. (s. d.). Consulté 28 juin 2020, à l'adresse <https://www.leconomiste.com/article/1044829-le-maroc-la-frontiere-du-stress-hydrique>
- MEDD, & L'eau, A. de. (2003). *SEQ-EAU (VERSION 2).*
- MediPedia. (2020). Gastro: Qu'est-ce qu'une gastro-entérite? | MediPedia. Consulté 10 juillet 2020, à l'adresse <https://fr.medipedia.be/gastro-enterite/comprendre/quest-ce-quune-gastro-enterite>
- Mlouk, M. A., & Ahmed, A. (2015). Exemples de dégradation des berges des oueds R ' dat , Zat et Tensift lors dela crue de Novembre 2014 . Utilisation d ' images Landsat et des images satellitaires à haute résolution » Utilisation des images satellitaires du Landsat dans l ' étude de la dé, (August 2017).
- Mounjid, J., & Cohen, N. (2014). (PDF) CONTRIBUTION A L'EVALUATION DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DU COURS D'EAU MERZEG (PERIURBAIN DE CASABLANCA, MAROC). Consulté 18 juillet 2020, à l'adresse [https://www.researchgate.net/publication/268524154\\_CONTRIBUTION\\_A\\_L%27EVALUATION\\_DE\\_LA\\_QUALITE\\_PHYSICO-](https://www.researchgate.net/publication/268524154_CONTRIBUTION_A_L%27EVALUATION_DE_LA_QUALITE_PHYSICO-)

CHIMIQUE\_DU\_COURS\_D%27EAU\_MERZEG\_PERIURBAIN\_DE\_CASABLANC  
A\_MAROC

- Ourika. (2016). Diagnostic du sous- bassin d ' Ourika.
- Rahmani, B. (s. d.). Approche hydrogéologique et hydrochimique des eaux souterraines dans une zone semi aride . Cas de la nappe mio-plio-quadernaire du synclinal de Djelfa (Algérie centrale ) - Badreddine RAHMANI. Consulté 1 juillet 2020, à l'adresse [https://www.memoireonline.com/02/16/9432/m\\_Approche-hydrogeologique-et-hydrochimique-des-eaux-souterraines-dans-une-zone-semi-aride--Cas-de-112.html](https://www.memoireonline.com/02/16/9432/m_Approche-hydrogeologique-et-hydrochimique-des-eaux-souterraines-dans-une-zone-semi-aride--Cas-de-112.html)
- Rheghaya. (2016). Diagnostic du sous-bassin de Rherhaya.
- Riad, S. (2003). *Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles a partir de quelque bassins versant représentatifs du Maroc*. Consulté à l'adresse <http://www.univ-lille1.fr/bustl>
- Saidi, E. (2006). Effet de la morphologie et de l ' exposition sur les ressources en eau superficielle de part et d ' autre du Haut Atlas ( Maroc ) ; exemple des bassins versants de l ' Ourika et du Marghène. *Haut*, 41-49.
- Saidi et al, 2010. (2010). Les crues de l ' oued Ourika ( Haut Atlas , Maroc ) : Événements extrêmes en contexte montagnard semi-aride The Ourika floods ( High Atlas , Morocco ), Extreme events in semi-arid mountain context, (January), 113-128.
- SEQ, A. (s. d.). *La qualité des cours d'eau en Alsace : 10 ans de suivi (1997-2006)*.
- Strobl, R. O., & Robillard, P. D. (2008, juin). Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: A review. *Journal of Environmental Management*.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.001>
- DE VILLERS Juliette, SQUILBIN M, Y. C. (2005). *Fiche les données de l'IBGE : « L'eau à Bruxelles » Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement*. 2, 3-4.
- Zat. (2016). Diagnostic du sous-bassin de Zat.



