



*Université Cadi Ayyad.
Faculté des Sciences et Techniques
Département des sciences de terre
Marrakech.*



*Agences du Bassin
Hydraulique Tensift.
Marrakech.*

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

Licences sciences et techniques

Eau et environnement.

Mémoire de fin d'études

Caractérisation hydrogéochimique de la nappe de Bou Sbâa.

(Région de Chichaoua, Maroc)

Par : Iman Soukrate & Safaa Zahir

Soutenu le : 28/06/2019

Encadrées par :

Mme. Berrada S. : Faculté des Sciences et Techniques-Marrakech.

Mr. Rahdou M. : Agence du Bassin Hydraulique du Tensift.

Devant le jury composé de :

Mme. BERRADA S. : Faculté des Sciences et Techniques – Marrakech (encadrante interne).

Mr. RAHDOU M. : Agence Bassin Hydraulique de Tensift – Marrakech (encadrant externe).

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

2018/2019

Remerciement

Nous tenons à remercier chaleureusement tous ceux qui ont contribué à la finalisation de ce travail, qui fait office de contribution à l'obtention de la licence sciences et technique (Eau et Environnement) et l'amélioration des procédures liées aux métiers de l'Agence du Bassin Hydraulique du Tensift.

On remercier particulièrement notre encadrante Mme BERRADA S. 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 gratitudees.

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

Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements Mr BENKADDOUR A notre cher professeur d'avoir accepté d'examiner notre travail.

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

Les mots ne suffisent pas pour remercier sincèrement nos très chers Parents pour leurs innombrables sacrifices, leurs amours, leurs encouragements, leurs soutiens, et leurs prières.

RESUME

Le stage effectué au sein de l'Agence de Bassins Hydraulique Tensift (ABHT) a pour objectif d'élaborer une étude hydrogéologique de la nappe de Bou Sbaa (Province de Chichaoua), on se basant sur les données disponibles des forages réalisés par l'ABHT et aussi une description sommaire de la qualité des eaux souterraines dans ce secteur.

Les résultats de l'analyse des données de station souterraines a permis d'évaluer la qualité des eaux dans la région d'étude qui sont classées comme des eaux de bonne qualité, malgré que la zone connaisse une activité agricole assez importante

Cependant cette activité influence sur le niveau piézométrique qui a subi une baisse de 20m dans une période allant de 2012 à 2018.

SOMMAIRE

I.	Introduction.....	7
II.	Cadre général	8
1.	Lieu du stage : Agence du Bassin Hydraulique de Tensift	8
2.	Situation géographique du bassin hydraulique de Tensift :.....	9
3.	Situation géologique :.....	11
4.	Contexte climatique :	13
4.1.	Température.....	14
4.2.	Précipitations.....	14
4.3.	Evaporation	14
4.4.	Vents.....	14
III.	Méthodologie de travail	14
1.	Principe :	14
2.	Matériels utilisés :	15
IV.	Caractérisation hydrogéologiques et hydrogéochimiques de la nappe d'Ouled Bou Sbâa	17
1.	Situation géographique	17
2.	Situation géologique :.....	19
3.	Etude de la nappe :.....	19
3.1	Contexte hydrologique :	19
3.2	Précipitations :.....	22
3.3	Contexte hydrogéologique :.....	23
3.3.1	Piézométrie et écoulements souterrains :.....	23
3.3.2	Bilan hydrique :	28
3.4	Contexte lithologique :	29
3.5	La géométrie du substratum :	31
3.6	Lithologie du substratum.....	31
4	La qualité chimique de l'eau	36
4.1	Les eaux souterraines :.....	36
4.2	Localisation des stations de prélèvement :.....	36
4.3	Interprétations des données :	36

Liste de figures

Figure 1 : Carte de la zone d'action de l'ABHT.	10
Figure 2: Carte géologique du bassin hydraulique du Tensift.	13
Figure 3 : Carte de la zone d'étude.	18
Figure 4: Carte géologique de la nappe de Bou Sbâa	20
Figure 5 : Réseaux hydrographique de la zone d'étude - Nappe Bou Sbaa	21
Figure 6 : Précipitation mensuelles de la station de Chichaoua (2000-2018)	22
Figure 7: Précipitation annuelles de la station de Chichaoua (2000-2018)	23
Figure 8 : Carte piézométrique de la nappe de Bou Sbaa	25
Figure 9 : carte piézométrique de la nappe de Bou Sbaa	25
Figure 10 : Carte de forage de reconnaissance	30
Figure 11: logs lithologiques.	35
Figure 12: localisation des stations de prélèvements.	36
Figure 13: carte piézométrique de la nappe de Bou Sbaa.	50

Liste des tableaux

Tableau 1: Affluents atlasique traversant la nappe de Bou Sbaa.	19
Tableau 2: Bilan hydraulique de la nappe de Bou Sbaa en 2015(PDAIRE ABHT).	28
Tableau 3: Analyses des eaux de la nappe de Bou Sbaa. (Source: ABHT)	37
Tableau 4: Grille d'appréciation de la qualité des eaux souterraines (source : ABHT).	39
Tableau 5: données de sondage de reconnaissance nappe de Bou Sbaa(source: ABHT)	46
Tableau 6: données forages.	47
Tableau 7:Données climatologique.	49

Tableau des Abréviations

ABHT : l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift

AEP : Alimentation en Eau Potable.

B.V : Bassine Versant.

CF : Coliformes Fécaux.

CL⁻ : le Chlorures

IRE: Indice Régionale de l'Eau.

PDAIRE: Plans Directeurs d'Aménagements Intégrés des Ressources en Eaux.

MO: la Matière Organique

NH⁴⁺ : Ammonium

NO₂⁻ : Nitrite

NO₃⁻ : le Nitrate

ph : Potentiel Hydrogène

SIG: Système d'Information *Géographique*.

SO₄²⁻ : Sulfate

UFC : Unité de Formation de Colonies.

I. Introduction

Le présent travail rentre dans le cadre de stage de fin d'étude de la Licence Sciences et Techniques « Eau et Environnement » à la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech. Il a été effectué au sein de l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift (ABHT).

Géographiquement, le bassin de Tensift 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 6000Km², 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.

La zone d'action de l'ABHT est caractérisée par un climat aride à semi aride, une irrégularité importante des précipitations et du régime de l'oued et une grande variabilité de recharge de la nappe. Les ressources en eaux sont caractérisées par une pénurie, qui s'accroît avec la croissance démographique.

A ce facteur quantitatif handicapant le développement des ressources hydriques s'ajoute la détérioration de la qualité de l'eau. Cette dernière constitue une menace aussi importante que celle de la limitation des équilibres quantitatifs.

Les bilans des ressources hydrauliques se fondent sur l'hypothèse que l'eau disponible est de qualité satisfaisante, ce qui n'est toujours pas le cas.

En effet, dans le cadre de la protection et la préservation de ces ressources en eau, on doit parvenir à une connaissance précise de la qualité des eaux : comme l'identification des eaux les plus polluées, la détermination de l'origine de cette

pollution, et les pollutions potentielles, qui peuvent affecter les ressources en eau. En implantant à leur niveau des points de surveillance, pour assurer un contrôle efficace de la qualité de l'eau.

A cet effet, notre stage de fin d'études consiste à élaborer une analyse hydrogéologique de la nappe de Bou Sbaa, on se basant sur les données disponibles des forages réalisés par l'ABHT dans cette unité hydrogéologique, et aussi une description sommaire de la qualité des ressources en eau dans ce secteur.

La présente étude est organisée en deux parties :

- Une première partie qui décrit le contexte géographique, géologique et hydrogéologique du secteur d'étude, et présente la méthodologie adoptée dans cette étude.
- Une deuxième partie dans laquelle nous exposons les résultats d'analyses et d'interprétations des données (paramètre physico-chimiques des différents systèmes aquifères).

II. Cadre général

1. Lieu du stage : 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 la 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).

2. Situation géographique du bassin hydraulique 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 montagnes nommées « 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. (Sahili. E, 1996).

Administrativement, cette zone s'étend sur Huit Préfectures et Provinces, elle couvre totalement la préfecture de Marrakech et les Provinces d'Al Haouz, de Chichaoua, et partiellement les Provinces d'Essaouira, d'El Kalaâ des Sraghna, de Rhamna, d'El Youssoufia 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.

3. Situation géologique :

Le cadre géologique du bassin du Tensift s'articule sur l'organisation du socle primaire, affleurant dans le Haut Atlas, les Jbilet et les Rehamna, qui se sont structurés au cours des temps géologiques sous l'effet de l'évolution des champs de contraintes, des phases de surrections et d'effondrements, et des époques d'érosion et de sédimentation. La zone d'action de l'ABHT s'étend sur les unités géographiques suivantes :

- **Plateau des Gantour et plaine de la Bahira occidentale**

La zone des Gantour se présente sous forme d'un plateau monoclinale à pendage sud plongeant des Rehamna vers les Jbilet. La Bahira occidentale se présente sous forme d'une dépression synclinale enserrée entre les Rehamna au Nord et les Jbilet au Sud. Le socle primaire est recouvertes par des formations de couvertures triasiques, crétacées et éocènes, antérieures aux premiers mouvements atlasiques ; ces formations affleurent au Nord, s'enfoncent sous la plaine vers le Sud et se terminent en biseau au Sud contre le socle paléozoïque.(Khalil, N. 1989)

- **Jbilet et Mouissate**

Les Jbilet sont des formations paléozoïques comportant de puissantes séries de calcaires, schistes et grès. Les Jbilet s'étirent à l'affleurement selon une direction Est-Ouest, perpendiculaire aux orientations hercyniennes dont les effets se matérialisent par une segmentation de cette structure. Les Mouissate sont complètement formés par les formations du jurassique supérieur, transgressif sur le paléozoïque ou le Stephano-trias de l'extrémité occidentale des Jbilet.

- **Bassin du Haouz et plaine de Mejjat**

La plaine du Haouz et sa bordure occidentale est limitée par la chaîne atlasique au Sud et l'oued de Tensift au Nord. Elle s'étend d'Est en Ouest. Sur une superficie de 6.000 km², sa largeur moyenne étant de l'ordre de 40 km.

Du point de vue géologique, la nappe du Haouz est un bassin de sédimentation d'origine tectonique, dans lequel se sont accumulés au Néogène et au Quaternaire d'importantes formations détritiques issues du démantèlement de la chaîne atlasique au cours de son soulèvement. (Sinan. M, 2000).

La plaine renferme une nappe dont les écoulements souterrains s'établissent dans les alluvions plio-quaternaires et les formations du Néogène dont la puissance globale varie entre 50 et 80 m et peut atteindre localement 120 m.

La surface libre de la nappe s'établit en moyenne à 30 m sous le niveau du sol, mais se situe entre 5 à 10 m le long de l'Oued Tensift et peut descendre jusqu'à 80 m le long du piémont de l'Atlas. Dans les zones où l'eau souterraine fait l'objet d'une exploitation intensive, elle s'établit aux environs de 40 à 50 m. Les productivités de la nappe sont généralement bonnes. Elles sont de quelques litres par seconde et peuvent atteindre par endroit 50 l/s ; mais en se rapprochant de la zone piémontaise, elles deviennent de plus en plus faibles.

