

Département des Sciences de la Terre
Licence de Sciences et Techniques
Eau & Environnement



**Impact du développement
Hydro-agricole sur la nappe de la
Bahira Occidentale**

Réalisé par: BOTAZIT Salma & BOUABOULA Amina

Soutenu: **Le 22 juin 2017**

Devant le jury composé de :

HANICH Lahoucine : FST- Marrakech, Encadrant
QACHAR Mohammed : Agence du bassin hydraulique Tensift, Co-encadrant
JAFFAL Mohammed : FST- Marrakech, Examineur

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2016-2017

Dédicace

- *A mes très chers parents **BOTAZIT Abdellatif et CHRAA Essadiya** qui ont toujours été impliqués dans mes études et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour ;*
- *A mon petit frère adoré **Moncef** ; je te souhaite bonheur et succès ;*
- *A mes chers amis : **Mariama, Meryem, Laila, Fatima-Ezzahra** ;*
- *A ma cousine **Imane Chraa**.*

BOTAZIT Salma

- *A mon cher père qui a toujours été près de moi, pour m'écouter et me soutenir. Puisse ce travail être le témoin du respect et de l'amour que je lui porte.*
- *A ma chère mère qui n'a jamais épargné aucun effort pour m'aider et m'encourager. Veuillez trouver en ce travail la consolation et l'expression de la patience et de l'amour.*
- *A mes frères : **Otman et Al Makki**.*
- *A toute ma famille et mes amis ;*

A tous ceux qui ont confiance en moi.

BOUABOULA Amina

Remerciements

Nos remerciements les plus sincères et les plus dévoués à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce travail ;

- **A notre Maitre et encadrant : HANICH Lahoucine**

Nous vous exprimons toute notre respectueuse gratitude et notre profonde estime pour votre rigueur afin de mener à bien notre formation et notre mémoire de fin d'études.

- **A notre Maitre de stage QUACHAR Mohammed**

Nous ne saurions comment vous exprimer notre reconnaissance, pour la qualité d'encadrement. Votre disponibilité, votre simplicité, vos orientations et vos conseils nous ont été d'une grande utilité et d'un grand apport pour la réalisation de ce travail.

- **A notre Maitre et Examineur : JAFFAL Mohammed**

C'est pour nous un grand honneur de vous avoir parmi notre honorable jury.

Nous avons toujours admiré vos qualités humaines et professionnelles ainsi que votre modestie qui restent exemplaires.

- **A Madame BENGHANEME Mounia, Ingénieur à l'Agence du Bassin Hydraulique de Tensift " ABH-Tensift " :**

Vous nous avez confié ce projet et vous n'avez épargné aucun effort pour nous faciliter sa réalisation. Qu'il nous soit permis, ici, de vous exprimer notre reconnaissance et notre grande estime.

- **A tous le personnel de l'ABH-Tensift**

Veillez trouver dans ce travail l'expression de nos remerciements les plus sincères pour les efforts que vous avez déployés.

Résumé

Notre projet de fin d'études s'articule autour de deux grandes parties : La première concerne une présentation générale de la nappe de la Bahira, dépression fermée divisée en deux ensembles dont la partie occidentale représente notre zone d'études. La deuxième partie est une étude qui concerne l'impact du pompage excessive des forages agricoles sur les forages d'Alimentation en Eau Potable au niveau de la nappe de la Bahira.

En premier abord :

- De point de vue climatique, l'ensemble des données récoltées a permis la caractérisation du climat semi-aride de la zone prospectée et l'appréciation de la grande variabilité spatio-temporelle des éléments climatiques. La lame d'eau moyenne sur une durée d'un an varie entre 200 et 260 mm, La température moyenne interannuelle oscille entre 13,3 °C et 30 °C, alors que l'évapotranspiration potentielle calculée dépasse 2000 mm/an.l.
- Sur le plan géologique, l'analyse des cartes et coupes nous a permis de remarquer que la Bahira occidentale est caractérisée par un soulèvement du substratum paléozoïque surmonté par une couverture à structure monoclinale ou le réservoir principal de la plaine est celui de l'aquifère lutétien.
- De point de vue hydrogéologique, au niveau de la Bahira occidentale, les affleurements des calcaires lutétiens constituent un dôme d'alimentation des eaux souterraines. A partir de ce dôme, topographiquement élevé, les eaux souterraines s'infiltrent et s'écoulent vers les zones à basses altitudes (zone de Youssoufia, plaine d'El Khoualka, zone de Zima et la Bahira orientale).

En deuxième abord, l'étude des piézomètres et des forages de l'Office Nationale de l'Eau Potable nous a permis de montrer que les niveaux piézométriques de la nappe libre ont connu une forte diminution sur presque toute la plaine de la Bahira. Cette diminution est la conséquence de l'intervention de plusieurs facteurs anthropiques et climatiques. De même, la chute importante des niveaux piézométriques est confirmée par l'étude de l'historique des piézomètres. En effet, Cette étude a montré que la surface piézométrique a baissé à des niveaux critiques notamment au niveau de la plaine d'El Khoualka et nous a servi à prévoir le niveau dynamique futur des forages de l'alimentation en eau potables.

Table des matières

Résumé.....	4
Liste de figures.....	6
Liste de tableaux.....	7
INTRODUCTION.....	8
CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'AGENCE BASSIN HYDRAULIQUE TENSIFT.....	9
Chapitre II : Matériels et Méthodes.....	12
1. Outils utilisés :.....	13
2. Méthodologie :.....	13
CHAPITRE III : PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE DE LA BAHIRA.....	16
1. Cadre géographique de la Bahira.....	17
2. Cadre Climatique de la Bahira.....	20
2.1. Les températures.....	20
2.2. Les précipitations.....	21
2.3. L'évapotranspiration.....	22
3. Cadre hydrologique de la Bahira occidentale.....	24
4. Cadre géologique de la Bahira.....	26
5. Cadre hydrogéologique de la Bahira occidentale.....	27
5.1. Réservoirs de la nappe.....	27
5.2. Géométrie de l'aquifère lutétien.....	28
5.3 Données de forages.....	31
6. Caractéristiques Hydrodynamiques.....	33
6.1. Coefficient d'emmagasinement.....	33
6.2. Débits.....	33
6.3. Transmissivité.....	33
7. Qualité des eaux.....	36
CHAPITRE IV : ETUDE DE LA BAISSSE PIEZOMETRIQUE A PARTIR DE 2006.....	38
1. Analyse piézométrique.....	39
2. Impact sur les forages D'alimentation en eau potable.....	44
CONCLUSION.....	48
Annexes.....	50
Bibliographie.....	53

Liste des figures

Figure 1: Situation géographique de la plaine de la Bahira.....	17
Figure 2: Carte de la localisation de la nappe de la Bahira par rapport.....	18
Figure 3: Carte des limites géographiques de la plaine de la Bahira.....	19
Figure 4: Températures mensuelles interannuelles en °C,.....	20
Figure 5: Localisation de la station de BISSI BISSA par rapport à la nappe de la Bahira.....	21
Figure 6: Les précipitations mensuelles moyennes interannuelles en mm,.....	22
Figure 7: L'évapotranspiration et les pluies mensuelles moyennes interannuelles en mm, à Bouchane (Omdi, 2013).....	23
Figure 8: L'évapotranspiration et les pluies mensuelles moyennes interannuelles en mm, à Ouled sidi driss (Omdi, 2013).....	23
Figure 9: Modèle numérique de la plaine de la Bahira.....	24
Figure 10: Carte des bassins versants hydrographiques de la plaine de la Bahira occidentale.....	25
Figure 11: Coupe schématique de la plaine de la Bahira.....	26
Figure 12: Carte géologique de la nappe de la Bahira.....	27
Figure 13: Log litho stratigraphique de la Bahira (Source ABHT).....	26
Figure 14: carte du toit du calcaire lutetien.....	29
Figure 15: carte du mur du calcaire lutetien.....	29
Figure 16: carte de l'épaisseur du calcaire lutétien.....	30
Figure 17: Carte des forages au niveau de la nappe de la Bahira.....	32
Figure 18: Carte des débits des forages de la Bahira.....	34
Figure 19: Carte de transmissivité.....	35
Figure 20: Carte de conductivité des forages de la Bahira.....	37
Figure 21: Carte de répartition des piézomètres.....	39
Figure 22: Chroniques piézométriques.....	41
Figure 23: Carte de la baisse piézométrique entre 2006-2016.....	42
Figure 24: baisse du niveau de la nappe de la Bahira occidentale entre 2006 et 2016.....	43
Figure 25; Histogramme de la baisse des débits des forages AEP.....	45
Figure 26: Carte des forages AEP.....	43
Figure 27: Coupe des forages AEP de la zone de la Bahira occidentale.....	46

Liste des tableaux

Tableau 1: Caractéristiques des Bassins Versants de la Bahira.....	25
Tableau 2 : Tableau de bilan annuel de la nappe de la bahira (source ABHT).....	36
Tableau 3 : Tableau de coordonnées de piézomètres de la Bahira occidentale.....	39
Tableau 4: Tableau de l'écart piézométrique.....	41
Tableau 5 : Tableau de forages de l'ONEEP à la bahira occidentale.....	44
Tableau 6 : Caractéristiques des Forages AEP et leur niveau.....	45

Introduction

La Bahira occidentale, comme toutes les régions du Maroc, connaît une hausse progressive des besoins en eau, suite à l'accroissement démographique et au développement Hydro-agricole.

Cependant les conditions climatiques et géographiques de la région, responsables de la rareté des ressources en eau superficielles, explique la sollicitation de plus en plus importante des eaux souterraines. Aussi et pour éviter la surexploitation de celles-ci, une gestion efficace des prélèvements doit être exigée.