## Les annexes

Date	Indice pondéré pour chaque paramètre choisi de la grille de la qualité											
	Conductivité (IP)	Turbidité (IP)	O2 (IP)	DBO5 (IP)	DCO (IP)	NO3- (IP)	NH4+ (IP)	NO2 (IP)	PO43- (IP)	CF (IP)	CT (IP)	SF (IP)
2007	75	74	100	79	25	82	78	78	98	75	20	58
2009	49	0	100	87	37	82	79	80	93	62	58	56
2010	79	0	100	91		85	77	80	99	77	57	75
2011	52	0	100	91	92	85	89	79	96	59	20	20
2013	53	96	100	96	94	84	94	86		75	75	62
Humide 2014	49	86	100	96	91	81	100	80		75	74	68
Sèche 2014	55	29	37	0	0	99	7	100		55	57	20
Humide 2015	65	75	100	96	91	81	94	81		75	65	59
Sèche 2015	54	83	100	96	95	86	92	87		59	18	58
2016	42	70	100	95	97	51	86	69	33	77	69	61
Humide 2017	63	89	73	97	98	88		93		79	77	76
Sèche 2017	53	55	73	96	96	88	96	87		65	15	58

Date	Indice pondéré pour chaque paramètre choisi de la grille de la qualité											
	Conductivité (IP)	Turbidité (IP)	O2 (IP)	DBO5 (IP)	DCO (IP)	NO3- (IP)	NH4+ (IP)	NO2 (IP)	PO43- (IP)	CF (IP)	CT (IP)	SF (IP)
Humide 2007	97	51	100	92	86	79	90	93	97	79	70	78
Sèche 2007	93	0	100	97	85	90	83	93	98	72	73	72
2009	92	76	100	99	93	94	98	86	99	53	16	57
2010	97	72	100	97	88	89	87	87	98	78	72	77
Humide 2011	99	43	100	95	86	91	98	86	99	78	77	76
Sèche 2011	91	71	100	88	76	96	100	93	100	70	69	67
2013	90	90	100	96		94	88	93	100	64	55	64
2014	87	97	100	97	92	98	98	93	96	77	78	71
Humide 2015	92	87	100	95	88	90	96	93	97	75	63	64
Sèche 2015	92	0	100	98	95	92	92	93	94	59	43	54
2016	91	96	100	95	98	20	94	70	90	75	69	55
Humide 2017	95	0	31	95	99	96	94	93	88	75	77	59
Sèche 2017	92	79	32	95	98	96	96	93	96	58	56	59

