



UNIVERSITE CADI AYYAD
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
MARRAKECH



DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

Licence en Sciences et Techniques

Eau et Environnement

Mémoire de fin d'études

**Évaluation de la qualité des ressources en eau dans
la zone d'action de l'Agence du Bassin Hydraulique
Tensift El Haouz.**

Par : BENKIRANE Myriam & AGOUZOUL Sana.

Soutenu : Le 20 Février 2015

Encadrées par :

LACHGUER A. : Agence Du Bassin Hydraulique de Tensift

BENKADDOUR A. : Faculté des Sciences et Techniques - Marrakech

Devant le jury composé de :

Mr. BENKADDOUR A. : Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech (encadrant interne)

Mr. LACHGUER A. : Agence Bassin Hydraulique de Tensift – Marrakech (encadrant externe)

Mr. HANICH L. : Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech (Examineur)

2014 -2015.

REMERCIEMENT

On tient tout d'abord à remercions *ALLAH* le tout puissant de nous avoir donné la foi et qui nous a permis d'en arriver là.

On remercie aussi toutes les personnes qui ont participé de différentes façons à la réussite de notre mémoire et plus particulièrement les personnes qu'on cite ci-dessous.

L'équipe pédagogique du département de géologie de la Faculté des Sciences et Technique de Marrakech, En raison de leur compréhension et de leur collaboration nous exprimons nos reconnaissances à toutes ces personnes.

On remercie particulièrement notre encadrant *Mr BENKADDOUR A.* pour tous ses conseils, sa collaboration, sa disponibilité, ses appuis pendant toute la période de stage, et son encouragement qui nous a aidées à surmonter nos difficultés, Vos précieux conseils, vos commentaires, et vos critiques ont été très utiles pour élaborer ce travail. Un simple mot de merci n'est pas suffisant pour vous exprimer nos gratitude.

Un grand merci à tout le Personnel de l'Agence du Bassin Hydraulique De Tensift. Et plus particulièrement *Mr LACHGUEUR A.* , pour nous avoir apporté assistance tout le long de ce travail.

Merci aux *Mr. SAIDI M.* et *Mr. BACHNOU A.* pour leurs aides.

Nous tenons aussi à exprimer nos sincères remerciements aux membres du jury qui nous ont fait honneur en acceptant d'évaluer ce travail.

Les mots ne suffisent pas pour remercier sincèrement nos très chers *Parents* pour leurs innombrables sacrifices, leurs amour, leurs encouragements, leurs soutien, et leurs prières, Les mots ne suffisent pas pour vous exprimé notre grand merci.

Merci à nos chers sœurs et frères, pour leurs encouragements.

Enfin on tient à remercier les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire, et dont les noms ne figurent pas dans ce document.

SOMMAIRE

Introduction	8
Cadre administratif de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift.	9
<i>Objectifs de création des Agences de Bassins Hydrauliques :</i>	<i>9</i>
<i>Agence du Bassin Hydraulique est chargée de :</i>	<i>9</i>
Chapitre I : Cadre général de la zone d'étude.	10
I. 1. Bassin versant de Tensift.	11
I. 1. 1. Situation géographique du bassin.....	12
I. 1. 2. Topographie	13
I. 1. 3. Géologie et lithologie du bassin	13
I. 2. Caractéristiques climatiques	15
I. 2. 1. Température	16
I. 2. 2. Evaporation	16
I. 2. 3. Précipitations.....	16
I. 3. Hydrologie du bassin.	16
I. 4. Ressources en eaux	17
I. 4. 1. Eaux superficielles	17
I. 4. 2. Eaux souterraines	19
Chapitre II : Méthodologie de travail.	21
II. 1. Origine des données	22
II. 1. 1. Données de l'Agence du bassin	22
II. 1.2 Données récentes.	23
II. 1. 3. Outils de travail.....	29
II. 2. Eléments d'interprétation et de détermination des faciès chimiques	30
II. 2. 1. Diagramme de Piper	30
II. 2. 2. Diagramme de Schöeller-Berkaloff	31

II. 2. 3. Indice de saturation (IS).....	32
II. 2. 4. Qualité des analyses.....	32
Chapitre III : Géochimie des eaux de la zone d'étude.	34
III. 1. Evolution spatial des paramètres <i>in-situ</i>	35
III. 1. 1. Température.....	35
III. 1. 2. Conductivité	36
III. 1. 3. Potentiel hydrogène	38
III. 1. 4. Oxygène dissous	39
III. 2. Identification des faciès chimiques	40
III. 2. 1. Eaux superficielles.....	40
III. 2. 2. Eaux souterraines.....	49
Chapitre IV : Qualité des Eaux du bassin Tensift El Haouz	53
IV. 1. Normes Marocaines de la qualité des Eaux	54
IV. 2. Qualité des eaux destinées à la consommation humaine	59
IV. 2. 1 Eau superficielle.....	60
IV. 2. 2 Eau souterraine	61
IV. 3. Evolution temporelle de la qualité des eaux	62
IV. 3. 1. Eaux superficielles	63
IV. 3. 2. Eaux souterraines	71
V. Conclusion Générale.	75
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	76
Webographie.....	77
Liste des annexes.....	77

Liste des Figures :

FIGURE 1 : Situation géographique de la zone d'étude.....	12
FIGURE 2 : Lithologie du bassin Tensift El Haouz. (Réf ABHT, 2013. Modifier).....	14
FIGURE 3: Répartition spatiale des différents aménagements hydraulique d'El Haouz d'après les données de l'ABHT.....	18
FIGURE 4 : Répartition des nappes du bassin Tensift El Haouz d'après les données de l'ABHT. 20	
FIGURE 5 : Cartographie des sites d'échantillonnage des Eaux de Surface au sein du bassin Tensift El Haouz.....	22
FIGURE 6 : Cartographie des sites d'échantillonnage des Eaux souterraines au sein du bassin Tensift El Haouz.....	23
FIGURE 7 : Interface de logicielle Diagramme.....	29
FIGURE 8 : Diagramme de Piper.	30
FIGURE 9 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff.....	31
FIGURE 10 : Température moyenne des eaux de surface du bassin Tensift.....	35
FIGURE 11 : Conductivités des eaux de surface mesurées au niveau du réseau de contrôle de la qualité de l'ABHT (novembre 2013).	36
FIGURE 12 : Conductivités des eaux de surface mesurées au niveau du réseau de contrôle de la qualité de l'ABHT (novembre 2013).	37
FIGURE 13 : Le Potentiel hydrogène des eaux du bassin Tensift El Haouz.....	38
FIGURE 14 : Taux d'oxygène dissous dans le bassin Tensift El Haouz (Réf. ABHT 2013).....	39
FIGURE 15 : Projection des analyses des eaux de surface du bassin de Tensift sur le diagramme de Piper Novembre en 2013.....	41
FIGURE 16 : Projection sur le diagramme de Schöeller des résultats des analyses des eaux du bassin Tensift Haouz novembre 2013.	42
FIGURE 17 : Projection sur le diagramme de Schöeller des résultats des analyses des eaux de surface novembre 2013.	43
FIGURE 18 : Projection sur le diagramme de Schöeller des résultats des analyses des eaux superficielle Novembre 2013.	44
FIGURE 19 : Projection globale sur le diagramme de Schöeller des analyses des eaux superficielle dans le bassin Tensift El Haouz.....	45
FIGURE 20 : Répartition spatiale des faciès chimiques du bassin de Tensift.....	48

FIGURE 21 : Projection des analyses des eaux souterraines du bassin de Tensift sur le diagramme de Piper Novembre en 2013.	49
FIGURE 22 : Projection sur le diagramme de Schöeller des résultats des analyses des eaux souterraines du bassin de Tensift Novembre en 2013.	50
FIGURE 23 : Répartition spatiale des faciès chimiques du bassin de Tensift	52
FIGURE 24 : Distribution de la qualité des eaux superficielle du bassin Tensift El Haouz Novembre 2013 (données fournies par l'ABHT).	60
FIGURE 25 : Qualité des eaux souterraines du bassin Tensift El Haouz au mois de novembre 2013 (données fournies par l'ABHT).....	61
FIGURE 26 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau de la station Sidi Rahal.	64
FIGURE 27 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau de la station Taferiat.....	65
FIGURE 28 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau de la station Aghbalou.	66
FIGURE 29 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau de la station. Tahanaout.	67
FIGURE 30 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau de la station Sidi Hssein.	68
FIGURE 31 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau de la station Aval mine Guemassa.....	69
FIGURE 32 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau de la station Forage ONEP Sidi Rahal.....	72
FIGURE 33 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau du puits école de mine.....	73
FIGURE 34 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau du puits ONEP Hanchane..	74

Liste des Tableaux :

Tableau 1 : Indices de saturation dans les eaux superficielles.....	47
Tableau 2 : Indices de saturation dans les eaux souterraines.....	51
Tableau 3 : Grille D'appréciation de la qualité des eaux de rivière (Réf. ABHT).....	55
Tableau 4 : Grille D'appréciation de la qualité des eaux de Lac / Barrages (Réf. ABHT)...	55
Tableau 5 : Grille D'appréciation de la qualité des eaux Souterraines (Réf. ABHT).....	56
Tableau 6 : Evolution temporelle de la qualité des eaux superficielles au niveau du bassin Tensift El Haouz.....	63
Tableau 7 : Evolution temporelle de la qualité des eaux souterraines au niveau du bassin Tensift El Haouz.....	71

Liste des Photos :

Photo 1 : Mesure de la Température in-situ.....	24
Photo 2 : Mesure de la conductivité sur terrain.	25
Photo 3 : Mesure du potentiel hydrogène.	25
Photo 4 : Dosage des ions chlorure.....	26
Photo 5 : Dosage des ions sulfates.....	26
Photo 6 : Dosage des ions de calcium.....	27
Photo 7 : Dosage des ions magnésium.....	27
Photo 8 : Dosage des ions bicarbonates.....	28
Photo 9 : Dosage des ions sodium potassium.....	28

Tableau des Abréviations :

A.B.H.T	Bassin Hydraulique de Tensift El Haouz.
P.D.A.I.R.E	Plans Directeurs d'Aménagements Intégrés des Ressources en Eaux.
L.P.E.E	Laboratoire Public d'Essais et d'Etude.
pH	Potentiel hydrogène.
AgNO ₃	Nitrate d'argent.
KCrO ₄	Chromate de potassium.
AgCl	Chlorure d'Argent.
H ₂ SO ₄	Acide sulfurique.
BaCl ₂	Chlorure de Barnum.
MgCl ₂	Chlorure de magnésium.
E.D.T.A	L'acide éthylène diamine tétra-acétique.
IS	Indice de saturation.
BI	Balance ionique.
O ₂ Dissous	Oxygène Dissous.
DBO ₅	Demande Biochimique en Oxygène.
DCO	Demande Chimique en Oxygène.
NH ₄ ⁺	Ammonium.
PT	Phosphore total.
CF	Coliformes fécaux.
PO ₄ ³⁻	Phosphates.
NO ₃ ⁻	Nitrates.
Chl a	Chlorophylle A.

Introduction

Au cours de ces dernières décennies le Maroc a connu un développement important dans tous les secteurs socio-économiques, qui s'est traduit essentiellement par un élargissement industriel, agricole, urbain, et touristique, celui-ci à causé plusieurs impacts environnementaux notamment la pollution des eaux.

Les eaux usées non épurées provenant des rejets urbains et industrielles, évoquent la principale source de pollution des eaux, engendrant une dégradation de la qualité des eaux superficielles, et souterraines.

Une prise de conscience ainsi qu'une sensibilisation intense a été prise pour contrôler ce sérieux problème environnemental lié à la pollution des eaux de la région de Tensift El Haouz.

Dans le cadre de notre formation en licence science et technique filière « Eau et Environnement », au sein de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech (F.S.T.) et en collaboration avec l'Agence Bassin Hydraulique de Tensift El Haouz (A.B.H.T.) nous avons effectué un stage de fin d'études intitulé «Évaluation de la qualité des ressources en eau dans la zone d'action de l'Agence du Bassin Hydraulique Tensift El Haouz.». L'étude est basée essentiellement sur le comportement hydrochimique des eaux de surface et des eaux souterraines, ainsi que la typologie et la qualité des eaux influençant cette pollution.

De ce fait nous avons divisé notre travail en cinq parties:

- Le premier chapitre est consacré à la présentation générale du bassin principalement la situation géographique du bassin, la géologie, la climatologie et l'hydrologie de la région.
- Le deuxième chapitre, expliquera la méthodologie adoptée pour l'élaboration de ce travail.
- Le troisième chapitre, présentera l'évolution spatiale de certains paramètres *in-situ*, ainsi que l'identification des faciès chimique.
- Le quatrième chapitre, s'intéressera à l'étude de la qualité actuelle des ressources en eaux dans le bassin Tensift tout en commençant par un jugement du réseau actuel de surveillance de la qualité des eaux puis une détermination de la qualité des eaux du bassin selon leurs usages on se basant sur les normes marocaine de la qualité ainsi qu'à l'évolution temporelle de la qualité des eaux superficielle, et souterraine
- Le cinquième chapitre comportera une conclusion générale.

Cadre administratif de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift.

Au Maroc, la planification des ressources en eaux a été amorcée dès les années 1980 et améliorée en 1995 à travers le décret de la loi de l'eau 10-95 qui a donné naissance aux Agences du Bassin Hydraulique « ABH » qui sont au nombre de neuf.

Ces agences ont pour but d'évaluer, de planifier et de gérer les ressources en eaux au niveau des bassins hydrographiques et cela par l'élaboration et la mise en œuvre des Plan Directeurs d'Aménagements Intégrés des Ressources en Eaux. « PDAIRE ».

L'ABHT est instaurée par le décret du 14 Novembre 2000, en application de l'article 20 de la loi sur l'Eau, afin d'assurer une gestion intégrée et concertée des ressources en eau pour un développement durable du bassin hydraulique du Tensift.

Objectifs de création des Agences de Bassins Hydrauliques :

- Protection et conservation quantitative et qualitative des ressources en eau.
- Planification cohérente et obligatoire à l'échelle du bassin hydraulique.
- Utilisation rationnelle et optimale de l'eau.
- Gestion intégrée, décentralisée et forcée des ressources en eau et du domaine public hydraulique.

Agence du Bassin Hydraulique est chargée de :

- Réaliser les mesures et les études nécessaires à l'évaluation, la planification et la gestion des ressources en eau.
- Réaliser les mesures de qualité de l'eau et appliquer les dispositions réglementaires relatives à la protection des ressources en eaux et à la restauration de leur qualité.
- Elaborer le « PDAIRE » et de veiller à son application.
- Fournir les aides financières et l'assistance technique dans le domaine de la pollution des ressources en eau.
- Gérer et contrôler l'utilisation des ressources en eau mobilisées.
- Proposer et exécuter les mesures adéquates pour assurer l'approvisionnement en eau en cas de pénurie d'eau ou pour prévenir les risques d'inondations.
- Réaliser les infrastructures nécessaires à la prévention et à la lutte contre les inondations.
- Tenir un registre des droits d'eau reconnus et des concessions et autorisations de prélèvement d'eau accordée. (*La Loi 10-95 sur l'Eau, Section III, Articles 20 – 24*).

Chapitre I

Cadre général de la zone d'étude.

I. 1. Bassin versant de Tensift.

Le bassin versant de Tensift est situé au centre Ouest du Maroc entourant la région de Marrakech (Figure.1). Il occupe une superficie de 20450 km². Ce large domaine continental est situé entre la latitude 32° 10' et 30° 50' Nord et la longitude 9° 25' et 7° 12' Ouest. Il est limité au Sud par la ligne de crête de la chaîne du Haut Atlas, au Nord par le massif de petites montagne nommé « Jbilet » avec des altitudes inférieures à 1000 mètres, à l'Est par la ligne de partage des eaux, peu marquée séparant le bassin du Tensift de celui du Tessaout, affluent d'Oum R'bia et à l'Ouest par l'océan Atlantique où se situe son exutoire. Les altitudes sont donc très contrastées, elles varient de 0 m au niveau de son exutoire à 4167 mètres au Jbel Toubkal.

Géographiquement, le bassin peut être subdivisé en quatre domaines distincts :

- Le Haut Atlas au sud : zone de montagnes formant les plus hauts reliefs du Royaume avec comme point dominant à 4167 m, le Jbel Toubkal.
- La plaine du Haouz et le bassin de Mejjate au centre : une dépression d'une superficie de 6000 Km², allongée de l'Est à l'Ouest et large de 40 Km, traversée par la majorité des affluents de la rive gauche de l'oued Tensift drainant les eaux de la chaîne atlasique.
- Les Jbilet au nord : formées de montagnes de faibles altitudes, émergeant au nord de la plaine du Haouz.
- Le bassin d'Essaouira-Chichaoua à l'ouest, constitué d'un vaste plateau à topographie tourmentée, créant la transition entre les plaines intérieures et le Haut atlas.

Administrativement, cette zone s'étend sur six préfectures et provinces, elle couvre totalement la préfecture de Marrakech et les provinces d'Al Haouz, de Chichaoua et d'Essaouira et partiellement les provinces d'El Kalaâ des Sraghna et de Safi.

Oued Tensift est alimenté de façon quasi exclusive par ces affluents rive gauche qui drainent les flancs nord de l'atlas. Ces affluents installés sur un relief montagneux à structures et nature géologique hétérogènes ont des caractères torrentiels. Les principaux affluents sont localisés dans la plaine d'Al Haouz : Oued R'dat, Oued Zat, Oued Ghmat, Oued N'fis, Oued Rheraya, Assif El Mal, Oued Chichaoua, Oued Tiroula et Oued Talmost.

I. 1.1. Situation géographique du bassin.

Le bassin Tensift est une aire située au centre ouest du Maroc, s'étendant de la ligne de partage des eaux de surface d'Oum R'bia au nord et à l'est, aux crêtes du haut atlas au sud, l'océan atlantique à l'ouest. Il occupe 3% de la superficie totale du pays.

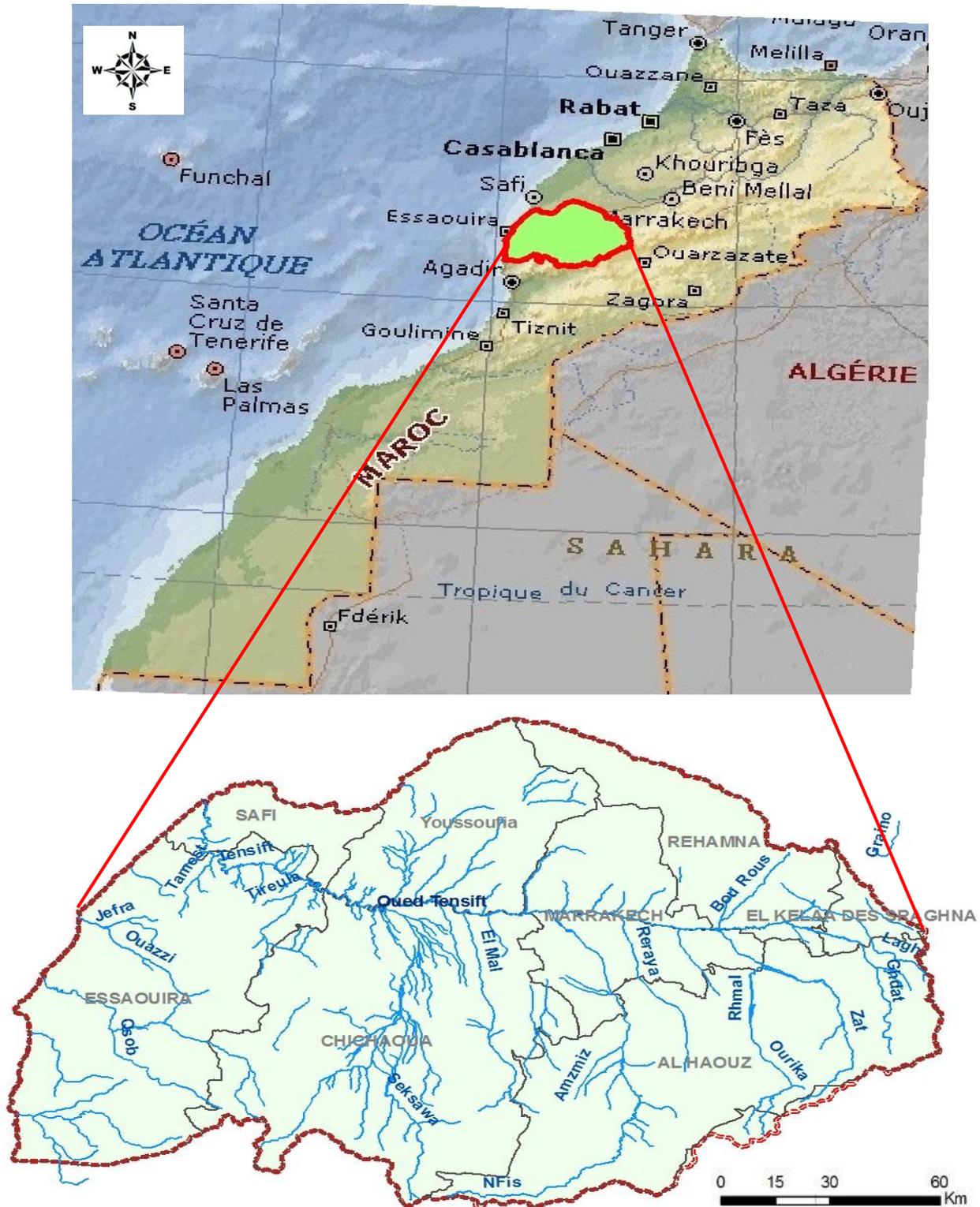


FIGURE 1 : Situation géographique de la zone d'étude.

I. 1. 2. Topographie

La plaine s'étend sur la rive gauche de la partie amont de la rivière de Tensift vers le sud et couvre le bassin d'Oum R'bia à l'est. La plaine est divisée en trois parties :

El Haouz oriental qui couvre toute la partie appartenant au bassin Oum Er R'bia.

El Haouz central qui se situe autour de Marrakech et partie occidentale

La plaine de Mejjate, le Bassin de Tensift est topographiquement divisé en 4 zones :

- **La Plaine d'El Haouz :**

La plaine est délimitée par la rivière de Tensift et les montagnes de Jbilet au nord, la rivière de Chichaoua et sa partie supérieure d'Amznas, à l'ouest et les Montagnes du Haut Atlas du sud à l'est, la plaine s'élève doucement du nord-ouest au sud-est.

- **Essaouira-Chichaoua :**

Cette zone est un plateau accidenté qui se situe à l'ouest de la plaine d'El Haouz. L'altitude est de 400 m à 800 m en général, le Tensift coule au nord de cette zone.

- **Montagnes des Jbilet :**

C'est une région montagneuse avec des altitudes allant de 300 m à 1000 m. Les Jbilet s'étendent sur 170 km de la région de Mouissate à l'ouest jusqu'au Haut Atlas Central à l'est.

- **Montagnes du Haut Atlas :**

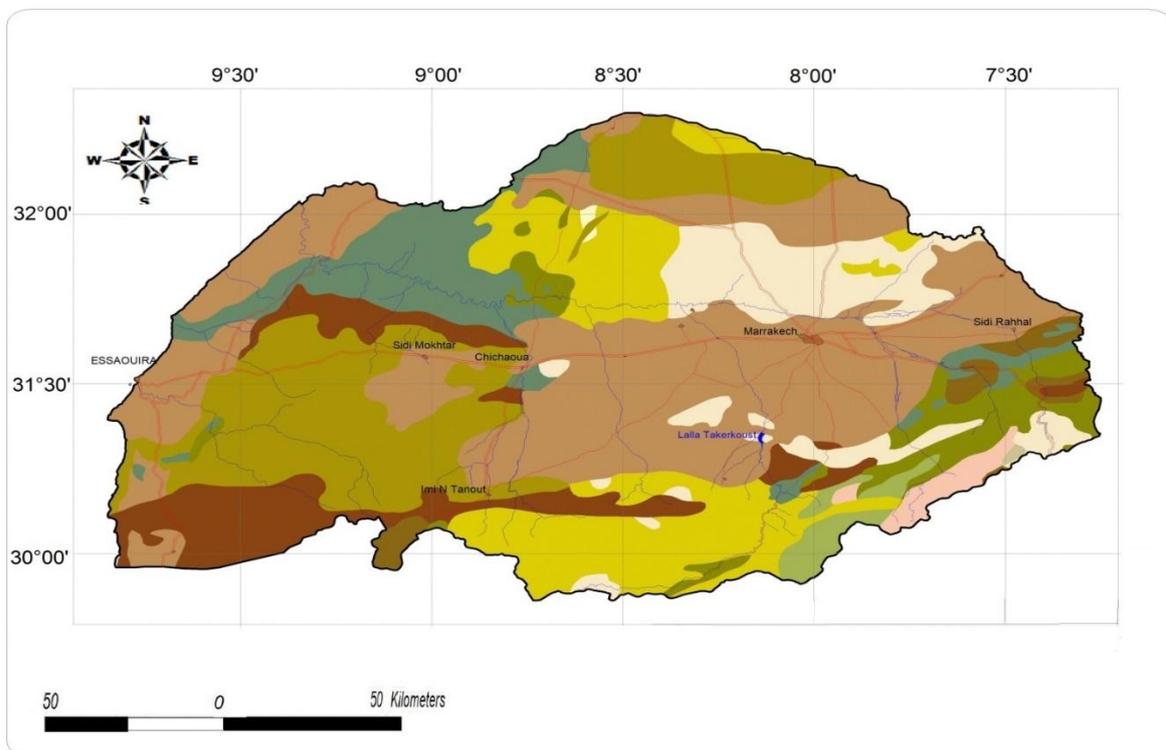
La chaîne des montagnes de l'Atlas s'étend au sud de la plaine d'El Haouz de l'ouest à l'est. Les montagnes comprennent des sommets de plus de 3000 m avec le plus haut sommet de l'Afrique du nord : le Jbel Toubkal.

I. 1. 3. Géologie et lithologie du bassin

Le cadre géologique du bassin de Tensift s'articule sur l'organisation du socle primaire, la géologie du bassin versant du Tensift sera décrite par son aspect lithologique, le plus important pour l'hydrologie. Les formations constituant le bassin de Tensift sont diversifiées (FIGURE 2). Dans la plaine, qui se présente sous forme d'une dépression, on trouve des formations détritiques issues du démantèlement de la chaîne atlasique. Elles sont accumulées au Néogène et au Quaternaire récent, recouvrant ainsi les formations primaires, secondaires et tertiaires. Les schistes sont largement répandus dans les Jbilet avec des faciès et de couleurs très variés. On y distingue des schistes sombres souvent lités, des schistes argileux et des schistes gréseux avec des bancs épais de grès ou de quartzites.