Notre stage a pour objectif principal, l'étude et l'analyse de la chute du niveau piézométrique des forages agricoles ainsi que le déficit du débit des ouvrages dédiés à l'alimentation en eau potables de la nappe phréatique du calcaire lutétien exploitée dans la Bahira occidentale.

L'étude de cette nappe, l'utilisation de l'outil informatique (Arc Gis) pour la réalisation d'un ensemble de cartes thématiques (carte de forages, répartition des paramètres hydrodynamiques, états piézométriques, qualité des eaux ... etc.) nous ont permis de:

- ✓ Connaitre la plaine de la Bahira d'une manière générale ;
- ✓ Avoir une idée sur l'arrangement spatial de la qualité des eaux ;
- ✓ Analyser l'état piézométrique actuel ;
- ✓ Et finalement, estimer la baisse du niveau piézométrique d'ici 10 ans.

Pour étayer le bilan de notre étude, le présent travail s'articulera autour de quatre chapitres :

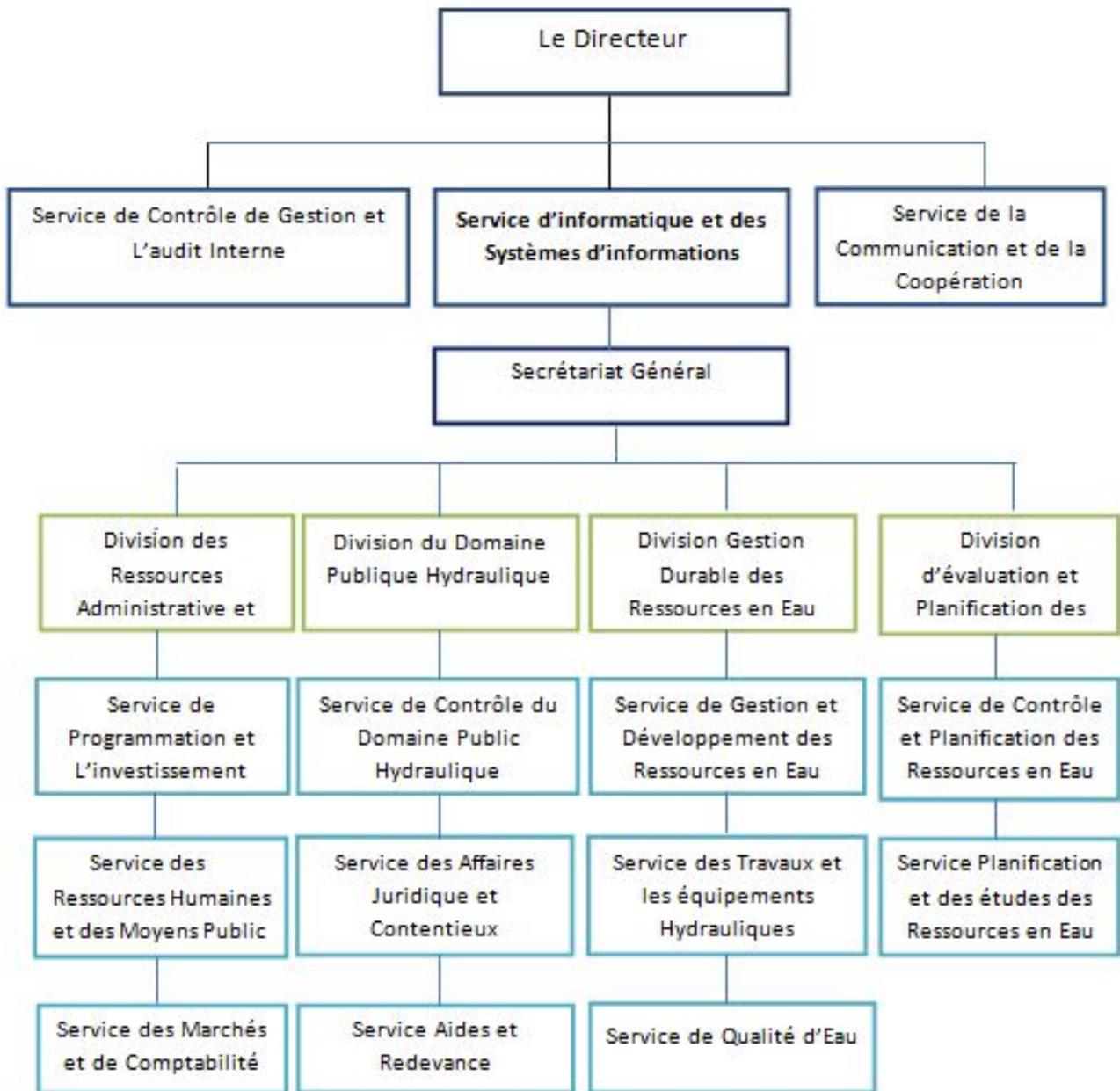
- 🚩 la présentation de l'ABHT ;
- 🚩 les matériels et méthodes utilisés (ARCGIS & MNT) ;
- 🚩 Présentation générale de la zone d'étude ;
- 🚩 Etude de la baisse du niveau piézométrique de 2006 à 2016.

Chapitre I

Présentation de l'Agence du Bassin Hydraulique-Tensift

L'agence du bassin hydraulique créée par la loi 10-95 sur l'eau, est un établissement public doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière, chargée de l'évaluation, de la planification, de la gestion et de la préservation des ressources en eau du bassin hydraulique en associant l'ensemble des acteurs de l'eau au niveau de la zone d'action. (Source : *loi 36-15 sur l'eau*).

La zone d'action du bassin hydraulique du Tensift s'étend sur le territoire de la Wilaya de Marrakech (préfecture de Marrakech), province d'Al Haouz, Chichaoua, Essaouira, El Kélâa des Sraghna et Safi couvrant une superficie de 24.800 Km² avec une population d'environ 2.632.000 habitants dont 42% en milieu urbain et 58% en milieu rural.



Organigramme de L'Agence du Bassin Hydraulique-Tensift

Chapitre II

Matériels et Méthodes

1. Outils utilisés :

Logiciel Arc Gis

Arc Gis 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).

Pour généraliser les réseaux hydrographiques on a utilisé le modèle numérique du terrain MNT et les outils arc gis pour le traitement hydrologique.

Le modèle numérique de terrain (MNT)

Le MNT est une représentation numérique du terrain donc des valeurs d'altitude d'une zone donnée. On peut en dériver des indications sur les valeurs de pentes et d'exposition et sur les formes de la surface topographique d'une zone géographique donnée. Si l'on représente uniquement l'altitude du sol nu, on parle de MNT. Si l'on prend en compte les hauteurs de tous les objets placés sur celui-ci comme les bâtiments et la végétation, ce que l'on appelle le «sursol», on parle alors du Modèle Numérique d'Altitude (MNA).

Un MNT peut prendre la forme de fichiers vecteurs (points, poly lignes où chaque entité porte une information altimétrique), d'un fichier raster (où chaque pixel ou cellule porte une information altimétrique).

(Source : <http://www.emse.fr/tice/uved/SIG/Glossaire/co/MNT.html>).

Dans notre cas, nous avons téléchargé le MNT qui couvre notre zone d'étude le 04 Avril 2017 avec une résolution spatiale de 30 m du site (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

2. Méthodologie :

La première phase de l'étude consiste à faire une délimitation du bassin versant « BV » en suivant les étapes suivantes :

- Traitement du MNT sur ArcMap

On a commencé par un assemblage des MNT; appelé mosaïque sur ArcMap, afin d'obtenir un seul modèle numérique du terrain qui couvre tout le BV de Bahira.

- Re-projection du MNT

Cette étape nous a permis de passer de la projection WGS 84 vers la projection locale adoptée généralement pour le Maroc : Ellipsoïde Clack 1880 Lambert Conique Conforme.

- Extention ARCTOOLBOX-hydrology

Arctoolbox, extension du logiciel ArcMap, définit et analyse le réseau hydrographique, délimite les bassins versants et extrait ses différentes caractéristiques...etc. Dans notre cas, on a utilisé l'outil Arctoolbox pour faire la délimitation du bassin versant de Bahira en suivant les étapes ci-dessous :

Fill Sinks

La première étape consiste à faire une correction de l'MNT par le remplissage des dépressions en augmentant l'altitude des cellules au niveau du terrain environnant afin de pouvoir déterminer le sens d'écoulement.

Flow Direction

Cet outil permet de définir le sens d'écoulement suivant les huit directions possibles.

Flow Accumulation

Permet de calculer, pour chaque cellule, la quantité d'eau accumulée dans la cellule du fait des écoulements amont.

Stream Définition

Il permet de définir le réseau hydrographique, à partir d'une classification des cellules dont l'accumulation est plus grande q
Un seuil donné, le niveau de détail du réseau est défini par l'utilisateur en nombre de cellules : 200, 300, 500, 1000... (Plus le nombre est petit, plus le détail est grand).

Stream Segmentation et Catchment Grid Delineation

La Segmentation du cours d'eau (Stream Segmentation) divise les cours d'eau en des segments. Les limites des sous-bassins sont tracées pour chaque segment de cours d'eau (Catchment Grid Delineation).

Catchment Polygone Processing et Drainage Line Processing

La fonction (Catchment Polygone Processing) convertit les sous bassins (format raster) en polygones. Tandis que l'outil (Drainage Line Processing) permet de convertir les segments des cours d'eau en poly lignes.

Adjoint Catchment Processing

Cet outil permet d'agréger les sous-bassins à chaque confluence de ruisseaux

Data Management

Permet de sélectionner la base de données pour délimiter le bassin versant. On ajoute comme données tout ce qu'on a préparé précédemment : L'MNT, Fill, Flow Direction, Catchment...etc.