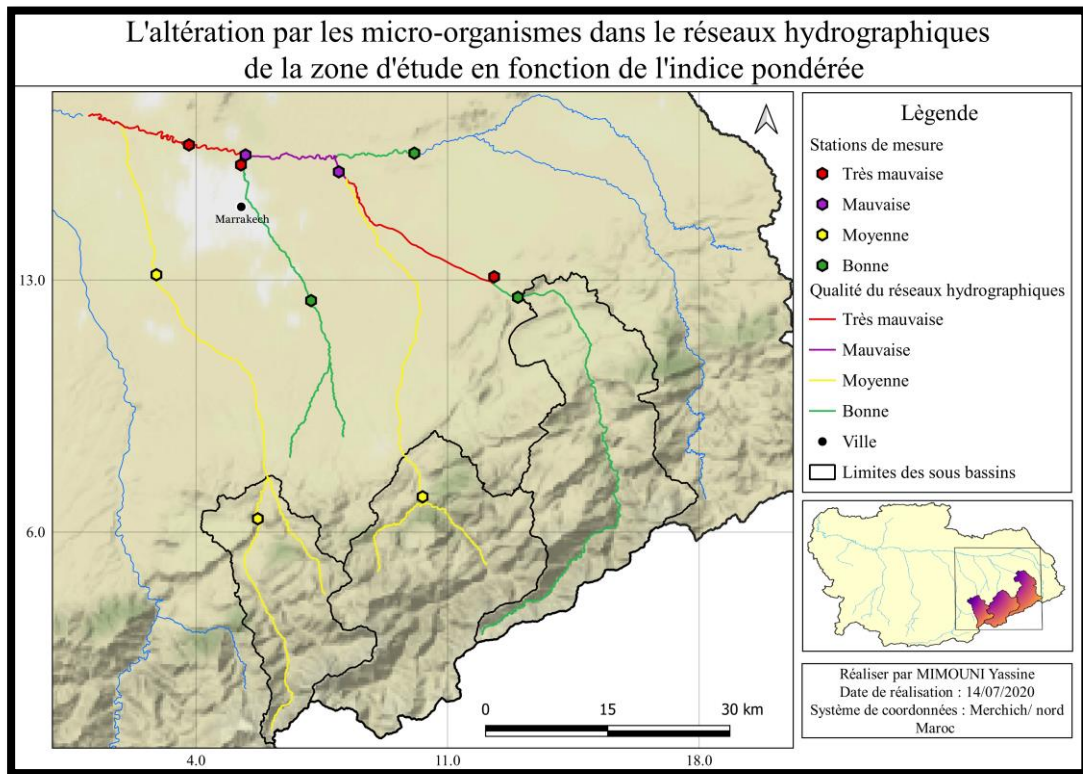
Date	Indice pondéré pour chaque paramètre choisi de la grille de la qualité											
	Conductivité (IP)	Turbidité (IP)	O2 (IP)	DBO5 (IP)	DCO (IP)	NO3- (IP)	NH4+ (IP)	NO2 (IP)	PO43- (IP)	CF (IP)	CT (IP)	SF (IP)
Humide 2007	94	0	70	45	87	83	92	79	98	79	52	70
Sèche 2007	78	55	100	99	94	88	96	79	96	59	58	63
2009	65	95	100	99	98	99	96	86	100	80	79	79
2010	89	41	100	99	80	90	88	81	98	79	68	69
2011	62	43	100	99	84	92	90	88	96	79	77	74
2013	69	97	100	99	92	97	94	80		100	99	71
Humide 2014	52	80	100	99	93	94	98	93		100	79	100
Sèche 2014	52	0	100	47	0	99	94	100		79	79	59
Humide 2015	93	62	100	99	87	91	94	94		76	76	74
Sèche 2015	92	87	100	99	90	94	94	86		59	53	58
Humide 2017	50	0	54	99	98	86	96	93		78	74	77
Sèche 2017	59	80	20	99	97	94	94	80		71	58	67

Date	Indice pondéré pour chaque paramètre choisi de la grille de la qualité											
	Conductivité (IP)	Turbidité (IP)	O2 (IP)	DBO5 (IP)	DCO (IP)	NO3- (IP)	NH4+ (IP)	NO2 (IP)	PO43- (IP)	CF (IP)	CT (IP)	SF (IP)
2007	90	0	100	94	37	97	94	78	99	55	20	59
2010	86	0	100	92	0	92	98	86	98	72	50	59
2011	49	0	100	0	0	92	0	78	0	0	74	20
2013	44	0	20	0	0	99	0	100	0	0	98	20
2014	26	0	20	0	0	99	4	100	0	0	20	20
Humide 2015	85	28	73	82	92	91	85	66	83	40	20	20
Sèche 2015	58	49	20	0	0	99	14	93	32	0	20	20
2016	59	27	0	0	88	14	0	66	31	0	20	20
2017	50	0	70	73	97	88	45	0	76	58	40	49