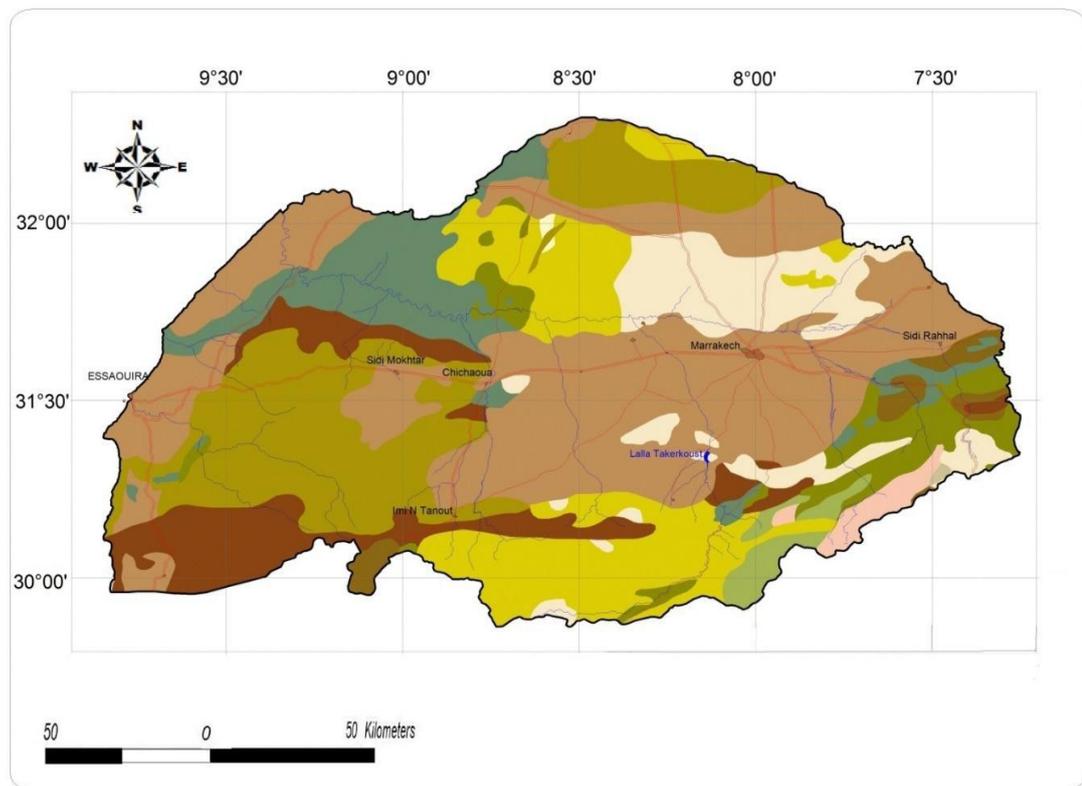
- **Bassin d'Essaouira – Chichaoua et zone Côtière d'Essaouira**

Fait partie du grand bassin côtier du Sud-ouest marocain, s'étendant entre El Jadida au Nord et Agadir au Sud. La partie Sud de ce bassin, comprise entre l'oued Tensift et la plaine du Souss, correspond au Haut Atlas occidental.

Les terrains à l'affleurement sont dominés par les formations du Crétacé dont les structures de surface reflètent l'empreinte de l'orogénèse atlasique ; la zone côtière et la partie orientale du bassins ont couvertes par des dépôts du Néogène et du Pléistocène.

Le socle paléozoïque, profondément enfoui sous une épaisse série mésozoïque, affleure largement à l'est du bassin, au niveau du Jbilet et du massif ancien du Haut Atlas.

La zone d'étude prise en compte dans ce travail s'étend uniquement sur le bassin d'Essaouira et Chichaoua.



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: Carte géologique du bassin hydraulique du Tensift.

4. Contexte climatique

Le climat régnant sur l'ensemble du bassin est de type aride à semi-aride à influence océanique près des côtes. En raison de son étendue et de son relief, la région se caractérise par un climat très différencié d'une zone à l'autre, ainsi, le climat est semi-aride influencé par le courant froid des Canaries dans la zone côtière, semi-aride chaud dans les Jbilet, continental de type aride dans le Haouz et le Mejjat et semi humide en montagne.

4.1. 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 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).

4.2. Précipitations

Le climat de la région se distingue par une variabilité apparente tant au point de vue température et humidité que de point de vue pluviométrie (faible et irrégulière). Il reste soumis aux influences de l'Océan Atlantique et aux altitudes très élevées du Haut Atlas.

4.3. Evaporation

L'évaporation moyenne annuelle varie de 1 800 mm sur le versant atlasique à 2 600 mm dans la plaine du Haouz. Elle est minimale pendant le mois de Janvier et maximale pendant la saison d'été.

4.4. Vents

La région est dominée par deux types de vents : Le Chergui soufflant de l'Est et le vent du Sud qui est chaud et sec le Gharbi, humide et porteur de pluie, soufflant de l'Ouest

III. Méthodologie de travail

1. Principe

L'objectif du présent travail est de synthétiser des données géologiques et hydrogéologiques collectées à partir des forages réalisés dans la nappe de Bou Sbâa par l'ABHT. Pour ce faire, la durée du stage a été subdivisée en deux phases :

Phase 1 : Visites de terrain

Le métier de l'hydrogéologue est basé en grande partie sur des missions de terrain afin de repérer les différents indices lors de la phase de l'investigation hydrogéologique, mais aussi, au moment de la réalisation des sondages de reconnaissance, dont l'hydrogéologue doit assister et établir les logs des forages, le long de l'avancement de la foration, avant de réaliser des essais de pompage qui vont déterminer les caractéristiques hydrauliques du forage (essais par paliers) et de la nappe (Essai de nappe), ainsi ses limites d'exploitation.

Pour cela, une série des visites de terrain ont été effectuées, afin de connaître de près, ce métier et ses attributions, ainsi explorer les techniques de foration adopter par l'ABHT dans le contexte de la nappe de Bou Sbaa. Ainsi que la technique utilisée pour les mesures du niveau de l'eau dans les forages « niveau piézométriques ».

Phase2 : tâches de bureau

La démarche adoptée dans cette phase est la suivante :

- a) Collecter les données : logs, bulletins de forage, données de qualité...etc.
- b) Saisi des données collectées et établissement des bases de données ;
- c) Dépouillement des données ;
- d) Traitement des données ;
- e) Analyse et Synthèse hydrogéologique, hydrochimique et géologique.

- **Collecte et saisie des données**

Nous avons en première étape collecté toute la documentation archivée relative à la nappe Bou Sbaa (rapports de thèses, études antérieures, bulletin de forage et de la qualité...)au niveau des services techniques spécialisés. Ainsi qu'une exploitation des données et monographies relatives à la géologie, à l'hydrogéologie aux ressources

En suite nous avons rapporté les données points d'eau dans les fichiers IRE disponible auprès de l'Agences du Bassin Hydraulique de Tensift (ABHT). Aussi, nous avons saisi des données récupérer sous format papier dans la base de données destinées pour chaque typologie.

- **Dépouillement des données**

C'est un Prétraitement des informations collectées. Il a pour but d'identifier, de vérifier, de trier et de classer ces données en fonction de leurs utilités dans l'analyse et la synthèse hydrogéologique.

- **Traitement des données**

La phase suivante consiste à traiter les données collecter afin d'élaborer les différents graphiques et cartes permettant la lecture, l'analyse et la synthèse des données collectés. Comme exemple les logs lithologiques des forages, les cartes SIG, les graphes chronologiques et la carte piézométrique.

2. Matériels utilisés

Les cartes ont été réalisées par les logiciels Surfer et ArcGis, et les graphes par le logiciel tableur Excel au niveau desquels on utilise les données géologiques et hydrogéologiques disponibles.

➤ **Matériels utilisé sur terrain**

La température, la conductivité, le pH, doivent être mesurés in situ. En effet, ces paramètres sont très sensibles aux conditions de milieu. Pour cela on a utilisé les matériels suivants pour effectuer ses mesures :

- Un thermomètre : à l'aide de ce dernier on a mesuré la température de l'eau ainsi que celle de l'air.
- Le conductimètre : La conductivité électrique est l'image de la minéralisation globale d'une solution aqueuse. Elle dépend de la quantité de sels en solution. Le conductimètre est un appareil permettant de mesurer la conductivité d'une solution. Il est constitué de deux parties : un boîtier électronique qui affiche la valeur de la conductivité et d'une cellule qui mesure cette valeur.
- Le pH mètre : Le pH-mètre est un appareil permettant de mesurer le pH d'une solution. Il est constitué de deux éléments : un boîtier électronique qui affiche la valeur du pH et une électrode qui mesure cette valeur.
- La sonde piézométrique : c'est un outil qui permet de mesurer le niveau d'eau.

➤ **Matériels bureautique**

- **Arcgis** : est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde. c'est un logiciel qui permet de établir les cartes.
- **log Plot** : Log Plot est un programme de traçage des logs facile à utiliser avec une structure des logs flexible et un éditeur de données intuitif. Le logiciel Log Plot est utilisé par les géo scientifiques depuis 1983 pour afficher leurs données géotechniques, environnementales, géophysiques, de boue / gaz et d'exploitation minière sous forme de journal de sondage graphique .c'est un logiciel qui permet de dessiner les logs lithologique.
- **Surfer** : conçu pour permettre de réaliser des modèles numériques de terrain (MNT) issus des données que vous aurez récoltées sur le terrain via DGPS. Le principe de Surfer est le suivant : le logiciel vous permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières de vos points : X ; Y ; et Z a fin de les ordonnées. C'est à

partir de ces grilles qu'ont pour créer plusieurs types de cartes : basemap, contourmap, 3Dsurface, vector et bien d'autres...

- **Tableau Excel** : permettre de réaliser des tableaux et déduire des graphs.

IV. Caractérisation hydrogéologiques et hydrogéochimiques de la nappe d'Ouled Bou Sbâa

1. Situation géographique

La nappe d'Ouled Bou Sbâa est localisée dans le plateau du même nom, s'étendant sur une superficie de près de 1600 km². Ce plateau occupe la partie Est du bassin d'Essaouira-Chichaoua (fig. 2). Elle est limitée :

- A l'ouest par le bassin de Meskala-Kourimat.
- A l'est par l'oued Chichaoua, marquant la limite avec la nappe du Haouz-Mejjate.
- Au sud par le Haut-Atlas.
- Et au nord par l'oued Tensift.

La nappe d'Ouled Bou Sbâa s'étend complètement ou partiellement sur 23 communes. Les communes Ahdil, Aït Hadi, Sidi Bouzid Arragragui et Saïdate, sont partagées avec la plaine du Haouz-Mejjate.

Les Cercles qui subdivisent la zone sont Chichaoua, Imin'Tanout, Mtouga et Essaouira, appartenant aux Provinces de Chichaoua et Essaouira. (PDAIRE ABHT).