Start New Project

Il sert à créer un nouveau projet

Définir l'exutoire du bassin

Cette étape définit l'exutoire du bassin versant, en appuyant sur « Add Project point » ; situé sur la barre d'outils standard.

Outil Generate Project :

Permet de créer le bassin versant à partir de l'exutoire choisis.

Chapitre III
Présentation générale
de la zone de la BAHIRA

1. Cadre géographique de la Bahira

La plaine de la Bahira représente une vaste zone du Maroc occidentale à 30 km du nord de Marrakech (Figure 1). Elle s'étend sur une superficie de 5000 km² (Source ABHT), et est subdivisée en deux grandes parties séparées par la route nationale P9, route liante El Jadida à Marrakech. La première partie est la Bahira centrale, la seconde partie, objet de notre étude, est la Bahira occidentale.

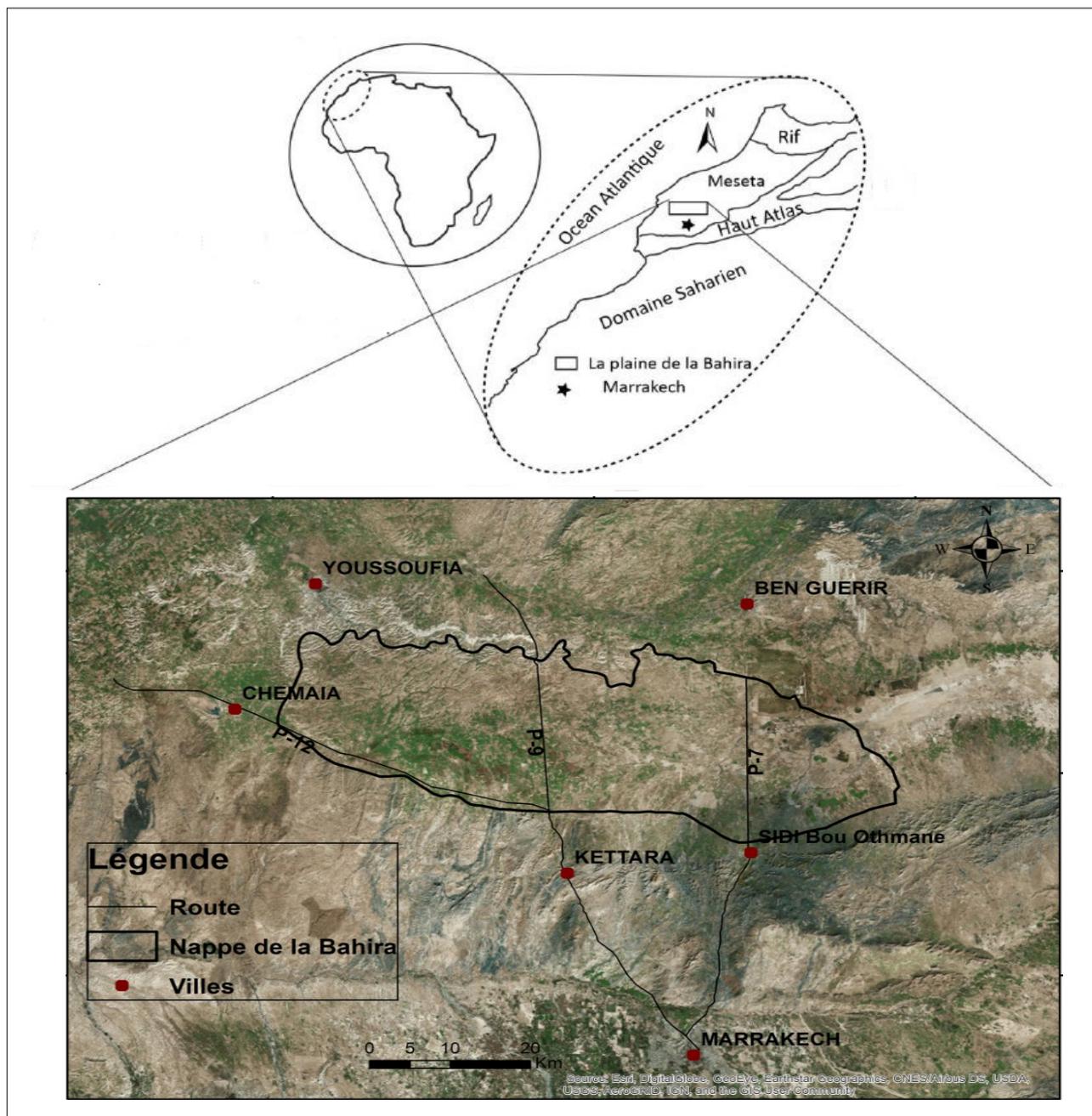


Figure 1: Situation géographique de la plaine de la Bahira

La Bahira occidentale se situe au niveau de la province de Youssoufia englobant 3 communes : LAKHOUALQA, EL GANTOUR et ATAIMIM (Figure2). Elle s'étend entre 31°55' et 32°20' latitude nord et entre 7°15'et 8°50' de longitude ouest.

Sa superficie est de l'ordre de 900 km² et a pour limites géographiques:

- au Sud, le socle primaire du Jbilet. (Figure 3)
- au Nord, le socle primaire de Rhamna (figure 3)
- à l'Est, la route N°9.
- Et à l'Ouest, Plateau de Mouissat. (Figure 3)

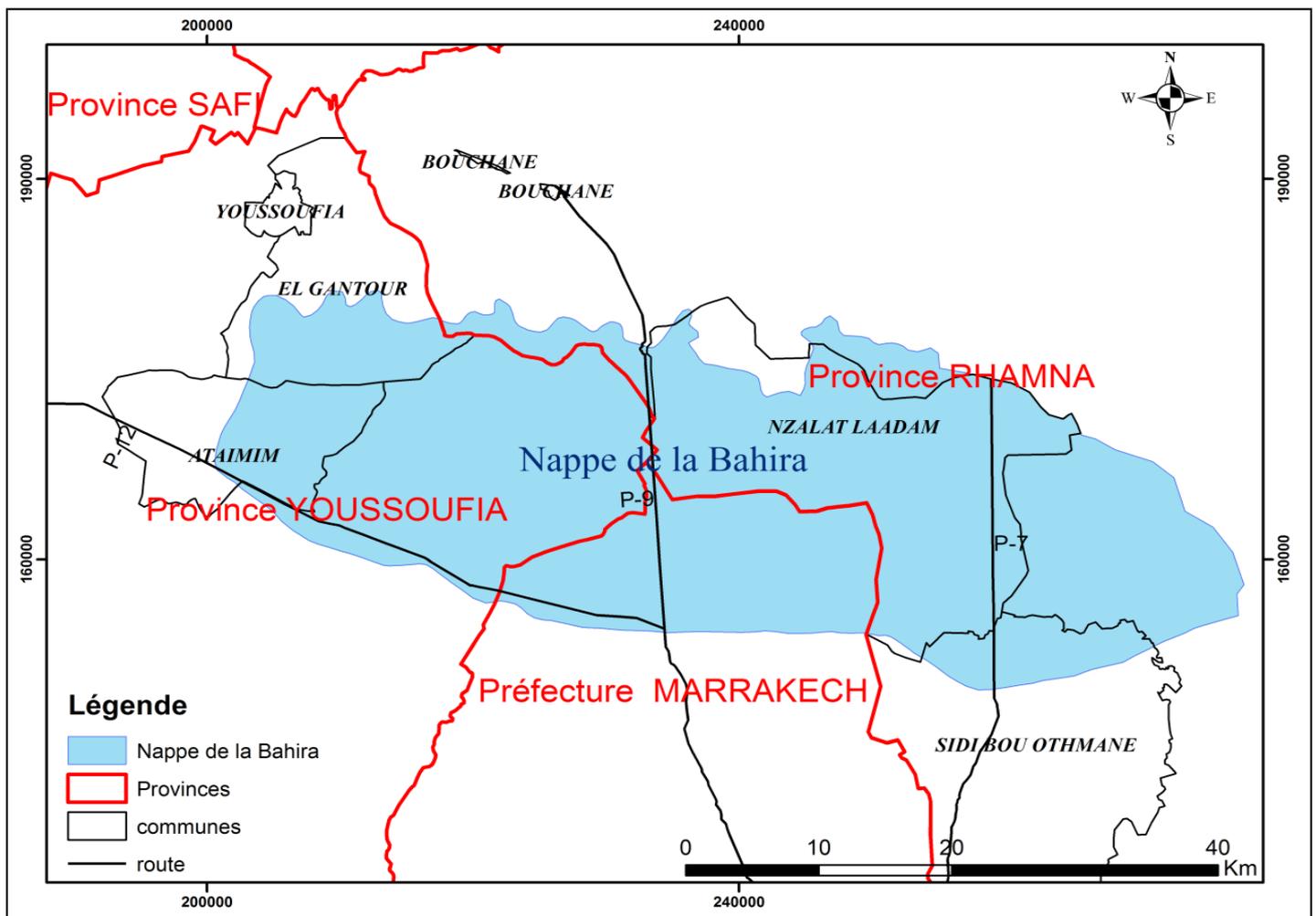


Figure 2: Carte de la localisation de la nappe de la Bahira par rapport aux provinces et communes du Maroc