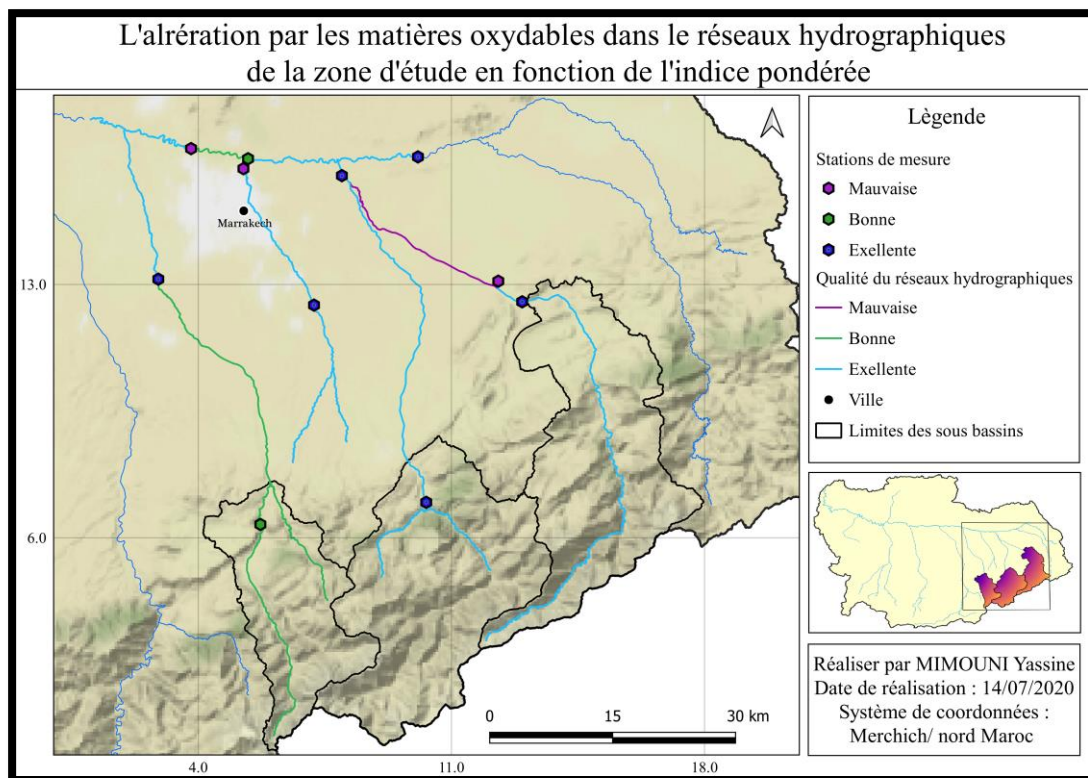
Annexe 4 : indice pondéré des analyses physico-chimique et bactériologiques de la station d'Ait Ourir at allant du 2007 à 2017

Date	Indice pondéré pour chaque paramètre choisi de la grille de la qualité											
	Conductivité (IP)	Turbidité (IP)	O2 (IP)	DBO5 (IP)	DCO (IP)	NO3- (IP)	NH4+ (IP)	NO2 (IP)	PO43- (IP)	CF (IP)	CT (IP)	SF (IP)
2007	35	0	11	0	0	69	0	64	0	0	20	20
Humide 2009	42	0	100	0	0	73	0	71	0	0	20	20
Sèche 2009	62	0	100	99	87	72	44	71	84	58	20	20
2010	18	0	100	50	0	92	75	0	99	73	58	55
Humide 2011	48	30	100	0	0	81	58	0	72	75	74	60
Sèche 2011	47	67	35	0	36	67	19	0	27	61	42	79
2013	92	0	42	98	32	81	80	54	83	61	58	57
2014	86	0	100	98	87	88	41	36	87	72	64	54
2015	41	100	66	72	0	90	17	0	31	0	20	20
2016	19	58	37	34	90	97	16	33	31	60	56	20
Humide 2017	44	50	54	39	83	86	13	0	25	0	99	20
Sèche 2017	32	71	60	71	82	88	21	0	33	60	66	59