Par ailleurs, d'autres formations moins étendues peuvent être distinguées notamment des conglomérats, des affleurements calcaires et siliceux, des roches magmatiques comme les granites et les gabbros. Dans la chaîne atlasique, les affleurements lithologiques sont dominés par les faciès suivants : des roches magmatique et métamorphiques précambriennes notamment les granites, diorites, dolérites, andésites et rhyolites, aussi que des schistes primaires, des formations secondaires fortement colorées en rouge et largement dominées par des calcaires, des grès, des marnes et des argiles.

Les formations métamorphiques ou éruptives comportent des zones d'altération dont la capacité de rétention est significative, étant donné la pérennité de plusieurs cours d'eau qui ne peut pas être attribuée au seul stock neigeux.



Légende : Carte structurale du bassin hydraulique du Tensift

- Couverture néogène (Miocène ou Pliocène marin) et quaternaire (marnes, grès molassiques, calcaires lacustres, limons et alluvions)
- Jurassico-Crétacé des cuvettes synclinales internes
- Couverture secondaire et tertiaire ,tabulaire ou peu plissée des zones rigides des Mesetas centrales (Crétacé et Éocène)
- Couverture jurassique, tabulaire ou peu plissée des zones rigides des Mesetas centrales (dolomies et marno-calcaires)
- Secondaire plissé du haut Atlas et du Moyen Atlas , surtout Lias et Jurassique (dolomies, marnes et parfois grès)
- Permo-Trias (grès, conglomérats et argiles rouges)
- Autunien (conglomérats, grès et argiles rouges)
- Paléozoïque (schistes, micaschistes, quartzites , calcaires) : Cambrien, Ordovicien, Silurien
- Paléozoïque (schistes, micaschistes, quartzites , calcaires) : Carbonifère
- Précambrien II - III géosynclinal (flyschs) et ses granites (Marocanides)
- Précambrien III (ou infracambrien inférieur)
- Précambrien III (ou Infracambrien inférieur) : vulcanites (rhyolites, ignimbrites, andésites ...) et dépôts détritiques : (conglomérats, grès et pélites)
- Basaltes doléritiques du Trias supérieur
- Granites hercyniens

FIGURE 2 : Lithologie du bassin Tensift El Haouz. (Réf ABHT, 2013. Modifier).

I. 2. Caractéristiques climatiques

Le climat de la zone d'étude est caractérisé par l'influence de l'Océan Atlantique. Cette influence diminue d'autant plus quand on s'éloigne vers l'intérieur. Ainsi, le climat est semi-aride influencé par le courant froid des Canaries dans la zone côtière, semi-aride à chaud dans les Jbilet, de type aride dans le Haouz et le Mejjate. La zone du bassin du Tensift Est, est influencée par la présence du relief et notamment le Haut Atlas.

- **Haouz de Marrakech et Mejjate**

L'ensemble de la plaine fait partie de la zone climatique continentale semi-aride avec une pluviométrie d'environ 250 mm en moyenne annuelle et une hygrométrie faibles. La distribution spatiale des pluies traduit l'influence de la distance à l'Atlantique et de l'altitude

- **Bassin d'Essaouira – Chichaoua et zone côtière d'Essaouira**

Les données climatiques dans ce secteur en bordure d'Atlantique, traduisent l'influence océanique et l'action du courant froid des Canaries. Les amplitudes thermiques sont réduites et la zone côtière possède un climat de type îlien semi-aride à hiver doux.

- **Bahira**

Ce secteur géographique appartient à la zone semi-continentale semi-aride caractérisée par une pluviométrie faible sur l'ensemble de la plaine (précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 270 mm) avec des variations interannuelles très élevées.

- **Jbilet**

Les stations climatiques, présentes sur cette unité géographique, sont situées sur les basses pentes, en périphérie. L'évolution des gradients climatiques avec l'altitude n'est pas directement mesurée. Le climat est de type semi-aride à forts contrastes des températures. La pluviométrie annuelle est de l'ordre de 250 à 270 mm.

- **Haut Atlas**

La distribution spatiale des conditions climatiques reflète les effets combinés de l'altitude et de la distance à l'océan. Si la zone pré-atlasique connaît des conditions comparables à celles de la partie amont du Haouz, la moyenne montagne est mieux arrosée et d'un climat plus tempéré.

I. 2. 1. Température

Les températures moyennes mensuelles varient entre 17°C et 20°C. Les mois les plus chauds sont généralement Juillet et Août « 25,5°C à 29°C sur l'Atlas et dans la plaine du Haouz et de 19°C à 24°C dans les zones côtières ». Le mois le plus froid est Janvier « 12°C sur l'Atlas et dans la plaine du Haouz et 13 à 14,5°C dans les zones côtières ».

I. 2. 2. Evaporation

L'évaporation moyenne annuelle varie de 1800mm sur le versant atlasique à plus de 2500mm dans la plaine du Haouz.

L'évaporation minimale est enregistrée pendant le mois de janvier alors que la maximale intervient pendant les mois d'été.

I. 2. 3. Précipitations

Les précipitations sur la région de Tensift sont caractérisées par une grande variabilité spatio-temporelle et généralement faible. L'analyse des séries d'observation pluviométriques montre que la région du Tensift est caractérisée par l'occurrence de périodes de sécheresse plus ou moins longues.

I. 3. Hydrologie du bassin.

La zone d'action est drainée en grande partie par le bassin hydrologique de Tensift. Ce dernier draine la grande partie du versant Nord du Haut Atlas et les Jbilet. A l'Ouest, les deux bassins du ksob et Igouzoulen drainent le Haut Atlas occidental. La Bahira occidentale constitue, quant à elle, une unité à part dont le drainage de surface. Le bassin de Tensift s'alimente essentiellement dans le domaine atlasique, Le réseau hydrographique du bassin comporte principalement l'Oued Tensift, qui s'écoule de l'Est à Ouest de sa source, à l'embouchure dans l'Océan Atlantique. Cet oued draine, par ses affluents rive gauche, les trois quarts du massif ancien du Haut Atlas. Ces affluents, installés sur un relief montagneux à structure et nature géologique hétérogène, ont des caractères torrentiels.

Le régime d'écoulement de Tensift est irrégulier : est en fonction de la pluviométrie dans le bassin, et de la fonte des neiges sur le Haut Atlas, Les apports moyens annuels sont évalués à près de 824mm³. Ces apports varient entre un minimum de 116Mm³ et un maximum de l'ordre de 2677mm³.

En outre, le bassin bénéficie d'un transfert de l'ordre de 300mm³ à partir du bassin de l'Oum Er R'bia, via le canal de Rocade, destiné à l'alimentation en eau de la ville de

Marrakech et à l'irrigation dans le Haouz central, Ainsi le potentiel en eau de surface disponible pour le bassin s'élève, en année moyenne, à près de 1124 mm³.

I. 4. Ressources en eaux

De façon générale on distingue deux types d'aquifères. Un type qui s'intéresse aux eaux superficielles et un autre aux eaux souterraines.

I. 4. 1. Eaux superficielles

Les ressources en eau de surface sont très irrégulières et inégalement réparties. Le Haut Atlas constitue le château d'eau des écoulements de surface, puisque les oueds les plus importants y prennent naissance, alors que la plaine est une zone de transition et d'utilisation de l'eau. Les ruissellements à caractère torrentiel, qui se produisent suite aux orages ou aux précipitations intenses, sont collectés par le réseau hydrographique du Tensift qui les évacue vers l'Océan.

La région peut être décomposée en trois zones, dotées de ressources en eau de surface inégalement réparties :

- la zone 1 du cours amont de l'oued Tensift et ses affluents de la rive gauche qui constituent la partie hydrologique active du bassin, sur une superficie de 11.900 km².
- la zone 2 du bas Tensift qui englobe le cours aval d'oued Tensift et le bassin d'oued Chichaoua sur une superficie de 7.900 km² et dont l'activité hydrologique est très variable.
- la zone 3 de Ksob-Igouzoulen : elle est composée des bassins côtiers atlantiques du Ksob et d'Igouzoulen et s'étend sur une superficie de l'ordre de 5.000 km²

En outre, la région bénéficie d'un transfert d'eau à partir du bassin de l'Oum Er R'bia, via le canal de Rocate de 300 mm³ en année moyenne, destinés à l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech et à l'irrigation dans le Haouz Central.

Ainsi, le potentiel en eau de surface disponible pour la région du Tensift et du Ksob-Igouzoulen s'élève en année moyenne à près de 1116 mm³.

Eau des barrages :

Le bassin du Tensift comporte cinq ouvrages majeurs de stockage des eaux superficielles (FIGURE 3) parmi lesquels on distingue :

Le barrage Lalla Takerkoust : Avec une retenue de 56 Mm³, ce barrage permet de régulariser 82 mm³, permettant d'irriguer une superficie de l'ordre de 9 800 Ha et de produire l'énergie électrique, à hauteur de 15 GWh/an.

Le bassin comporte, également, des petits barrages qui permettent de mobiliser 2,4mm³ destinés essentiellement à l'irrigation et l'abreuvement du cheptel.

Le barrage Yacoub El Mansour : mis en service en 2008, sur le N'Fis, à l'amont du barrage Lalla Takerkoust, d'une capacité de 72 mm³. Ce barrage viendra renforcer l'AEP de la ville de Marrakech.

Remarque : Le barrage de Moulay Youssef ne fait pas partie du bassin de Tensift mais plus tôt géré par l'ABHT.

Parallèlement aux retenues de barrages, la région est dotée de grands ouvrages de transport d'eau, en particulier :

Le canal de Rode, long de 130 km. Ce canal de capacité nominale de 300mm³/an en année moyenne, transfère les eaux du bassin de l'Oum Er R'bia destinées à l'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech 40mm³ et à l'irrigation dans le Haouz Central 260Mm³.

Un réseau de séguias pour l'irrigation de plusieurs périmètres agricoles.

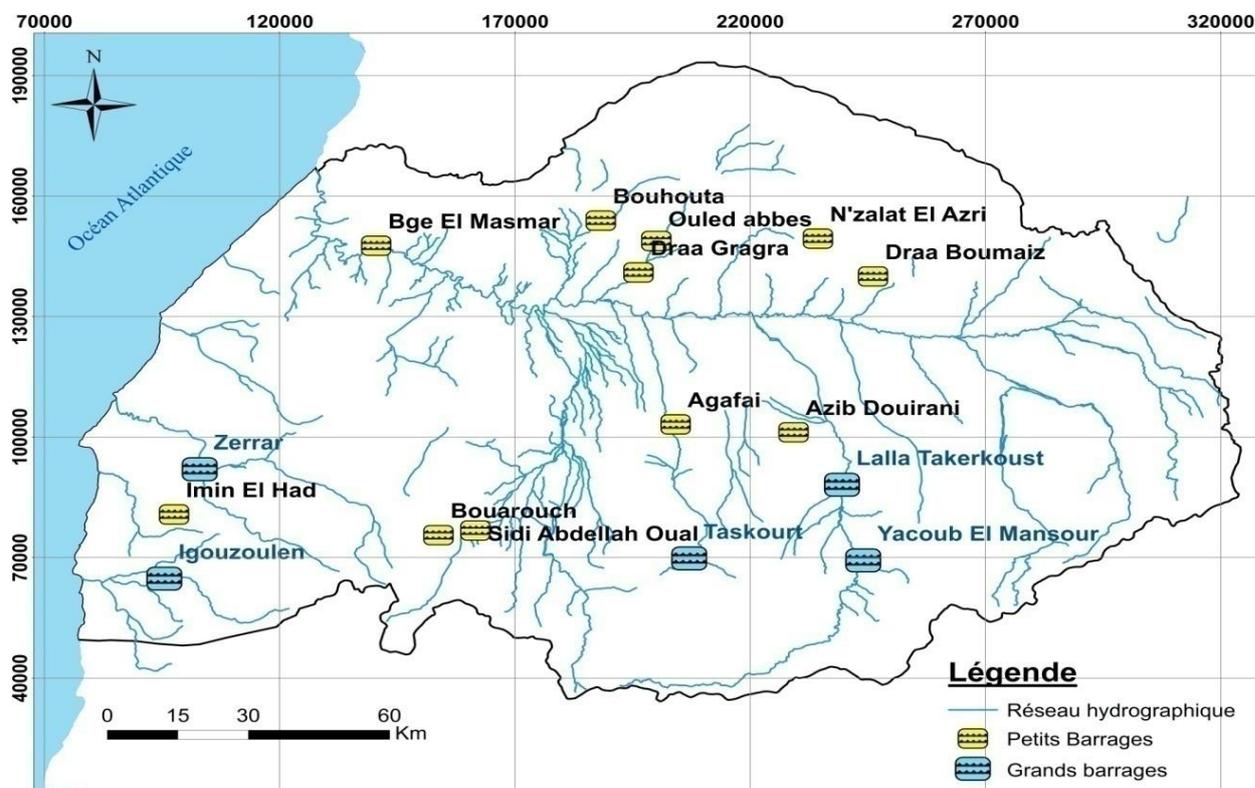


FIGURE 3: Répartition spatiale des différents aménagements hydraulique d'El Haouz d'après les données de l'ABHT.

I. 4. 2. Eaux souterraines

En ce qui concerne les ressources en eaux souterraines, les réservoirs dans lesquels s'accumulent ou transitent les eaux pluviales infiltrées sont, eux aussi, d'inégale importance et leur répartition géographique dans la région est quasi analogue à celle des eaux de surface (FIGURE 4). parmi les nappes les plus importantes, on distingue :

° La nappe phréatique du Haouz-Mejjate

La nappe du Haouz et sa bordure occidentale est limitée par la chaîne atlasique au Sud et les chaînons des Jbilet au Nord. Elle s'étend d'Est en Ouest entre les reliefs des Jbilet et l'Oued Chichaoua sur une superficie de 6.000 km² avec une largeur moyenne de 40 km.

Les écoulements souterrains s'établissent dans les alluvions plio-quadernaires et les formations du Néogène dont la puissance globale varie entre 50 et 80 m peut atteindre localement 120 m.

La surface libre de la nappe s'établit en moyenne à 30 m sous le niveau du sol et varie de 10 à plus de 80m le long du piémont de l'Atlas.

° La nappe de Bou Sbâa

Le plateau de Bou Sbâa s'étend sur une superficie de l'ordre de 1600 Km². Il renferme une nappe dont les niveaux d'eau par rapport à la surface du sol varient de 60m au Sud à moins de 20 m au Nord.

° La nappe de Meskala - Kourimate

La nappe de Meskala-Kourimate s'étend sur une superficie de l'ordre de 1.600 km². Elle est constituée de deux aquifères superposés. La recharge de ce système se fait par infiltration directe des eaux de pluie et de ruissellement sur les aires d'affleurement. L'écoulement se fait en direction de l'Oued Ksob, donnant naissance à plusieurs émergences le long de sa partie aval, au niveau d'Essaouira.

° Les nappes de la bande côtière d'Essaouira

Les nappes des grès dunaires et des calcaires coquillers du Plio-Quaternaire s'étendent le long de la côte sur une bande large de 20 km et longue de 40 km. La profondeur de la nappe est de 40 à 60 m. La productivité des ouvrages est très variable avec des débits allant de 1 à plus de 30 l/s. L'alimentation de la nappe se fait principalement à partir des infiltrations directes et par drainance à partir des aquifères sous-jacents.

° La nappe de la Bahira

Allongée d'Est en Ouest, la plaine de la Bahira s'insère entre le massif des Jbilet au Sud et les plateaux des Rhamna et du Gantour au Nord et s'étend sur une superficie d'environ

5.000 km². La zone d'action de l'ABHT n'en compte que 3000 Km² renfermant les parties occidentale et centrale de la Bahira.

Au niveau de la Bahira occidentale et centrale, l'aquifère a une puissance moyenne de 50 m.

Les infiltrations des eaux de pluie et du ruissellement des eaux provenant des Jbilet, estimés à 33 Mm³ par an, constituent la principale composante de la recharge naturelle.

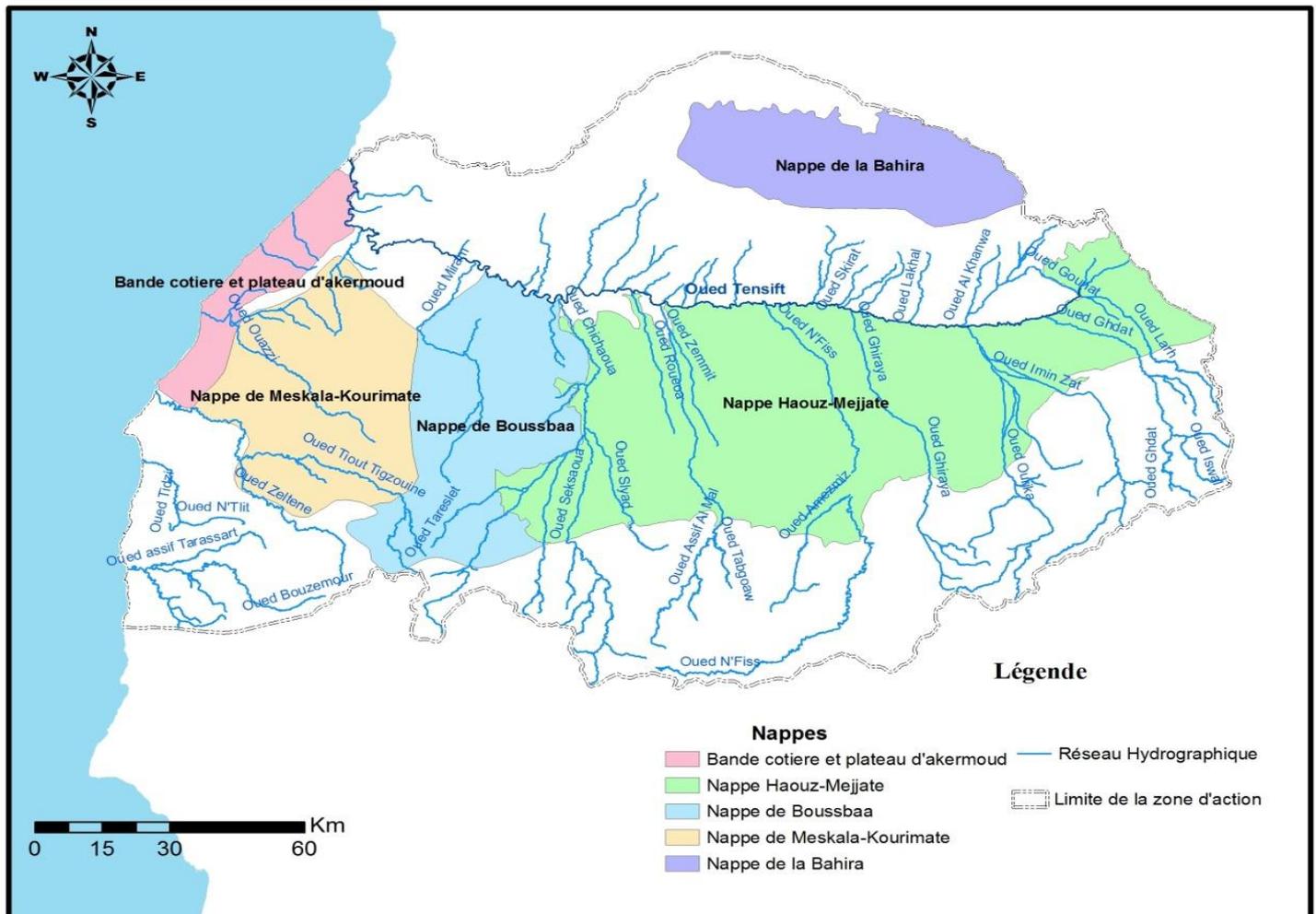


FIGURE 4: Répartition des nappes du bassin Tensift El Haouz d'après les données de l'ABHT.

Chapitre II

Méthodologie de travail.

II. 1. Origine des données

Cette étude de la qualité des ressources en eau au bassin de Tensift Al-Haouz, consiste à définir les zones les plus polluées, en précisant, pour chaque point de réseau de contrôle, le type de pollution détériorant la qualité de l'eau, et les paramètres les plus polluants.

A cet effet, les paramètres analysés sont ceux qui caractérisent une qualité physique, et bactériologique, ainsi que les paramètres étudiés qui renseignent sur la minéralisation et la pollution de l'eau soit par la matière organique, la matière azotée ou phosphatée.

II. 1. 1. Données de l'Agence du bassin

Les données disponibles à l'ABHT, sont collectées dans le cadre de la 2^{ème} campagne de mesure du mois de Novembre, de la qualité des eaux réalisées en coordination avec le Laboratoire Public d'Essais et d'Etude (LPEE).

Les données précitées concernent 33 points d'échantillonnages pour les eaux de surface, 6 points d'échantillonnages pour les eaux de barrages, ainsi que 3 points d'échantillonnages pour les eaux souterraines (les sources), 3 nappes la Bahira, El Haouz et Essaouira dont 30 points d'échantillonnages.

Les différents sites d'échantillonnage sont représentés sur les figures suivantes

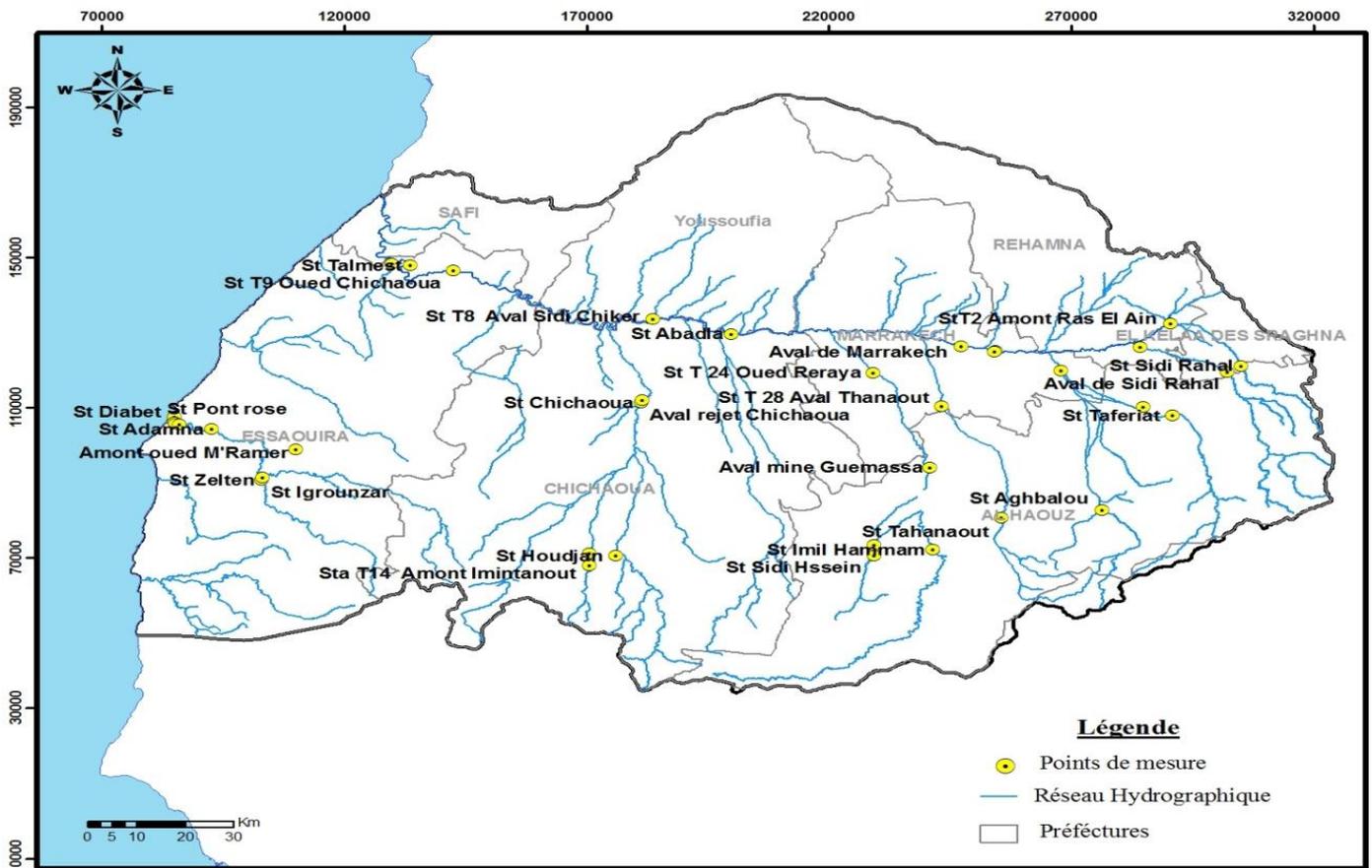


FIGURE 5: Cartographie des sites d'échantillonnage des Eaux de Surface au sein du bassin Tensift El Haouz.

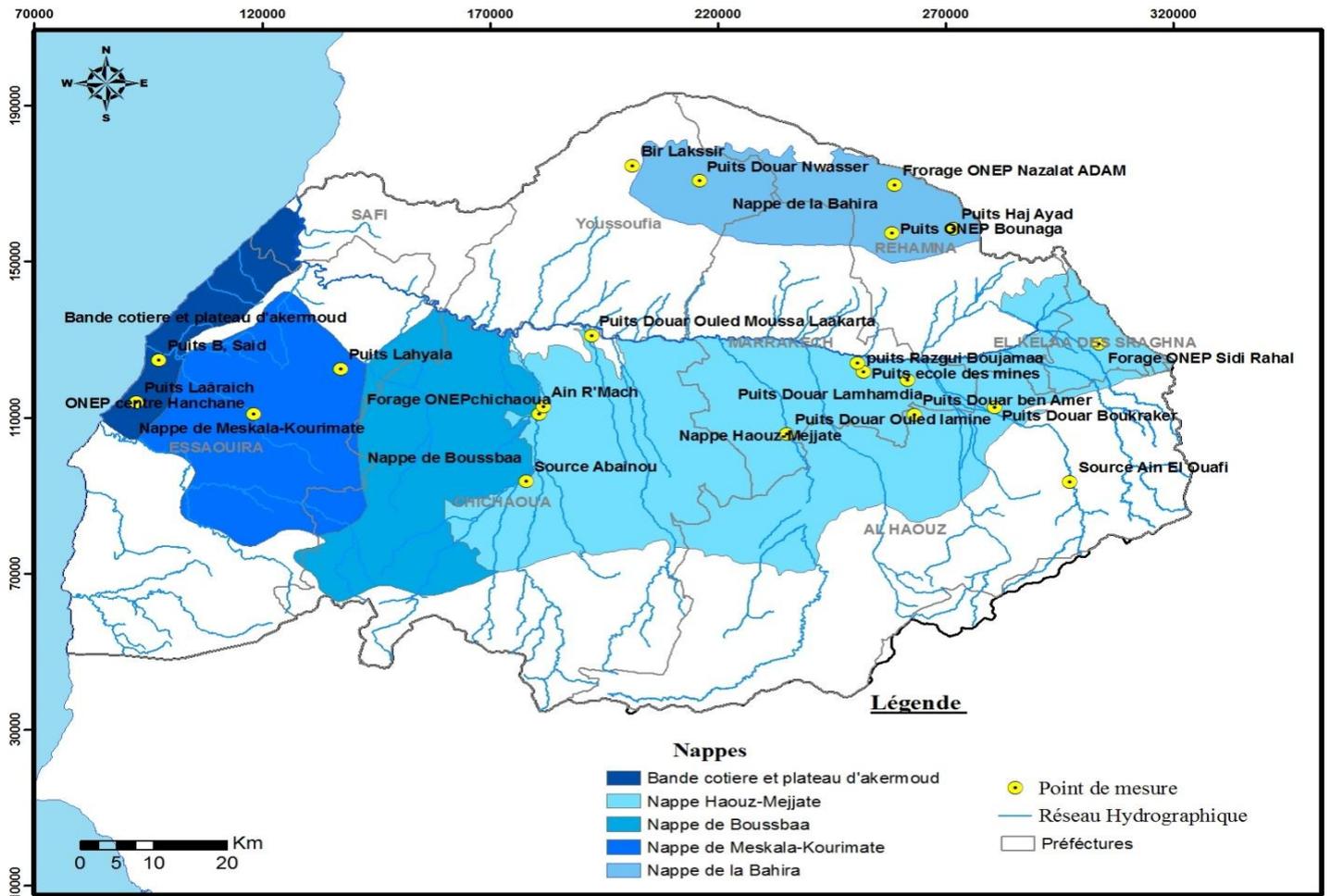


FIGURE 6: Cartographie des sites d'échantillonnage des Eaux souterraines au sein du bassin Tensift El Haouz.