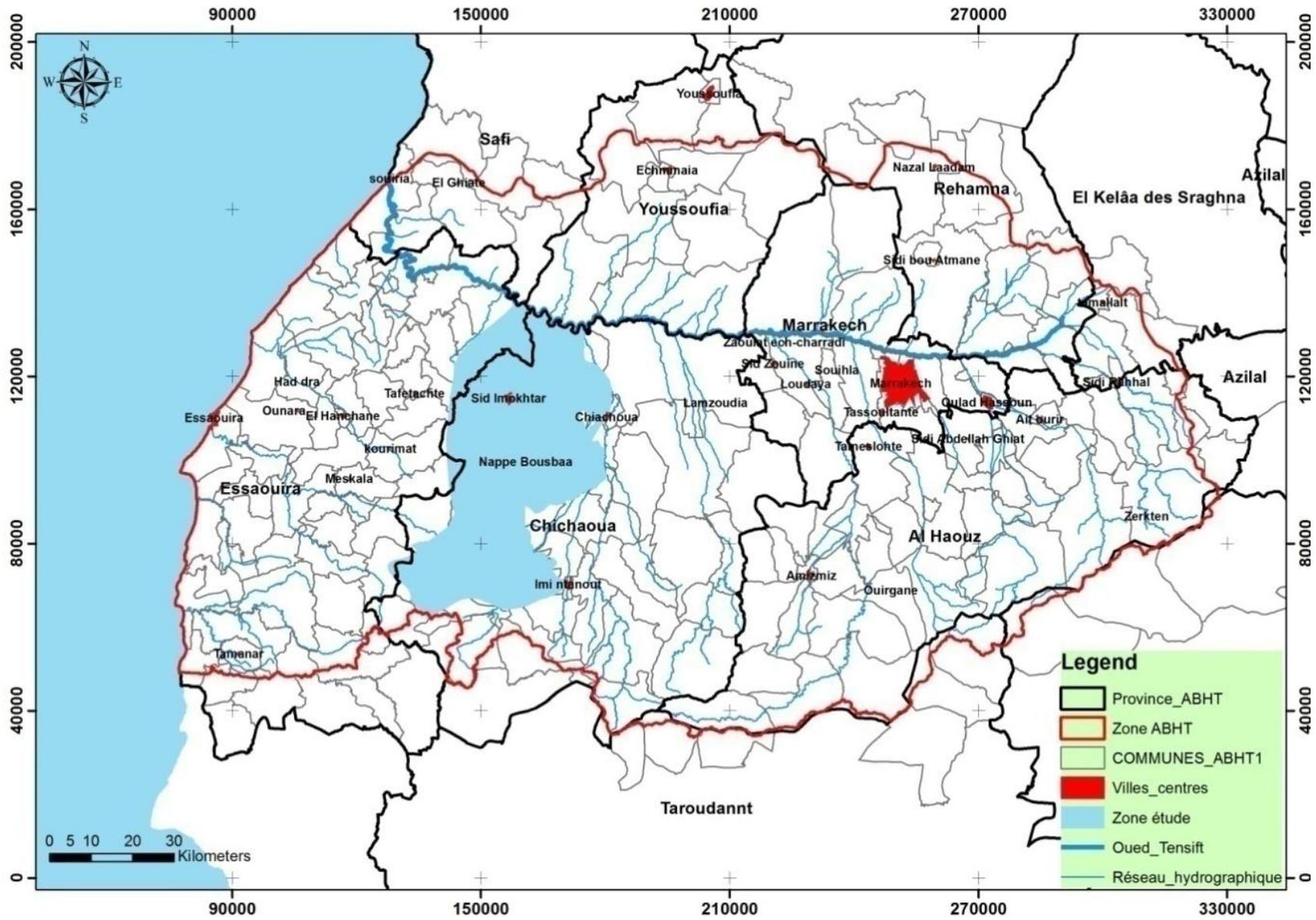


Figure 3 : Carte de la zone d'étude.

2. Situation géologique

Le plateau de Bou Sbaa est un vaste synclinal éo-crétacé recouvert d'une pellicule paléo-quadernaire s'étendant sur une superficie de l'ordre de 1600 Km². Les coupes géologiques établies pour cette structure montrent que la nappe est constituée de formation calcaire attribuée à l'éocène, cénonanien et turonien. Les formations disparaissent à environ 10 km au sud du centre Sidi Mokhtar ; celles de l'éocène disparaissent, quant à elles, au voisinage du centre où les formations du cénonanien sont subafluentes. (<http://www.eau-tensift.net>)

3. Etude de la nappe

3.1 Contexte hydrologique

Le principal cours d'eau de la région est celui de l'Oued Chichaoua. Ce dernier est le collecteur des Oueds Ameznass, Imintanout et Seksaoua prenant naissance dans le Haut-Atlas. Ces trois oueds sont souvent à sec, leur écoulement est tributaire des saisons pluvieuses (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). L'oued Chichaoua est soutenu par les sorties des émergences sourdant le long de cet oued (PDAIRE.ABHT).

Tableau 1: Affluents atlasique traversant la nappe de Bou Sbaa.

Oued	Surface du B.V km ²	Station	N° IRE	Module annuel (m ³ /s)
Chichaoua	2200	Chichaoua	451/52	0.75
Seksaoua	566.6	Iloudjane	628/52	1.57
Imi N'Tanout	145.5	Imi N'Tanout	-	0.4
Ameznass	573	-	-	-

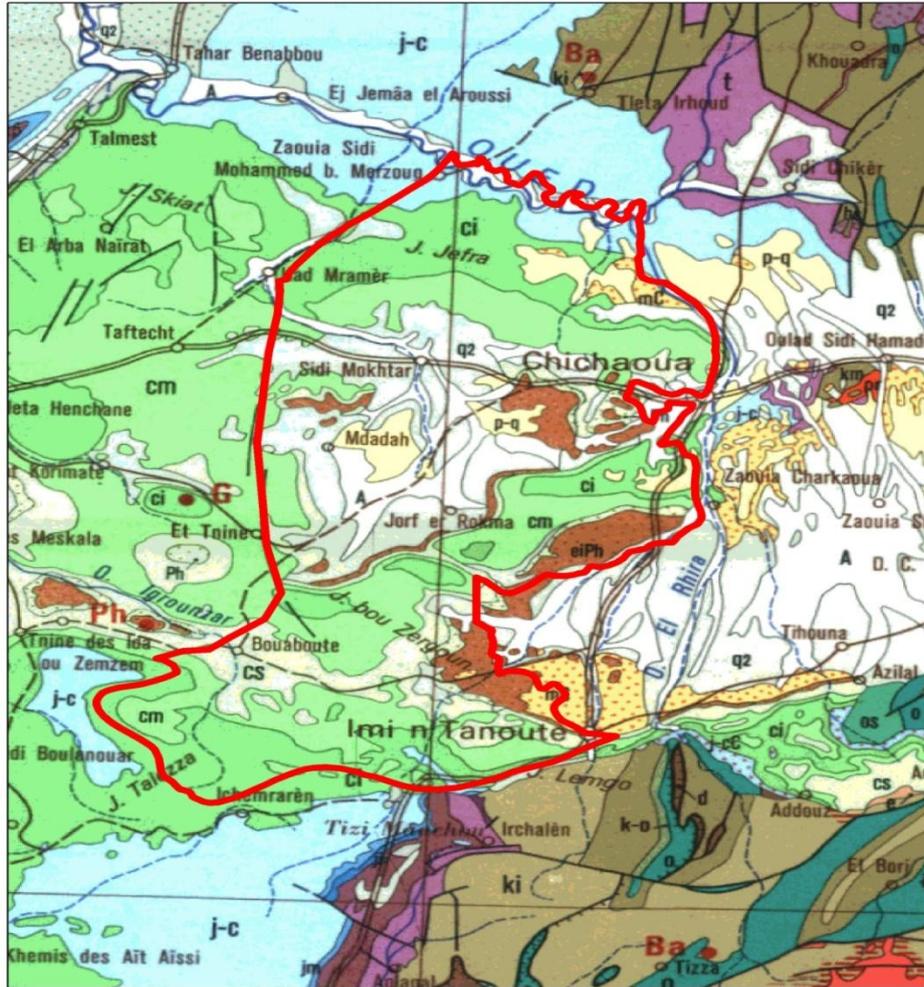


Figure 4: Carte géologique de la nappe de Bou Sbâa

3.2 Précipitations

C'est la première matière de l'alimentation du réseau hydrographique et des nappes souterraines.

Pendant l'année, on distingue deux saisons :

- La saison d'Octobre à Avril où les précipitations sont maximales, avec un maximum mensuel entre Décembre et Novembre.
- La saison sèche débute en Mai, avec un déclin rapide des précipitations. Juillet et août sont les mois les plus secs.

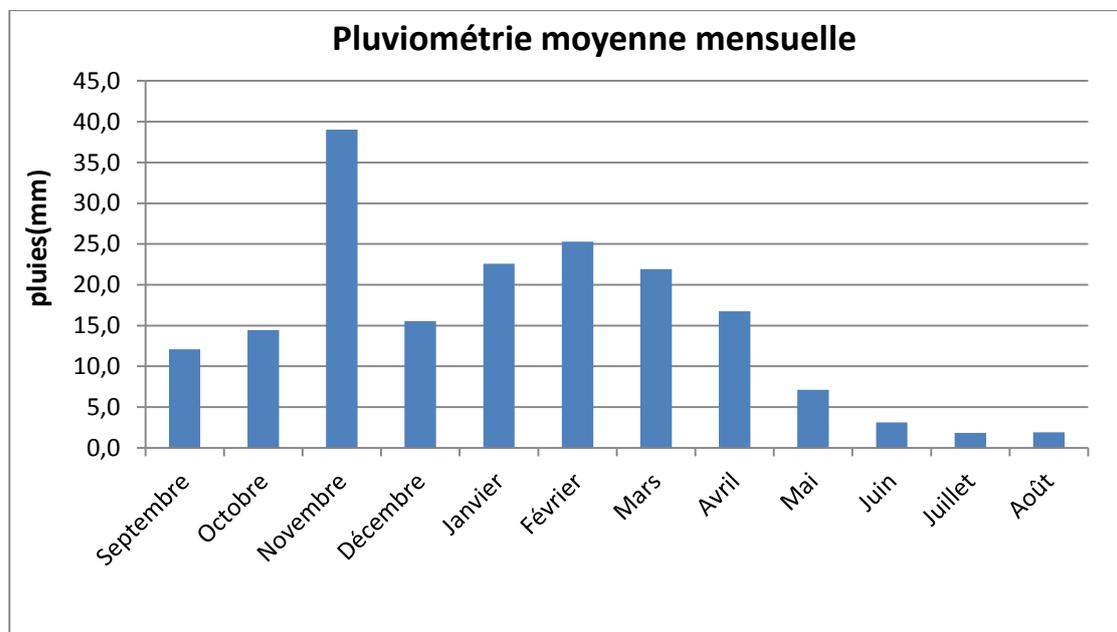


Figure 6 : Précipitation mensuelles de la station de Chichaoua(2000-2018)
(source : ABHT)

La figure 6 montre qu'on a deux périodes qui sont bien distinctes ; la période humide et la période sèche qui sont décrites auparavant. C'est un climat méditerranéen.

On remarque aussi une augmentation de précipitation brutale au mois de Novembre, résultant des précipitations impressionnantes correspond à l'année 2014, qui ont atteints 125.6 mm pendant ce mois.

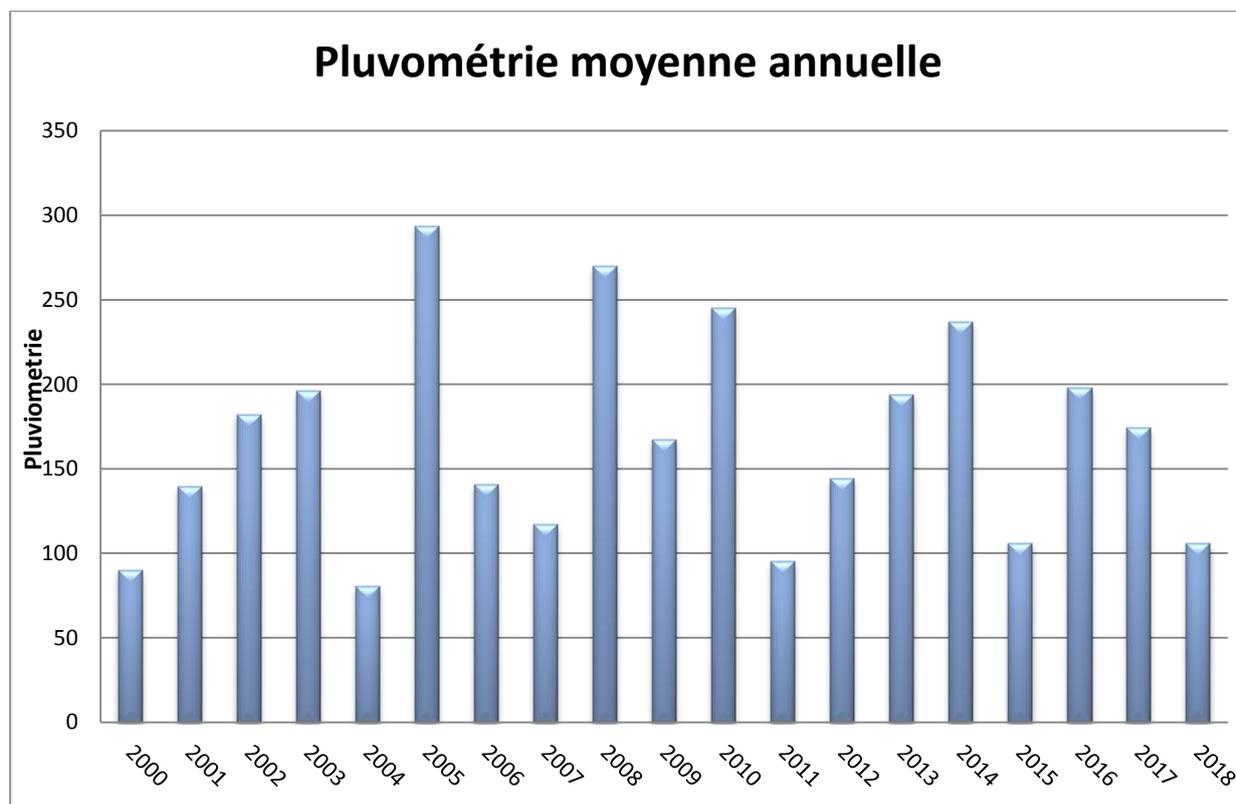


Figure 7: Précipitation annuelles de la station de Chichaoua (2000-2018)

(Source : ABHT).