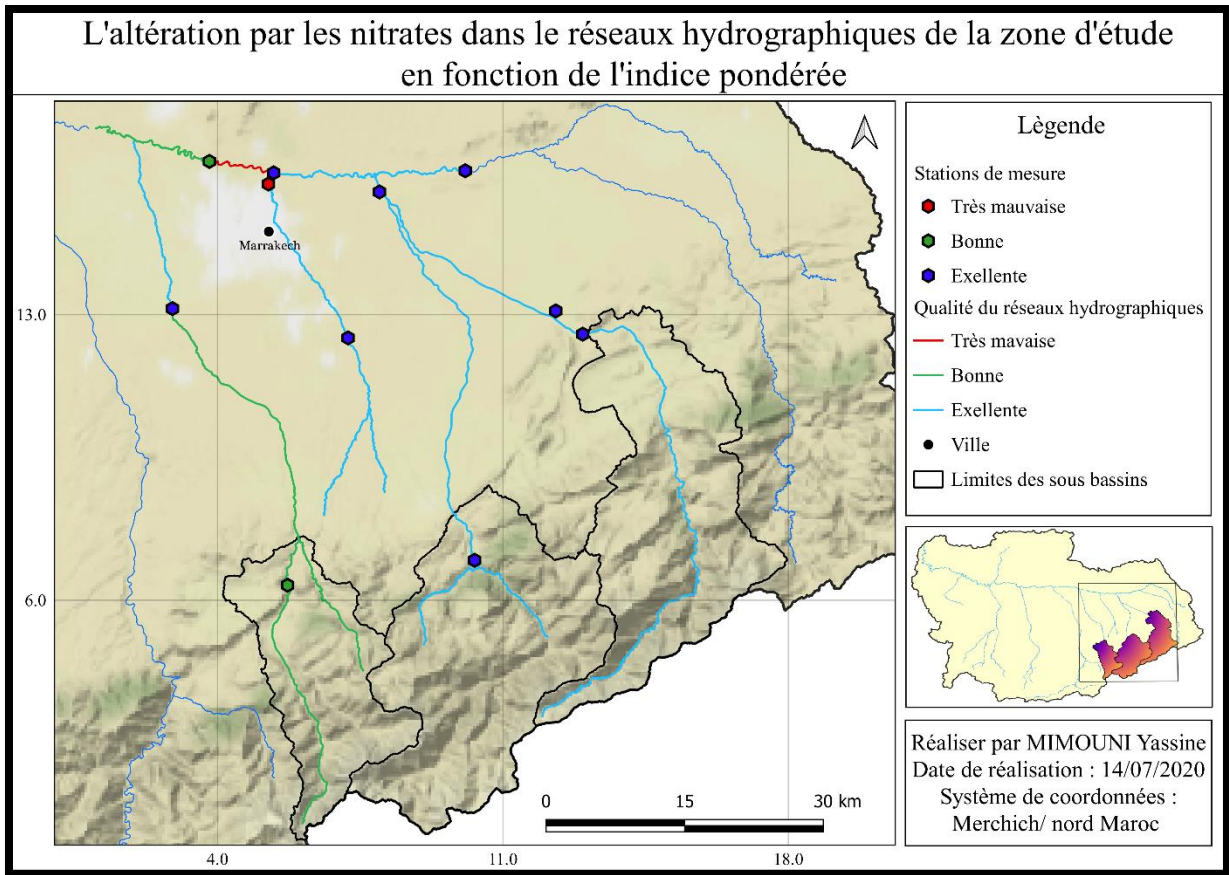
Annexe 5 : indice pondéré des analyses physico-chimique et bactériologiques de la station de Marrakech allant du 2007 à 2017



Annexe 6 : Evolution de la qualité bactériologique des eaux durant la période allant de 2007 à 2017



Annexe 7 : Evolution de la qualité des matières organiques dans les eaux durant la période allant de 2007 à 2017



Annexe 8 : Evolution de la qualité des nitrates dans les eaux durant la période allant de 2007 à 2017