II. 1.2 Données récentes.

Dans le but d'une Evaluation de la qualité des ressources en eaux dans la région de Loudaya, nous avons réalisé une campagne d'échantillonnage qui a duré 2 jours. Au total, 3 échantillons des eaux souterraines ont été prélevés. Le premier prélèvement à été effectué dans un dépôt de briques, le 2ème à été accompli au sein d'une ferme, et le 3ème prélèvement dans une zone agricole. Tous ces prélèvements sont accompagnés par des mesures In-situ de : température, PH et de conductivité. Le but de notre étude est l'évaluation de la qualité des ressources en eaux dans la zone d'action de l'ABHT. Pour cela, des analyses physico-chimiques de l'eau ont été effectuées au laboratoire de l'OROMVA du Haouz. Les paramètres mesurés ont porté sur la Conductivité, le pH et les ions majeurs à savoir : HCO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ et SO_4^{2-} .

II.1.2. 1. Mesures effectuées *in-situ*

Loudaya est Le village où nos mesures ont été effectuées. Il est situé à proximité du bassin N'fis, localisé au flanc Nord du massif central à l'ouest de Toubkal ce bassin versant de oued N'fis est un sous bassin de oued Tensift, C'est le bassin le plus étendu du Haut Atlas de Marrakech.

La température, la conductivité, le pH, doivent être mesurés in situ. En effet, ces paramètres sont très sensibles aux conditions de milieu.

Les prélèvements constituent une phase primordiale. Ils sont, en effet, la première étape du long processus d'analyse, l'échantillon prélevé doit être représentatif. Les mesures qu'on a effectuées sur terrain sont :

Température : est mesurée à l'aide d'un thermomètre, ce dernière à deux fonctions : il permet de mesurer la température de l'eau ainsi que celle de l'air.

Principe : introduire la partie grisâtre située en bas du thermomètre à l'intérieur du seau de prélèvement et lire convenablement la valeur.



Photo 1: Mesure de la Température in-situ.

La Conductivité : La conductivité électrique est l'image de la minéralisation globale d'une solution aqueuse. Elle dépend de la quantité de sels en solution, En effet, en se dissolvant, les sels se dissocient en paires d'ions (anions et cations) qui autorisent le passage du courant électrique. Plus la solution est minéralisée, plus il y a d'ions en solution et plus la conductivité électrique sera élevée.

Principe : La mesure de la conductivité d'une solution s'effectue en immergeant dans la solution une cellule de mesure comportant deux électrodes. Le conductimètre affiche directement une conductivité.



Photo 2 : Mesure de la conductivité sur terrain.

Le potentiel hydrogène : Le potentiel hydrogène, plus connu sous le nom de "pH" permet de mesurer l'acidité ou la basicité d'une solution.

Principe : Le pH-mètre est un appareil permettant de mesurer le pH d'une solution. Il est constitué d'une électrode qui mesure cette valeur. Le fonctionnement du pH-mètre est basé sur le rapport entre la concentration en ions H_3O^+ et la différence de potentiel électrochimique.



Photo 3 : Mesure du potentiel hydrogène.

II. 1. 2. 2. Analyses effectuées au laboratoire

Chlorures : Le dosage des ions chlorure dans l'eau peut être effectué par une solution titrée de nitrate d'argent ($AgNO_3$) en présence de chromate de potassium $KCrO_4$.

Les chlorures vont se précipiter sous forme de chlorure d'Argent $AgCl$.

Mode opératoire : On introduit dans un erlenmeyer de 50 ml préalablement rincé à l'eau désilé, 10 ml d'eau à analyser, on ajoute 2 à 3 gouttes d'acide nitrique, et 3 gouttes de chromate de potassium, dans une burette de 25 ml on met des nitrate d'argent on commence le dosage jusqu'à l'apparition d'un précipité de teinte rougeâtre, cette couleur doit persister.



Photo 1: dosage des ions chlorure.

Sulfates : Le dosage des ions sulfates dans l'eau peut être effectué par une solution titrée de chlorure de Barium stabilisé (Cl Ba).

Mode opératoire : On prend 10 ml de l'eau de l'échantillon prélevé, on lui rajoute 2 ml de H_2SO_4 , on chauffe le tout à $100^\circ C$ lorsqu'on commence à voir des bulles on rajoute 5 ml de $BaCl_2$ ensuite de 2 ml de $MgCl_2$ puis 10 ml d'une solution tampon enfin un colorant noir d'eriochrome dosé par la E.D.T.A. la couleur de cette solution devient bleue.



Photo 2 : Dosage des ions sulfates.

Calcium : Le dosage des ions calcium dans l'eau peut être effectué par complexométrie dans un milieu alcalin à $pH = 10$ en présence de la soude $NaOH$. Nous titrons par l'acide éthylène diamine tétra-acétique E.D.T.A. ainsi que le murexide comme indicateur coloré.

Mode opératoire : dans un erlenmeyer de 50 ml préalablement rincé à l'eau désilée, on verse 10 ml de l'eau de l'échantillon prélevé, on lui rajoute 40 ml de l'eau désilée à l'aide

d'une éprouvette, ensuite 2 ml de NaOH, puis on effectue un dosage par E.D.T.A, et vers la fin on a un virage rose rouge vers violet.



Photo 3 : Dosage des ions de calcium.

Magnésium : dosage des ions Magnésium dans l'eau peut être effectué par complexométrie E.D.T.A avec l'ajout d'une solution tampon et le colorant noir d'eriochrome comme indicateur coloré.

Mode opératoire : On prend 10 ml de l'eau de l'échantillon prélevé, on lui rajoute 2 ml d'une solution tampon avec un $\text{pH} = 10$, ensuite 3 gouttes de noir d'eriochrome, puis on commence à doser par la E.D.T.A, vers la fin on obtient un virage rouge sombre vers un bleu.



Photo 4 : Dosage des ions magnésium.

Bicarbonates : le dosage des ions Bicarbonates dans l'eau peut être effectué par acidimétrie d'une solution d'acide sulfurique H_2SO_4 , en présence de l'indicateur coloré le vert de bromocrésol qui donne une couleur bleue dans la solution de carbonates.

Mode opératoire : On prend 10 ml de l'eau de l'échantillon prélevé, on lui rajoute 3 gouttes de vert de bromocrésol, vers la fin on obtient un virage du bleu vers le jaune.



Photo 5 : Dosage des ions bicarbonates.

Sodium potassium : Le dosage de ces deux ions se base sur la méthode de spectrophotométrie à flamme.

Principe : dissociation des atomes pendant leur passage dans la flamme, et qui émettent de l'énergie à leur excitation. Chaque élément va émettre une longueur d'onde bien précise qui sera détectée par des filtres optiques de chaque élément. Le principe consiste à réaliser une courbe d'étalonnage de l'élément à doser avec des concentrations connues, puis évaporer dans la flamme du photomètre l'eau à analyser et déterminer la teneur du Na^+ ou K^+ en connaissant la longueur d'onde d'absorption de chacun d'eux.



Photo 6 : Dosage des ions sodium

II. 1. 3. Outils de travail

- L'outil utilisé pour la réalisation des cartes est L'ARC GIS.
- Outils d'interprétation et de détermination de faciès chimique logicielle diagramme :
L'analyse des données exige l'utilisation des outils et méthodes simples, efficace et rapides dans le but de ressortir le plus d'information pour l'interprétation
Le principal outil utilisé est le logiciel DIAGRAMME, il s'intéresse à l'hydrogéo chimie.

Parmi ces fonctions on cite :

- les diagrammes :
 - Piper
 - Schöeller-Berkaloff
 - Riverside
- les paramètres calculés :
 - Balance ionique
 - Teneurs en cations
 - Indice de saturation

Interface du logiciel :

The screenshot shows the DIAGRAMME software interface. At the top, there is a menu bar with options like 'Fichier', 'Affichage', 'Edition', 'Diagrammes', 'Constantes', 'A propos', 'Langue', 'Options', 'Quitter', 'Manuel', and 'Rouvrir'. Below the menu is a toolbar with buttons for 'Traiter des fichiers Excel', 'Piper', 'Riverside / Wilcox', 'Schöeller Berkaloff', 'Statistique', 'Ouvrir un fichier *.DIA', 'Lire uniquement les données', 'Enregistrer le tableau', 'Modèle Balance.xls', 'InterPolation entre 2 Points', and 'DIONEX remplacer n.a. et ./.'. The main window displays a data table with 19 analyses. The table has columns for 'n', 'Nom', 'Libellé', 'Groupe', 'Piper', 'Schoell/Stiff', 'XY', 'Korjins', 'Phreeq', 'Stat', 'TDS', 'T°C', 'pH', 'c25°C', 'cCALC', 'cC±%', 'Bal=0% si HC', 'Bal=0% si C', 'Balanc refaire', 'Cation/Anions', 'Ca', 'Mg', and 'Na'. The data rows are color-coded by group. At the bottom, there is a search bar, a 'Recalculer' button, and a 'Quitter' button. A status bar at the very bottom provides information about the data file and column correspondence.

n	Nom	Libellé	Groupe	Piper	Schoell/Stiff	XY	Korjins	Phreeq	Stat	TDS	T°C	pH	c25°C	cCALC	cC±%	Bal=0% si HC	Bal=0% si C	Balanc refaire	Cation/Anions	Ca	Mg	Na
1	St Sidi Bahel	1	1				oui	oui	oui	8				15	+85%	101.00	-1-	+85%	0.1770;0.0142	-	-	-
2	Aval de Sidi Bahel	1	1				oui	oui	oui	1575				2051		381.1756.0	2.2	-15%	17.999;24.1501	106	39	199
3	St Tateriat	1	1				oui	oui	oui	3				5.2		41.00	-1-	+94%	0.0617;0.0020	-	-	-
4	St Aphelnu	1	1				oui	oui	oui	319				414		201.1191.0	0.9	+2%	4.3363;4.1762	57	9.11	16
5	Aval Imintannout	1	1				oui	oui	oui	1888				2091		639.1952.0	1.4	-11%	21.816;26.9511	240	60	93
6	St Tahannout	1	1				oui	oui	oui	8				13		41.00	-1-	+39%	0.1157;0.0509	-	-	-
7	Aval reiet Ait Ourir	1	1				oui	reiet	oui	2034				2677		258.1915.0	2.8	-20%	21.732;32.4951	122	27	288
8	St Sidi Hssein	1	1				oui	oui	oui	10				15		-41.00	-1-	-31%	0.0653;0.1229	-	-	-
9	St Zelten	1	1				oui	oui	oui	13				19		-41.00	-1-	-26%	0.0878;0.1479	-	-	-
10	St Larounzar	1	1				oui	oui	oui	14				21		-41.00	-1-	-27%	0.0979;0.1705	-	0.12	-
11	Amont oued M/Bam	1	1				oui	oui	oui	21				30		-81.00	-1-	-35%	0.1233;0.2557	-	-	-
12	St Sidi Abdellilil	1	1				oui	oui	oui	53				69		-441.00	-1-	-82%	0.0796;0.8069	-	-	-
13	Aval mine Guemass	1	1				oui	oui	oui	7				12		31.00	-1-	+31%	0.0995;0.0525	-	-	-
14	St T 28 Aval Thanat	1	1				oui	oui	oui	439				602		208.1189.0	0.9	+2%	6.3278;6.0236	82	16	20
15	St T 34 Oued Issil A	1	1				oui	oui	oui	15				30		221.00	-1-	+96%	0.3640;0.0078	-	-	-

FIGURE 7: Interface de logicielle Diagramme

II. 2. Eléments d'interprétation et de détermination des faciès chimiques

II. 2. 1. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper utilise les éléments majeurs pour représenter les différents faciès des eaux.

Il permet également de voir l'évolution d'une eau, passant d'un faciès à un autre, grâce à des analyses espacées dans le temps ou des analyses d'échantillons pris à des endroits différents. Le diagramme de Piper est très utile pour représenter toutes autres sortes de groupes d'analyses Les valeurs utilisées sont exprimées en « %.meq /l ».

Il est composé de deux triangles et un losange : Les deux triangles sont remplis en premier représentant le faciès cationique ainsi que le faciès anionique dont les côtés témoignent des teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport au total des ions, ensuite un losange synthétisant le Faciès global sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle.

Ce point d'intersection représente l'analyse globale de l'échantillon. Cette position permet de préciser le faciès de l'eau naturelle concernée.

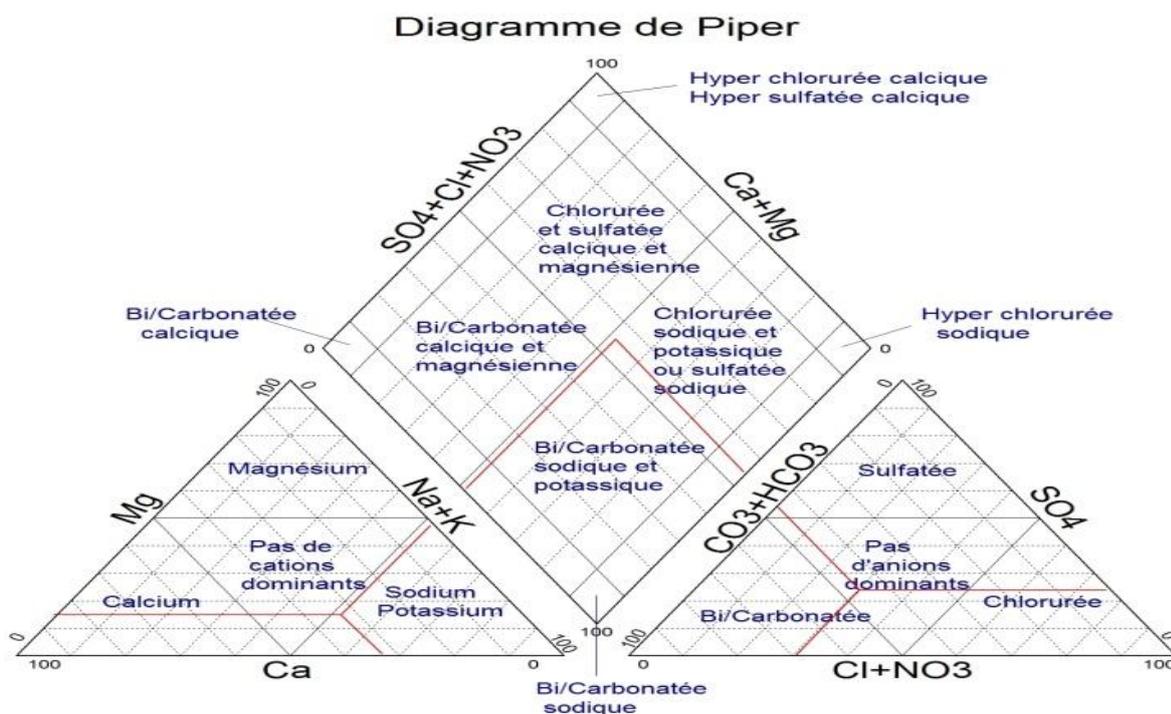


FIGURE 8 : Diagramme de Piper.

II. 2. 2. Diagramme de Schöeller-Berkaloff

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff permet de représenter le faciès chimique de plusieurs eaux, les différents ions sont représentés sur l'axe des abscisses et la teneur réelle en mg/l sur l'axe des ordonnées.

Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée, La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale en échelle semi- logarithmique. La ligne brisée est formée en reliant tous les points figurant les différents éléments chimiques, L'allure du graphique permet de visualiser le faciès des eaux analysée Lorsque les lignes se croisent, un changement de faciès chimique est mis en évidence.

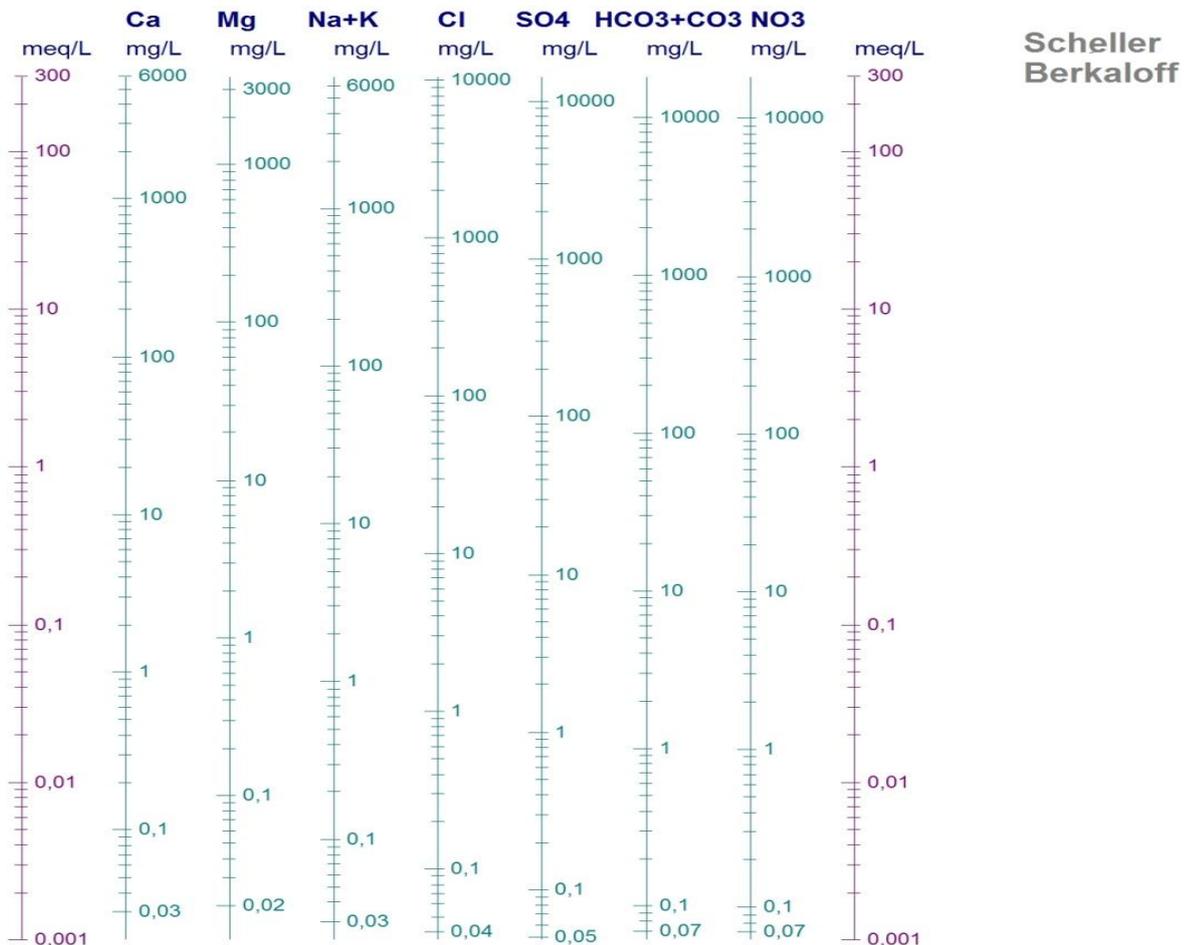


FIGURE 9 : Diagramme de Schöeller-Berkaloff

II. 2. 3. Indice de saturation (IS)

L'indice de saturation calculé exprime le degré d'équilibre chimique entre l'eau et le minérale dans la matrice de l'aquifère et peut être considéré comme une mesure du processus de dissolution et précipitation concernant l'interaction eau roche.

L'utilisation du logiciel Diagramme nous a permis de calculer l'indice de saturation pour la calcite, de l'aragonite de la dolomite du gypse de l'anhydrite et de l'halite à l'aide de la fonction « phreeque ».

II. 2. 4. Qualité des analyses

Avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux prélevées au niveau des différentes stations, il faut d'abord analyser la fiabilité des résultats à l'aide de la balance ionique.

Théoriquement une eau naturelle est électriquement neutre. En outre la somme (en équivalents chimiques) des cations devrait être égale à celle des anions (en équivalents chimiques).

En réalité, cette égalité est rarement obtenue. De façon générale, la différence est attribuée aux incertitudes, à la présence de certains ions non dosés ou à d'éventuelles erreurs d'analyse. Ainsi, une certaine marge de déséquilibre entre anions et cations est admise. Elle est exprimée sous forme d'un écart relatif par la formule :

$$BI = \frac{\sum(\text{cations}) - \sum(\text{anions})}{\sum(\text{cations}) + \sum(\text{anions})} \times 100$$

Le calcul de la balance ionique permet généralement de vérifier la fiabilité des résultats des analyses chimiques. Tandis que, les incertitudes sur les résultats, sont variables selon les techniques d'analyse, pouvant expliquer les erreurs parfois élevées sur les balances ioniques, à cause de la présence aléatoire d'anions organiques non pris en compte dans les calculs.

D'une manière générale, les analyses chimiques sont considérées :

- Excellentes lorsque $BI < 5\%$
- Acceptable lorsque $5\% < BI < 10\%$
- Douteuse lorsque $BI > 10\%$

Le contrôle de la qualité des analyses par la balance ionique est systématiquement appliqué à toutes les analyses pour la chronique 2013-2014

Les résultats du calcul de la balance ionique pour les eaux de surface sont les suivant :

- 50% des analyses sont de bonne qualité ($BI < 5 \%$)
- 30% ont une qualité acceptable ($5\% < BI < 10\%$)
- 20% sont douteuses ($BI < 10$), ils sont alors retirées

Le calcul de la balance ionique pour les eaux souterraines indique une qualité acceptable avec des $5\% < BI < 10\%$.

Chapitre III

Géochimie des eaux de la zone d'étude.

III. 1. Evolution spatial des paramètres *in-situ*

III. 1. 1. Température

La mesure de la température sur le terrain permet d'ajuster les valeurs de conductivités, d'apprécier l'origine plus ou moins profonde de l'eau et de calculer les équilibres de dissolution.

La température de l'eau influence d'autres paramètres. C'est en premier lieu le cas pour l'oxygène dissous indispensable à la vie aquatique : Plus la température de l'eau s'élève, plus la quantité d'oxygène dissous diminue.

Les données disponibles concernant uniquement la température des eaux de surface incluent ainsi les eaux de barrages pour la période du mois « novembre 2013 », En général la température moyenne des eaux de surface est de l'ordre de 23.15°C. A partir de Ce diagramme On constate que la température varie d'une station a l'autre.

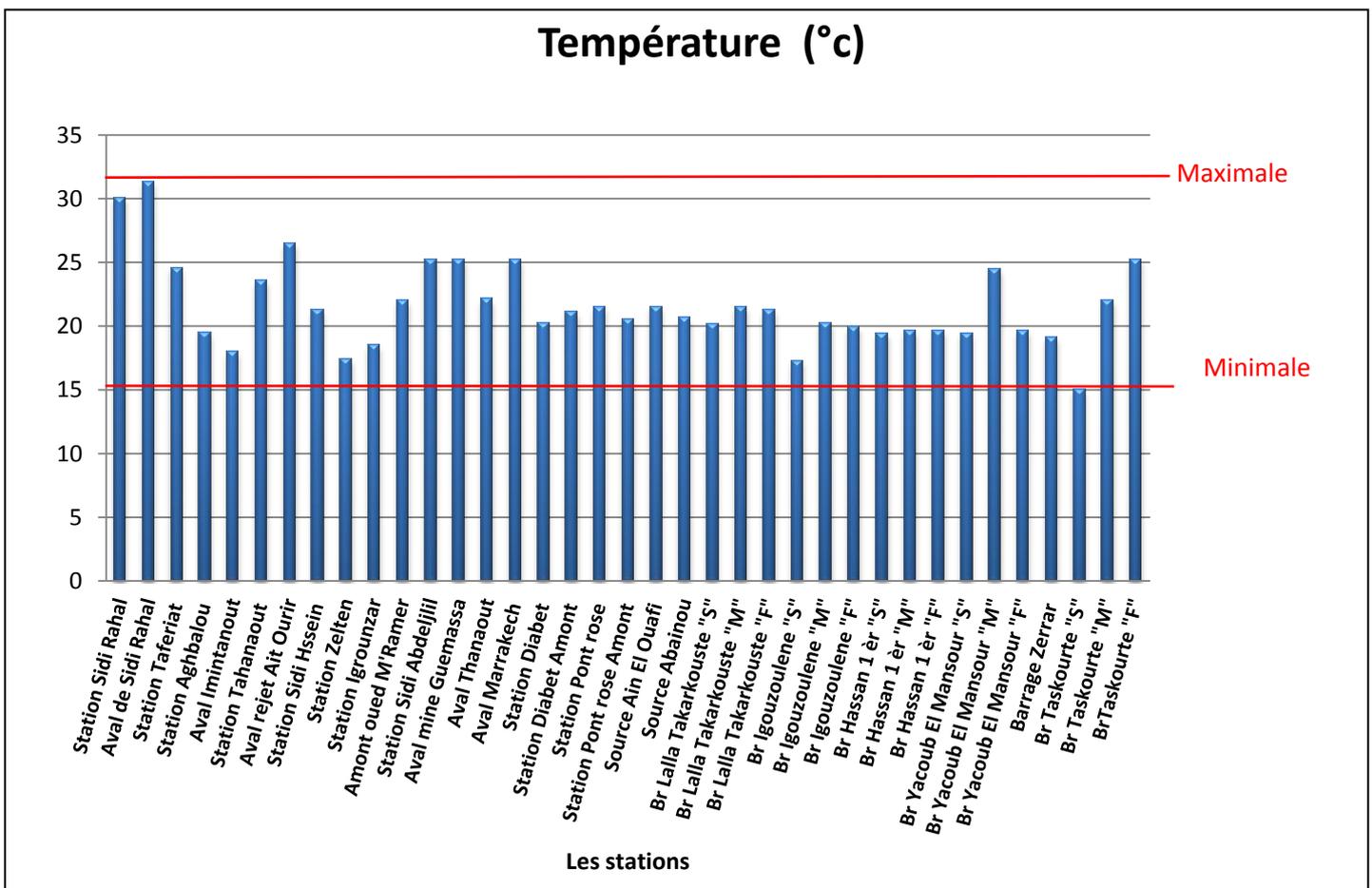


FIGURE 10 : Température moyenne des eaux de surface du bassin Tensift

La température des eaux superficielles varie entre un maximum enregistré au niveau de la station aval de Sidi Rahal de 31.3°C et un minimum enregistré au niveau du barrage de Taskourt (surface) de 15°C.