La figure 7 illustre une grande variation du total de précipitations pendant les années de 2000 à 2018. Avec un maximum de précipitations atteint en 2005 et un minimum en 2004.

3.3 Contexte hydrogéologique

3.3.1 Piézométrie et écoulements souterrains

L'existence de plusieurs niveaux aquifères superposés et l'absence de captages d'eau dans de nombreux secteurs, rendent difficiles la réalisation d'une carte piézométrique précise dans la plaine de Bou Sbaâ. Cependant, les données collectées nous ont permis

d'établir la carte piézométrique par zone représentée dans la figure ci-dessous, en se basant sur le logiciel Arcgis.

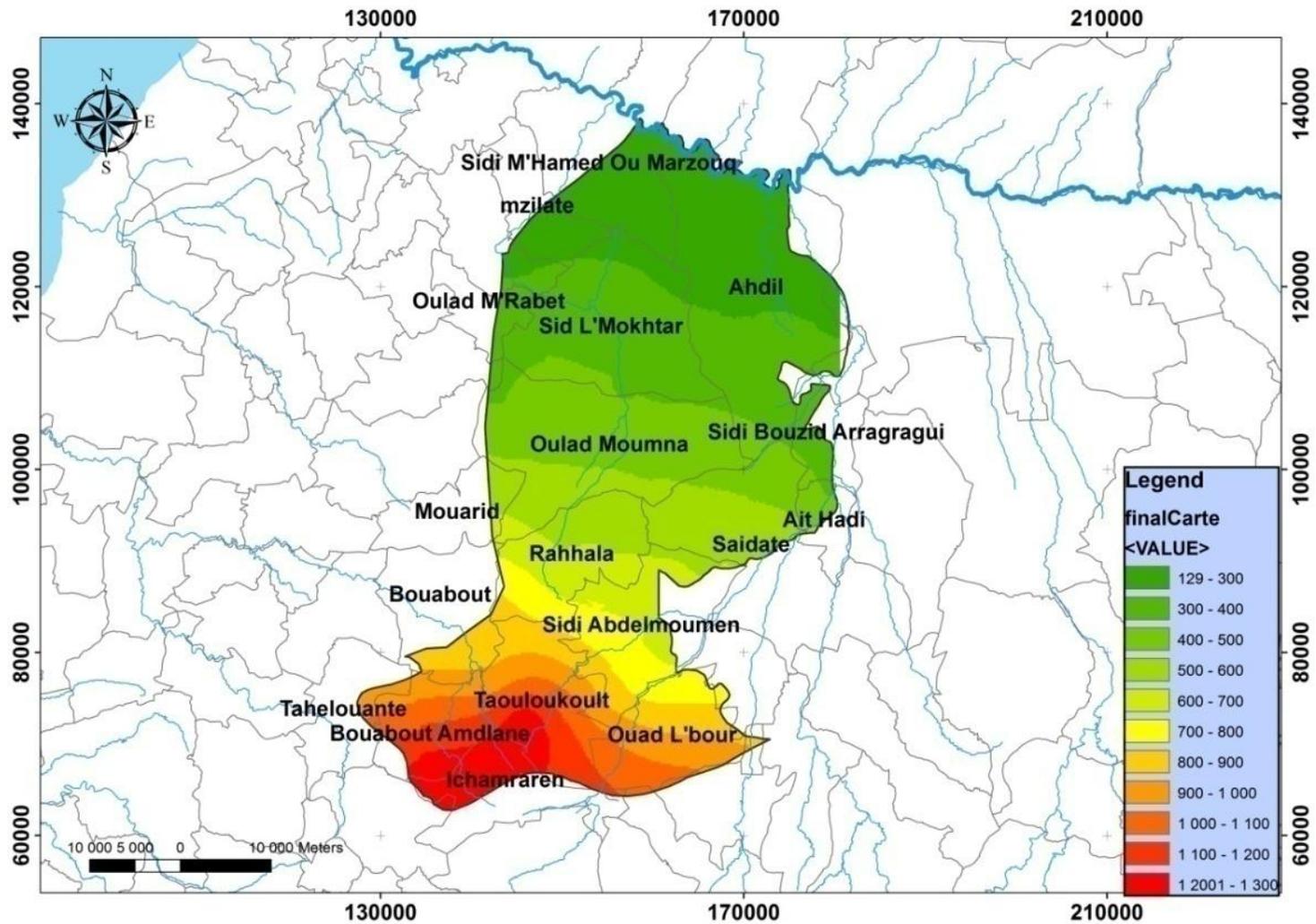


Figure 8 : Carte piézométrique de la nappe de Bou Sbaa

La carte réalisée (fig. 8).concorde parfaitement avec la carte piézométrique suivante récupérée auprès de l'ABHT (fig.9).

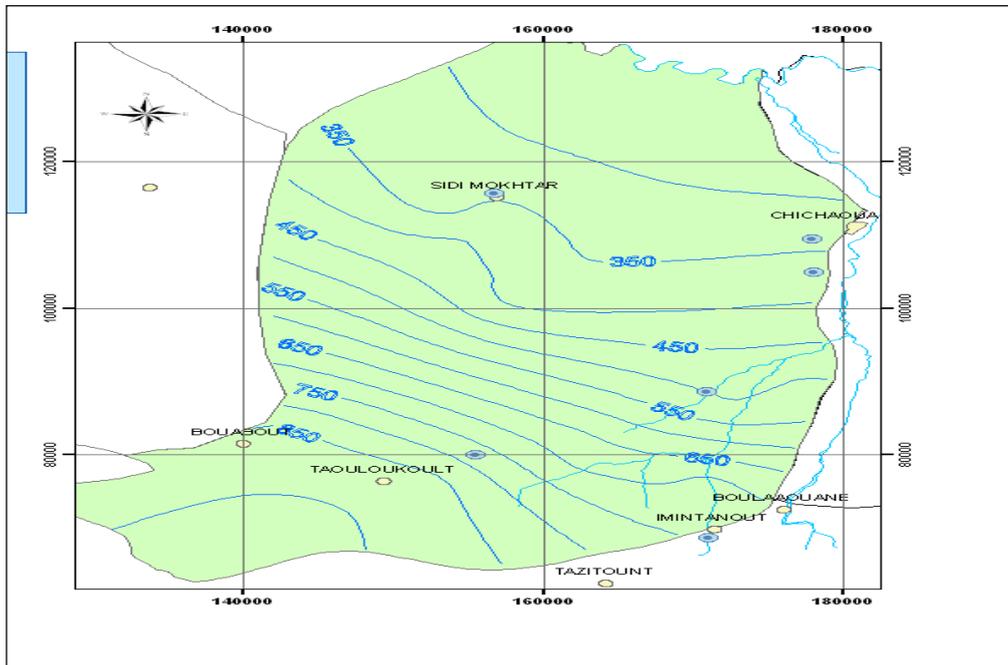


Figure 9 : Carte piézométrique de Bou Sbaa (source: ABHT).

Interprétation

Les cartes au dessus montrent des écoulements souterrains du Sud Ouest vers le Nord Est, se dirigeant globalement du Haut-Atlas (le Sud) vers oued Tensift au Nord. Les gradients hydrauliques sont plus élevés en amont.

Dans la commune de Sid El Mokhtar, un secteur à piézométrie déprimée est observé. Il est lié à une activité de pompage concentrée à ce niveau, du à l'activité agricole observé dans cette zone.

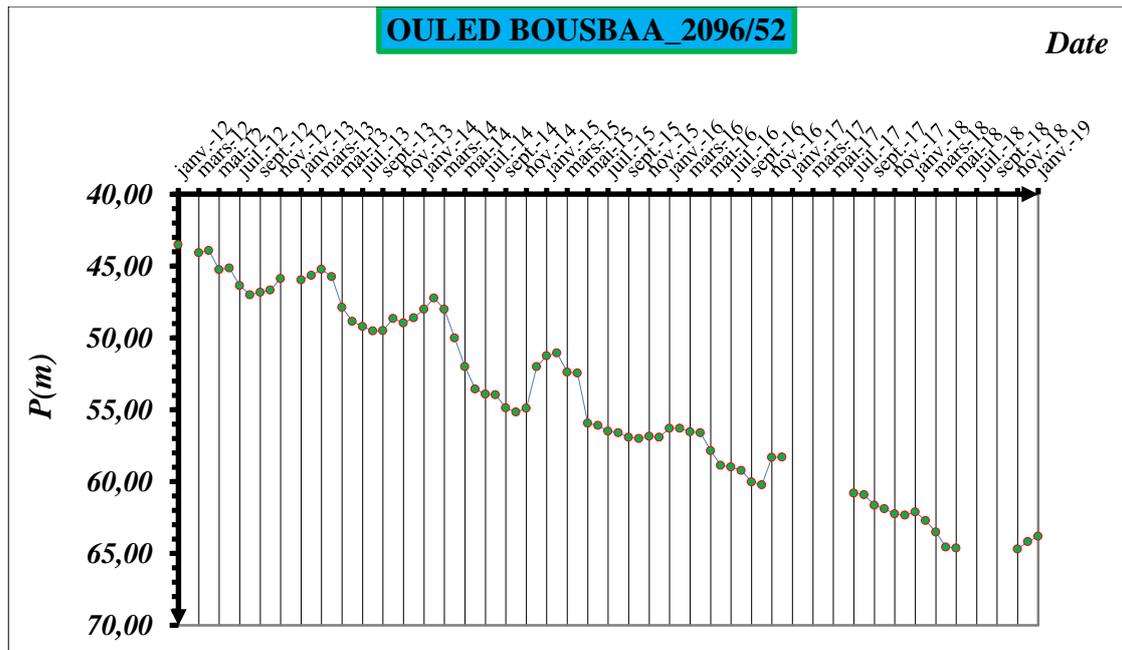


Figure 10: L'évolution de la nappe de Bou Sbaa (2012-2019).

On remarque une diminution progressive presque de 20 m du niveau piézométrique de la nappe de Bou Sbaa au cours de six années (2012- 2018).

On observe aussi des pics qui se répètent chaque année, ils correspondent à des variations saisonnières : la saison humide correspond à une légère augmentation qui débute en septembre jusqu'à mai, et la saison sec correspond à une faible diminution.

Cette baisse du niveau piézométrique observée à l'échelle de la nappe de Bou Sbaa est due essentiellement au sur-pompage à cause de l'activité agricole qui connaît l'air d'étude, notamment des cultures qui consomment beaucoup d'eau comme les pastèques, les tomates, et les melons ;...etc. notamment que la pluparts des points d'eau situés dans la nappe sont destinés à cet usage, et ne sont pas contrôlé par des débitmètres.

3.3.2 Bilan hydrique

Le tableau suivant indique le bilan hydrique de la nappe de Bou Sbaa en 2015. Il se fait pour connaître et de suivre l'évolution de la réserve en eau.

Tableau 2: Bilan hydraulique de la nappe de Bou Sbaa en 2015(PDAIRE ABHT).

Le tableau suivant montre que le bilan hydraulique de l'année 2015 est positif, ce qui concorde avec la figure 10 qui présente une stabilité de niveau piézométrique dans cette année.