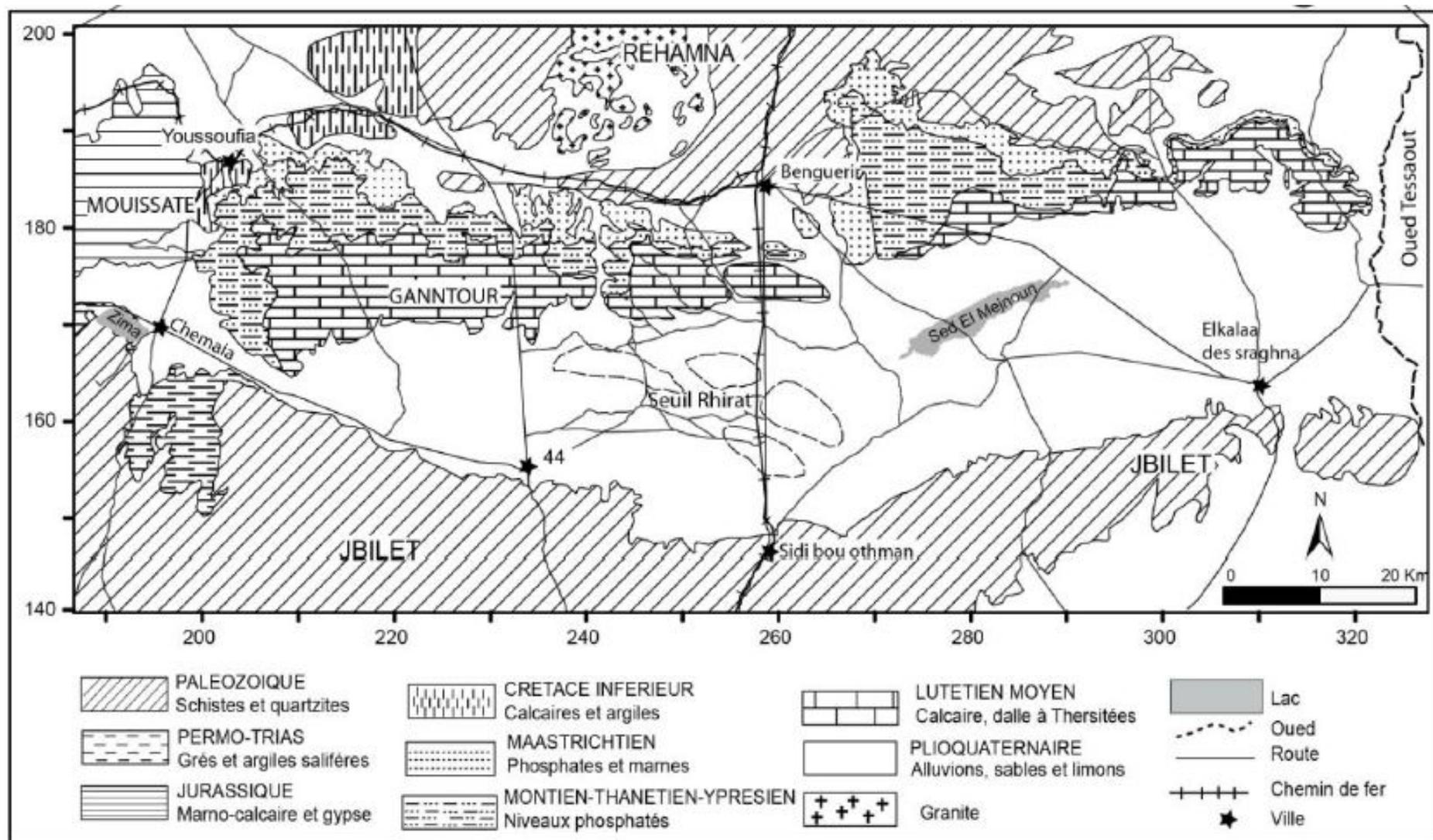


Figure 3: Carte des limites géographiques de la plaine de la Bahira(Karroum,2015)

3. Cadre Climatique de la Bahira

Le climat de la plaine de la Bahira est défini comme étant un climat aride à semi-aride. Il est caractérisé par une pluviosité faible et irrégulière ; les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 200 mm à 260 mm, très variable selon les saisons. La température est peu élevée ; mensuellement variable entre 10,8 et 27,3 °C. Le taux d'humidité est faible et l'évaporation est forte ; de l'ordre de 2700 mm/an.1 (Source : *ABHT*)

2.1. Les températures : (Figure 4)

Les valeurs moyennes, minimales et maximales de température de chaque mois, mesurées au niveau de la station Ouled Sidi Driss entre 1995 et 2013, permettent de remarquer la présence de deux saisons: une saison froide et une autre chaude. Le mois le plus froid correspond au mois de Janvier, tandis que le mois le plus chaud est le mois de Juillet.

Figure 4: Températures mensuelles interannuelles en °C, à Ouled Sidi Driss (Omd, 2013)

2.2. Les précipitations

L'étude des précipitations au niveau de la plaine de Bahira se base sur les données pluviométriques enregistrées au niveau de la station climatique Bissi Bissa, entre 1980 et 2012. C'est la plus représentative compte tenu de sa proximité du secteur d'étude (Figure 5).

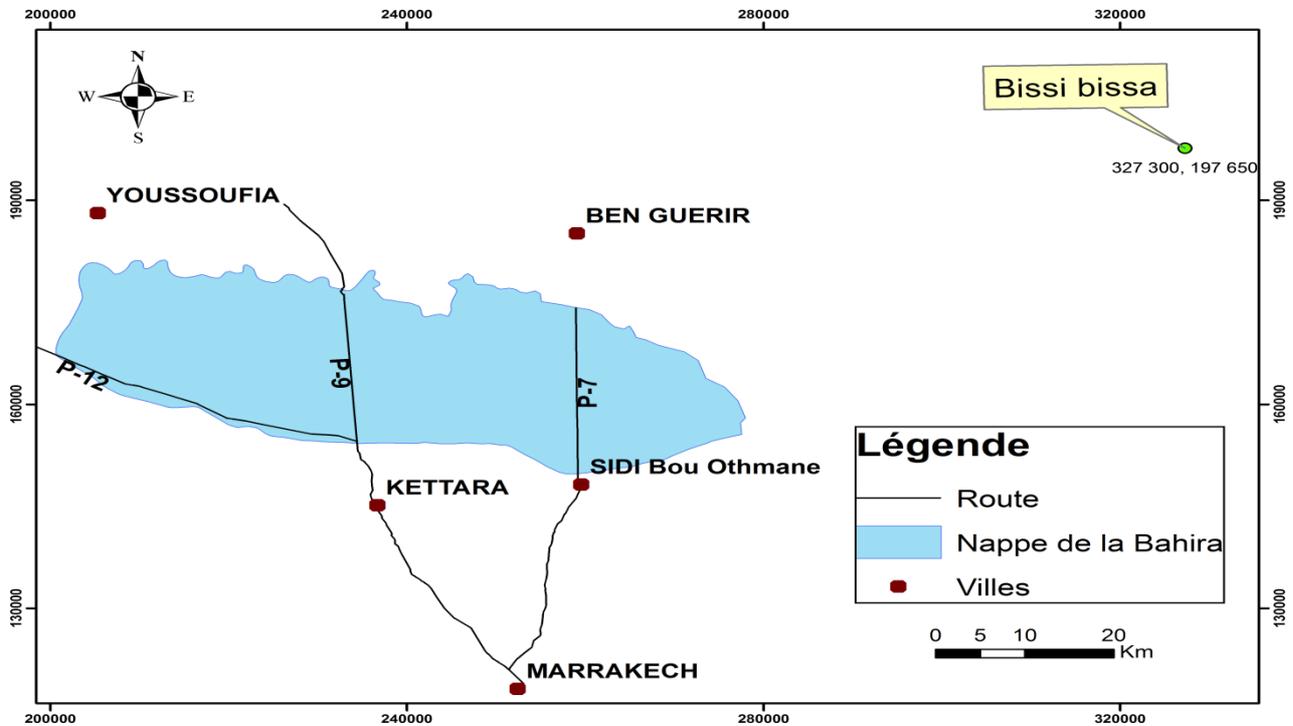


Figure 5: Localisation de la station de BISSI BISSA par rapport à la nappe de la Bahira

➤ Précipitations Mensuelles : (Figure 6)

Les données météorologiques enregistrées au niveau de la station bissi bissa, sur une période s'étalant de 1980 à 2012, nous ont permis de relever les moyennes des précipitations mensuelles. L'analyse de l'histogramme montre que les valeurs mensuelles maximales s'observent aux mois de Novembre. Nous constatons aussi une chute estivale de la pluviosité qui commence en mois de Mai et qui s'achève en mois de Septembre. La sécheresse débute au mois de Juin pour s'étendre tout au long des mois de Juillet et Août, durant ces deux derniers mois, les précipitations sont très rares et se limitent à des orages localisés donnant lieu à des averses de quelques mm.

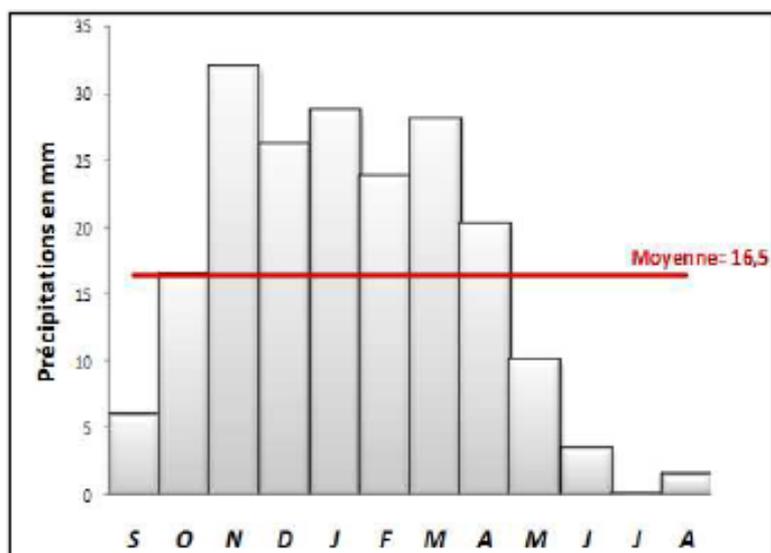


Figure 6: Les précipitations mensuelles moyennes interannuelles en mm, à Bissi Bissa (Omdi, 2013)

➤ Précipitations Annuelles :

Le régime des précipitations annuelles est très irrégulier avec alternance d'années sèches et d'autres humides. Le maximum des précipitations a été enregistré durant les années 1995-1996 (environ 374 mm). Alors que le minimum a été relevé les années 1982-1983 (environ 60 mm) (Omdi, 2013)

2.3. L'évapotranspiration « ETP » (Figures 7 & 8)

C'est le résultat de deux phénomènes ; l'évaporation et la transpiration. En effet, la plus grande quantité de l'eau est évapotranspirée par la végétation incluant les pertes provenant de l'évaporation du sol et celles provenant de la transpiration des plantes.