III. 1. 2. Conductivité

La conductivité électrique, inverse de la résistivité, mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La conductivité est également en fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à « 20 ou 25°C ». Ce paramètre doit impérativement être mesuré sur le terrain. La conductivité permet de mettre en évidence des pollutions, des zones de mélanges ou d'infiltrations. La conductivité est également l'un des moyens de valider les analyses physico-chimiques de l'eau, la valeur mesurée sur le terrain doit être comparable à celle mesurée au laboratoire.

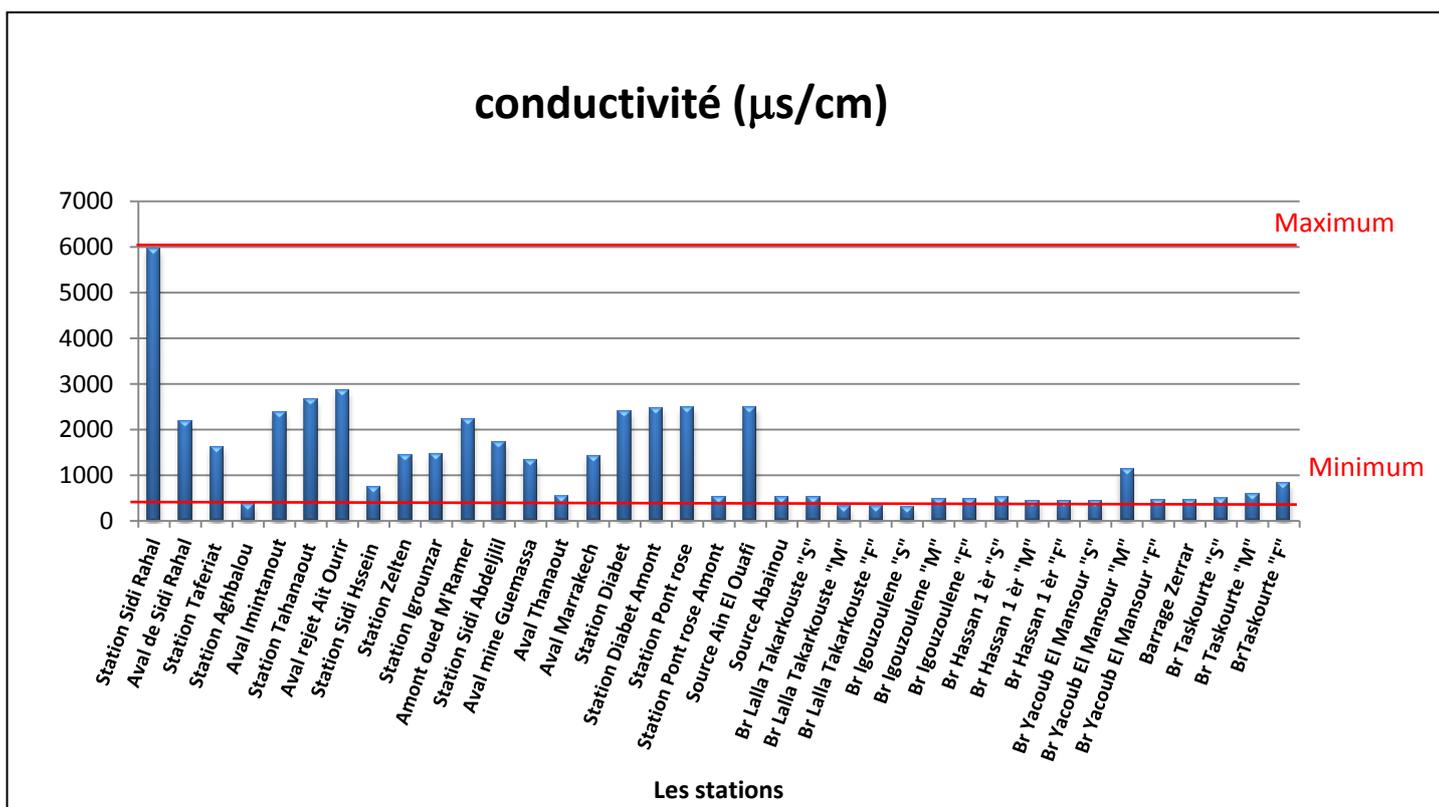


FIGURE 11 : Conductivités des eaux de surface mesurées au niveau du réseau de contrôle de la qualité de l'ABHT (novembre 2013).

La FIGURE11 montre que les conductivités enregistrées au niveau des stations sont généralement moyennes entre «2860 $\mu\text{s/cm}$ et 1404 $\mu\text{s/cm}$ », à l'exception des stations: «station sidi Rahal, aval sidi Rahal, station Tahanaout et aval rejet Ait Ourir » qui dépassent les normes marocaines de la conductivité(une bonne qualité d'eau vis-à-vis de la conductivité est inférieure à 1300 $\mu\text{s/cm}$, au-delà de 2700 la qualité est mauvaise à très mauvaise).Pour les deux stations aval rejet ait Ourir et aval Sidi Rahal la forte minéralisation est expliquée par leurs situations en aval « en général, la minéralisation augmente en allant de l'amont vers l'aval »alors que pour les deux autres « Sidi Rahal et Tahanaout » la forte minéralisation peut être due à la présence des formations géologiques contenant des évaporites.

En ce qui concerne les eaux de barrage, ils ont des conductivités varient entre 312 $\mu\text{s/cm}$ dans le barrage Igouzoulen (fond) et 1345 $\mu\text{s/cm}$ dans le barrage, de Zerrar. En remarque ainsi que se paramètre enregistre une faible variation en allant de la surface au fond.

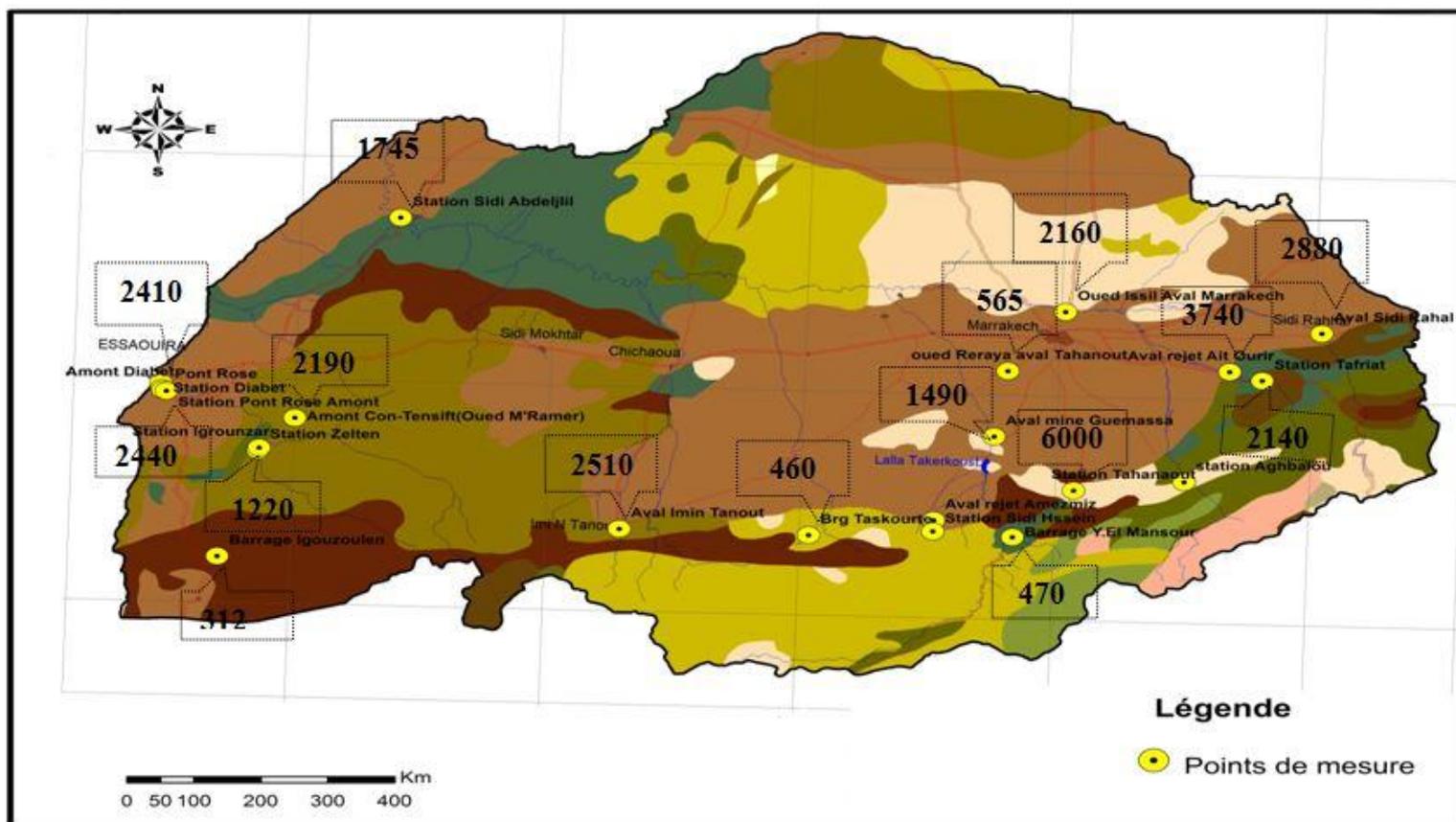


FIGURE 12 : Conductivités des eaux de surface mesurées au niveau du réseau de contrôle de la qualité de l'ABHT (novembre 2013).

III. 1. 3. Potentiel hydrogène

Le pH mesure l'activité en ions « H_3O^+ » de l'eau. Il traduit la balance entre acide / base permet aussi de connaître le caractère agressif ou incrustant de l'eau particulièrement par les carbonates.

Comme la variation de la pression des gaz « CO_2, O_2 » modifie le pH, il est important de le mesurer directement lors de la prise d'échantillon, Sa mesure est faite à l'aide d'un pH metre.

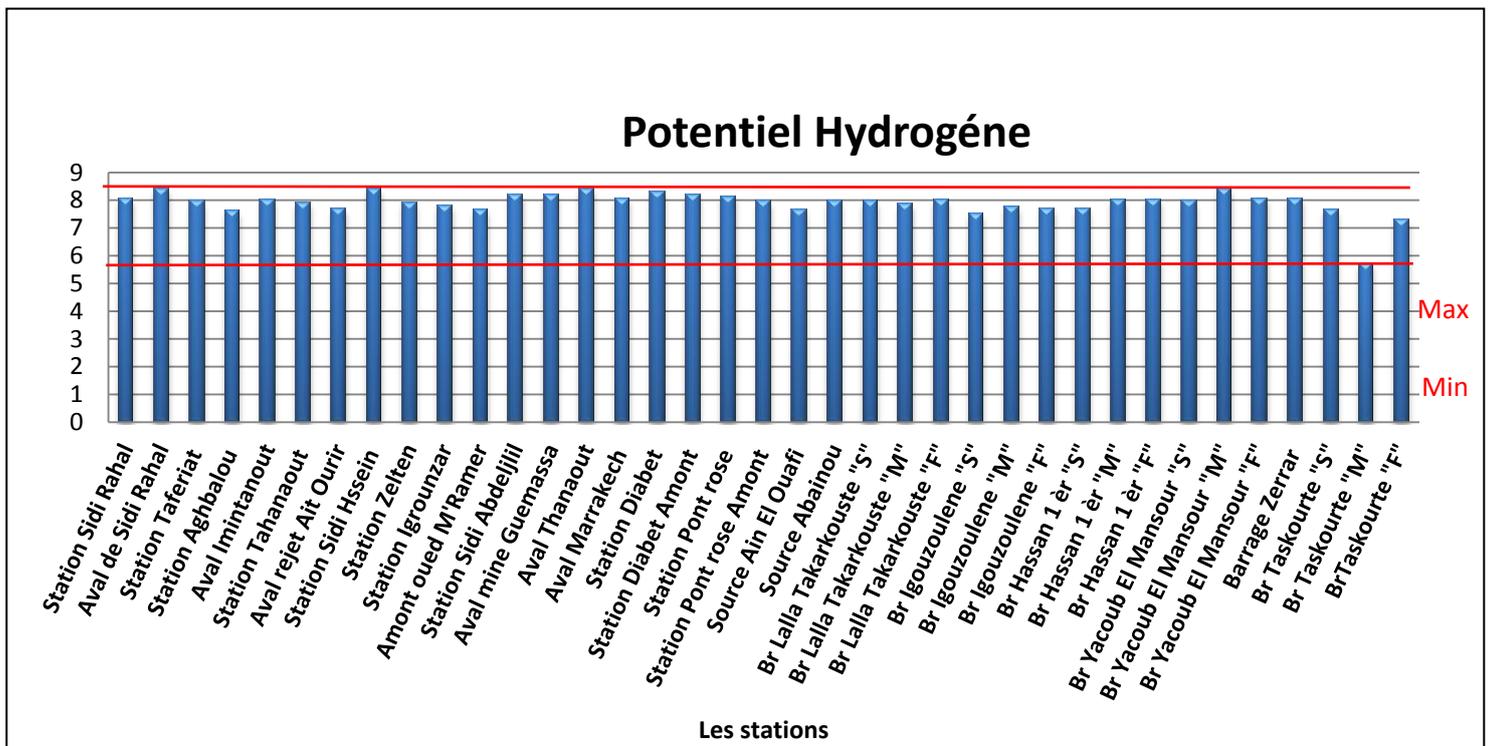


FIGURE 13 : le Potentiel hydrogène des eaux du bassin Tensift El Haouz.

Au niveau des eaux de surface, les pH sont généralement alcalins cela est du a la dissolution des formations carbonatées, les moyennes varient entre 7,5 pour la station d'Oued M'Ramer et 8,5 au barrage de Zerrar ces dernier respectent les normes marocaines $6,5 < pH < 9,2$.

Le maximum est enregistré au niveau des stations (Aval sidi rahal, Station sidi Hseïn, Aval Tahanaout, Station Diabet, et Barrage yacoub El Mansour), et le minimum est enregistré au niveau du Barrage Taskourt Milieu.

III. 1. 4. Oxygène dissous

La présence d'oxygène dans l'eau est indispensable à la respiration des êtres vivants aérobies. En dessous d'un certain seuil de concentration en oxygène c'est l'asphyxie. L'oxygène de l'eau permet également le processus d'oxydation des matières organiques, mais cette décomposition appauvrit le milieu aquatique en oxygène.

Ses Origines :

- La diffusion de l'oxygène en surface
- L'aération (mouvement de l'eau)
- La Photosynthèse ($\frac{3}{4}$ de l'oxygène disponible sur terre est produit par les Phytoplanctons des Océans cette production dépend de la Lumière disponible, la présence de la Matière Organique dégradable, et de la Température).

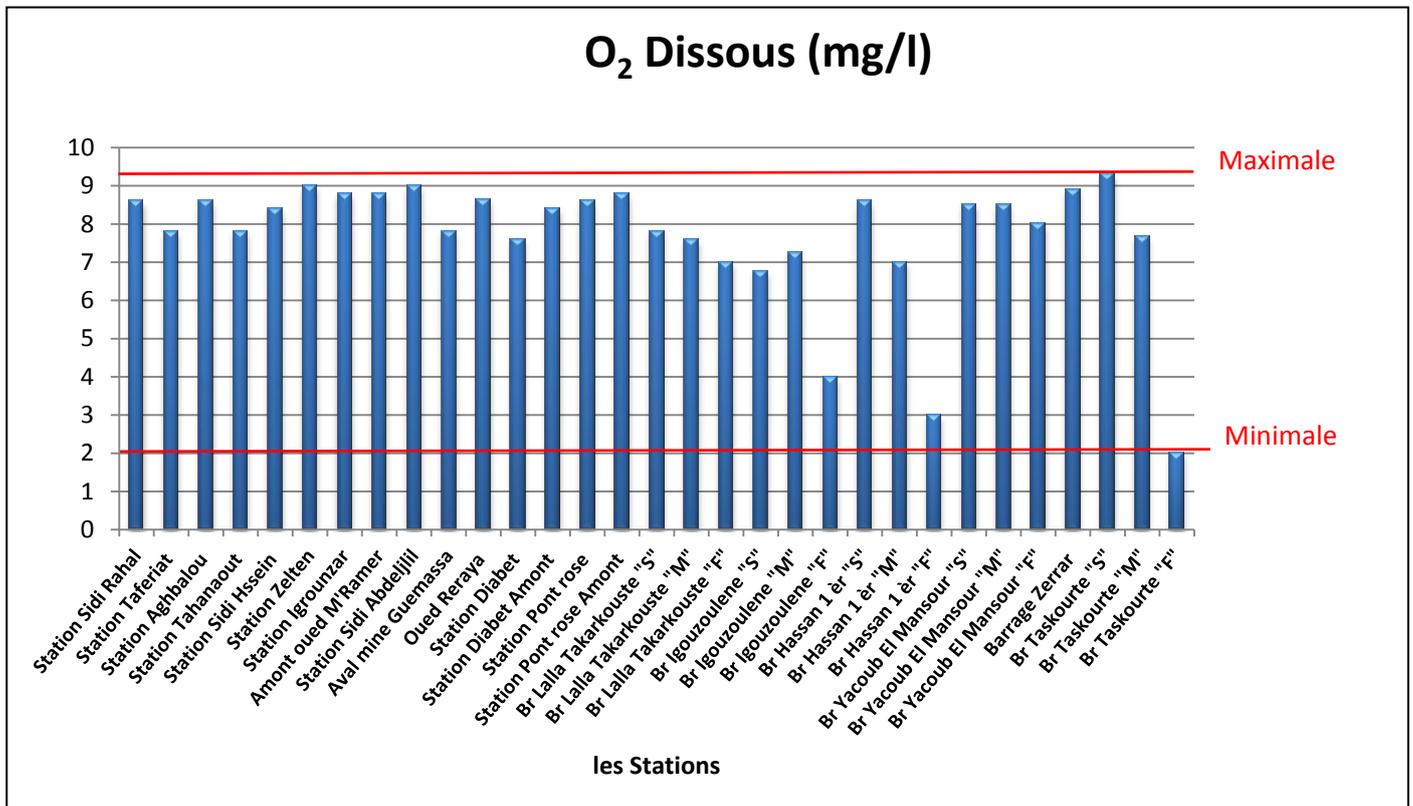


FIGURE 14 : taux d'oxygène dissous dans le bassin Tensift El Haouz (Réf. ABHT 2013).

L'histogramme ci-dessus représente la variation d'oxygène dissous, On remarque que la valeur maximale a été enregistrée au niveau de la station Barrage Taskourt surface est de

l'ordre 9.3 mg/l, et la valeur minimale a été enregistrée au niveau de la station Barrage Taskourt fond est de 2 mg/l, cela est dû à augmentation de la Température ainsi que la Profondeur.

III. 2. Identification des faciès chimiques

Les données chimiques en éléments majeurs sont indiquées dans le diagramme de Piper, qui permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles distinctifs. La position d'une analyse d'eau dans ces deux triangles permet de déterminer les anions et cations dominants, et la position de l'analyse dans le losange permet de préciser le faciès chimique. Il est important d'accentuer que ce diagramme ne traduit pas la minéralisation globale d'une eau mais uniquement la répartition des ions dissous.

L'interprétation des analyses hydrochimique a pour but d'agencer la genèse et l'origine des éléments chimiques.

III. 2. 1. Eaux superficielles

La représentation de la composition des eaux de surface sur le diagramme de Piper, appelle les commentaires suivants (FIGURE14)

Dans le triangle des cations, on a deux ions dominants. Il s'agit d'une part du calcium (25% des échantillons) et d'autre part le couple sodium-potassium (62% des échantillons) et la station aval rejet Amezmiz qui présentent un faciès cationique où ne domine aucun cation.

Dans le triangle des anions, les eaux se répartissent essentiellement au niveau du pôle bicarbonaté (37,5% des échantillons). On remarque aussi la présence de quatre stations au niveau du pôle chlorurée (50% des échantillons), à l'exception de la station aval rejet Ait Ourir où il n'y a pas d'anions dominants.

Dans le losange, les eaux se répartissent en trois groupes :

- Le premier groupe comporte trois stations Oued Reraya aval Tahanaout, Aval rejet Amezmiz, et station Aghbalou appartiennent au Faciès Bicarbonaté calcique et magnésien, cette appartenance est due a la présence des formations cristalline faiblement soluble dans l'eau.
- Le deuxième groupe rassemble quatre stations (station Diabet, station Diabet amont, station Pont Rose, et station Pont Rose amont), situées à proximité de

la ville d'Essaouira, le faciès identifié est : Faciès chlorurée sulfatée sodique, le facteur influencent ce faciès est la géologie composé de dômes de sels riche en chlorures.

- Le troisième groupe se compose d'une seule station : aval rejet Ait Ourir, cette dernier est situé a la limite entre les deux faciès (Chlorurée sulfatée sodique, et Bicarbonatée sodique et potassique), sur triangle des anions elle présente une concentration élevé en bicarbonates alors on peut lui attribué l'appartenance au Faciès Bicarbonaté sodique et potassique.

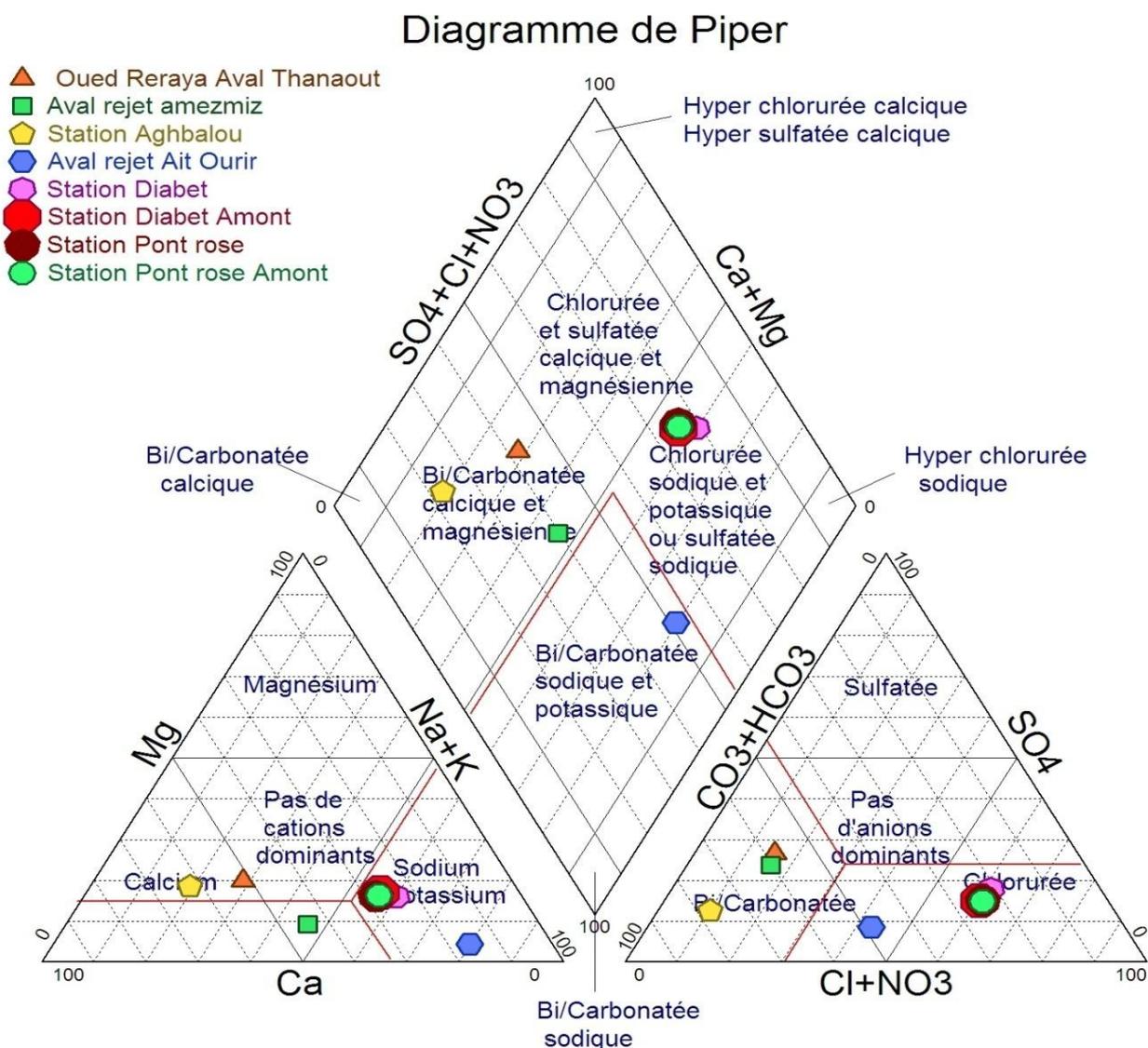


FIGURE 15 : projection des analyses des eaux de surface du bassin de Tensift sur le diagramme de Piper Novembre en 2013.