Entrées	Mm³/an	m³/s
Infiltrations directes	17	0,550
Infiltration le long des oueds	11	0,350
Abouchement latéral au Sud	28	0,880
Total entrées	56	1,780
Sorties	Mm³/an	m³/s
Prélèvements agricoles	5,20	0,165
Prélèvements AEP	1,10	0,350
Déversement vers la nappe Mejjate	9,50	0,300
Sorties sources	37	1,163
Total sorties	52,80	1,663
Bilan	+3,2	0,117

3.4 Contexte lithologique

Pour étudier la lithologie de l'aquifère de cette nappe, l'ABHT a effectuée plusieurs forage de reconnaissance, en se basant sur la méthode de forage fond de trou ou forage à l'air

Description de la technique de forage

La technique de forage est basée sur un outil que l'on appelle Marteau Fond de Trou qui fonctionne comme un brise béton en frappant sur un taillant où sont insérés des pointes en carbure de tungstène pour détruire le rocher.

Il s'agit d'un système combiné de mouvements de rotation et de translation assurés par un train de tiges. La perforation s'effectue par percussion et soufflage au moyen d'un marteau situé au fond du trou et de l'air comprimé fourni par un compresseur. L'outil de percussion est le taillant qui se fixe directement sur le marteau fond de trou par lequel est entraîné dans un mouvement rapide de va et vient vertical.

L'ensemble « marteau-taillant » se trouve au fond du forage à l'extrémité du train de tiges qui lui communique le mouvement de rotation fourni par un moteur thermique.

Par le train de tiges arrive également l'air nécessaire à son fonctionnement. L'évacuation de l'air se fait au travers du taillant et son volume important permet de souffler les débris de rochers vers la surface.

Si des venues d'eau sont rencontrées pendant la foration, l'eau est évacuée à la surface de la même manière que les déblais.

Le marteau est lubrifié par de l'huile qui est injecté dans le circuit d'air comprimé. Cet air permet essentiellement de:

- Lubrifier et refroidir le marteau;
- Faire remonter les cuttings;
- Entraîner le marteau et assurer la rotation du train de tiges.

La localisation des forages effectués dans la zone d'étude est représentée sur la figure11.

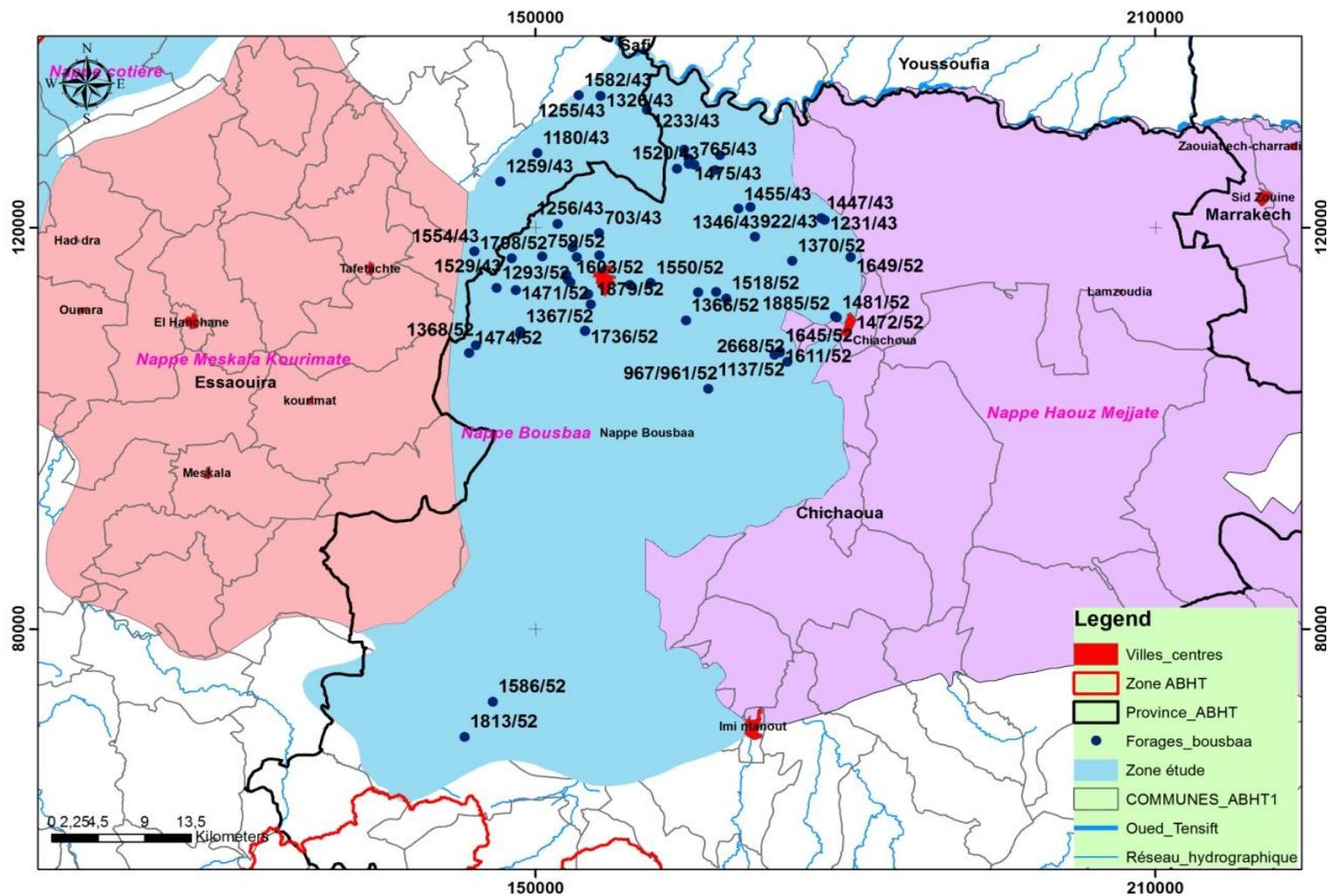


Figure 10 : Carte de forage de reconnaissance

3.5 La géométrie du substratum

La zone d'Ouled Bou Sbâa est marquée par 3 unités structurales (PDAIRE ABHT) :

- la zone synclinale au pied du Haut-Atlas (région de Taouloukoul).
- la zone anticlinale prolongeant l'anticlinal de Marmouta, appelée "Crête anticlinale des Ouled Bou Sbâa soulignée par quelques pointements de marnes et d'argile du crétacé inférieur.
- Une zone synclinale au sud de Sid L'Mokhtar dite synclinal des Ouled Bou Sbaa présentant une couverture plio-quadernaire de l'ordre de 80m vers le centre qui masquant les formations éocènes.

Le substratum de la nappe est représenté par les marnes vertes et argiles du Crétacé inférieur. Sa topographie est imprécise. Il affleure au niveau de la crête anticlinale de Bou Sbâa et plonge sous le synclinal de Sid El Mokhtar.

3.6 Lithologie du substratum

Le plateau de Bou Sbâa est un vaste **synclinal calcaire éo-crétacé**, recouvert d'une faible couverture plio-quadernaire.

De par leur faible épaisseur dans la plaine de Bou Sbâa, les formations plio-quadernaires recèlent généralement une nappe de faible importance. **La principale ressource en eau souterraine est constituée par l'aquifère Eo-Crétacé**. Ce dernier est formé par les calcaires cénomano-turonien (Imintanout, Taouloukoul, Zaouiet Sidi Abdel Moumen) et les calcaires éocènes du synclinal d'Ouled Bou Sbaâ et de la cuvette de l'oued Biod. Comme il a été prouvé dans l'ensemble des sondages de reconnaissance collectés auprès de l'ABHT¹. (PDAIRE ABHT).

¹Voir les logs lithologiques indiqués dans le rapport.