Les figures ci-dessus, montrent que les valeurs de l'ETP surmontent aisément les valeurs des précipitations, à l'exception du mois de Janvier, entre 1993 et 2012, selon la station Bouchane, et les mois Décembre et Janvier, entre 1995 et 2012, selon la station Ouled Sidi Driss. (Omdi, 2013)

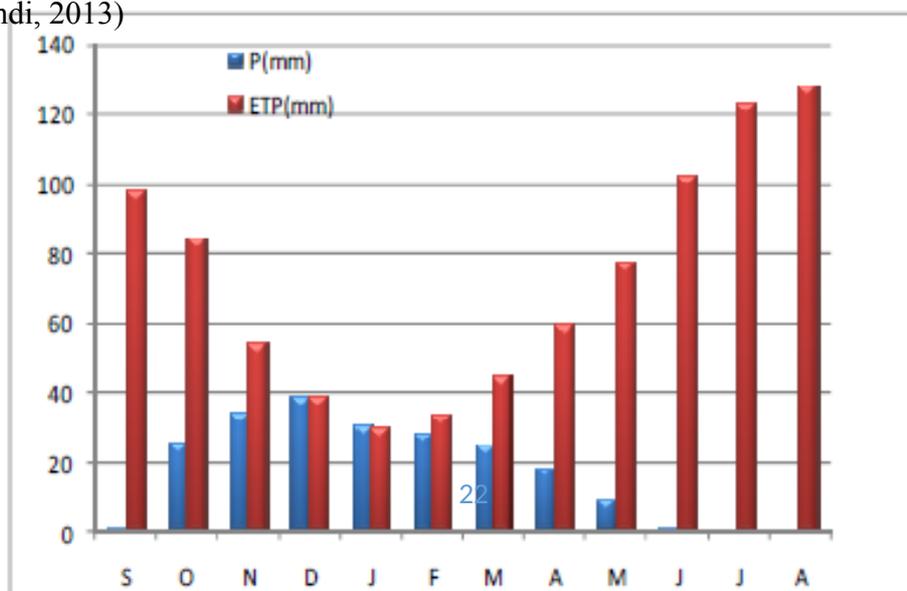


Figure 7: L'évapotranspiration et les pluies mensuelles moyennes interannuelles en mm, à Bouchane (Omdi, 2013)

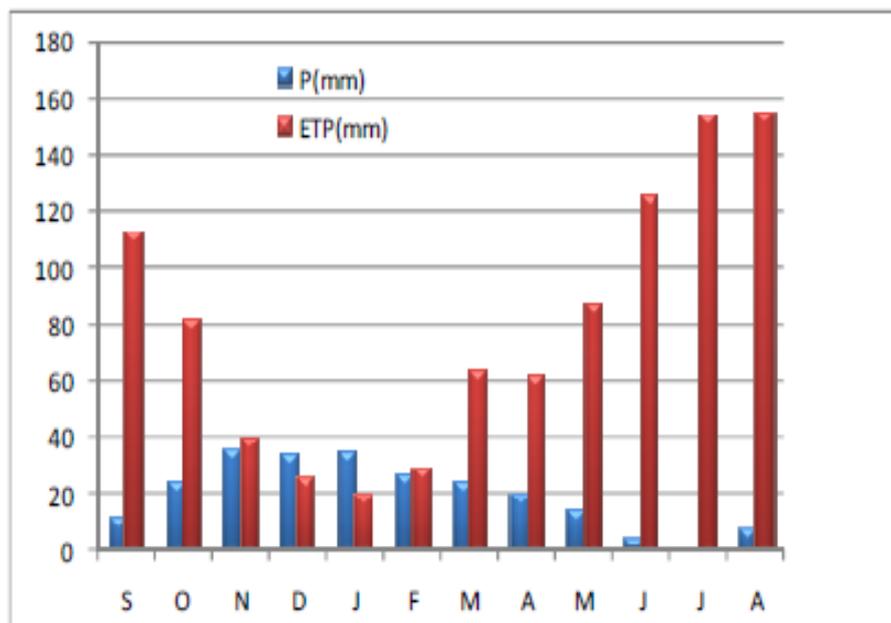


Figure 8: L'évapotranspiration et les pluies mensuelles moyennes interannuelles en mm, à Ouled sidi driss (Omdi, 2013)

4. Cadre hydrologique de la Bahira occidentale

Le réseau hydrographique de la Bahira est peu développé et se limite aux talwegs alimentés par les ruissellements sur les versants des Rehamna, des Jbilet et du plateau de Gantour (Figure 9), Les eaux Collectées se perdent dans les dépressions endoréiques.

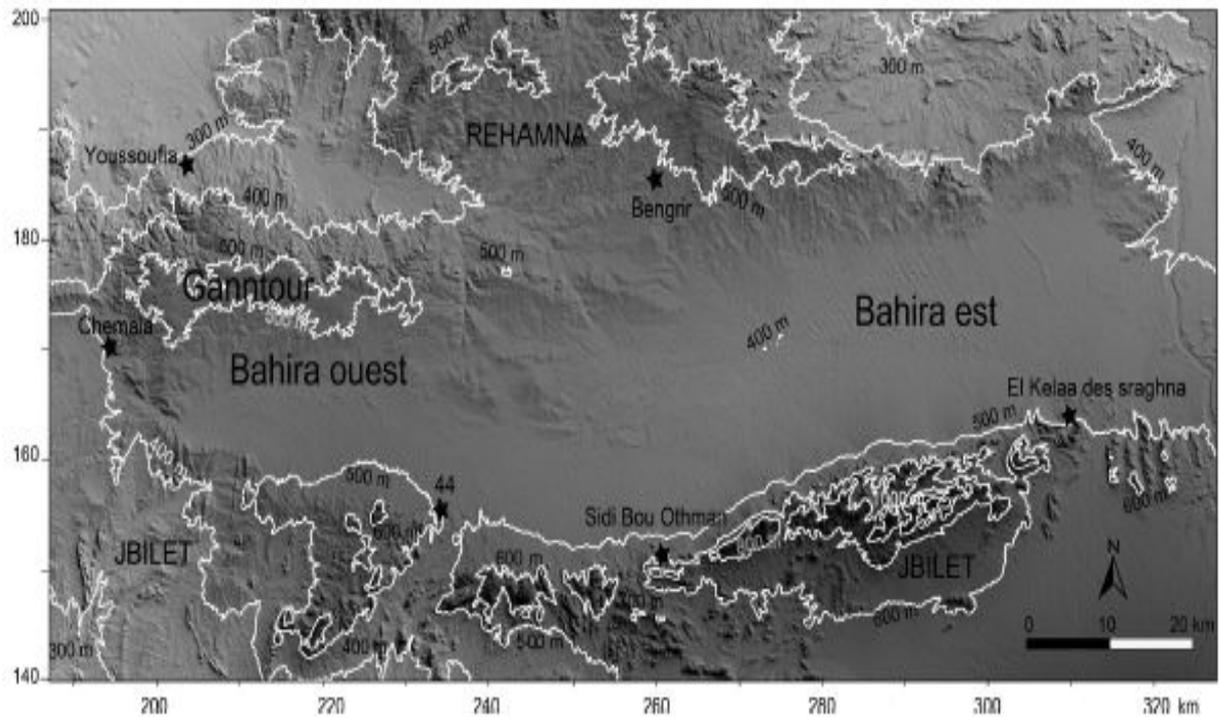


Figure 9: Modèle numérique de la plaine de la Bahira(Karroum,2015)

En suivant les étapes du logiciel Arc Gis susmentionnées, on a pu réaliser la carte représentant les bassins versants de la Bahira Occidentale (Figure 10).