Faciès chimique bicarbonatée calcique et magnésien :

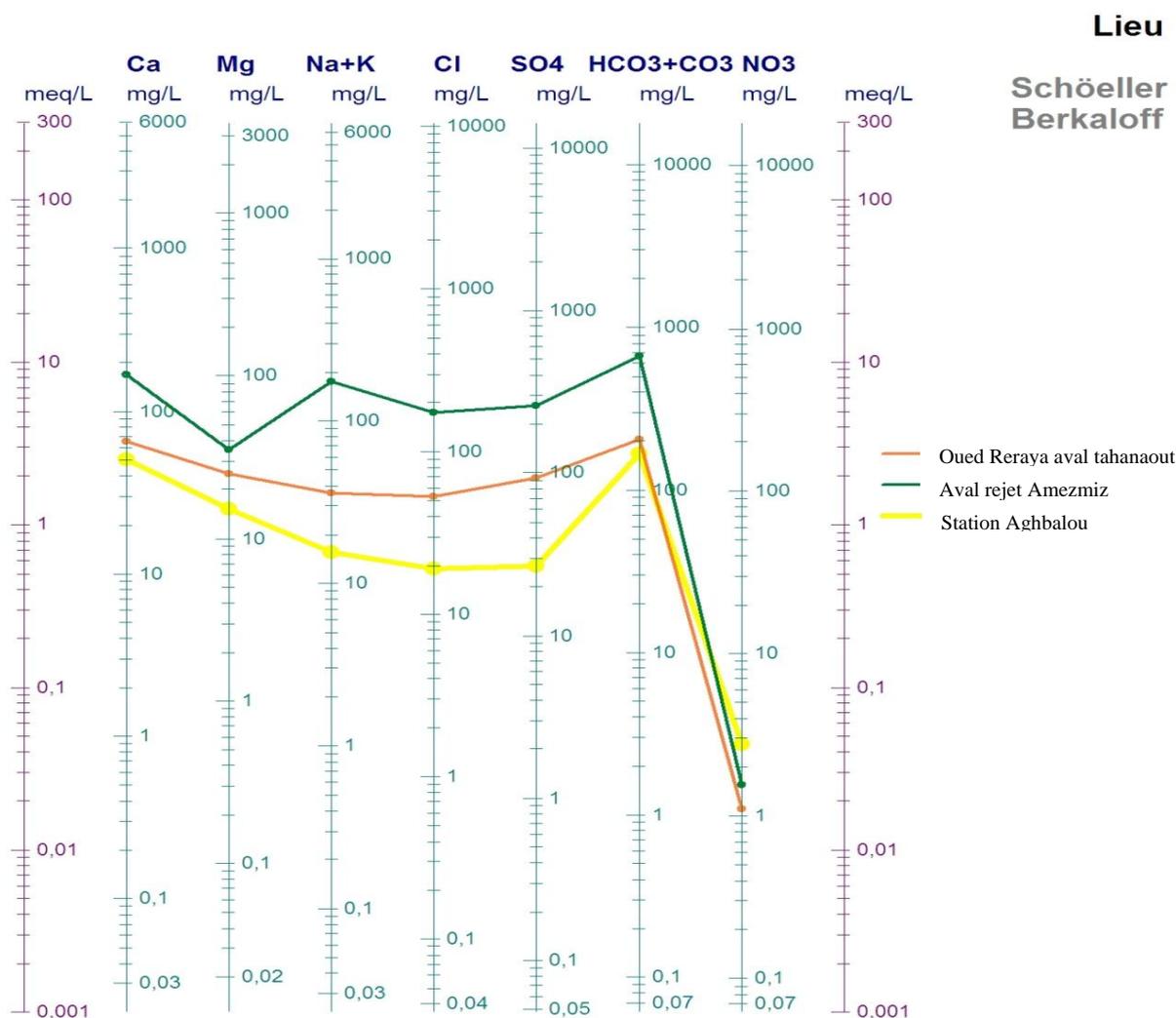


FIGURE 16 : Projection sur le diagramme de Schöeller des résultats des analyses des eaux du bassin Tensift Haouz novembre 2013.

A partir de la carte ci-dessous on remarque que ce faciès est dominant dans la zone d'action. Il représente en général les eaux faiblement minéralisées. Les conductivités de ces dernières varient entre un maximum de 1700 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au niveau de la station Amezmiz et un minimum de 340 $\mu\text{s}/\text{cm}$ au niveau de la station Aghbalou. Les teneurs des ions bicarbonates sont de l'ordre de 170 mg/l, 120 mg/l et 110 mg/l enregistré respectivement au niveau des stations : Aval rejet Amezmiz, oued Raraya Aval Tahanaout et la station Aghbalou. Les teneurs de calcium sont de l'ordre de 120 mg/l, 70 mg/l et 50 mg/l enregistrées par ordre dans les stations Aval Rejet Amezmiz, Oued Reraya Aval Tahanout et Station Aghbalou.

La forte concentration en bicarbonates peut être due à la dissolution de formations carbonatées telles que les marnes et les calcaires.

Faciès chimique Bicarbonatée sodique et potassique :

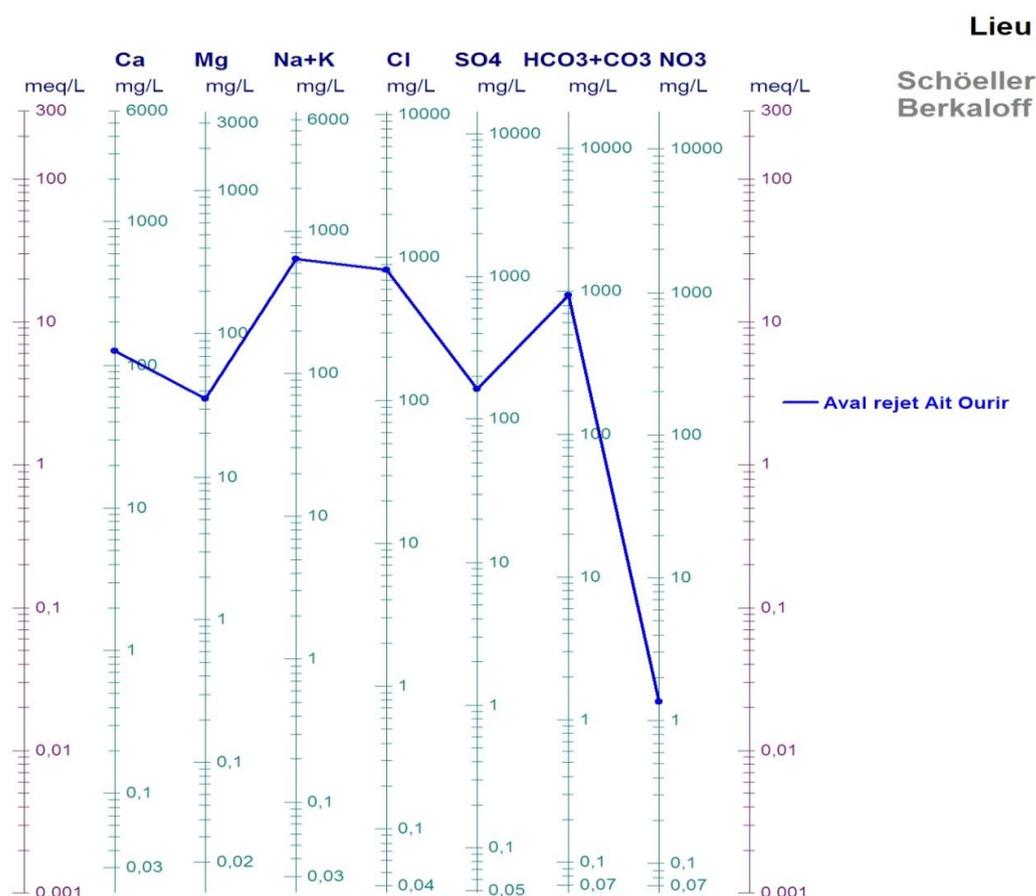


FIGURE 17 : Projection sur le diagramme de Schöeller des résultats des analyses des eaux de surface novembre 2013.

Ce faciès représente les eaux de l'amont, qui se caractérisent par des conductivités très élevées de l'ordre de 3740 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pour Aval Rejet Ait Ourir.

Les teneurs en ions bicarbonates sont de l'ordre de : 1000 mg/l dans la station d'aval Rejet Ait Ourir. Les teneurs en ions sodique représentent les concentrations les plus faibles, de même la teneur en ions potassiques est de l'ordre de 600 mg/l.

Alors la forte minéralisation au niveau de cette station est due à la présence des ions : (bicarbonates, le potassium) qui peut être due à l'utilisation des engrais chimiques. Ces facteurs tendent à expliquer la migration de ces eaux vers un faciès Bicarbonatée sodique et potassique.

Faciès chloruré sodique et potassique :



FIGURE 12 : Projection sur le diagramme de Schöeller des résultats des analyses des eaux superficielle Novembre 2013.

Ce faciès est le plus dominant, il représente les eaux de l'aval, qui se caractérise par des conductivités allant de 2410 jusqu'au 2440 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Les eaux de ce faciès sont homogènes puisqu'ils ont des concentrations proches les unes aux autres, il se caractérise par des teneurs élevées en chlorures avec une concentration de 700 mg/l et en potassiums de 300 mg/l.

A partir de la FIGURE18 on remarque que les eaux de ce faciès se caractérisent par leurs présences au bord de l'océan, donc la forte concentration en chlorure et sodium peut être due à l'effet de la salinité marine et à la dissolution des formations salifères.

Diagramme globale de Schöeller

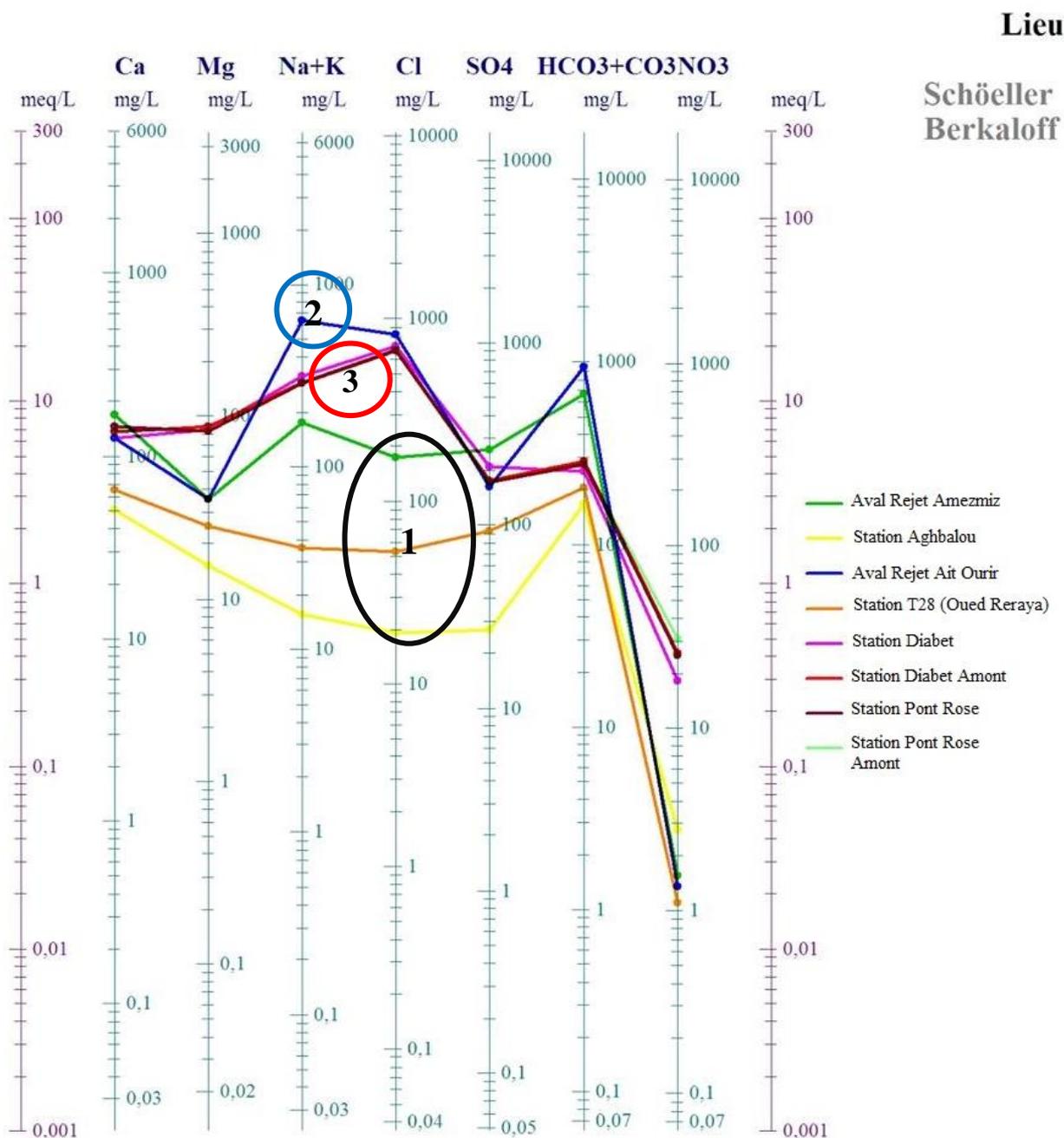


FIGURE 19 : Projection sur le diagramme globale de Schöeller des résultats des analyses des eaux de surface novembre 2013.

Ce qu'on a vu sur le diagramme de piper se matérialise aussi sur le diagramme ci dessus, ce dernier comporte 3 Groupes :

- Le 1^{er} comporte 3 stations : Aval Rejet Amezmiz, Station Aghbalou, Oued Reraya aval tahanaout. Ces dernières font partie des formations situées au sud du Maroc, les eaux de surface de cette région sont riches en bicarbonate, cela est dû à la dissolution des formations carbonatées.
- Le 2^{ème} comporte 4 stations : Station Diabet, Station Diabet Amont, Station Pont Rose, Station Pont Rose Amont. Ces stations se situent à proximité de la ville d'Essaouira, ce qui a engendré une forte concentration en chlorure et sodium et l'effet de la dissolution des formations salifères.
- Le 3^{ème} comporte une seule station : Aval Rejet Ait Ourir, sur le diagramme de piper on trouve que le faciès se situe à la limite entre le faciès chlorurée sodique et potassique et le faciès bicarbonatée sodique et potassique la forte minéralisation au niveau de cette station est due à la présence des ions : (bicarbonates, le potassium) qui peut être due à l'utilisation des engrais chimiques.

Indice de saturation des eaux superficielle :

Le tableau 1 montre que les eaux superficielles sont moyennement sous-saturées vis-à-vis de l'aragonite, l'anhydrite, l'halite et le gypse et en quasi équilibre vis-à-vis des de la calcite et la dolomite, cela est dû à la présence des formations salifères.

Tableau 1 : Indices de saturation dans les eaux superficielles.

	anhydrite	aragonite	calcite	dolomite	halite	gypse
Max	-1,02	0,51	0,65	1,22	-6,22	-0,8
Min	-2,47	-0,65	-0,51	-1,2	-8,14	-1,93
moyenne	-1,745	-0,07	0,07	0,01	-7,18	-1,365

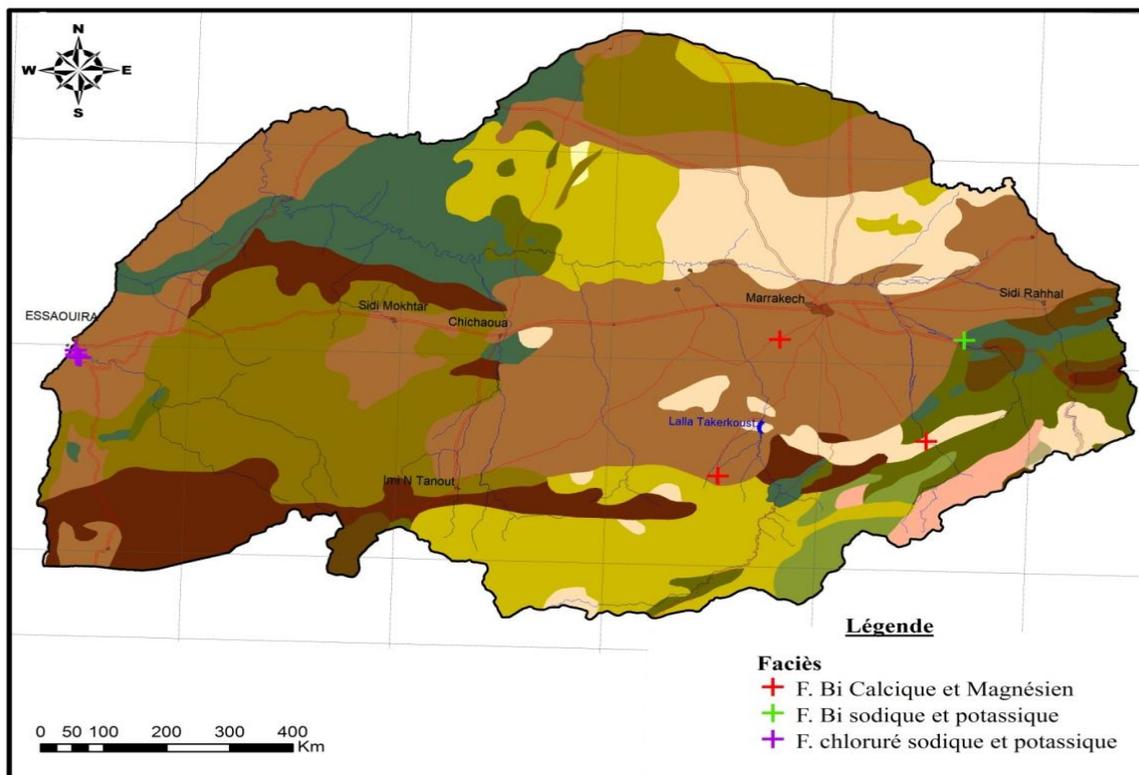
On remarque à partir de la carte si dessous que le faciès Bicarbonatée Calcique est le plus dominant, il s'étend largement dans le bassin ainsi que sa partie amont cela est dû aux formations ces dernière appartiennent au Quaternaire et sont former de marnes, grées, calcaire, et alluvions avec un peu d'argile rouge.

Cette carte représente la cartographie des faciès au niveau de notre zone d'action

Le faciès Bicarbonatée sodique et potassique (12,5 %) localisé à l'amont , a son origine dans les formations du Quaternaire constituées de marnes, grées, calcaire, et alluvions . le faciès Bicarbonaté calcique et magnésien est peu abondant (37,5%) et s'étend dans le bassin et dans sa partie amont il correspond au formations du Quaternaire qui se caractérisent par la présence de marnes, grées, calcaire, et alluvions avec un peu d'argiles rouges .. le faciès chlorurée sodique et potassique qui apparait à l'aval du bassin est le faciès le plus dominant (50%) il coïncide avec les mêmes formations que les deux autres faciès précédents.

En générale ces eaux sont extrêmement minéraliser et riche en chlorures, les bicarbonates et le potassium sodium.

La carte ci dessous représente les faciès dominant au niveau des eaux superficielles



Légende : Carte structurale du bassin hydraulique du Tensift

- Couverture néogène (Miocène ou Pliocène marin) et quaternaire (marnes, grès molassiques, calcaires lacustres, limons et alluvions)
- Jurassico-Crétacé des cuvettes synclinales internes
- Couverture secondaire et tertiaire ,tabulaire ou peu plissée des zones rigides des Mesetas centrales (Crétacé et Éocène)
- Couverture jurassique, tabulaire ou peu plissée des zones rigides des Mesetas centrales (dolomies et marno-calcaires)
- Secondaire plissé du haut Atlas et du Moyen Atlas , surtout Lias et Jurassique (dolomies, marnes et parfois grès)
- Permo-Trias (grès, conglomérats et argiles rouges)
- Autunien (conglomérats, grès et argiles rouges)
- Paléozoïque (schistes, micaschistes, quartzites , calcaires) : Cambrien, Ordovicien, Silurien
- Paléozoïque (schistes, micaschistes, quartzites , calcaires) : Carbonifère
- Précambrien II - III géosynclinal (flyschs) et ses granites (Marocanides)
- Précambrien III (ou infracambrien inférieur)
- Précambrien III (ou Infracambrien inférieur) : vulcanites (rhyolites, ignimbrites, andésites ...) et dépôts détritiques : (conglomérats, grès et pélites)
- Basaltes doléritiques du Trias supérieur
- Granites hercyniens

FIGURE 20 : Répartition spatiale des faciès chimiques du bassin de Tensift.

III. 2. 2. Eaux souterraines

La représentation de la composition des eaux sur le diagramme de Piper, appelle les commentaires suivants (FIGURE19)

*Dans le triangle des cations, on remarque la présence de deux ions dominants : le calcium représente 100%.

*Dans le triangle des anions, les eaux se répartissent essentiellement au niveau du pôle sulfaté à 66.66 %, alors qu'on trouve un anion situé au niveau du pôle pas d'anion dominant.

*Dans le losange, les eaux se répartissent en un seul type faciès :

Faciès Chloruré et sulfatée calcique et magnésienne.

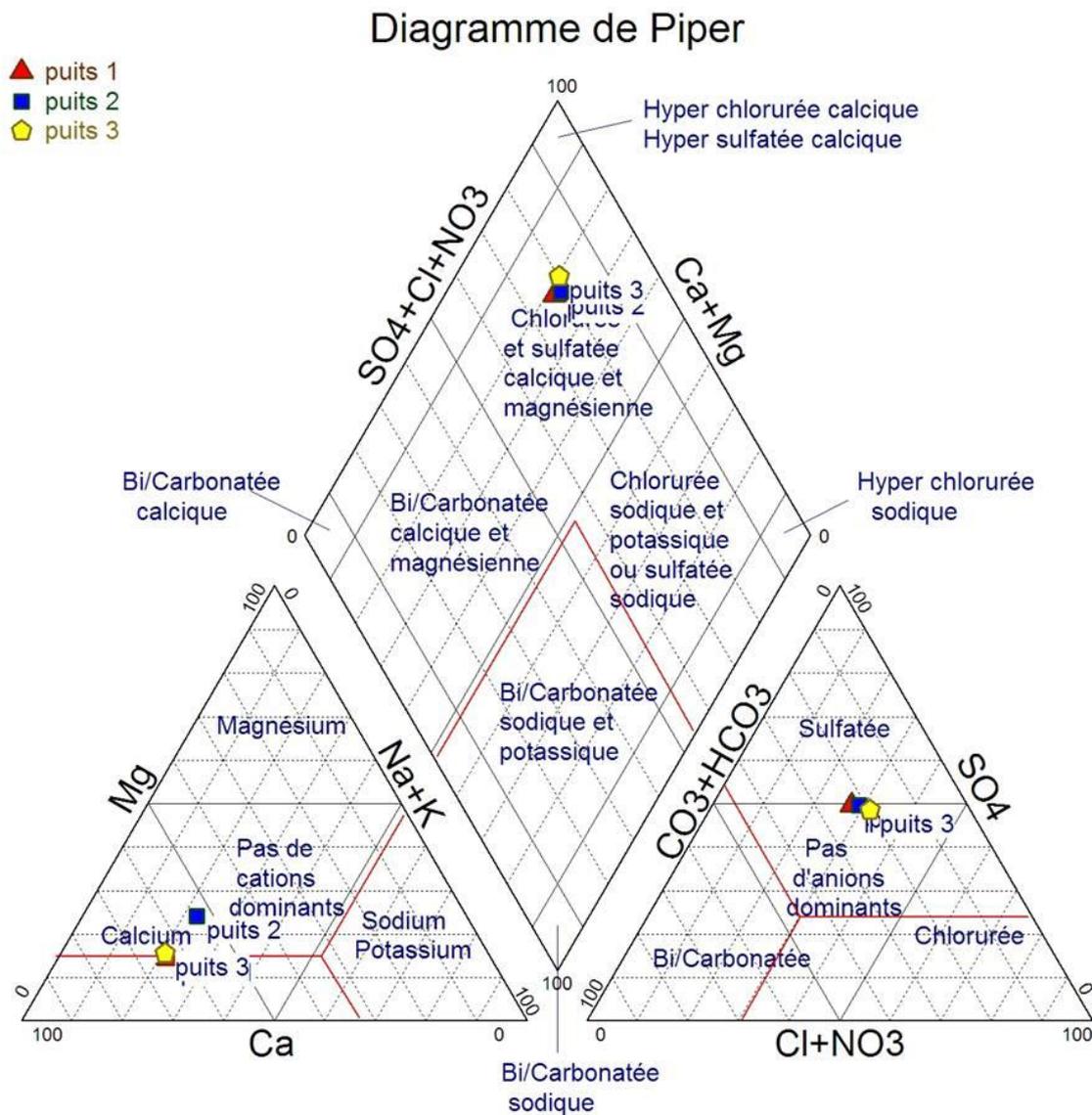


FIGURE 21 : projection des analyses des eaux souterraines du bassin de Tensift sur le diagramme de Piper Novembre en 2013.

Faciès Chloruré et sulfaté calcique et magnésienne.

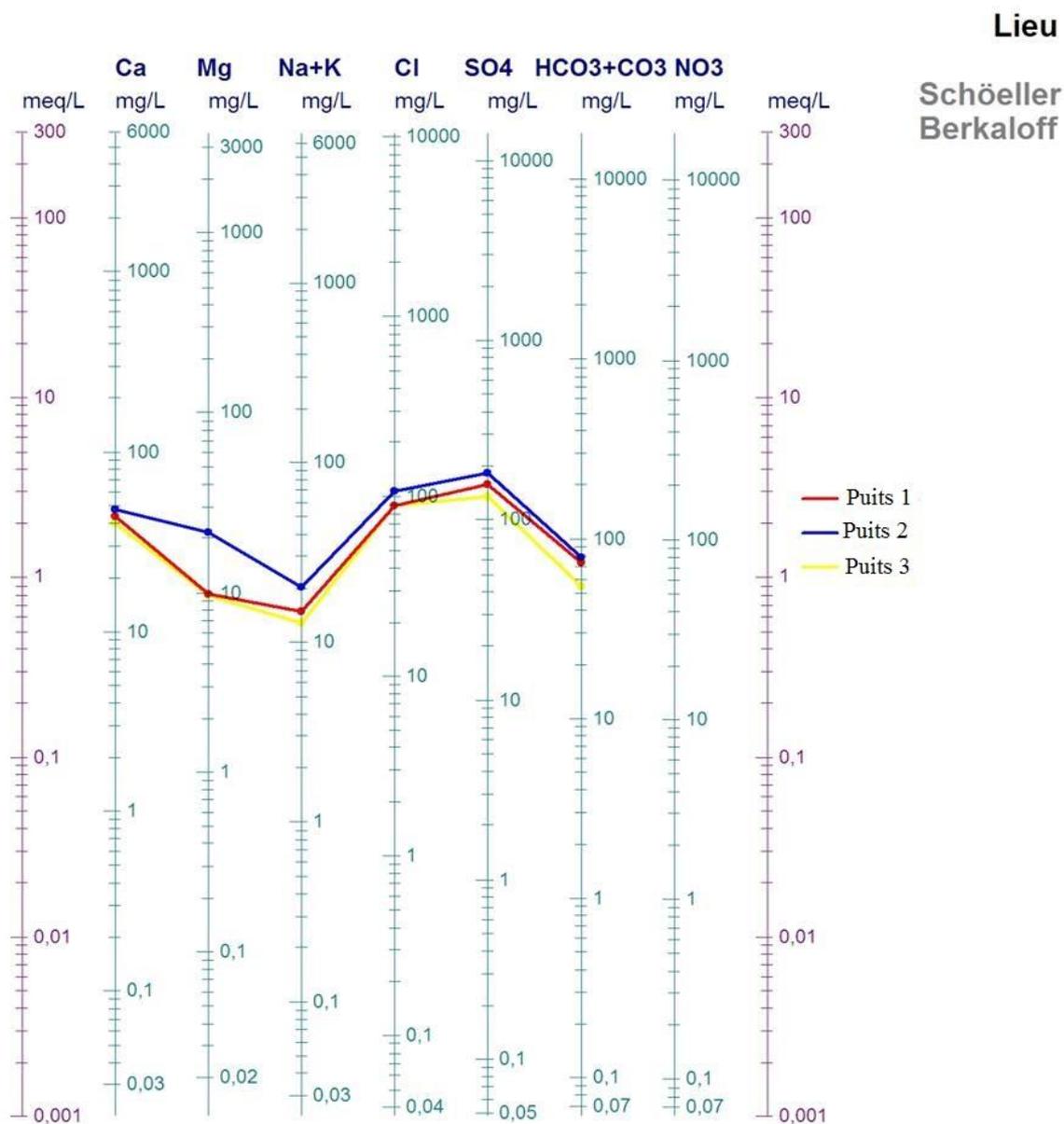


FIGURE 22 : Projection sur le diagramme de Schöeller des résultats des analyses des eaux souterraines du bassin de Tensift Novembre en 2013.