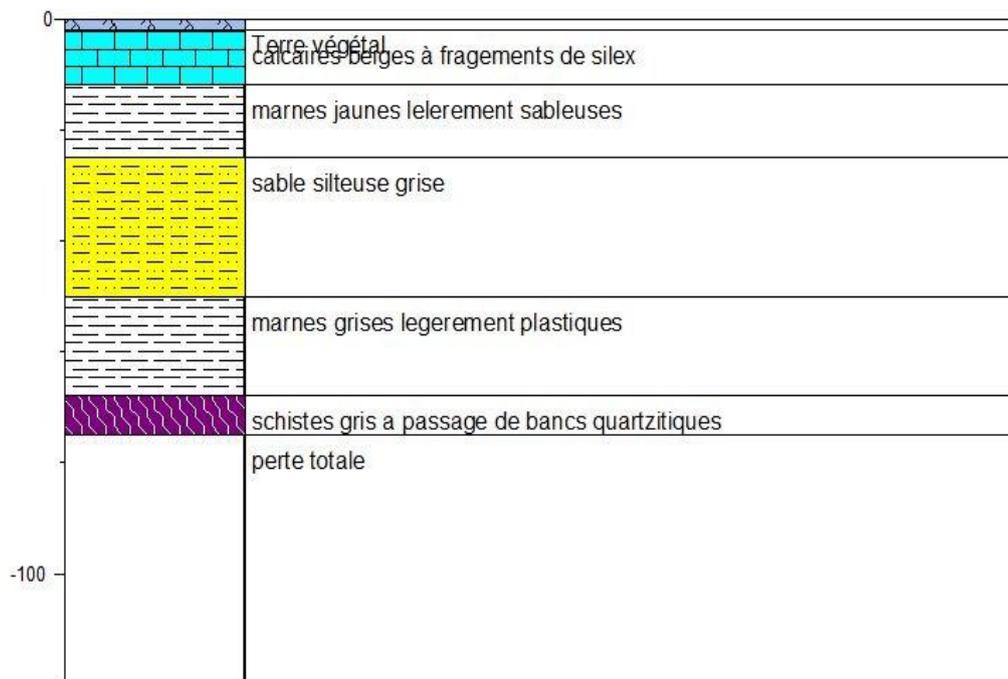


SANDAGES SERECONNAISSANCE

IRE 1255/43

X 156300

Y 133100



SANDAGES DE RECCNNAISSANCE

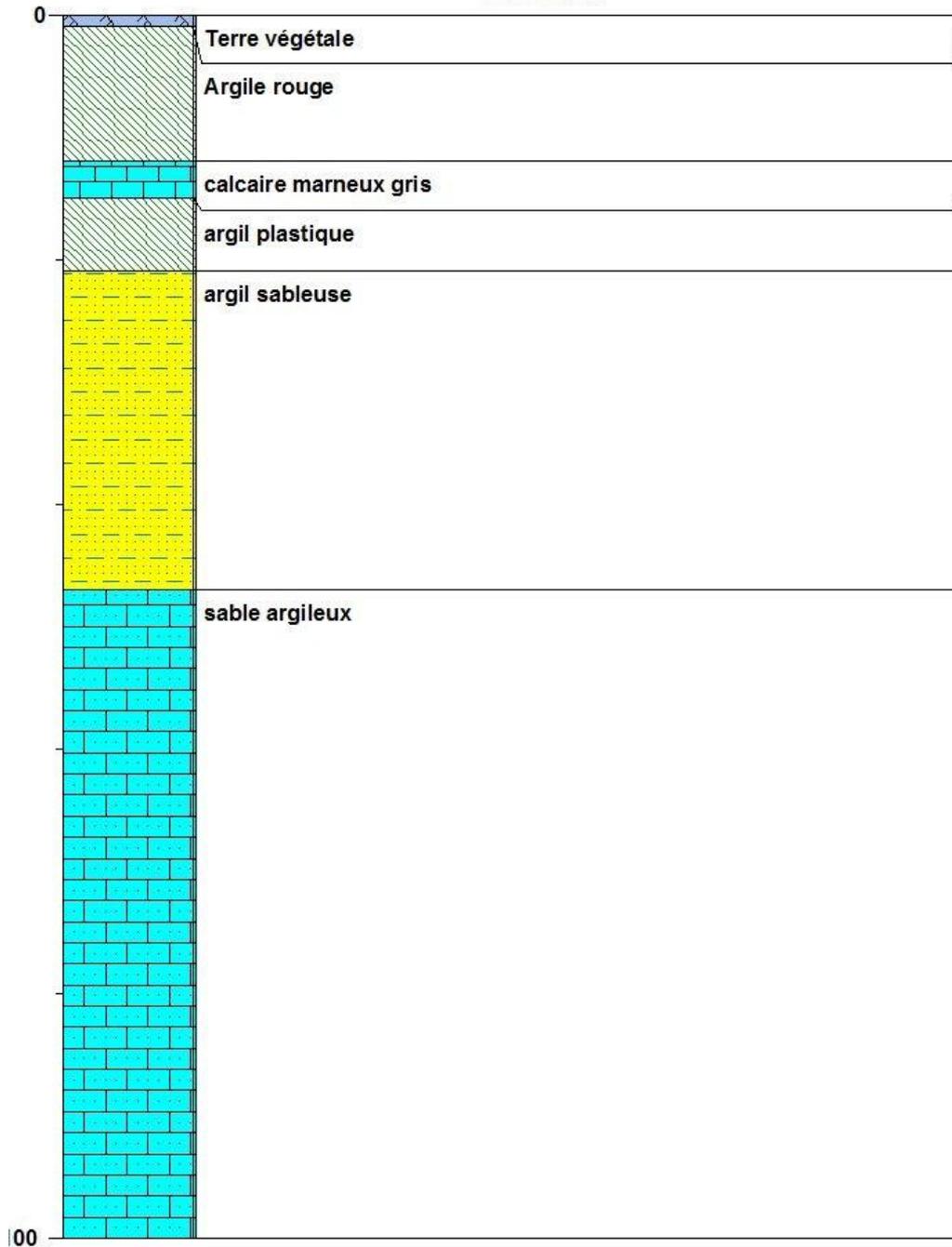


مجلس المياه والري
Agence du Secteur Hydraulique du Maroc

IRE 1813/52

X 143150

Y 69200



SANDAGES DE RECCNNAISSANCE

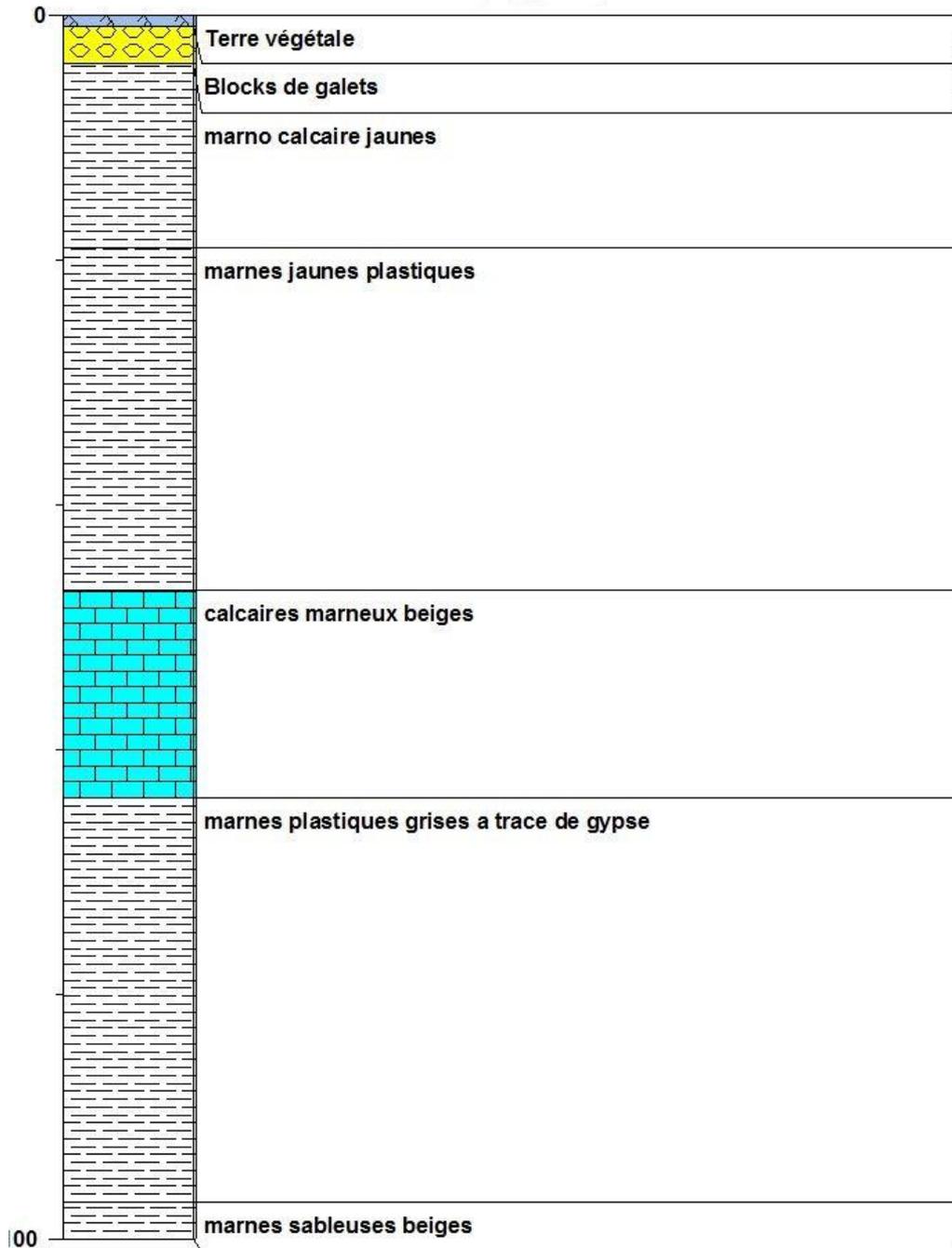


مجلسة القومس المانه للامنه
Agence du Service Hydrogeologique de Maroc

IRE 1550/52

X 161150

Y 114450



SANDAGES DE RECCNNAISSANCE



IRE 1137/52

X 173150

Y 107300

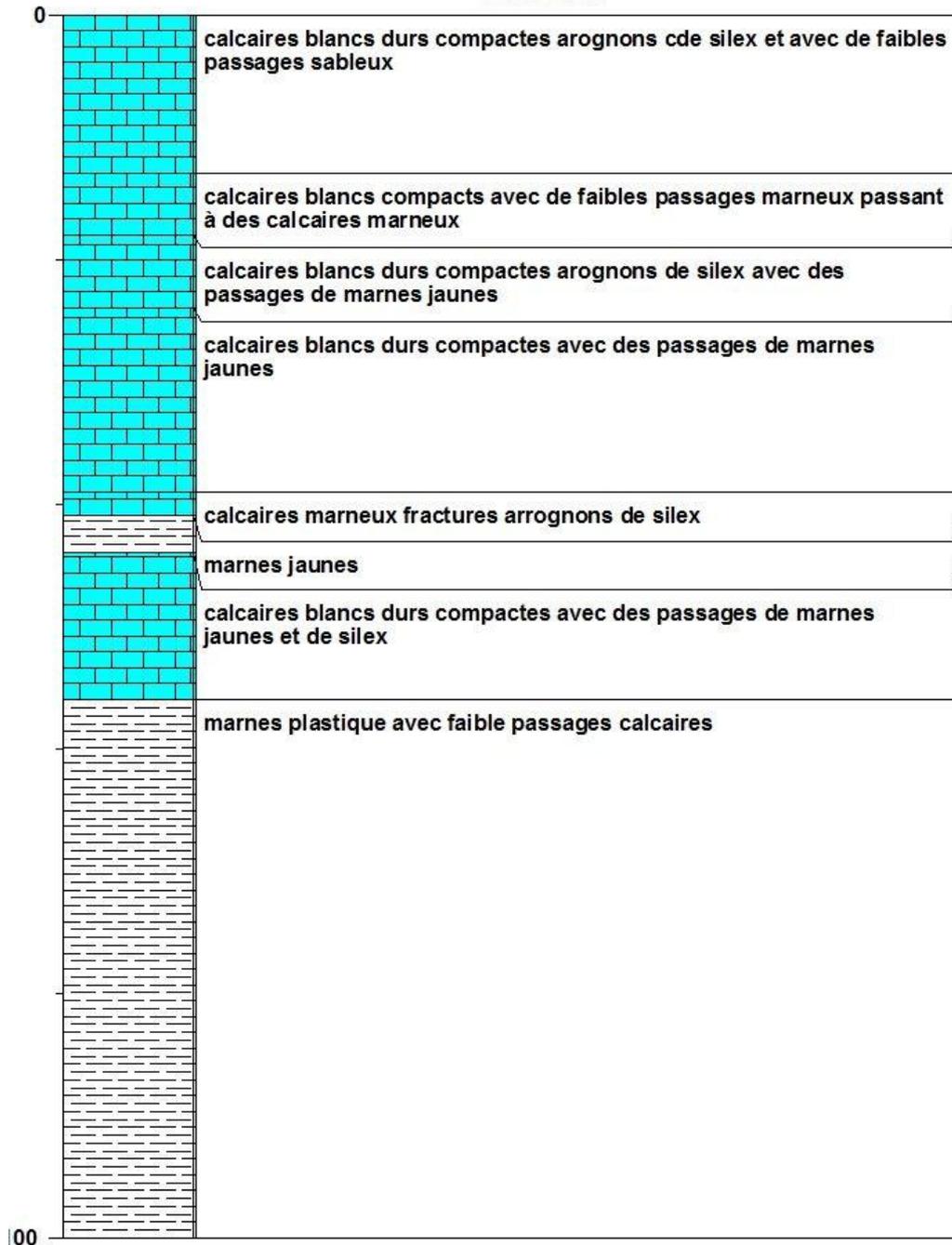


Figure 11: logs lithologiques.

4 La qualité chimique de l'eau

4.1 Les eaux souterraines

Les paramètres pour l'appréciation de la qualité des eaux souterraines sont distincts de celle de surface pour différentes raisons :

La qualité des eaux souterraines dépend en partie, de la nature des eaux infiltrées, de types de sols et de roches a travers lesquels elle s'écoule.

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

4.2 Localisation des stations de prélèvement

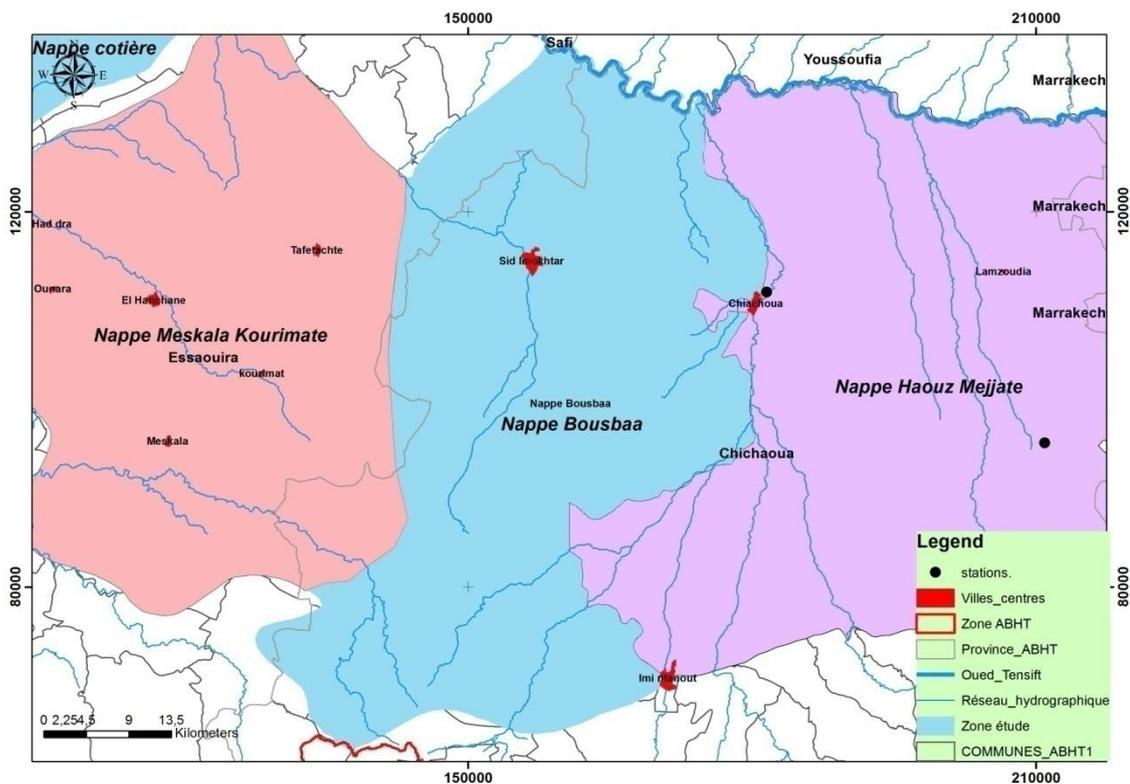


Figure 12: localisation des stations de prélèvements.