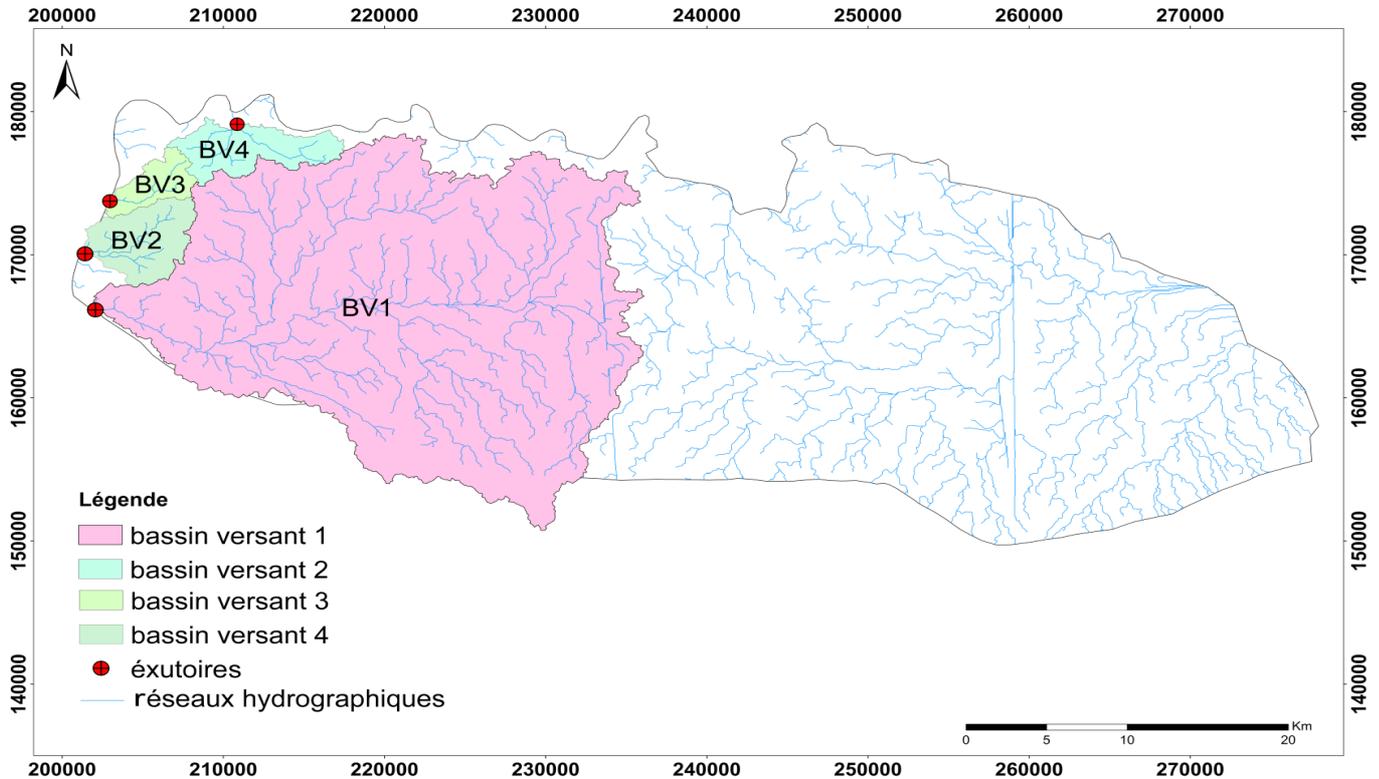


Figure 10: Carte des bassins versants hydrographiques de la plaine de la Bahira occidentale

La Bahira occidentale renferme quatre bassins versants dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau 1, Les surfaces et les périmètres sont obtenus à l'aide de l'Arcgis à partir de la carte des bassins versants hydrographiques de la plaine de la Bahira occidentale.

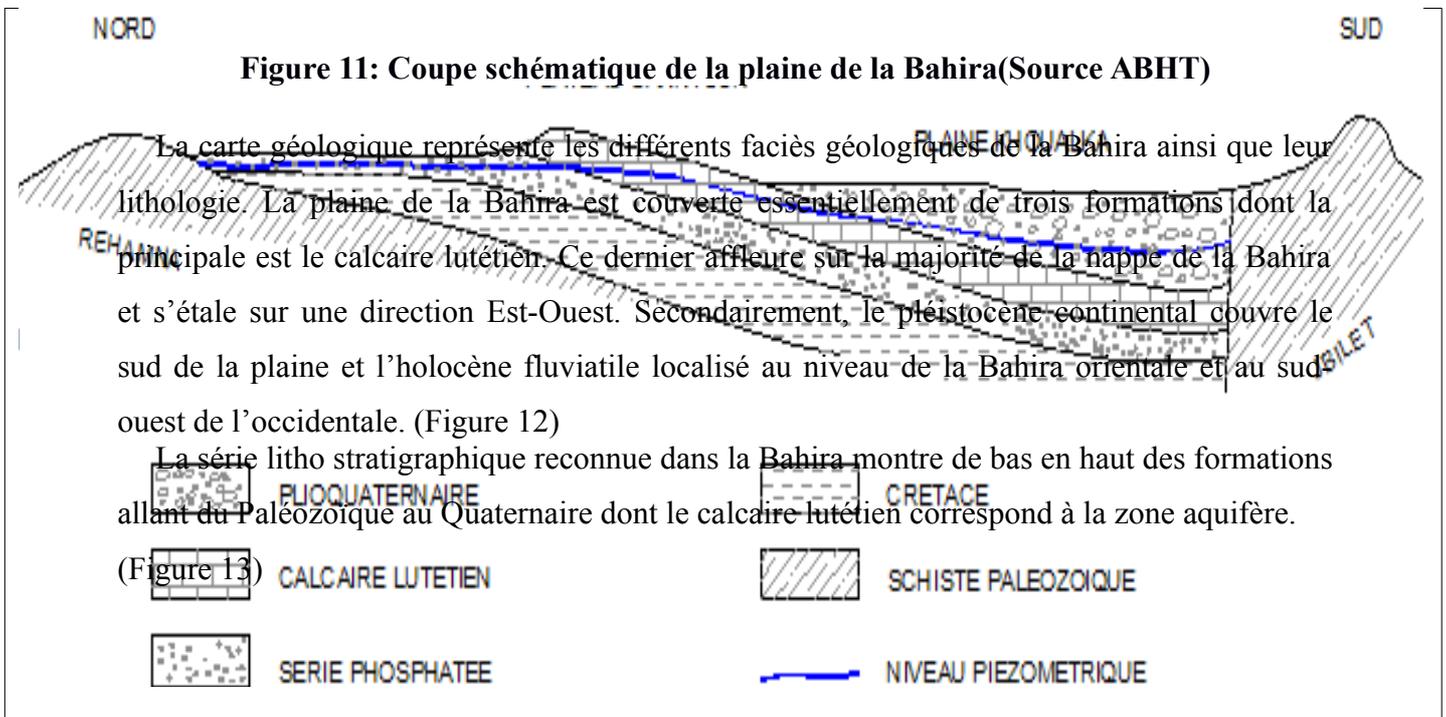
Bassin versant	Surface (Mm ²)	Périmètre (m)
BV1	559,60	152276.60
BV2	28,48	2688
BV3	13,58	21478.36
BV4	27,05	36652.96

**Tableau 1:
des Bassins
Bahira**

**Caractéristiques
Versants de la**

5. Cadre géologique de la Bahira

Le bassin sédimentaire de la Bahira est localisé entre les Jbilet au Sud, le massif primaire des Rehamna au Nord et le plateau des Mouissate à l'Ouest. (Figure 11)