On remarque que l'allure de la courbe pour les puits 1 et 3 est presque identique alors que le puits 2 se caractérise par des concentrations ioniques plus importantes.

Les eaux de ces puits présentent des conductivités variant entre un maximum de 609 mS/cm au niveau de puits 2, et un minimum de 515 mS/cm au niveau du puits 1.

Les teneurs en ions de sulfates sont de l'ordre de : 182.4 mg/l au niveau du puits 2, 159.2 mg/l dans le Puits 1, et 134.4 mg/l dans le puits 3. Les teneurs en ions chlorure sont assez importantes.

Les teneurs en ions sodium potassium représentent les concentrations les plus faibles,

Alors la forte minéralisation au niveau de ces deux eaux est due à la présence des ions : sulfate, chlorure qui peut être due à dissolution des formations salifères ainsi qu'à la présence des formations gypseuses.

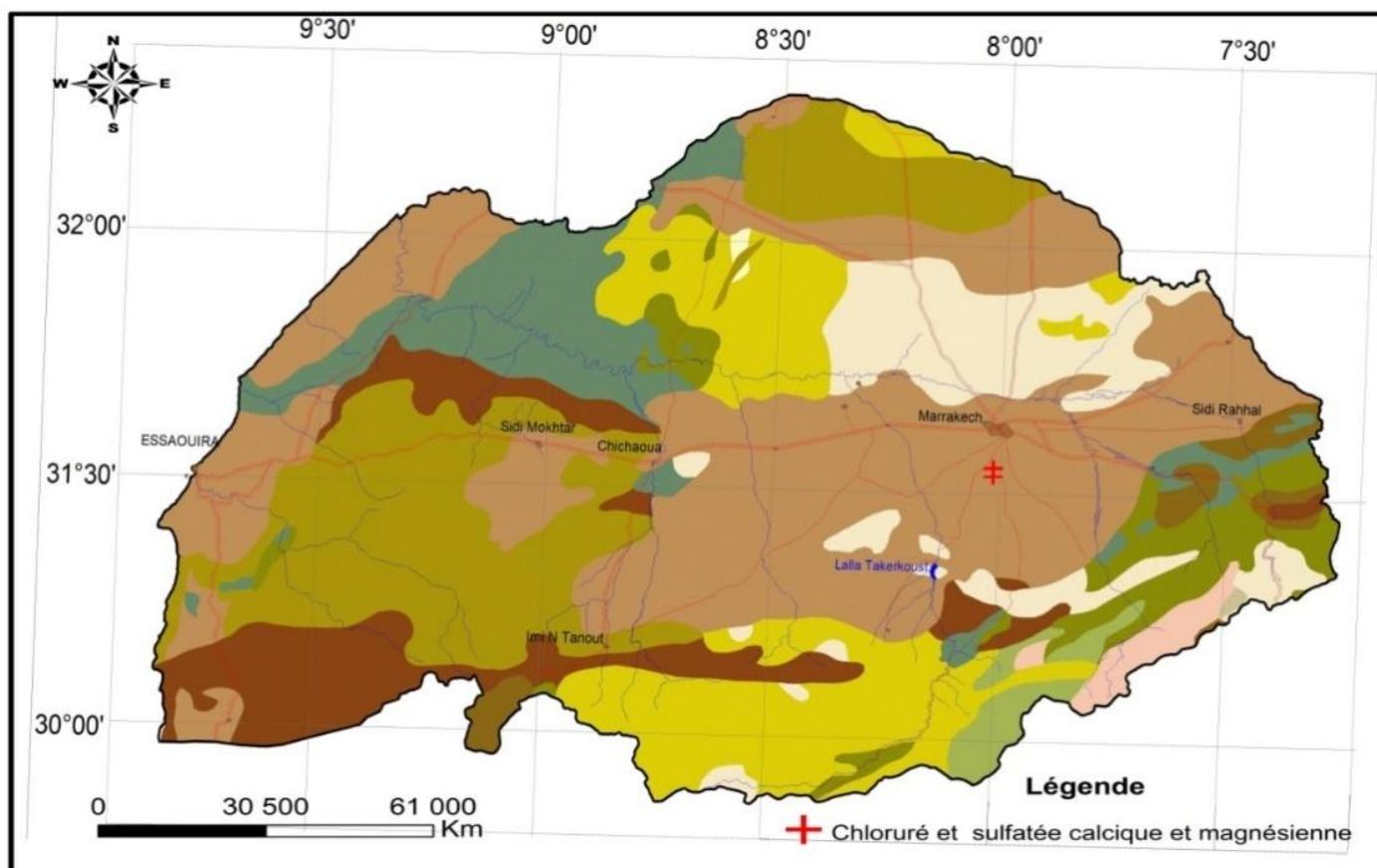
Indice de saturation des eaux souterraines :

Le tableau montre que ces eaux souterraines sont saturées vis-à-vis de la Calcite, Dolomite, Aragonite mais sous-saturées vis-à-vis de Halite, l'Anhydrite, Gypse.

Tableau 2 : Indices de saturation dans les eaux souterraines.

	Anhydrite	Aragonite	Calcite	Dolomite	Gypse	Halite
Maximum	0,13	1,23	1,38	2,53	0,34	-4,63
Minimum	0,03	1,07	1,21	1,92	0,25	-4,87
Moyenne	0,08	1,15	1,295	2,225	0,295	-4,75

La carte représente le faciès dominant au niveau des eaux souterraine prélevé *in-situ*



Légende : Carte structurale du bassin hydraulique du Tensift

- Couverture néogène (Miocène ou Pliocène marin) et quaternaire (marnes, grès molassiques, calcaires lacustres, limons et alluvions)
- Jurassico-Crétacé des cuvettes synclinales internes
- Couverture secondaire et tertiaire, tabulaire ou peu plissée des zones rigides des Mesetas centrales (Crétacé et Éocène)
- Couverture jurassique, tabulaire ou peu plissée des zones rigides des Mesetas centrales (dolomies et marno-calcaires)
- Secondaire plissé du haut Atlas et du Moyen Atlas, surtout Lias et Jurassique (dolomies, marnes et parfois grès)
- Permo-Trias (grès, conglomérats et argiles rouges)
- Autunien (conglomérats, grès et argiles rouges)
- Paléozoïque (schistes, micaschistes, quartzites, calcaires) : Cambrien, Ordovicien, Silurien
- Paléozoïque (schistes, micaschistes, quartzites, calcaires) : Carbonifère
- Précambrien II - III géosynclinal (flyschs) et ses granites (Marocanides)
- Précambrien III (ou infracambrien inférieur)
- Précambrien III (ou Infracambrien inférieur) : vulcanites (rhyolites, ignimbrites, andésites ...) et dépôts détritiques : (conglomérats, grès et pélites)
- Basaltes doléritiques du Trias supérieur
- Granites hercyniens

FIGURE 23 : Répartition spatiale des faciès chimiques du bassin de Tensift

Chapitre IV

Qualité des Eaux du bassin Tensift El Haouz

L'eau est une ressource naturelle autour de laquelle se maintient la continuité de la vie, elle doit faire l'objet d'une surveillance intensive et d'un contrôle rigoureux.

Pour cela le contrôle de la qualité de ce diamant bleu est une exigence pour éviter toute contamination de ce dernier.

- Dans cette partie on s'intéressera qu'aux eaux superficielles et souterraines destinée à la consommation humaine. Les eaux d'irrigation ne seront pas abordées au niveau de cette étude.

IV. 1. Normes Marocaines de la qualité des Eaux

Le Maroc a adopté des normes internationales pour la Qualité des eaux destinées à l'alimentation humaine et applique à toutes les agglomérations endommagées Cette eau ne doit contenir ni substances chimiques ajoutées, ni microorganismes Elle doit être aussi agréable à boire que les circonstances le permettent.

La grille de qualité des eaux de surface est établie par l'Arrêté conjoint du Ministre de L'Equipement et du Ministre chargé de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, de L'Habitat et de l'Environnement n° 1275-01 (17 octobre 2002). (Annexe 1).

La grille si dessous permet l'appréciation de la qualité en se basant sur les paramètres suivants : paramètres organoleptiques, paramètres physico-chimiques, paramétrés bactériologiques, substances indésirables, et substances toxiques.

Elle se compose de cinq classes distinctes :

Classe 1 : excellente.

Classe 2 : bonne.

Classe 3 : moyenne.

Classe 4 : mauvaise.

Classe 5 : très mauvaise.

Grilles simplifiées de la Qualité des eaux :

L'appréciation de la qualité des eaux est faite sur la base par des grilles simplifiées comportant plusieurs paramètres indicateurs de pollutions.

Les résultats des analyses des eaux, prélevés lors de la 3^{ème} campagne sont comparés par rapport à ces grilles pour chaque type d'eau.

Eau de Surface :

Les paramètres retenues pour l'appréciation de la qualité des eaux de surface sont des paramètres spécifiques à une pollution organique, azotée, phosphore et bactérienne. Ces paramètres sont indiqués dans la grille ci-dessous. On distingue 5 classes de qualité : Excellente, Bonne, Moyenne, Mauvaise et Très mauvaise.

Tableau 3 : Grille D'appréciation de la qualité des eaux de rivière (Réf. ABHT).

les paramètres de qualité	O ₂ Dissous "mg/l"	DBO ₅ "mg/l"	DCO "mg/l"	NH ₄ ⁺ "mg/l"	PT "mg/l"	CF "UFC/100ml"
Excellente	> 7	<3	<20	<0,1	<0,1	<20
Bonne	7-5	3-5	20-2 5	0,1-0, 5	0,1-0 ,3	20-2000
Moyenne	5-3	5-1 0	25-4 0	0,5-2	0,3-0 ,5	2000-200 00
Mauvaise	3-1	10- 25	40-8 0	2-8	0,5-3	>20000
Très mauvaise	<1	>25	>80	>8	>3	-

Eaux Stagnantes lacs :

Tableau 4 : Grille D'appréciation de la qualité des eaux de Lac / Barrages (Réf. ABHT).

les paramètres de qualité	O ₂ Dissous "mg/l"	PT "mg/l"	PO ₄ ³⁻ "mg/l"	NO ₃ ⁻ "mg/l"	Chla "µg/l"
Excellente	>7	<0,1	<0,2	<10	<2,5
Bonne	7-5	0,1-0,3	0,2-0,5	10-25	2,5-10
Moyenne	5-3	0,3-0,5	0,5-1	25-50	10-30
Mauvaise	3-1	0,5-3	1-5	>50	30-110
Très mauvaise	<1	>3	>5	-	110

Eaux souterraines :

Les paramètres pour l'appréciation de la qualité des eaux souterraines différentes de celles de surface pour différents raison :

La qualité des eaux souterraines dépend en partie, de la nature des eaux infiltrées et de types de sols et de roche à travers desquels elle s'écoule.

Ces paramètres sont spécifiques à une pollution physico-chimique, organique et bactériologique.

Tableau 5 : Grille D'appréciation de la qualité des eaux Souterraines (Réf. ABHT)

les paramètres de qualité	Conductivité " $\mu\text{s}/\text{cm}$ "	Cl^- "mg/l"	NO_3^- "mg/l"	NH_4^+ "mg/l"	MO "mg/l"	CF "UFC/100ml"
Excellente	< 400	<200	<5	$\leq 0,1$	<3	20
Bonne	400–1300	200–300	5–25	0,1–0,5	3–5	20-2000
Moyenne	1300–2700	300–750	25–50	0,5–2	5_8	2000-20000
Mauvaise	2700–3000	750–1000	50–100	2–8	>8	>20000
Très mauvaise	>3000	>1000	>100	>8	-	-

Paramètres analysés :

L'appréciation de la qualité des eaux se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques, La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers, elle permet de corriger les paramètres pour les analyses physico-chimiques. La conductivité joue également un rôle important, elle mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes), elle permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. D'Autres mesures sont également appliquées pour les analyses physico-chimiques telles que le pH, la turbidité (qui permet de préciser les informations visuelles de la couleur de l'eau), les ions majeurs (qui réunissent le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium, les chlorures, sulfate, nitrate et bicarbonate), l'application de cet ensemble de mesures permet d'évaluer la qualité d'eau. Les paramètres analysés par le laboratoire LPEE sont :

Demande biochimique en oxygène DBO₅ « mg/l » :

La Demande Biochimique en Oxygène est un indicateur de la quantité de matière organique vivante dans l'eau, La DBO₅ ou Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours, représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour oxyder (dégrader) l'ensemble de la matière organique présente dans un échantillon d'eau maintenu à 20°C, à l'obscurité, pendant 5 jours.

La demande chimique en oxygène DCO « mg/l » :

Permet l'appréciation de la concentration en matières organiques ou minérales dissoutes ou en suspension dans l'eau, à travers la quantité d'oxygène nécessaire à leur oxydation chimique totale, elle oxyde les substances organiques et minérales de l'eau elle évalue aussi la charge polluante des eaux usées.

L'ammonium NH₄⁺ « mg/l » :

L'azote ammoniacal est le principal indicateur chimique de pollution directe d'une eau. Il provient de la décomposition des chaînes carbonées constituant les matières organiques par les bactéries de type aérobies, Cette dégradation consomme de l'oxygène et libère également du CO₂ dans les eaux.

La forme ammonium n'est pas toxique. Mais dans les eaux à « pH supérieur à 7,5 » une fraction peut être transformée en gaz ammoniacale en solution dans l'eau toxique pour les poissons.

Les nitrates NO₃⁻ « mg/l » :

L'ion nitrate est la forme stable de l'azote, formé par l'association d'un atome d'azote avec trois atomes d'oxygène.

La présence d'un excès de nitrates dans l'eau est un indice de pollution d'origine agricole (engrais), urbaine (dysfonctionnement des réseaux d'assainissement ou industrielle).

Le phosphore total PT « mg/l » :

Le phosphore total est l'ensemble du phosphore présent dans un échantillon sous forme de phosphates ou de composés organophosphorés.

En ce qui intéresse la pollution de l'eau on en distingue deux formes :

- Le phosphore organique, résidus de matière vivante.
- Le phosphore minérale, essentiellement constitué de phosphate « PO_4 », qui représente « 50 à 90% » de la totalité du phosphore dans les eaux usées urbaines.

Ses origines :

- Lessivage de certains minéraux et de la décomposition de la matière organique.
- Rejet des eaux domestiques et industrielles ainsi que le drainage des terres agricoles fertilisées contribuent à en augmenter la concentration.

Les Phosphates PO_4^{3-} « mg/l » :

Le phosphore, élément indispensable au développement de tous les organismes vivants, naturellement présent en très faible quantité dans le sol et dans les eaux.

Les ortho phosphates ions « PO_4^{3-} » sont la forme la plus simple et la plus répandue des phosphates dans l'eau.

Ses Origines :

- Activités agricoles pertes d'engrais phosphatés utilisés en agriculture.
- Eaux usées domestique et de l'activité industrielle.

Les Chlorures Cl^- « mg/l » :

Ils ne sont pas nocifs, mais constituent un important indicateur d'arrivée de pollution. Ils ne sont pas éliminés par les stations d'épuration. Dans la nature, ils sont souvent indicateurs d'arrivée d'effluents urbains. A titre indicatif, dans l'eau du robinet le maximum admis est de « 250 mg/l » de chlorures.

La matière Organique Mo « mg/l » :

La matière organique (MO) contenue dans les eaux est la partie non encore décomposée de la pollution organique : matières vivantes mortes ou déjections d'organismes vivants.

Elles sont donc naturellement présentes dans l'eau, mais à faible concentration. S'il y en a plus, il y a pollution provenant de rejets d'eaux usées domestiques mal épurés ou d'effluents agricoles, La matière organique peut se rencontrer dans l'eau soit dissoute, soit sous forme particulaire visible.

Les coliformes fécaux « UFC/100 ml » :

Les coliformes fécaux, l'Escherichia coli (E. coli) sont des bactéries d'origine fécale qu'on retrouve dans le tube digestif des humains et des animaux ainsi que les sols et les eaux usées. Dès qu'on constate leur présence dans l'eau du puits, on considère qu'elle n'est pas potable. Ce sont donc des indicateurs de la qualité d'eau.

IV. 2. Qualité des eaux destinées à la consommation humaine

Les ressources en eaux superficielles utilisées pour la production de l'eau potable au Maroc sont de qualité différente selon leur origine et les influences anthropiques qu'elles subissent. Ainsi, l'objectif des producteurs de l'eau potable étant de fournir au consommateur une eau qui ne présente pas de risque pour la santé humaine et qui respecte la norme marocaine relative à la qualité des eaux alimentaires, chaque eau superficielle devra subir un traitement approprié. C'est ainsi que ces normes fixent les exigences auxquelles doit satisfaire la qualité des eaux superficielles utilisées pour la production de l'eau potable pour un niveau de traitement donné.

IV. 2.1 Eau superficielle

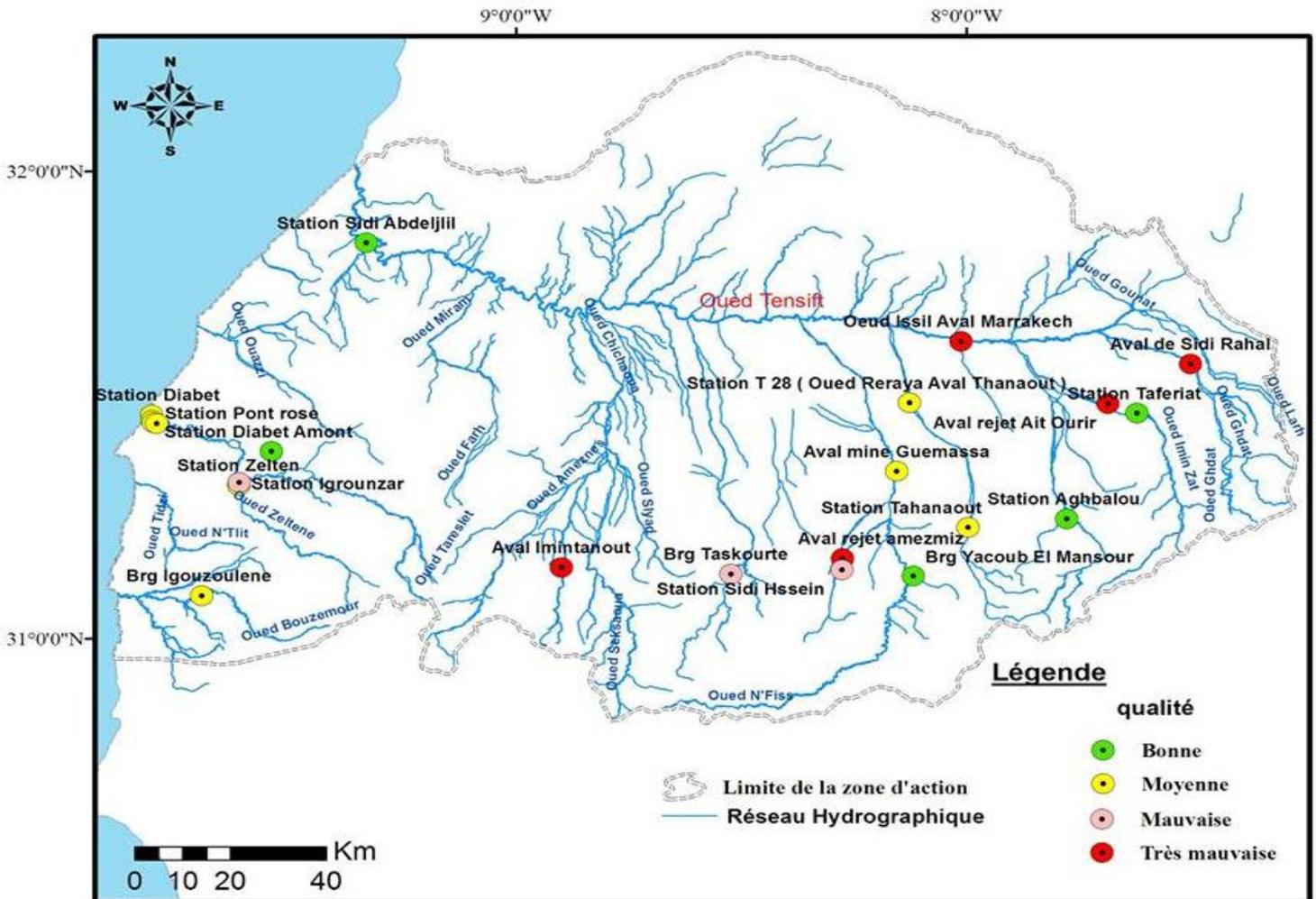


FIGURE 24 : Qualité des eaux superficielles du bassin Tensift El Haouz au mois de novembre 2013 (données fournies par l'ABHT).

Concernant le suivi de la qualité des eaux superficielles, la carte montre que :

- La qualité est moyenne à mauvaise pour la majorité des stations, elle représente un pourcentage de 62%.
- La mauvaise qualité est influencée par la DCO qui dépasse les normes entre 52 et 42 mg/l.

La qualité est très mauvaise et représente 19% des stations :

- Station Aval de Sidi Rahal, Aval rejet Amezmiz, Aval Imintanout, Aval rejet Ait Ourir, Station T 34 (Oued Issil Aval Marrakech) sont caractérisées par une qualité très mauvaise à cause de la teneur élevée en coliformes fécaux et sont de bons indicateurs de la présence d'organismes pathogènes pouvant causer des problèmes de santé. Le rejet d'eaux usées domestiques non traitées, les débordements des réseaux d'égouts par temps de pluie, de même que l'épandage de fumier et de lisier sont les sources principales de contamination bactériologique.

Les 19% qui restent ont une bonne qualité au niveau des stations :

Station Sidi Rahal, Station Taferiat, Station Aghbalou, Amont Confluent Tensift (oued M'Ramer) et la Station Sidi Abdeljlil.

IV. 2. 2 Eau souterraine

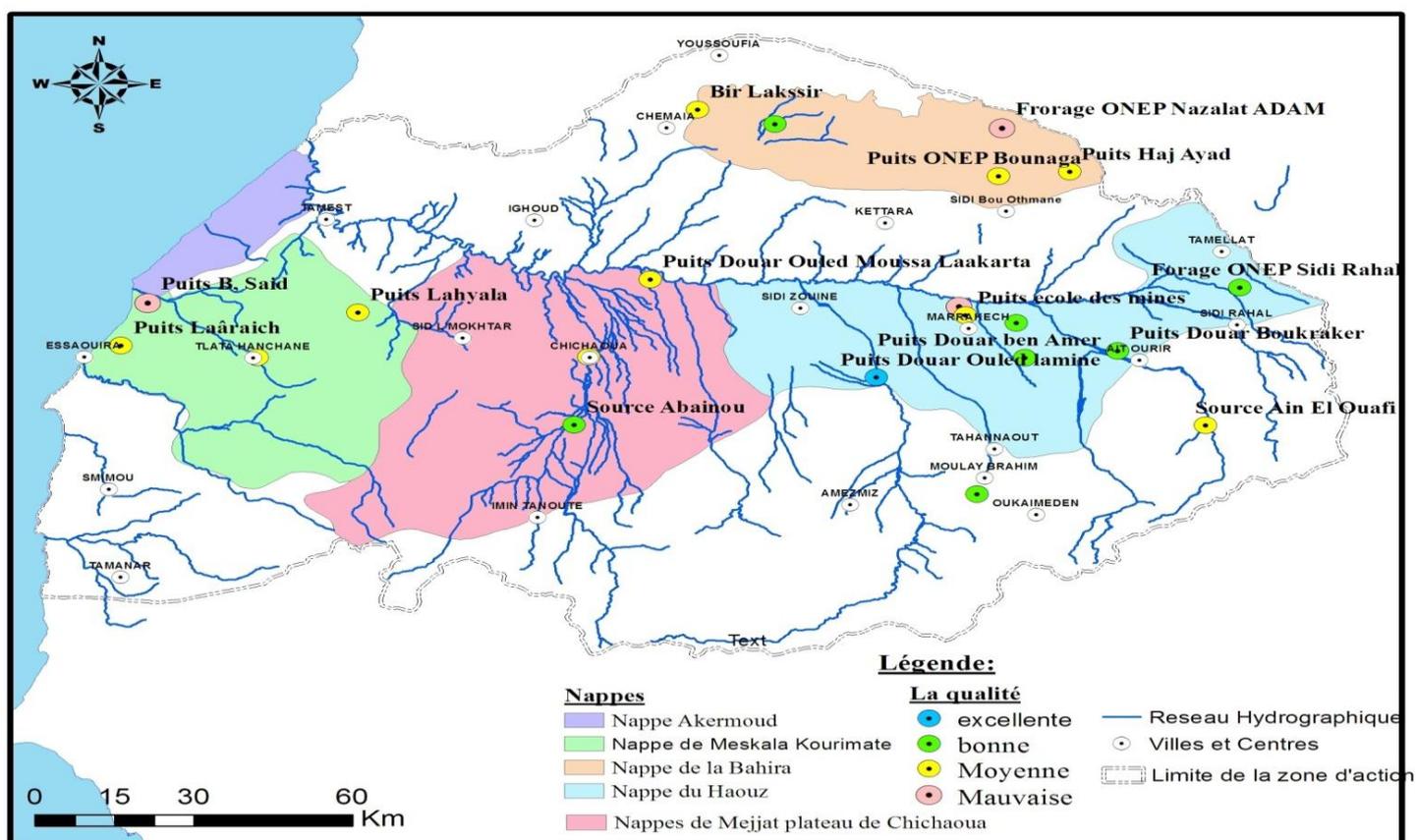


FIGURE 25 : Qualité des eaux souterraines du bassin Tensift El Haouz au mois de novembre 2013 (données fournies par l'ABHT).