4.3 Interprétations des données :

Cette partie, utilise les données analytiques disponibles pour évaluer la qualité chimique des eaux de la région, en particulier la qualité des eaux destinées à la consommation humaine et aux activités agricoles. La quasi-totalité des eaux dans la région sont utilisées pour ces deux activités de consommation humaine et agricole.

Ces données sont représentées par les tableaux suivants :

Tableau 3: Analyses des eaux de la nappe de Bou Sbaa. (Source: ABHT)

QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES / BASSIN TENSIFT / Février- Mars 2018									
NAPPE de Bou Sbaa									
Point de prélèvement	N°IRE	Conductivité	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	MO	NO ₂ ⁻	SO ₄ ²⁻	CF
		(µS/cm)	mg /l	mg /l	mgNH ₄ ⁺ /l	mg/l	mg/l	mg/l	UFC/100ml
puits boulhoujet	3339/53	680	80	13,6	<0,020	0,89	<0,016	56	0
forage ONEP Chichaoua	967/52	1750	114	2,23	<0,021	<0,645	<0,105	647	0

Puits :

Température d'eau : 27.2 °C

Température d'air : 26°C

ph : 7.25

Forage :

Température d'eau : 18.8°C

Température d'air : 18°C

ph : 7.45

QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES / BASSIN TENSIFT / juillet 2018									
NAPPE de Bou Sbaa									
Point de prélèvement	N°IRE	Conductivité	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	MO	NO ₂ ⁻	SO ₄ ²⁻	CF
		(µS/cm)	mg /l	mg /l	mgNH ₄ ⁺ /l	mg/l	mg/l	mg/l	UFC/100ml
Puits de boulhoujet	3339/53	667	70,3	14,2	<0,02	<0,645	<0,015	-	0
Forage ONEP Chichaoua	967/52	1900	125	2,82	<0,02	<0,645	<0,015	-	0

Puits :

Température d'eau : 27.2°C

Température d'air : 26°C

Ph : 7.25

Forage :

Température de l'eau : 25.3°C

Température d'air : 26°C

pH: 7.5

Comparaison entre eau de puits et eau de forage

- *Minéralisation des eaux*

L'eau de pluie est légèrement acide du fait de sa teneur en CO₂ dissous. Au cours de son infiltration dans le sol et le sous-sol, elle se charge en ions et acquiert des propriétés physiques et chimiques qui caractérisent l'eau de la nappe qu'elle forme. Les eaux souterraines sont plus ou moins minéralisées en fonction:

- de la nature des roches traversées et des minéraux rencontrés au cours de l'infiltration;
- du temps de contact de l'eau avec les minéraux, donc de la vitesse de percolation de l'eau dans le sous-sol;
- du temps de renouvellement de l'eau de la nappe par l'eau d'infiltration.

On voit l'importance des minéraux solubles des roches et de la perméabilité de l'aquifère dans la minéralisation de l'eau.

Dans l'aquifère, il s'établit un équilibre entre la composition chimique de l'eau et celle des roches: l'eau prend une minéralisation qui demeure stable dans le temps et sert à caractériser un faciès hydrochimique.

Pour comparer la minéralisation du puits avec celle du forage, on se base sur la conductivité. La relation entre la minéralisation totale et la conductivité est linéaire, selon la relation :

$$\mathbf{Mm\ totale(mg/l) = A \times conductivité(\mu s/cm)}$$

Avec ; A=0.7.

Exemple de calcul de minéralisation :

Pour le puits ; Mm totale = 0.7*667
=466.9 mg/l.

Pour le forage ; Mm totale = 0.7*1900
= 1330 mg/l.

On remarque que l'eau de forage est fortement minéralisée par rapport à celle du puits.

Cette dissemblance de minéralisation entre l'eau de puits et celle du forage est due à la différence de profondeur, le forage est plus profond ce qui implique un temps d'infiltration et de contact avec l'encaissant très important (Notion de temps de séjour).

Normes de qualité

L'eau d'alimentation humaine ne doit contenir en quantités dangereuses ni micro-organismes, ni substances chimiques nocifs pour la santé; en outre elle doit être aussi agréable à boire que les circonstances le permettent. Les eaux d'alimentation humaine doivent satisfaire aux exigences de qualité spécifiées dans le tableau 4.

Au cas où des paramètres ne figurant pas dans la présente norme sont analysés, on se référera aux Directives de qualité pour l'eau de boisson de l'OMS.

Tableau 4: Grille d'appréciation de la qualité des eaux souterraines (source : ABHT).

PARAMETRES	EXPRESSION DES RESULTAS	VMA	COMMENTAIRES
Odeur	Seuil de perception à 25°C	3	
Saveur	Seuil de perception à 25°C	3	
Couleur réel	Unité Pt mg/l	20	
Turbidité	Unité de turbidité néphélométrique (NTU)	5	Turbidité médiane < 1 NTU et Turbidité de l'échantillon < 5 NTU
Température	°C	Acceptable	
Potentiel hydrogène	Unités pH	6.5 < pH < 8.5	Pour que la désinfection de l'eau par le chlore soit efficace, le Ph doit être de préférence < 8
Conductivité	µS/cm à 20°C	2700	
Chlorures	Cl mg/l	750	
Sulfates	SO ₄ ⁻ mg/l	400	
Oxygène dissous	O ₂ : mg O ₂ /l	5 < O ₂ < 8	
Aluminium	Al : mg/l	0.2	
Ammonium	NH ₄ : mg/l	0.5	

Oxydabilité KMNO ₄	O ₂ :mg O ₂ /l	5	La valeur de 2 mg O ₂ /l doit être respectée au départ des installations de traitement
Hydrogène sulfuré		Nondélectable organoleptique.	
Fer	Fe: mg/l	0.3	
Zinc	Zn: mg/l	3	

Les valeurs mesurées pour les paramètres figurant dans tableau 4 ne devraient pas être Supérieures aux valeurs figurant dans la colonne "valeur maximale admissible" (VMA).

Les paramètres analysés

L'appréciation de la qualité des eaux se base sur la mesure de paramètres physicochimiques, 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 sont :

- **La conductivité**

La conductivité 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.

Les conductivité des échantillons répond aux normes.

- **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.

En le comparant avec les normes, on remarque que la quantité obtenue est admissible.

- **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) ou urbaine (dysfonctionnement des réseaux d'assainissement ou industrielle).

Pour le forage la quantité obtenue par les analyses est parfaite, or celle de puits est seulement acceptable par rapport aux normes, c'est-à-dire l'eau de puits est plus contaminée que celle du forage.

Cette dissemblance est due à la différence de profondeur. (voir annexe, tableau :4)

- **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 organique 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.

La quantité en NH₄⁺ obtenue par les analyses est bonne. De ce fait la nappe n'est pas polluée.

- **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.

La matière organique trouvée par les analyses est meilleure par rapport aux normes.

- **Nitrite NO₂-**

C'est un composé minéral d'azote et d'oxygène de formule NO₂-. Il est le premier résultat de la dégradation des organismes végétaux et animaux en milieu aqueux. Très toxique, il est rapidement et naturellement oxydé en ion nitrate. Des concentrations élevées d'azote dans l'eau, combinées à la présence de phosphore peuvent occasionner une prolifération de plantes et d'algues, qui réduisent la teneur en oxygène, parfois jusqu'à une teneur létale. Dans certains cas, la prolifération d'algues entraîne la production de toxines, qui peuvent nuire à la santé des organismes aquatiques ou des humains qui les consomment.

La quantité obtenue par les analyses est bonne car elle ne dépasse pas la VMR.

- **So₄-**

Présents dans les eaux courantes à des concentrations variables selon la nature pétrographique des terrains traversés. L'augmentation de la teneur en sulfates peut être considérée comme un indice de pollution industrielle.

La quantité de so₄ dans le puits est acceptable, par contre celle de forage est inadmissible puisqu'elle dépasse la VMR.

Cela revient peut être à la différence de lithologie entre le puits et le forage.

- **Le pH**

Le pH de l'eau conditionne les équilibre physico-chimiques, en particulier l'équilibre calco-carbonique et donc l'action de l'eau sur les carbonates (attaque ou dépôt).

Dans notre cas le pH répond aux exigences.

- **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.

Conclusion

Suivant ces résultats, on déduit que l'eau dans la nappe de Bou Sbaa est de bonne qualité. Aucune pollution par les nitrites ou les nitrates n'a enregistré malgré que la zone connaisse une activité agricole assez importante.

CONCLUSION GENERALE

Après l'analyse de l'état générale de la nappe de Bou Sbaa, nous observons que les niveaux piézométriques varient selon les années et communes avec la demande progressive des eaux en fonction de la croissance démographique.

Ces dernières années la nappe de Bou Sbaa a subie une large diminution de niveau piézométrique. Cette diminution est due principalement au déficit des précipitations et les prélèvements des eaux souterraines qui ont augmenté du fait que la région connaît une surexploitation de ces eaux à cause de la forte activité agricole.

A titre de recommandation et afin de protéger et développer les ressources en eaux souterraines de la phréatique de Bou Sbaa, nous proposons :

- De limiter la consommation annuelle des eaux souterraines de la nappe phréatique de Bou Sbaa.
- De diminuer la quantité des eaux souterraines destinée à l'irrigation agricole par passage à l'irrigation par goutte à goutte.
- Trouver d'autres ressources hydriques afin de limiter la baisse des niveaux piézométriques de la nappe. (la collecte des eaux de pluies).
- Utilisation des eaux usées traitées dans l'irrigation des espaces verts.
- Application du programme de la recharge artificielle pour développer la nappe, tel que les méthodes d'infiltration qui consiste à faciliter les l'infiltration de l'eau jusqu'à la nappe à partir de bassins spécialement aménagés. Ces méthodes sont généralement utilisées pour réalimenter les nappes et améliorer la qualité générale de la ressource.

Bibliographie :

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

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

-ABHT, 2015 : Surveillance de la qualité des eaux dans le bassin de Tensift.

-Benkirane M. Agouzoul S.,(2015) Évaluation de la qualité des ressources en eau dans la zone d'action de l'Agence du Bassin Hydraulique Tensift El Haouz. Rapport LST EE, FST, Université Cadi Ayyad Marrakech. 52p..

-PDAIRE

-Smajj 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..

WEBOGHRAPHIE :

- <http://resources.arcgis.com/fr/help/main/10.1/index.html>.

-[file:///C:/Users/pc/Downloads/110515-caribsat-action6-ra-tuto-surfer9%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/pc/Downloads/110515-caribsat-action6-ra-tuto-surfer9%20(2).pdf).

-<http://www.eau-tensift.net/menu/labht/nos-objectifs-taches.html>.

-https://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Physico_chimie_PresGen.htm.

-<https://www.rockware.com/product/logplot/>.