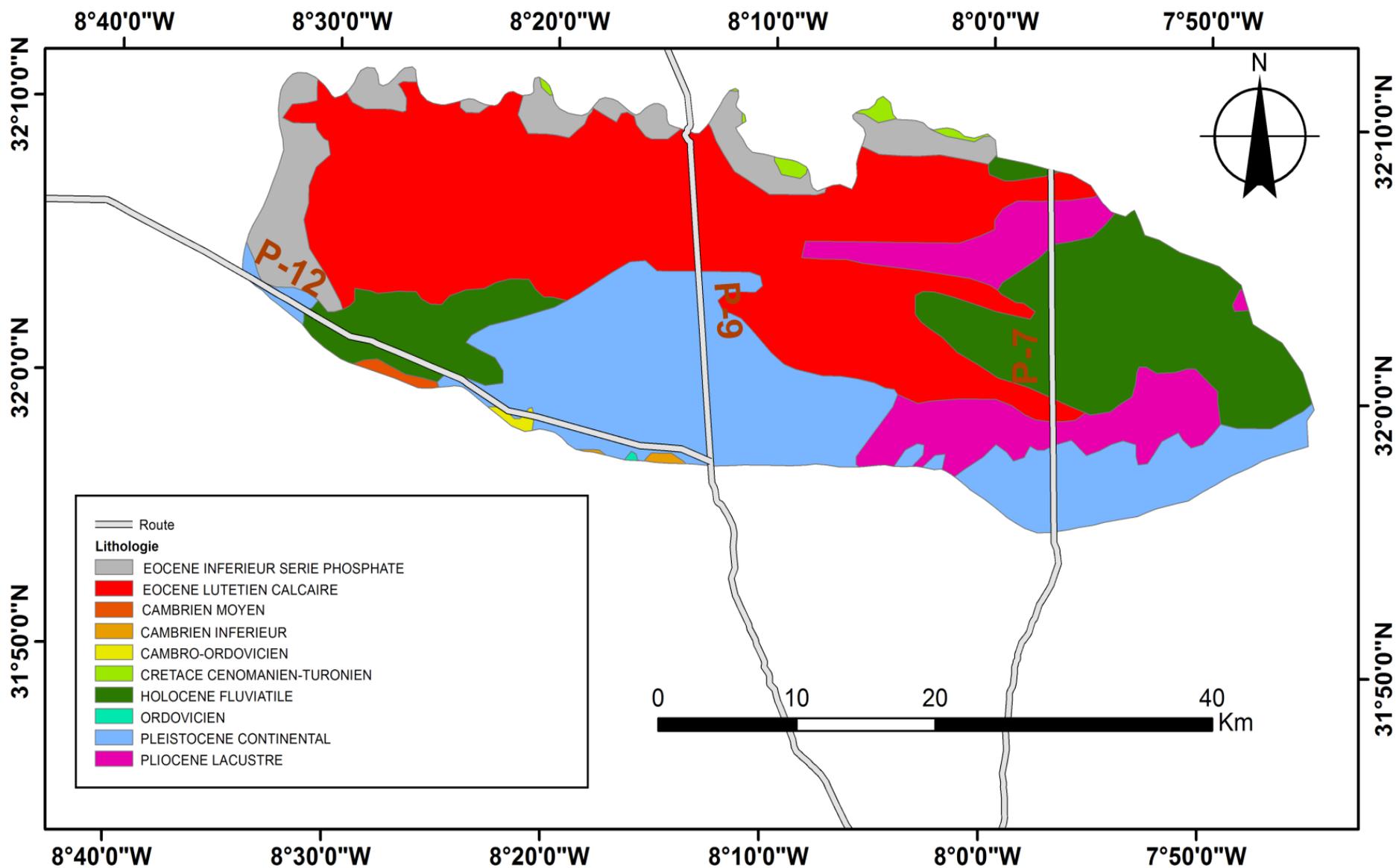


Figure 12: Carte géologique de la nappe de la Bahira

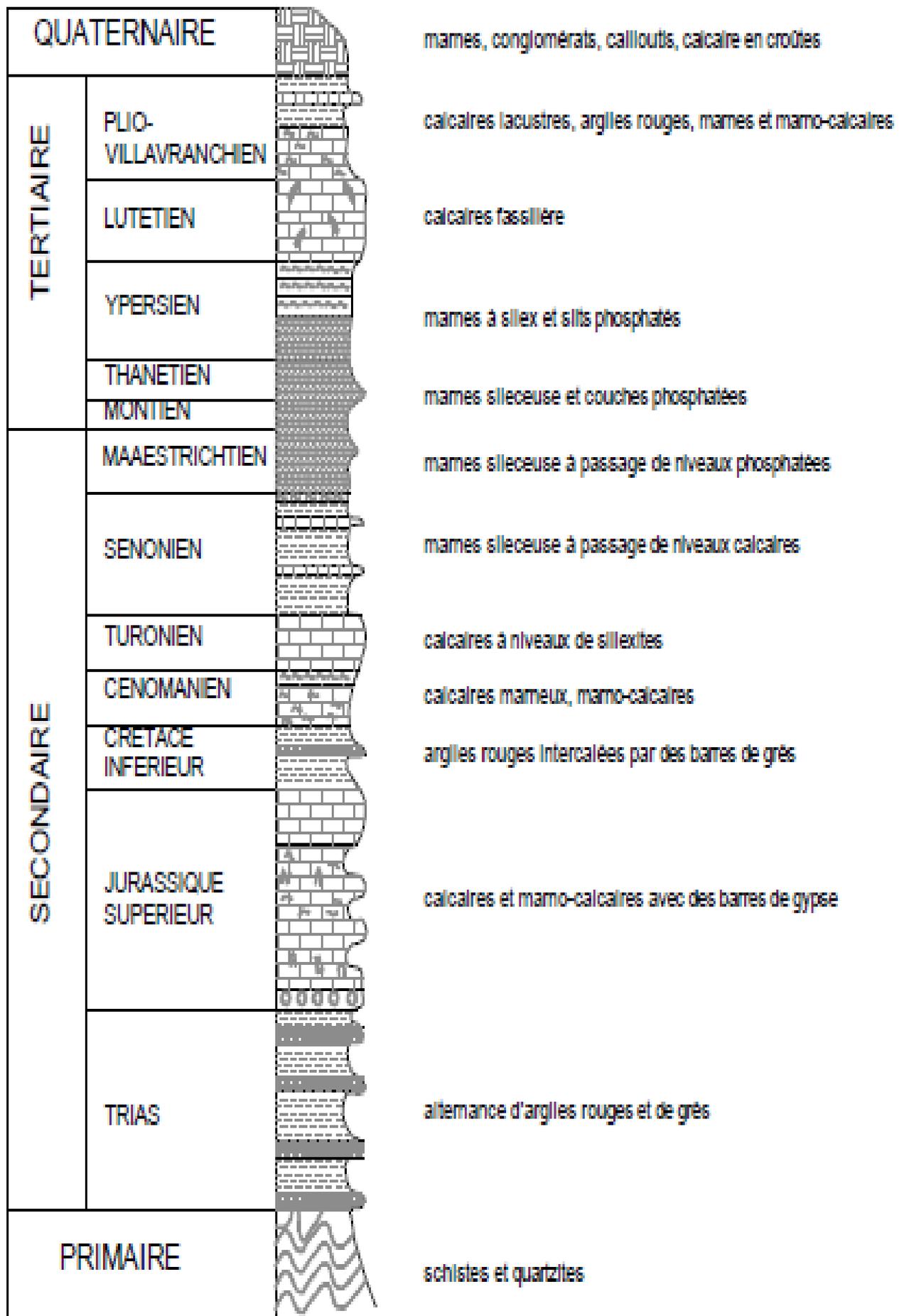


Figure 13: Log litho stratigraphique de la Bahira (Source ABHT)

6. Cadre hydrogéologique de la Bahira

5.1. Réservoirs de la nappe

Suivant la description lithologique abordée dans le chapitre précédent, on peut identifier plusieurs horizons potentiellement aquifères :

Le réservoir Plio-quadernaire :

L'aquifère du Plio-quadernaire est assez hétérogène sur toute la plaine de la Bahira, constitué d'un complexe d'argile rouge avec des lits de graviers et de cailloutis. Ces formations se distinguent par des mauvaises caractéristiques hydrodynamiques, tandis que leur puissance peut parfois dépasser les 200 m, notamment à Sed Al Mejnoun. Son faciès de calcaires lacustres au Nord, il contient à l'Est des passées de conglomérats ayant des bonnes caractéristiques hydrodynamiques : épais de 10 à 40 m. Plus au sud, en bordure des Jbilet, se forment essentiellement des alluvions hétérogènes renfermant des galets, des graviers et du sable grossier. Ces zones d'épandage sont caractérisées par une épaisseur qui varie entre 20 à 25 m. Vue sa grande extension sur la Bahira, la nappe du Plio-quadernaire joue un rôle très important dans l'hydrogéologie de la Bahira : Elle s'étend sur la zone située entre les Jbilet au sud et le Plateau du Ganntour, aux confins des Rehamna plus au Nord, ainsi qu'au niveau de la dépression topographique du lac Zima.

Le réservoir phosphaté supérieur :

Constitué par les sables silteux phosphatés de la base Yprésienne (couche des 11m), les marnes siliceuses à passages de niveaux phosphatés de l'Yprésien et enfin les marnes siliceuses du Lutétien. Cet aquifère est caractérisé par un substratum formé par les argiles Yprésiennes, il n'est limité de l'aquifère sus-jacent par aucune formation imperméable. Sa puissance moyenne est aussi variable, elle est de 80 m à Youssoufia, 13 m à El Ouata, 35 m à Benguerir, 25 m à El Harrach et de 24 m à la Tessaout.

Le réservoir phosphaté inférieur :

Cet aquifère est formé essentiellement par les phosphates sableux du Maastrichtien supérieur et des marnes sableuses phosphatées semi-perméables du Thanétien. Ayant pour substratum et toit respectivement les argiles maastrichtienne et Yprésienne, Le réservoir phosphaté inférieur est assez hétérogène, il montre également une puissance globale moyenne variable, de 36 m à El Ouata et 57 m à Benguerir. Les nappes de la série phosphatée ont une importance faible des points de vue potentialités hydrauliques et étendue géographique.

Le réservoir des schistes primaires :

Il est reconnu aux deux limites du secteur, les Rehamna au Nord et les Jbilet au Sud (El Mandour, 1991 et El Mandour et al, 2001), ainsi qu'au niveau du seuil de Rhirat. Ce réservoir

est lié à la partie altérée des schistes primaires. Il est ainsi reconnu au niveau des affleurements de ces schistes ou lorsqu'ils sont recouverts par du Quaternaire peu puissant. Les eaux circulent au niveau du massif granitique altéré aux environs de Benguerir, Ou encore, dans les conglomérats westphalo-autuniens de la région de Sidi Ziane à l'Est du bassin.

Le réservoir calcaire lutétien :

C'est le réservoir principal de la plaine de la Bahira occidentale compte tenu de sa proximité de la surface du sol, de son importante extension spatiale et la bonne qualité de ses eaux. Cet aquifère enrobe des calcaires siliceux fortement fracturés du lutétien, il s'étend sur une direction Est-Ouest le long du plateau du Gantour et semble atteindre les jbilat au Sud. Les calcaires du lutétien affleurent dans la partie Ouest de la plaine et s'amincissent de façon remarquable en allant vers l'Est, leur puissance moyenne est comprise entre 20 et 50m.

5.2. Géométrie de l'aquifère lutétien

La superposition des données isohypses et isobathes (Figure14&15) nous permet de déterminer l'épaisseur (Figure 16) de la nappe à différents niveaux de la plaine de la Bahira et par suite de localiser les zones où il serait judicieux d'implanter des forages.

Aussi, l'épaisseur la plus importante est relevée au niveau de la Bahira occidental (entre 50 m et 70 m). Alors, qu'au niveau de la Bahira orientale et du centre de la plaine, cette épaisseur 40 m.