À partir de la carte si dessus et le tableau de l'annexe on remarque que :

La qualité des eaux souterraines est généralement bonne à moyenne avec un pourcentage de **77%**, à l'exception de quelques puits :

Le puits Douar Ouled Lamine au niveau de la nappe du Haouz, avec une qualité excellente (les paramètres au niveau de cette station ne dépassent pas les normes de la grille simplifiée des eaux souterraines). Cela peut être dû à l'absence de tout type d'activité agricole ou d'industrie.

Elle est mauvaise à **19%** aux niveaux des puits si dessous :

- Les puits Razgui Boujemaa, Forage ONEP Nazalat Adam, Puits AEP Ouled Hached, Puits Jikri Abdelkrim, Puits Doumo haj jaâfer et Puits Ben Said, celle-ci est due à une augmentation de certains paramètres qui influencent la qualité.

Ces paramètres sont respectivement :

- Les Nitrates NO_3^- représente la forme la plus oxygénée de l'azote c'est une forme très soluble, elle s'absorbe difficilement dans le sol et reste donc en solution. La teneur élevée en nitrates des eaux souterraines est souvent liée au développement des élevages à une fertilisation excessive des zones agricoles, par les engrais et les fumiers, elles peuvent être dues à des rejets de collectivité et occasionnellement de certaine industrie notamment les engrais chimiques azotés.

- Les chlorures Cl^- il est lié principalement à la dissolution des formations salifères et à l'effet de salinité de marine dans le cas du puits Ben Saïd.

IV. 3. Evolution temporelle de la qualité des eaux

Devant l'accroissement rapide des besoins en eau en raison de la forte croissance démographique, la protection et la conservation des ressources en eaux sont devenues indispensables. La rareté et l'irrégularité des apports aussi bien en eau de surface qu'en eau souterraine confrontés aux besoins en eau sans cesse croissante, posent un vrai problème de gestion des ressources en eau ainsi que de leurs qualités. Les réserves renouvelables des principales nappes ont atteint un taux excessif d'exploitation. Le rejet des eaux usées dans le milieu naturel à l'état brut, l'utilisation excessive et mal maîtrisée de fertilisants et de pesticides constituent une source de pollution constante des ressources en eau.

Pour cela on a réalisé un suivi des paramètres physico-chimique des ressources en eaux pendant la période étudiée de 2007 à 2010, les résultats obtenus sont les suivants :

IV. 3. 1. Eaux superficielles

En ce qui concerne les eaux superficielles, on a travaillé sur 10 stations réparties sur une période de quatre ans.

Tableau 6 : Evolution temporelle de la qualité des eaux superficielles au niveau du bassin Tensift El Haouz.

Stations	Années	O2 Dissous (mg/l)	DBO 5 (mg/l)	DCO (mg/l)	NH4+ (mg/l)	PT (mg/l)	CF (UFC/100 ml)	Qualité	Paramètres polluant
Station Sidi Rahal	2007	0	65	90	1,45	0,54	110000	très mauvaise	O ₂ D, DBO ₅ , DCO, tout
	2008	0	198	404	90	15,2	600000	très mauvaise	
	2009	7,84	1	6	0,994	0,518	13400	moyenne	aucun
	2010	7,8	0,9	-	0,019	0,292	500	bonne	aucun
Station Taferiat	2007	6	9	19	0,04	0,23	110	moyenne	aucun
	2008	7,4	2,2	6	0,029	0,266	25	bonne	aucun
	2009	9,4	0,7	29	0,051	0,136	40	moyenne	aucun
	2010	8,48	0,25	11	0,062	0,405	90	moyenne	aucun
Station Aghbalou	2007	8,6	1,2	21	0,056	0,08	110	bonne	aucun
	2008	10,46	0,44	8,6	0,005	0,073	0	excellente	aucun
	2009	8,6	0,25	6	0,031	0,153	140	bonne	aucun
	2010	8,8	0,25	-	0,075	0,419	144	moyenne	aucun
Station Tahanaout	2007	8,8	3,1	69	0,14	0,1	500	mauvaise	DCO
	2008	7,4	0,37	7,6	0,23	0,25	1800	bonne	aucun
	2009	8,32	0,25	14	0,005	0,03	1800	bonne	aucun
	2010	7,8	1,3	19	0,165	0,315	280	bonne	aucun
Station Sidi Hsein	2007	7,8	0,9	31	0,083	0,2	200	moyenne	aucun
	2008	7,8	0,7	6	0,029	<0,003	94	bonne	aucun
	2009	8,3	0,7	6	0,078	1,04	1800	bonne	aucun
	2010	8,4	1,7	-	0,067	-	30	bonne	aucun
Station Zelten	2007	-	0,9	9,6	0,022	0,12	550	bonne	aucun
	2008	8,2	1,5	8,6	0,021	0,05	860	bonne	aucun
	2009	7,52	1,5	14	0,039	0,049	20	bonne	aucun
	2010	-	-	-	-	-	-	-	-
Station Igrounzar	2007	8	1,1	23	0,033	0,1	90	bonne	aucun
	2008	15,3	0,6	6	0,22	0,027	80	bonne	aucun
	2009	8	1	6	0,068	0,2	230	bonne	aucun
	2010	-	-	-	-	-	-	-	-
Amont oued M'Ramer	2007	8,2	1,5	8,6	0,021	0,05	860	bonne	aucun
	2008	14,5	2,7	9,6	0,008	0,04	40	bonne	aucun
	2009	7,84	2,2	14	0,027	0,058	600	bonne	aucun
	2010	8,4	0,8	17	0,019	0,061	0	excellente	aucun
Aval mine Guemassa	2007	8	0,9	9	0,013	0,08	0	mauvaise	DCO
	2008	7,36	1,2	6	0,022	0,043	250	bonne	aucun
	2009	8	0,4	19	0,048	0,053	200	bonne	aucun
	2010	9,4	1,5	27	0,083	0,061	10	moyenne	aucun

Station Sidi Rahal :

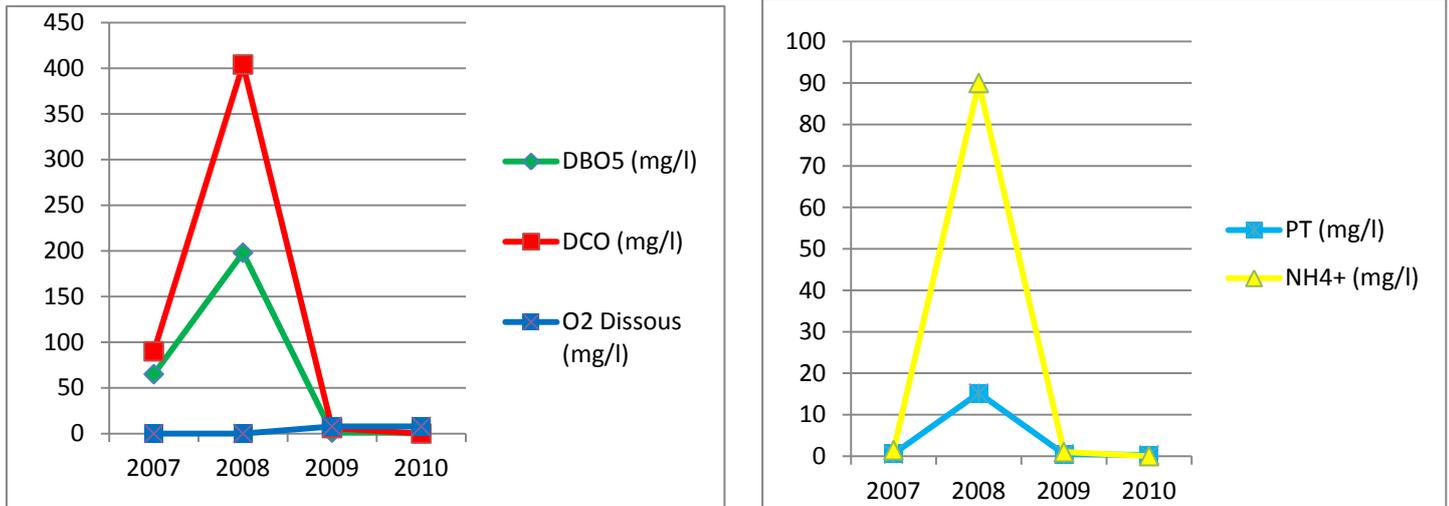


FIGURE 26 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau de la station Sidi Rahal.

- En 2007 la qualité de l'eau de la station Sidi Rahal était de très mauvaise à cause des paramètres suivants : O₂ Dissous 0 mg/l, DBO₅ 65 mg/l, DCO 90 mg/l, et les CF 110000 (UFC/100 ml) quant aux autres paramètres, ils sont de moyenne qualité.
- En 2008 la qualité de l'eau de cette station s'est détériorée. En effet, tous les paramètres sont devenus de très mauvaise qualité.
- En 2009 la qualité de l'eau dans cette station s'est améliorée vis-à-vis de l'O₂Dissous, DBO₅, et DCO. En général, la qualité a évolué de très mauvaise à moyenne.
- En 2010 la qualité de l'eau dans la station Sidi Rahal s'est nettement améliorée vue qu'elle a évolué vers une bonne qualité
- L'augmentation d'O₂ Dissous, est la conséquence d'une diminution de la DBO₅ et de la DCO ce qui favorise une dégradation des matières organiques et amélioration la qualité de l'eau. Cela a été remarqué pendant les deux dernières années.
- L'azote ammoniacal, est le principal indicateur chimique de pollution directe d'une eau et la forme de nitrate la plus toxique. Sa présence dans l'eau est liée aux rejets urbains et industriels. L'azote provient de la décomposition des chaînes carbonées constituant les matières organiques par les bactéries de type aérobies. Cette dégradation consomme de l'O₂Dissous. Ceci est bien enregistré au niveau des deux dernières années.

- **Le phosphore total**, est un paramètre qui cumule l'ensemble du Phosphore organique et du Phosphore minéral. Il est exprimé en mg/l. dans les eaux superficielles.

Une présence importante de phosphore dans les eaux n'est pas naturelle et provient des déversements urbains (polyphosphates des lessives, dégradation de la matière organique) et des pratiques agricoles (engrais, épandages, écoulements de purin, etc.)

- La présence de **coliformes fécaux** nous indique qu'il y a présence d'une source de matières fécales d'origine humaine ou animale (Fumier, fosse septique ou autre). Si une contamination est détectée, il faut effectuer une désinfection.

Station Taferiat :

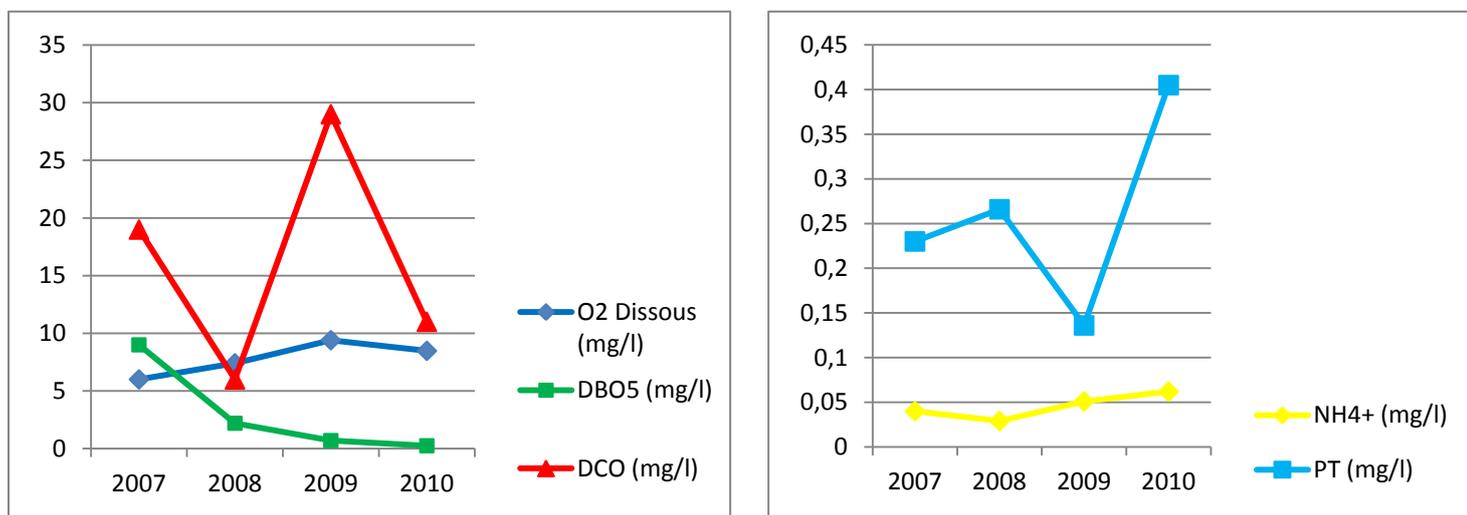


FIGURE 27 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau de la station Taferiat

- En 2007, la qualité de l'eau au niveau de la station Taferiat est moyenne à bonne. Les paramètres qui influencent cette qualité sont la DBO₅ et l'O₂ Dissous.

- En 2008, la qualité de l'eau est excellente à bonne tous les paramètres sont dans les normes.

- En 2009, la qualité de l'eau est moyenne le paramètre entrainant cette qualité est la DCO.

- En 2010, la qualité de l'eau est moyenne et cela a été influencé par le phosphore totale et par les coliformes fécaux.

- l'augmentation **DBO₅**, est la preuve d'une présence d'une pollution organique.

- Les faibles concentrations (en dessous de la norme en vigueur) en **azote ammoniacal**, représente une excellente qualité ce qui explique l'absence des rejets urbains et industriels dans les eaux.

-**Le Phosphore totale**, présente en générale une bonne qualité des eaux sauf pour l'année 2010 ou on trouve un léger dépassement aux normes en vigueurs.

Station Aghbalou :

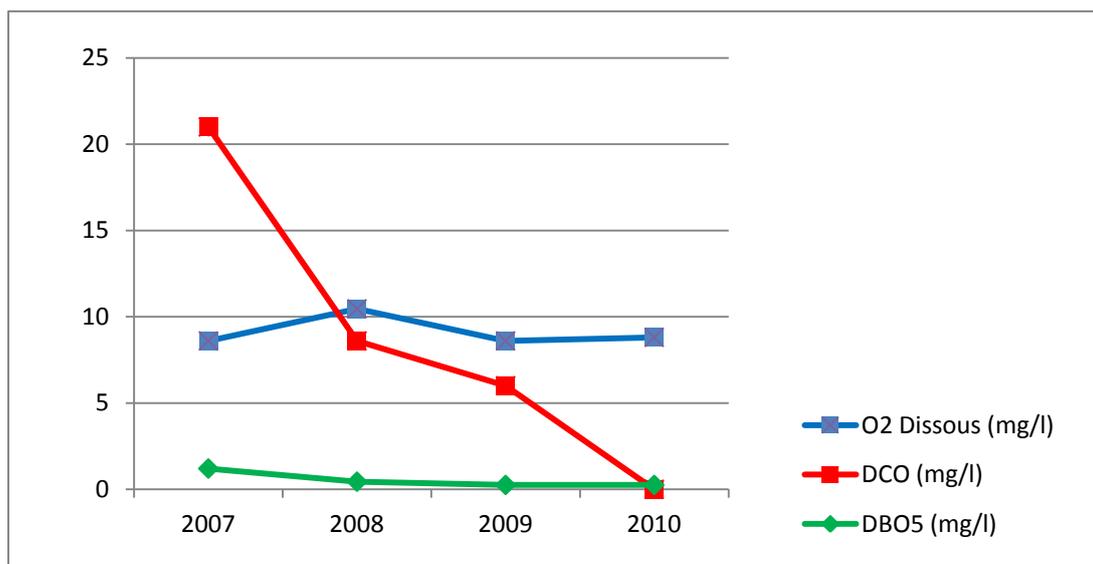


FIGURE 28 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau de la station Aghbalou.

- En 2007, la qualité de l'eau de cette station était excellente Tous les paramètres sont dans les normes sauf la DCO et les coliformes fécaux qui sont de bonne qualité.

- En 2008, la qualité de l'eau est excellente ce qui reflète que tous les paramètres sont d'une excellente qualité.

- En 2009, la plus part des paramètres sont d'une qualité excellente à part le phosphore total et les coliformes fécaux qui sont de bonne qualité.

- En 2010, la qualité de l'eau était excellente le paramètre qui a contribué au changement de cette dernière est le phosphore total.

- On remarque que quand l'**O₂ Dissous augmente**, la **DBO₅** et la **DCO** diminuent.

Station Tahanaout :

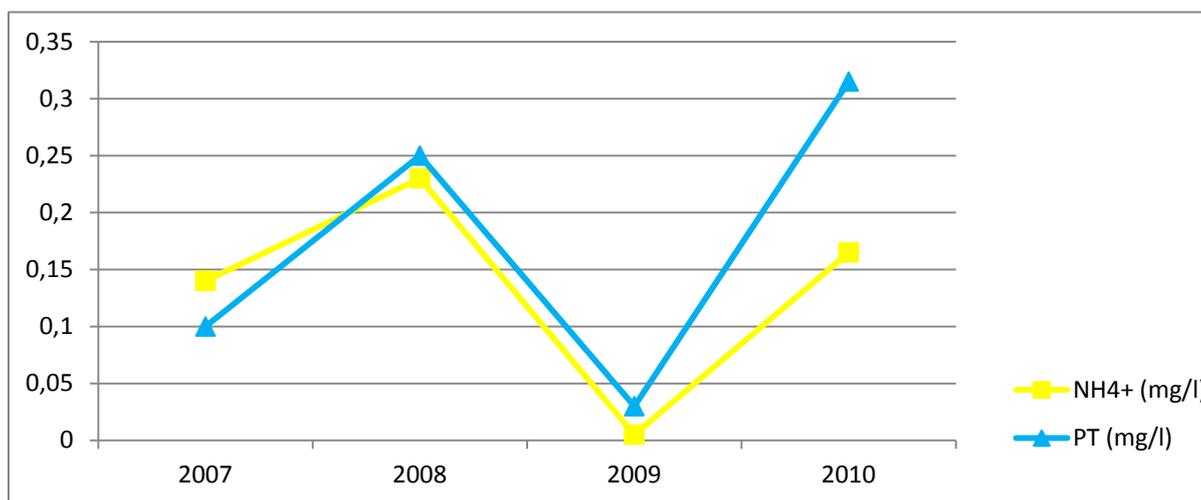


FIGURE 29 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau de la

- En 2007, la qualité de l'eau dans cette station était bonne : le paramètre qui a influencé cette dernière est la DCO qui a entraîné une mauvaise qualité.
- En 2008, la qualité de l'eau dans la station excellente à bonne : les paramètres n'ont pas dépassé les normes.
- En 2009, la qualité de l'eau de cette station est excellente tous les paramètres n'ont pas dépassé les normes.
- En 2010, la qualité de l'eau au niveau de cette station est excellente à bonne : tous les paramètres sont dans les normes.
- Malgré la constatation d'une légère augmentation au niveau de **L'azote ammoniacal**, ce paramètre reste en dessous de la norme en vigueur.
- **Le phosphore total**, présente une bonne qualité avec une petite amélioration en 2009 où elle a évolué à une excellente qualité.

Station Sidi Hsein :

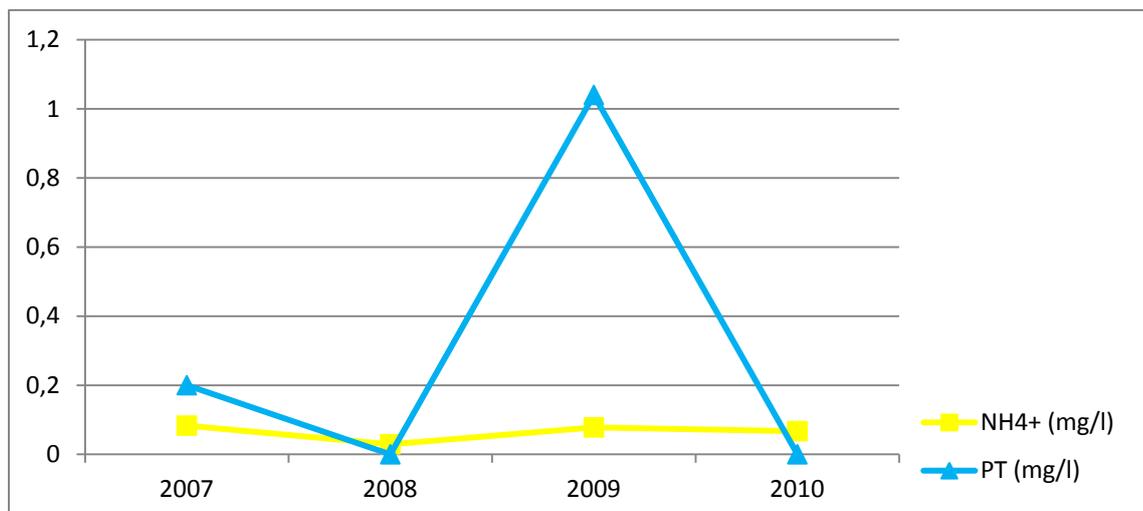


FIGURE 30 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau de la station Sidi Hsein.

- En 2007, la qualité de l'eau de cette station moyenne tous les paramètres sont dans les normes sauf la DCO qui était de moyenne qualité.
- En 2008, la qualité de l'eau était bonne : tous les paramètres étaient d'une excellente qualité sauf les coliformes fécaux qui étaient de bonne qualité.
- En 2009, la plus part des paramètres sont excellents à part le phosphore total et les coliformes fécaux qui étaient de bonne qualité.
- En 2010, la qualité de l'eau était excellente le paramètre qui a contribué au changement de cette dernière sont le phosphore total et les coliforme fécaux qui était de bonne qualité.
- **L'azote ammoniacal**, garde une excellente qualité tout au long de l'évolution.
- **Le phosphore total**, la qualité est globalement bonne, sauf pour l'année 2010 où elle devenu excellente.

Station Zelten :

- la qualité de l'eau dans cette station est bonne pour toutes les années et on peut voir que tous les paramètres sont d'excellente qualité sauf pour les coliformes fécaux ils présentent une bonne qualité durant toute l'évolution et le phosphore total qui a lui aussi une bonne qualité dans l'année 2007.

Donc, on conclue qu'il n'y a pas de dépassement dans cette station : tous les paramètres sont dans les normes en vigueur.

Station Igrounzar :

On constate que, dans cette station, la majorité des paramètres sont d'excellente qualité sauf pour les paramètres DCO, phosphore total, et coliformes fécaux qui sont de bonne qualité dans l'année 2007 et NH₄⁺ qui, elle aussi, a passé à une bonne qualité dans l'année 2008.

Alors, tous les paramètres sont dans les normes.

Station Amont oued M'Ramer :

La qualité de cette station est bonne sauf pour l'année 2010 où elle a passé à excellente. Le paramètre qui a légèrement influencer cette qualité est les coliformes fécaux. Sauf qu'ils ne représentent aucun dépassement de normes.

Station Aval mine Guemassa :

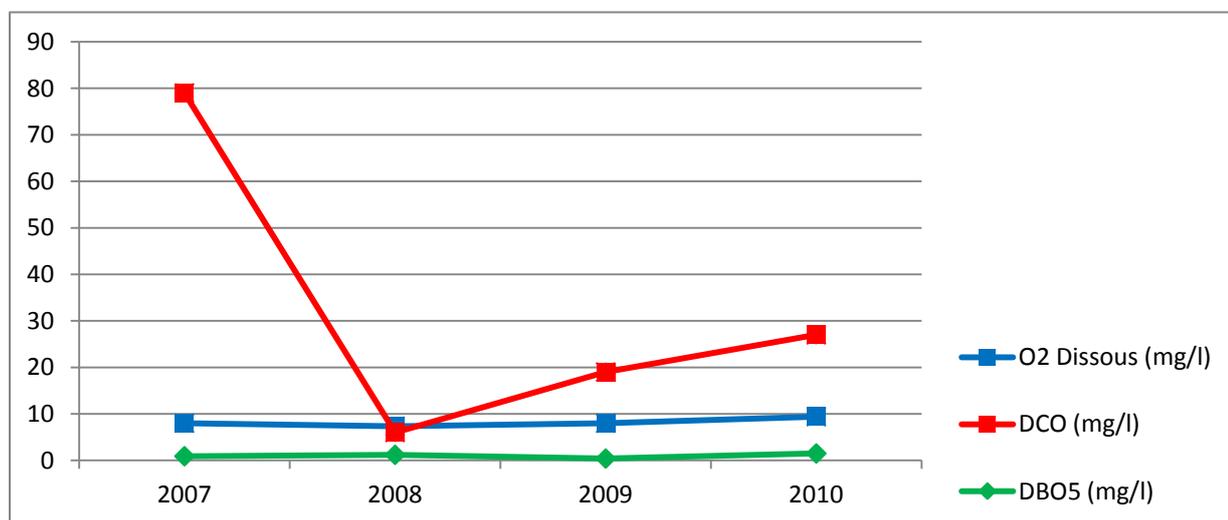


FIGURE 31 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau de la station Aval mine Guemassa.

- En 2007, la qualité de l'eau dans cette station est mauvaise à cause de la DCO qui dépasse les normes, en revanche, tous les autres paramètres sont d'excellente qualité.

- En 2008, et 2009, la station présente une bonne qualité : tous les paramètres sont d'excellente qualité sauf les coliformes fécaux qui sont de bonne qualité.

- En 2010, on remarque une moyenne qualité causée par la DCO, par contre tous les autres paramètres sont d'excellente qualité.

-On remarque que l'O2 Dissous et DBO5 sont d'excellente qualité par contre la qualité de la DCO était excellente en 2008 et 2009 mais elle s'est dégradée en 2007 à une mauvaise qualité et en 2010 à une moyenne qualité.

IV. 3. 2. Eaux souterraines

Tableau 7 : Evolution temporelle de la qualité des eaux souterraines au niveau du bassin

Tensift El Haouz.