Annexes1 :

Tableau 5: données de sondage de reconnaissance nappe de Bou Sbaa(source: ABHT)

Forage.	Profondeur au sommet.	Profondeur à la base.	Lithologie.	Commentaire.
1137/52	0	13	Cal dur	Calcaires blancs durs compactes arognons de silex et avec de faibles passages sableux
1137/52	13	18	Cal comp	Calcaires blancs compacts avec de faibles passages marneux passant à des calcaires marneux
1137/52	18	24	Cal dur	Calcaires blancs durs compactes arognons de silex avec des passages de marnes jaunes
1137/52	24	39	Cal dur	Calcaires blancs durs compactes avec des passages de marnes jaunes
1137/52	39	41	Cal mar	Calcaire marneux fracturés arrognons de silex
1137/52	41	44	Mar jaun	Marnes jaunes
1137/52	44	56	Cal dur	Calcaires blancs durs compactes avec des passages de marnes jaunes et de silex
1137/52	56	120	Mar plas	Marnes plastiques avec faible passages calcaires
1137/52	120	132	Mar plas	Marnes grises plastiques franches
1550/52	0	1	T veg	Terre végétale
1550/52	1	4	Gal	Blocks de galets
1550/52	4	19	Mar cal	marno calcaire jaunes
1550/52	19	47	Mar	marnes jaunes plastiques
1550/52	47	64	Cal mar	calcaires marneux beiges
1550/52	64	97	Mar	marnes plastiques grises a trace de gypse
1550/52	97	110	Mar sab	marnes sableuses beiges
1550/52	110	128	Calc	calcaire fracturé beige
1550/52	128	135	Mar cal	marno calcaire blanchatre
1813/52	0	1	T veg	Terre végétale
1813/52	1	12	arg rouge	Argile rouge
1813/52	12	15	cal mar	calcaire marneux gris
1813/52	15	21	arg	argil plastique
1813/52	21	47	argsab	argil sableuse
1813/52	47	100	sabarg	sable argileux
1813/52	100	103	mar grise	marne grise
1813/52	103	133	sabarg	sable argileux
1813/52	133	182	arg rouge	argile rouge
1813/52	182	206	argroug	argile rouge a passage de niveaux calc
1255/43	0	2	T veg	Terre végétal
1255/43	2	12	Calc	calcaires beiges à fragements de silex
1255/43	12	25	Mar	marnes jaunes lelerement sableuses
1255/43	25	50	Sab	sable silteuse grise
1255/43	50	68	Mar	marnes grises legerement plastiques
1255/43	68	75	Sch	schistes gris a passage de bancs quartzitiques
1255/43	75	120	Perte	perte totale

Tableau 6: données forages.

Easting	Northing	Elevation	CollarElevation	Total Depth	Conductivité	profondeur d'eau	Niveau piézométrique
180500,00	117000,00	320,00	0,50	146,00	2400	42,15	277,85
180500,00	117010,00	320,00	0,50	105,50	2,3	32,60	287,40
180500,00	110650,00	345,00	0,00	100,00	2300	22,00	323,00
180500,00	110650,00	345,00	0,00	100,00	2300	22,40	322,60
179400,00	107650,00	322,00	0,30	190,00	1,7	35,40	286,60
179400,00	107650,00	322,00	0,30	190,00	1900	38,60	283,40
179000,00	106500,00	414,00	0,00	106,00	2600	40,00	374,00
179650,00	110300,00	360,00	0,50	100,00	2	20,65	339,35
179150,00	111000,00	351,00	0,00	126,00	11,3	10	341,00
179000,00	111100,00	352,00	0,00	115,00	2000	25	327,00
173150,00	107300,00	410,00	0,00	132,00	4220	40	370,00
179153,00	111000,00	351,00	0,00	116,00	2200	12,3	338,70
166750,00	103900,00	443,00	0,50	100,00	2,71	11,64	431,36
175550,00	110850,00	375,00	0,50	180,00	2,98	44,9	330,10
174850,00	116650,00	335,00	0,00	141,00	4400	29,7	305,30
173650,00	107500,00	400,00	0,50	175,00	3,1	46,5	353,50
173650,00	107650,00	400,00	0,50	120,00	3	81	319,00
168500,00	112900,00	366,00	0,00	209,00	3000	32,25	333,75
167500,00	113550,00	384,00	0,00	150,00	2800	52,4	331,60
165750,00	113500,00	384,00	0,00	150,00	2600	49,6	334,40
161150,00	114450,00	405,00	0,50	135,00	2,8	51,00	354,00
156750,00	115750,00	385,00	0,00	128,00	1900	48,80	336,20
156750,00	115700,00	385,00	0,00	128,00	1600	50,46	334,54
155100,00	113350,00	393,00	0,00	75,00	1480	21,30	371,70
155350,00	112300,00	405,00	0,50	102,00	3,45	36,85	368,15
154800,00	109650,00	418,00	0,00	180,00	1280	16,90	401,10
154800,00	109700,00	415,00	0,50	140,00	1,8	30,5	384,50
153000,00	115250,00	380,00	0,50	156,00	1,4	43,50	336,50
153000,00	115250,00	380,00	0,80	156,00	1,2	43,50	336,50
153150,00	114800,00	381,00	0,00	72,00	1430	10,90	370,10
148500,00	109350,00	445,00	0,50	120,00	1660	16,25	428,75
148500,00	109340,00	445,00	0,50	103,00	3	17,50	427,50
143600,00	107450,00	443,00	0,00	190,00	1300	43,60	399,40
139600,00	117300,00	380,00	0,40	164,00	1600	54,10	325,90
139600,00	117300,00	380,00	0,40	164,00	1,6	53,35	326,65
135960,00	117100,00	460,00	0,50	135,00	1870	58,00	402,00
135950,00	117100,00	460,00	0,60	108,00	1970	47,60	412,40
176300,00	125400,00	226,00	0,00	100,00	4200	23,70	202,30
167400,00	125700,00	244,00	0,00	201,00	3300	63,60	180,40
164400,00	127750,00	255,00	0,00	132,00	3200	41,50	213,50
160800,00	131700,00	229,00	0,00	152,00	4360	58,30	170,70
156300,00	133100,00	200,00	0,00	120,00	3260	32,00	168,00

156300,00	133100,00	200,00	0,00	130,00	1710	32,08	167,92
156150,00	119420,00	405,00	0,00	114,5	1480	70,60	334,40
153600,00	118000,00	390,00	0,00	123,00	2300	42,00	348,00
152150,00	120350,00	400,00	0,00	135,00	1980	57,00	343,00
152150,00	120350,00	400,00	0,00	135,00	1980	58,45	341,55
149000,00	132100,00	218,00	0,00	105,00	2970	62,4	155,60
142900,00	124900,00	280,00	0,00	156,00	1410	25,70	254,30
140750,00	117550,00	375,00	0,50	130,00	2,5	40,00	335,00

Tableau 7:Données climatologique.



Agence du Bassin Hydraulique de Tensift

Pluies mensuelles

N° Station: 2601 X: 18153 Y: 1112 Z: 340
 Nom: CHICHAOUA

Autorité:
 Unité: mm

Année	Sep	Oct	Nov	Des	Jan	Fév	Mar	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Total
2000/01	0,0	11,4	1,7	42,3	30,4	0,0	3,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	89,8
2001/02	5,2	0,0	2,8	55,9	0,0	7,6	47,1	20,8	0,0	0,0	0,0	0,0	139,4
2002/03	0,9	6,5	47,6	19,6	8,4	9,0	25,6	47,6	17,0	0,0	0,0	0,0	182,2
2003/04	0,8	29,1	41,5	16,1	0,0	32,1	46,0	10,2	18,4	1,9	0,0	0,0	196,1
2004/05	0,7	18,4	22,6	7,8	0,3	13,4	17,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	80,4
2005/06	0,0	34,0	55,8	49,8	59,2	60,1	1,4	33,1	0,3	0,0	0,0	0,0	293,7
2006/07	6,7	21,4	17,4	2,8	20,9	45,6	0,4	13,4	11,8	0,0	0,0	0,0	140,4
2007/08	0,0	29,7	34,2	11,0	12,6	21,8	4,4	0,9	2,5	0,0	0,0	0,0	117,1
2008/09	12,4	36,9	35,2	24,2	57,5	64,4	35,9	0,0	0,2	3,3	0,0	0,0	270,0
2009/10	25,4	6,2	1,2	47,2	19,0	34,0	9,4	0,6	0,4	5,8	3,5	14,5	167,2
2010/11	1,6	3,4	30,9	10,2	12,8	1,0	17,3	85,5	59,5	23,1	0,0	0,0	245,3
2011/12	2,9	8,5	37,8	1,0	5,7	1,7	4,5	27,5	0,0	4,2	0,0	1,4	95,2
2012/13	44,6	16,3	21,8	5,2	4,7	8,7	29,4	8,3	5,0	0,0	0,0	0,0	144,0
2013/14	33,8	2,9	9,0	6,6	43,6	6,9	75,4	11,0	4,5	0,0	0,0	0,0	193,7
2014/15	10,3	0,0	125,6	10,4	21,5	5,0	31,4	0,0	0,1	4,1	20,8	7,8	237,0
2015/16	8,9	17,2	7,4	2,7	3,4	31,8	22,1	3,1	8,0	0,0	0,0	1,4	106,0
2016/17	0,0	11,5	117,1	16,3	16,0	25,0	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	197,7
2017/18	0,1	0,1	18,0	25,9	42,4	43,8	15,9	26,8	0,3	0,8	0,0	0,0	174,1
2018/19	25,3			1,2	0,6	7,6	46,3	24,7					105,7
Moyenne	9,5	14,1	34,9	18,7	18,9	22,1	23,4	16,5	13,5	2,4	1,4	1,4	167,1

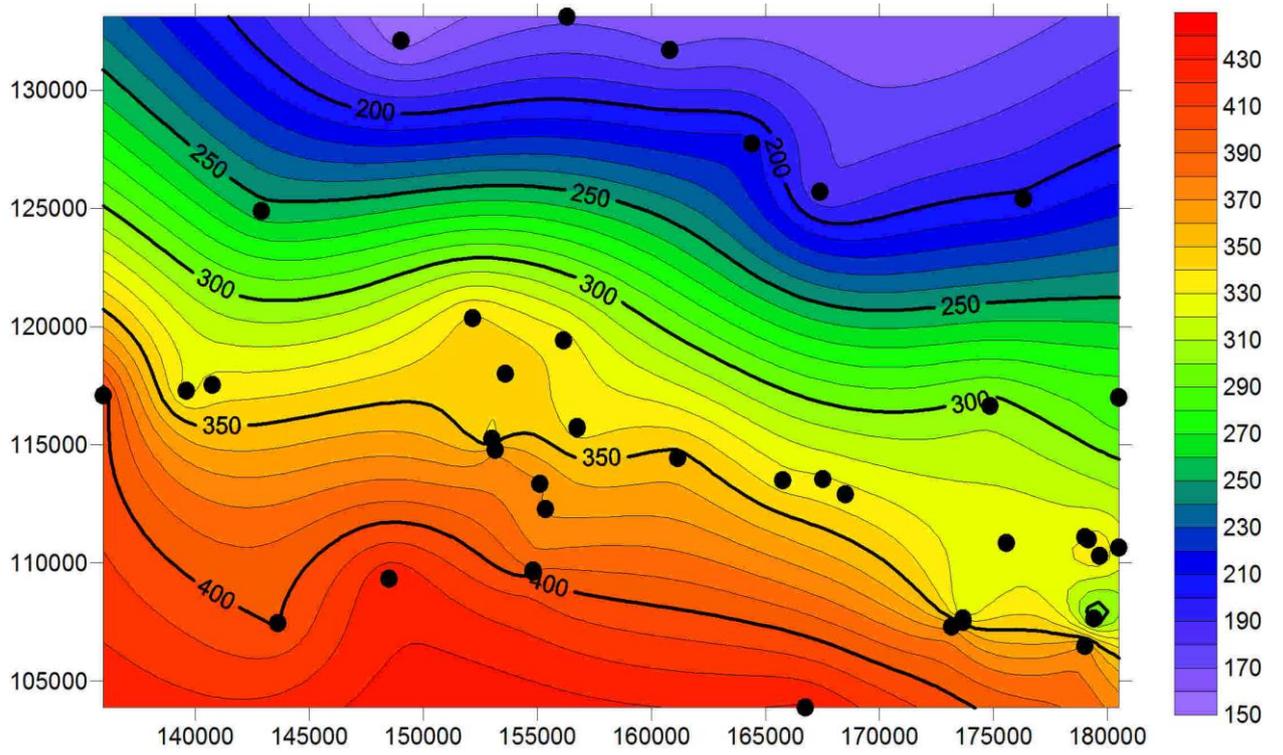


Figure 13: carte piézométrique de la nappe de Bou Sbaa.