STATION	DATE	Conductivité "µs/cm"	Cl ⁻ " mg/l"	NO ₃ ⁻ "mg/l"	NH ₄ ⁺ "mg/l"	Qualité	Paramètres polluants
SOURCE ABAINOU	2007	770	70	18,8	0,005	bonne	aucun
	2008	796	61	17	0,014	bonne	aucun
	2009	820	60,6	18,2	0,005	bonne	aucun
	2010	838	61,7	19,5	0,006	bonne	aucun
PUITS BEN AMAR	2007	741	85,1	10,9	0,093	bonne	aucun
	2008	672	60,6	5,39	0,005	bonne	aucun
	2009	705	63,8	6,66	0,033	bonne	aucun
	2010	667	58,1	5,28	0,005	bonne	aucun
Forage ONEP Sidi Rahal	2007	2630	363	33,7	0,011	moyenne	Cond, Cl ⁻ , NO ₃ ⁻
	2008	1050	275	17	0,005	bonne	aucun
	2009	1070	258	17,7	0,005	bonne	aucun
	2010	1048	249	16,4	0,005	bonne	aucun
FORAGE DOUAR BOUKRAKER	2007	780	121	11,01	0,017	bonne	aucun
	2008	690	114	7,15	0,023	bonne	aucun
	2009	703	116	7,71	0,057	bonne	aucun
	2010	690	121	7,23	0,006	bonne	aucun
PUITS ECOLE DE MINE	2007	1575	235	27,4	0,007	moyenne	aucun
	2008	1805	376	35,86	0,008	moyenne	aucun
	2009	1885	323	33	0,006	moyenne	aucun
	2010	1645	359	58	0,005	mauvaise	NO ₃ ⁻
FORAGE ONEP CHICHAOUA	2007	2480	280	32,2	0,017	moyenne	aucun
	2008	1610	195	23,4	0,005	moyenne	aucun
	2009	1640	188	22,4	0,005	moyenne	aucun
	2010	1572	188	22,6	0,006	moyenne	aucun
Forage ONEP N'ZALAT LAADAME	2007	1643	395	33,8	0,006	moyenne	aucun
	2008	1540	374	30,2	0,05	moyenne	aucun
	2009	1580	394	24,9	0,009	moyenne	aucun
	2010	1543	371	26,5	0,005	moyenne	aucun

Forage ONEP Bounaga	2007	993	184	27,4	0,01	moyenne	aucun
	2008	975	182	31,2	0,052	moyenne	aucun
	2009	1030	187	32,5	0,008	moyenne	aucun
	2010	981	181	31	0,005	moyenne	aucun
Puits douar Nwasser	2007	1077	251	11,23	0,005	bonne	aucun
	2008	1156	263	0,701	0,0312	bonne	aucun
	2009	1081	230	0,641	0,006	bonne	aucun
	2010	1054	223	13	0,037	bonne	aucun
BIR LAKSIR	2007	1230	252	23,9	0,18	bonne	aucun
	2008	1160	256	28,14	0,337	moyenne	aucun
	2009	1192	236	31,9	0,056	moyenne	aucun
	2010	1180	233	30,1	0,068	moyenne	aucun
PUITS SIDI Med BEN SAID	2007	1920	262	73,1	0,033	mauvaise	NO3-
	2008	2280	676	55,4	0,11	mauvaise	NO3-
	2009	2300	706	54	0,097	mauvaise	NO3-
	2010	2240	699	51,2	0,016	mauvaise	NO3-
PUITS ONEP HANCHANE	2007	2960	502	83,8	0,01	mauvaise	NO3- et cond
	2008	3200	883	88,4	0,044	très mauvaise	NO3-, Cl- ,et cond
	2009	2410	464	90	0,012	mauvaise	NO3-
	2010	1993	311	66,7	0,005	mauvaise	NO3-
SOURCE AIN RMACH	2007	2330	283	33,5	0,319	moyenne	aucun
	2008	2264	291	28,6	0,537	moyenne	aucun
	2009	2300	277	27,9	0,05	moyenne	aucun
	2010	2190	264	26,2	0,017	moyenne	aucun

D'après le tableau de l'évolution temporelle de la qualité des eaux souterraines au niveau du bassin Tensift El Haouz:

On remarque que pour les eaux souterraines l'évaluation de la qualité pendant la période 2007- 2010 :

- Au niveau des quatre stations Source abainou, puits Ben Amar, Forage Douar Boukraker, et puits douar nwasser, la qualité de l'eau est généralement bonne pendant les quatre années. Ceci peut être expliqué par l'absence d'activité industrielle, agricole, ainsi que tout type de pollution organique.

- Forage ONEP Sidi Rahal :

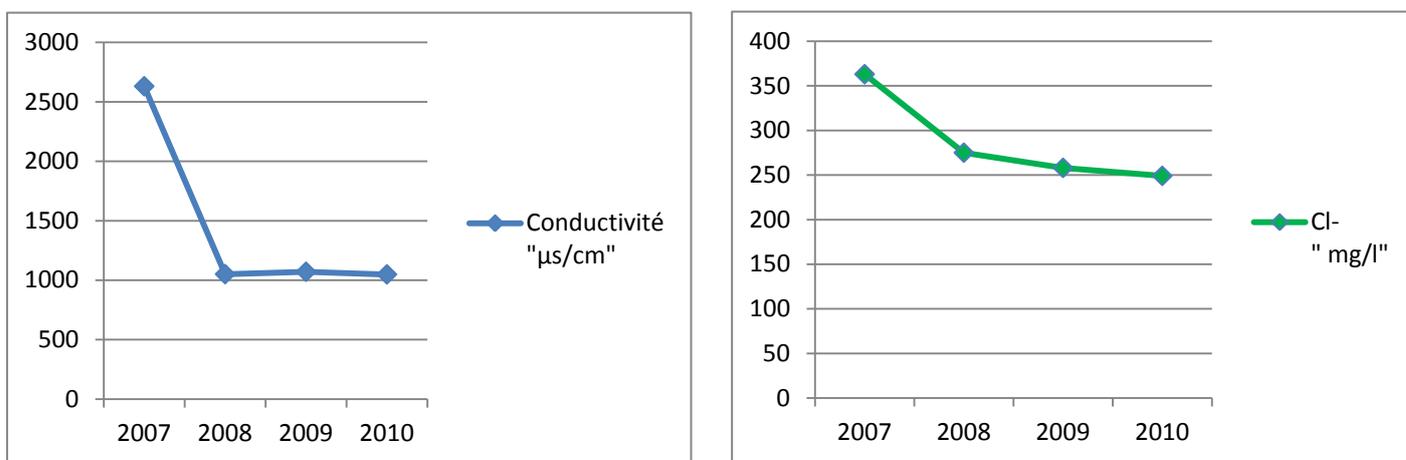


FIGURE 32 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau de la station Forage ONEP Sidi Rahal.

- La qualité moyenne est influencée par les concentrations élevée de la conductivité, les nitrates et les chlorures

- En 2007, la qualité de l'eau dans cette station est moyenne tout les paramètres sont de moyenne qualité, par contre NH_4^+ est d'excellente qualité. La forte concentration des nitrates est du aux quantités utilisées par les agriculteurs dans les pratiques agricoles qui sont facilement lessivées et entraînées dans les eaux.

-La concentration élevée de chlorures est explique par l'augmentation de la conductivité, ont peut deduire alors que la teneur en chlorure augmente avec le degré de la minéralisation d'une eau (conductivité).

- En 2008, 2009, 2010, la station présente une bonne qualité : tous les paramètres sont dans les normes.

Puits école de mine.

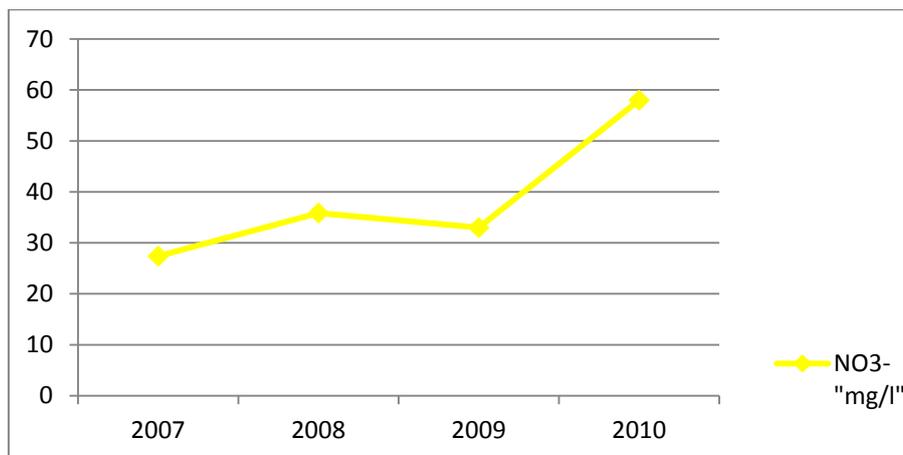


FIGURE 33 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau du puits école de mine.

- Pendant les trois années 2007, 2008, et 2009, la qualité de l'eau de cette station était de moyenne qualité.
- En 2010, les eaux de cette station sont devenues de mauvaise qualité, ce qui a influencé cela c'est les nitrates qui ont dépassé les normes, cette forte concentration peut être liée au lessivage des sols agricoles ainsi qu'à l'accumulation des nitrates le long de ces trois dernières années.
- Au niveau des quatre stations Forage ONEP Chichaoua, Forage ONEP N'ZALAT LAADAME, Forage ONEP N'ZALAT LAADAME, et source AIN RMACH la qualité de l'eau de ces stations est de moyenne qualité.

BIR LAKSIR

- En 2007, l'eau était de bonne qualité tous les paramètres ne dépassent pas les normes en vigueur.
- En 2008, 2009, et 2010, la qualité s'est détériorée est passée de bonne qualité vers une moyenne qualité à cause de la concentration en nitrates qui augmente au cours du temps. En effet cela est due aux activités agricoles, cette augmentation ne pollue pas les eaux.

Puits SIDI Med BEN SAID

La qualité de l'eau de cette station est généralement mauvaise pendant les quatre années le paramètre qui a causé cette pollution est le NO_3^- .

PUITS ONEP HANCHANE

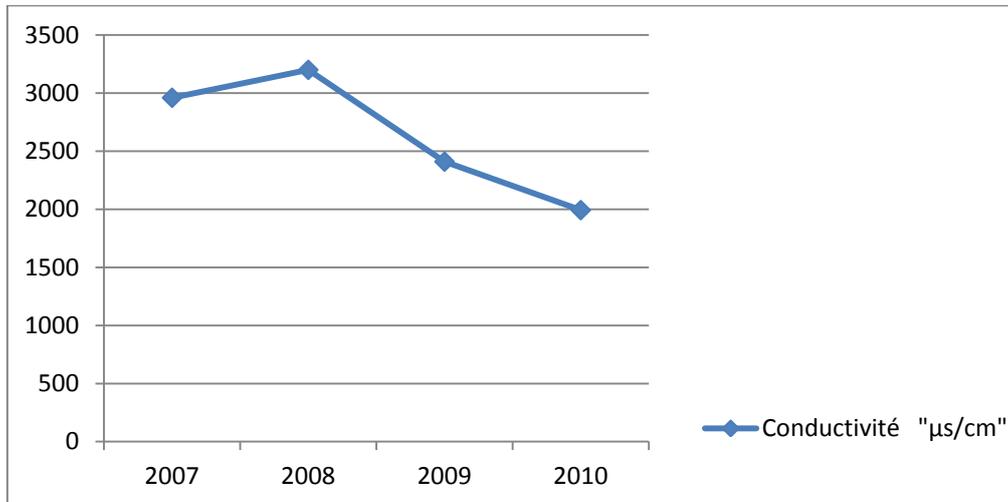


FIGURE 34 : Evolution Temporelle de la qualité de l'eau au niveau du puits ONEP Hanchane.

- Au niveau des trois années (2007,2009, et 2010) la qualité de l'eau de cette station était très mauvaise. Ceci est causé par la conductivité et le NO_3^- qui dépassent largement les normes.

-En 2008, la qualité s'est dégradé vers une très mauvaise qualité ce qui a engendré cette détérioration c'est la conductivité qui dépassé les normes.

Conclusion du chapitre :

Les eaux superficielles du bassin Tensift El Haouz représentent une qualité des eaux variante d'une moyenne à mauvaise qualité 62%, les facteurs influençant cette dernière sont la DCO et Des coliformes fécaux.

Les eaux souterraines désignent une bonne à moyenne qualité (77%), le paramètre polluant est le chlore « Cl^- »).

Conclusion Générale

Nous avons essayé à travers une approche hydrogéochimiques d'appréhender et de suivre la variation de la qualité des eaux de surface et souterraines dans le bassin Tensift El Haouz. L'étude de la qualité des eaux du réseau de contrôle et de surveillance de la qualité des ressources en eau dans le bassin hydraulique de Tensift montre que les eaux provenant des ressources étudiées peuvent présenter quelques diversités d'une région à l'autre, en fonction des caractéristiques hydrogéologique de chaque région et aussi de l'impact variées des pollutions qu'elles soit : naturelles ou anthropiques, influençant la qualité de ces eaux et leurs processus de minéralisation.

Les outils utilisés ont révélé l'existence de trois faciès pour les eaux superficielles : Faciès Bicarbonatée Calcique et Magnésienne, Faciès Bicarbonatée Sodique et Potassique et Faciès Chloruré Sodique et Potassique.

Pour les eaux souterraines, les analyses effectués *in-situ* au niveau des trois puits en montrés la présence d'un seul Faciès Chloruré Sulfatée Calcique et Magnésienne. Le processus de la minéralisation des eaux de notre zone d'étude est : la dissolution des minéraux carbonatés tel que la calcite et la dolomite et l'aragonite.

L'évaluation de la qualité des ressource en eaux à l'aide des grille simplifiés ainsi que la comparaison des paramètres étudiés avec les normes marocaines de qualité des eaux a illustré que :

- Les eaux superficielles sont d'une moyenne à mauvaise qualité, pour la majorité des stations elles indiquent (62%), la DCO et les coliformes fécaux sont les facteurs responsables de la détérioration de la qualité.

- Les eaux souterraines sont d'une bonne à moyenne qualité elles représentent (77%), à l'exception de quelques localités ou les fortes concentrations en certains ions (Les Nitrates « NO_3^- », Le chlore « Cl^- ») restent la substance responsables sur cette pollution.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABHT, (1995) - Les objectifs de création des agences de bassin hydrauliques. Rapport interne, 39p..

ABHT, (2006) - Débat national sur l'eau. Rapport interne, 88p..

ABHT, (2013a) - Etude de la qualité d'eau : réalisation des analyses de l'eau dans la zone d'action de l'ABH TENSIFT, Rapport interne, 110p..

ABHT, (2013b) - Etat de la qualité des ressources en eau dans la zone d'action de l'ABHT, Rapport interne, 10 p..

ABHT, (2013c) - Présentation de la région hydraulique de Tensift, Rapport interne, 20p..

Boudhar A., (2009) -Téledétections du manteau neigeux et modélisation de contribution des eaux de fonte des neiges aux débits des oueds du haut atlas de Marrakech. Thèse Doctorat National, Université Cadi Ayyad, Marrakech.

Haissoune A. et Idhssaine A., (2013) - Caractérisation de la qualité des eaux superficielles et souterraines du bassin de N'Fis. Rapport LST EE, FST, Université Cadi Ayyad Marrakech. 54p..

Lkebir N., (2013) - Comportement hydrochimique, qualité des eaux et cartographie de quelques minéralisations au voisinage de la mine de Hajjar (Plaine du Haouz, Maroc). Rapport de Master EE, FST, Université Cadi Ayyad Marrakech. 102p..

Morrabi A. et Souabni O., (2013) - Caractérisation de la qualité des ressources en eau dans le sous bassin Ksob (Région d'Essaouira, Maroc). Rapport LST EE, FST, Université Cadi Ayyad Marrakech. 65p..

Smaij Z., (2011) - Typologie de la qualité des ressources en eau du bassin de Tensift AL-Haouz et cadre juridique de protection et de préservation. Rapport de Master EE, FST, Université Cadi Ayyad Marrakech. 96p..

WEBOGHRAPIE

- <http://www.eau-tensift.net/menu/labht/nos-objectifs-taches.html>.
- www.eau-tensift.net La Loi 10-95 sur l'Eau, Section III, Articles 20 – 24
- <http://www.memoireonline.com>.
- <http://resources.arcgis.com/fr/help/main/10.1/index.html>.
- www.solutionsforwater.org.
- http://www.water.gov.ma/gen_pdf.
- http://www.water.gov.ma/index.cfm?gen=true&id=13&ID_PAGE=45.
- <http://www.wikipedia.org>.

Liste des annexes :

Annexe 1 : Les normes marocaine de la qualité des eaux.

Annexe 2 : Qualité globale des eaux superficielle dans le bassin de Tensift El Haouz en novembre 2013.

Annexe 3 : Qualité globale des eaux souterraines dans le bassin de Tensift El Haouz en novembre 2013.

Annexe 1 : Les normes marocaine de la qualité des eaux.

	Paramètres	Unités	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	CLASSE 5
			Excellente	Bonne	Moyenne	Mauvaise	Très mauvaise
Organoleptiques							
0							
1	Couleur (échelle Pt)	mg Pt/L	<20	20-50	50-100	100-200	>200
2	Odeur (dilu à 25° C)		<3	3-10	10-20	>20	-
Physico-chimiques							
3	Température	°C	<20	20-25	25-30	30-35	>35
4	pH		6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-9,2	<6,5ou>9,2	<6,5ou>9,2
5	Conductivité à 20° C	us/cm	<750	750-1300	1300-2700	2700-3000	>3000
6	Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	<200	200-300	300-750	750-1000	>1000
7	Sulfates (SO ₄ ⁻)	mg/l	<100	100-200	200-250	250-400	>400
8	MES	mg/l	<50	50-200	200-1000	1000-2000	>2000
9	O ₂ dissous	mg/l	>7	7-5	5-3	3-1	<1
10	DBO ₅	mg/l	<3	3-5	5-10	10-25	>25
11	DCO	mg/l	<30	30-35	35-40	40-80	>80
12	Oxydabilité KMnO ₄	mg/l	≤2	2-5	5-10	>10	-
Substances Indésirables							
13	Nitrates (NO ₃ ⁻)	mg/l	≤10	10-25	25-50	>50	-
14	NTK	mgN/l	≤1	1-2	2-3	>3	-
15	Ammonium	mgNH ₄ /l	≤0,1	0,1-0,5	0,5-2	2-8	>8
16	Baryum	mg/l	≤0,1	0,1-0,7	0,7-1	>1	-
17	Phosphates (PO ₄ ⁻)	mg/l	≤0,2	0,2-0,5	0,5-1	1-5	>5
18	P total (Pt)	mg/l	≤0,1	0,1-0,3	0,3-0,5	0,5-3	>3
19	Fe total (Fe)	mg/l	≤0,5	0,5-1	1-2	2-5	>5
20	Cuivre (Cu)	mg/l	≤0,02	0,02-0,05	0,05-1	>1	-
21	Zinc (Zn)	mg/l	<0,5	0,5-1	1-5	>5	-
22	Manganèse (Mn)	mg/l	≤0,1	0,1-0,5	0,5-1	>1	-
23	Fluorure (F ⁻)	mg/l	≤0,7	0,7-1	1-1,7	>1, 7	-
24	Hydrocarbures	mg/l	≤0,05	0,05-0,2	0,2-1	>1	-
25	Phénols	mg/l	≤0,001	0,001-0,005	0,005-0,01	>0,01	-
26	Détérgents anioniques	mg/l	≤0,2	≤0,2	0,2-0,5	0,5-5	>5
Substances Toxiques							
27	Arsenic (As)	ug/l	≤10	≤10	10-50	>50	-
28	Cadmium (Cd)	ug/l	≤3	≤3	3-5	>5	-
29	Cyanures (CN ⁻)	ug/l	≤10	≤10	10-50	>50	-
30	Chrome total (Cr)	ug/l	≤50	≤50	≤50	>50	-
31	Plomb (Pb)	ug/l	≤10	≤10	10-50	>50	-
32	Mercure (Hg)	ug/l	≤1	≤1	<1	>1	-
33	Nickel (Ni)	ug/l	≤20	≤20	20-50	>50	-
34	Selenium (Se)	ug/l	≤10	≤10	≤10	>10	-
35	Pesticides par subst	ug/l	≤0,1	≤0,1	≤0,1	>0,1	-
36	Pesticides totaux	ug/l	≤0,5	≤0,5	≤0,5	>0,5	-
37	H.P.A. totaux	ug/l	≤0,2	≤0,2	≤0,2	>0,2	-
Bactériologiques							
38	Coliformes fécaux	/100ml	≤20	20-2000	2000-20.000	>20,000	-
39	Coliformes totaux	/100ml	≤50	50-5000	5000-50.000	>50,000	-
40	Streptoco. Fécaux	/100ml	≤20	20-1000	1000-10.000	>10.000	-
Biologique							
41	Chlorophylle a	ug/l	<2,5	2,5-10	10-30	30-110	>110

Annexe 2 : Qualité globale des eaux superficielle dans le bassin de Tensift El Haouz en novembre 2013.

Nom de la St	DBO ₅ (mg/l)	DCO (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	PT (mg/l)	CF (UFC/ 100 ml)	Paramètres de qualité
Station Sidi Rahal	0,5	<6,27	<0,007	-	164	Bonne
Aval de Sidi Rahal	705	1542	230	19,32	2,3 *E06	Très mauvaise
Station Taferiat	<0,23	12	0,021	-	60	Bonne
Aval rejet amezmiz	810	1217	112	11,71	1,5 0E+06	Très mauvaise
Station Aghbalou	0,5	10	0,068	0,199	550	Bonne
Aval Imintanout	692	1142	169	117,2	5,1 0E+05	Très mauvaise
Station Tahanaout	<0,23	27	0,048	-	180	Moyenne
Aval rejet Ait Ourir	792	1247	160	19,24	1,0 0E+05	Très mauvaise
Station Sidi Hssein	0,7	52	0,015	-	70	Mauvaise
Station Zelten	0,8	31	0,039	-	660	Moyenne
Station Igrounzar	1,2	42	0,028	-	950	Mauvaise
Amont Conf ,Tensift (oued M'Ramer)	0,6	25	0,015	-	230	Bonne
Station Sidi Abdeljlil	0,5	25	0,159	-	510	Bonne
Aval mine Guemassa	0,5	35	0,033	-	210	Moyenne
Station T 28 (Oued Reraya Aval Thanaout)	0,9	<6,27	0,069	0,496	400	Moyenne
Station T 34 (Oeud Issil Aval Marrakech)	39	131	46,8	-	2400	Très mauvaise
Station Diabet	9,7	29	0,026	0,122	570	Moyenne
Station Diabet Amont	1,4	36	0,016	0,215	120	Moyenne
Station Pont rose	0,4	31	0,044	0,141	480	Moyenne
Station Pont rose Amont	1,6	25	0,062	0,433	270	Moyenne

Annexe 3 : Qualité globale des eaux souterraines dans le bassin de Tensift El Haouz en novembre 2013.

les eaux souterraines (les sources).

<i>Nom de la Station</i>	<i>Conductivité (µs/cm)</i>	<i>Cl⁻ (mg/l)</i>	<i>NO₃⁻ (mg/l)</i>	<i>Nh₄⁺ (mg/l)</i>	<i>MO (mg o₂/l)</i>	<i>CF UFC/100 ml</i>	<i>Paramètre de qualité</i>
Source Ain El Ouafi	565	25	17,9	0,015	6	0	Moyenne
Source Abainou	827	60	18,3	<0,007	-	0	Bonne

Les Eaux Souterraines " Nappe El Haouz ".

<i>Nom de la Station</i>	<i>Conductivité (µs/cm)</i>	<i>Cl⁻ (mg/l)</i>	<i>NO₃⁻ (mg/l)</i>	<i>NH₄⁺ (mg/l)</i>	<i>MO (mg o₂/l)</i>	<i>CF UFC/100 ml</i>	<i>Paramètres de qualité</i>
Puits Douar ben Amer	-	81	7,98	0,014	-	0	Bonne
Douar Boulhoujat	-	110	12,4	0,044	-	0	Bonne
puits Razgui Boujamaa	-	146	82	0,06	-	10	Mauvaise
Forage ONEP Sidi Rahal	-	240	16,5	<0,007	-	12	Bonne
Puits Douar Boukraker	-	128	6,26	0,053	-	0	Bonne
Puits ecole des mines	-	428	46	<0,007	-	14	Moyenne
Puits Douar Ouled lamine	-	126	3,55	0,019	-	0	Excellente
Puits Douar Laatamna	-	506	3,74	0,042	-	0	Moyenne
Puits Douar Lamhamdia	-	233	3,27	0,073	-	0	Bonne
Forage ONEPchichaoua	-	222	35	<0,007	-	0	Moyenne
Puits Douar Ouled Ayoub	-	364	14,1	0,041	-	20	Moyenne
Puits ONEP Aattaouiya	-	266	22,7	0,013	-	0	Bonne
Puits Douar Ouled Akou	-	706	43,3	0,225	-	175	Moyenne
Puits Douar Ouled Moussa Laakarta	-	153	29,7	0,048	-	160	Moyenne
Puits AEP Asni	-	14,5	8,85	0,022	-	0	Bonne

Les Eaux Souterraine Nappe Bahira.

<i>Nom de la Station</i>	<i>Conductivité (µs/cm)</i>	<i>Cl- (mg/l)</i>	<i>NO₃⁻ (mg/l)</i>	<i>NH₄⁺ (mg/l)</i>	<i>MO (mg o₂/l)</i>	<i>CF UFC/100 ml</i>	<i>Paramètres de qualité</i>
Frorage ONEP Nazalat ADAM	-	674	74	0,017	-	0	Mauvaise
Puits Haj Ayad	-	231	34	<0,007	-	4	Moyenne
Puits ONEP Bounaga	-	178	34,8	<0,007	-	0	Moyenne
Puits Douar Nwasser	-	128	12,5	0,012	-	0	Bonne
Bir Lakssir	-	254	7,09	0,012	-	6300	Moyenne
Puits Dahbi Meloud	-	189	39	0,009	-	0	Moyenne
Puits Ouled Klib	-	171	36,3	0,018	-	42	Moyenne
Puits AEP Ouled Hached	-	795	17	0,013	-	0	Mauvaise
Puits Jikri Abdelkrim	-	749	71	<0,007	-	92	Mauvaise
Puits Doumo haj jaâfer	-	309	50	0,018	-	18	Moyenne
Puits Douar Nwaji	-	322	32,1	0,017	-	0	Moyenne

Les Eaux Souterraine Nappe Essaouira.

<i>Nom de la Station</i>	<i>Conductivité (µs/cm)</i>	<i>Cl- (mg/l)</i>	<i>NO₃⁻ (mg/l)</i>	<i>NH₄⁺ (mg/l)</i>	<i>MO (mg o₂/l)</i>	<i>CF UFC/100 ml</i>	<i>Paramètres de qualité</i>
Puits Laâraich	-	670	21,7	0,032	-	164	Moyenne
Puits Lahyala	-	273	26,45	<0,007	-	40	Moyenne
Puits B, Said	-	493	55,54	0,051	-	100	Mauvaise
ONEP centre Hanchane	-	227	45,4	0,014	-	0	Moyenne