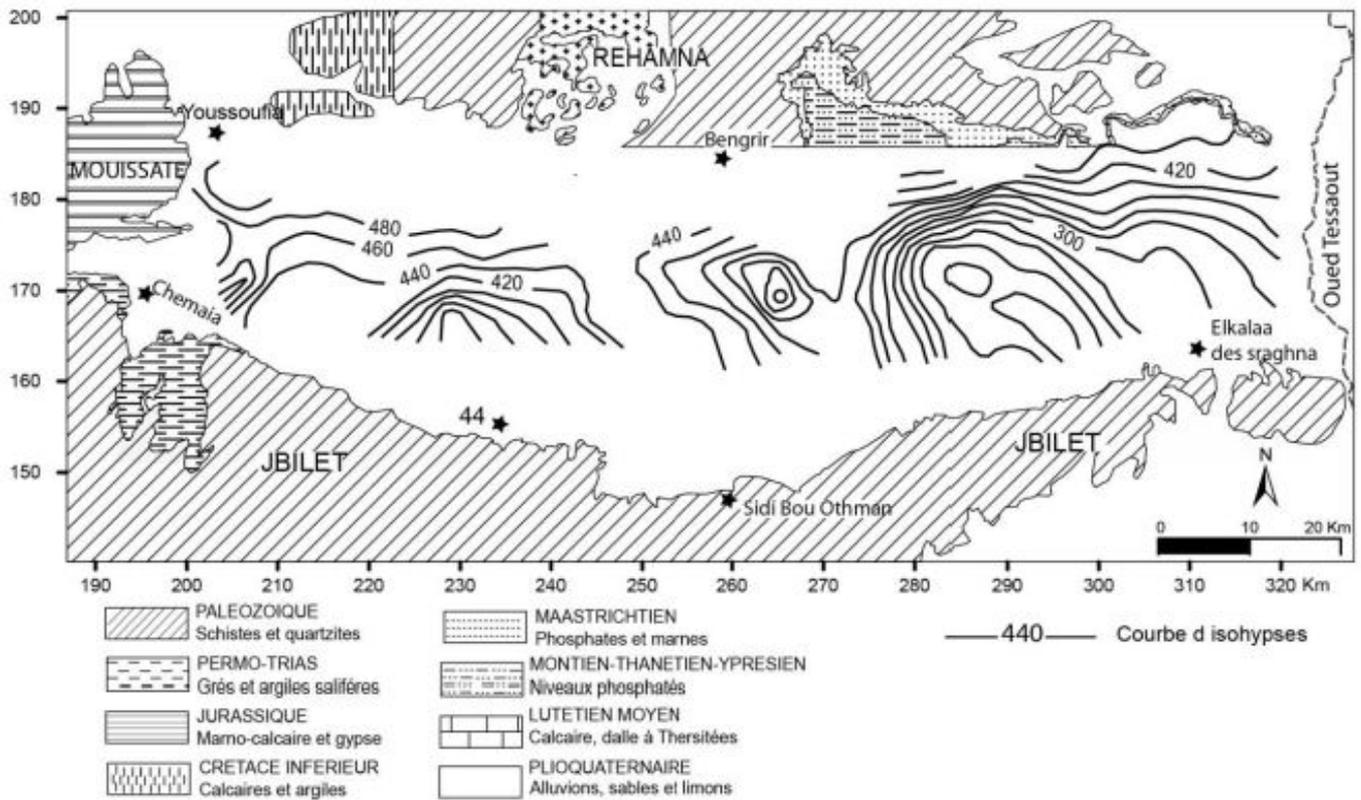


Figure 14: carte du toit du calcaire lutetien (Karrour, 2015)

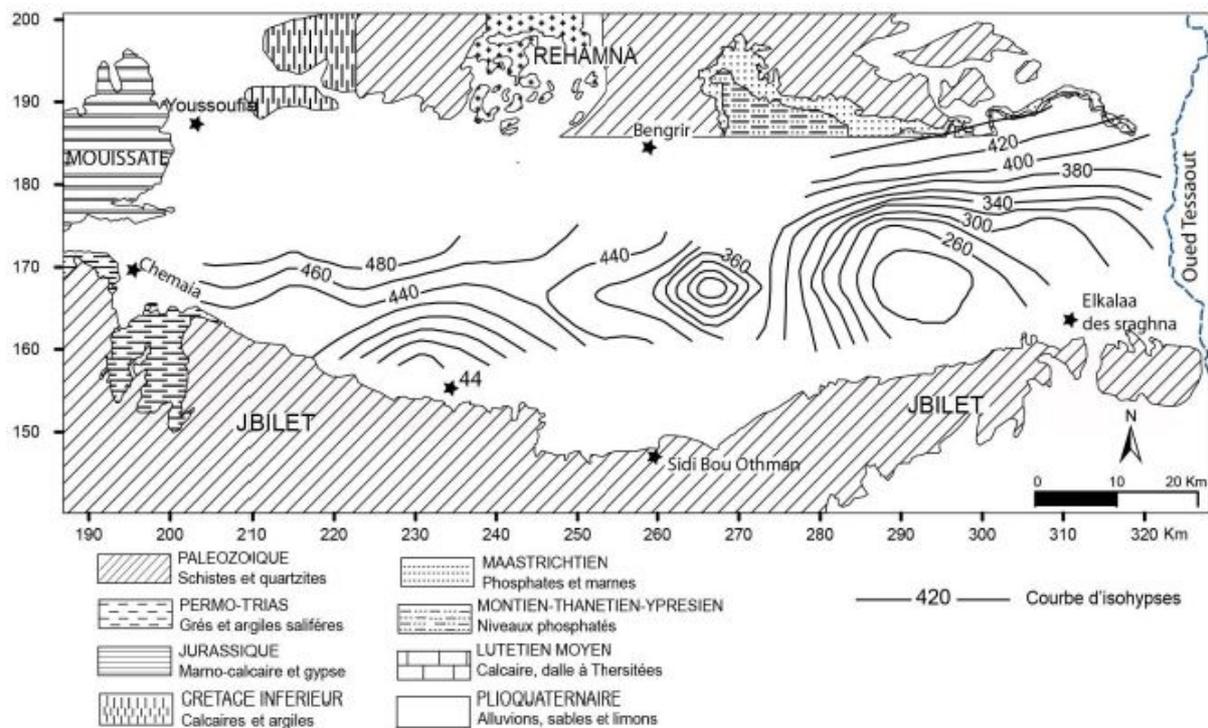
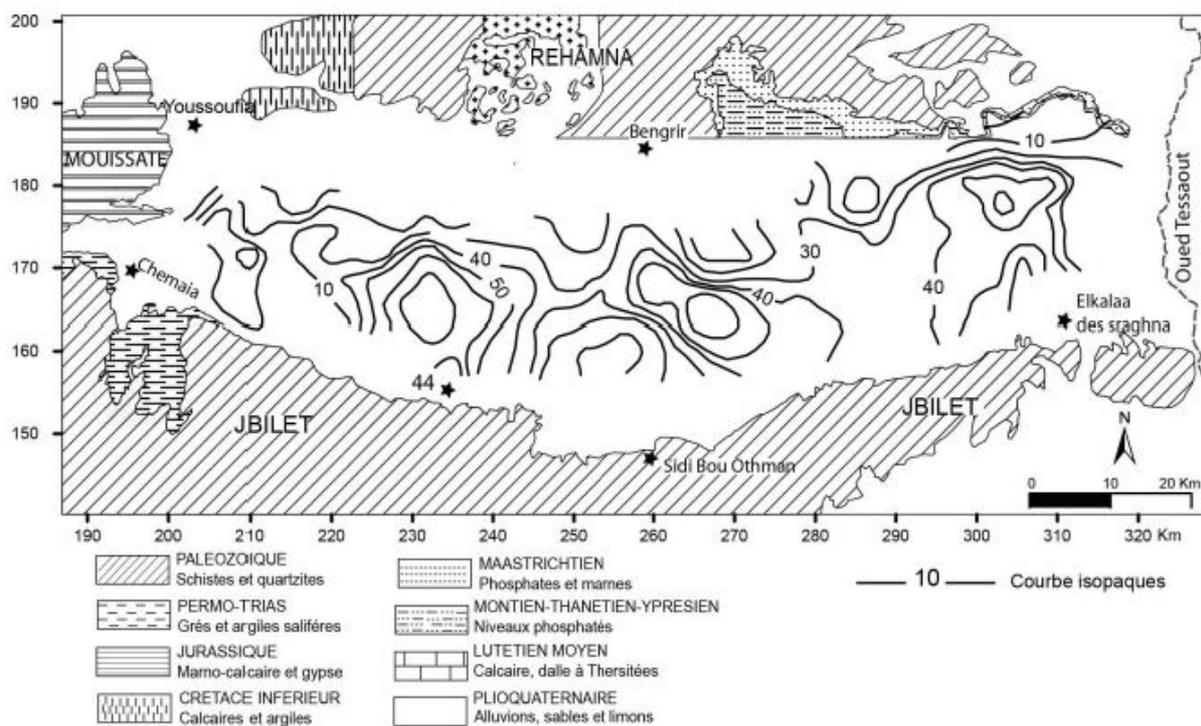


Figure 15: carte du mur du calcaire lutetien (Karrour, 2015)



5.3 Données de forages

Dans l'objectif d'élaborer des cartes nécessaires pour la caractérisation hydrodynamique de la plaine de la Bahira (cartes de transmissivité, débit et conductivité), des informations sous forme de fiches (Annexe 1), concernant les forages creusés au niveau de la Bahira, ont été mises à notre disposition par les soins de l'ABHT. Il s'agit de 4109 fiches, dont 298 sont relatives à la zone étudiée (Figure 17).

Quoique les paramètres de certains forages fassent défaut, nous avons pu quand même réaliser une base de données sur un fichier Excel (Annexe 2) mettant en exergue les caractéristiques essentielles des différents puits objet de notre étude, à savoir:

- Le numéro IRE du puits ;
- Les coordonnées du forage (X, Y, Z) ;
- La date du forage ;
- La profondeur ;
- Le niveau piézométrique,
- La conductivité, comprise entre 0,3 et 7000 mho/cm ;
- Le débit variant entre 0,1 et 200 l/s ;
- Le rabattement ;
- La transmissivité autour de 10^{-2} et 10^{-6} m²/s ;
- La lithologie.

La carte ci-dessous correspond à l'implantation des forages au niveau de la plaine de la Bahira. Leur répartition est caractérisée par une forte densité au niveau du Sud de la Bahira orientale, au centre de la Bahira occidentale et le long de la route P12 (Figure 17).

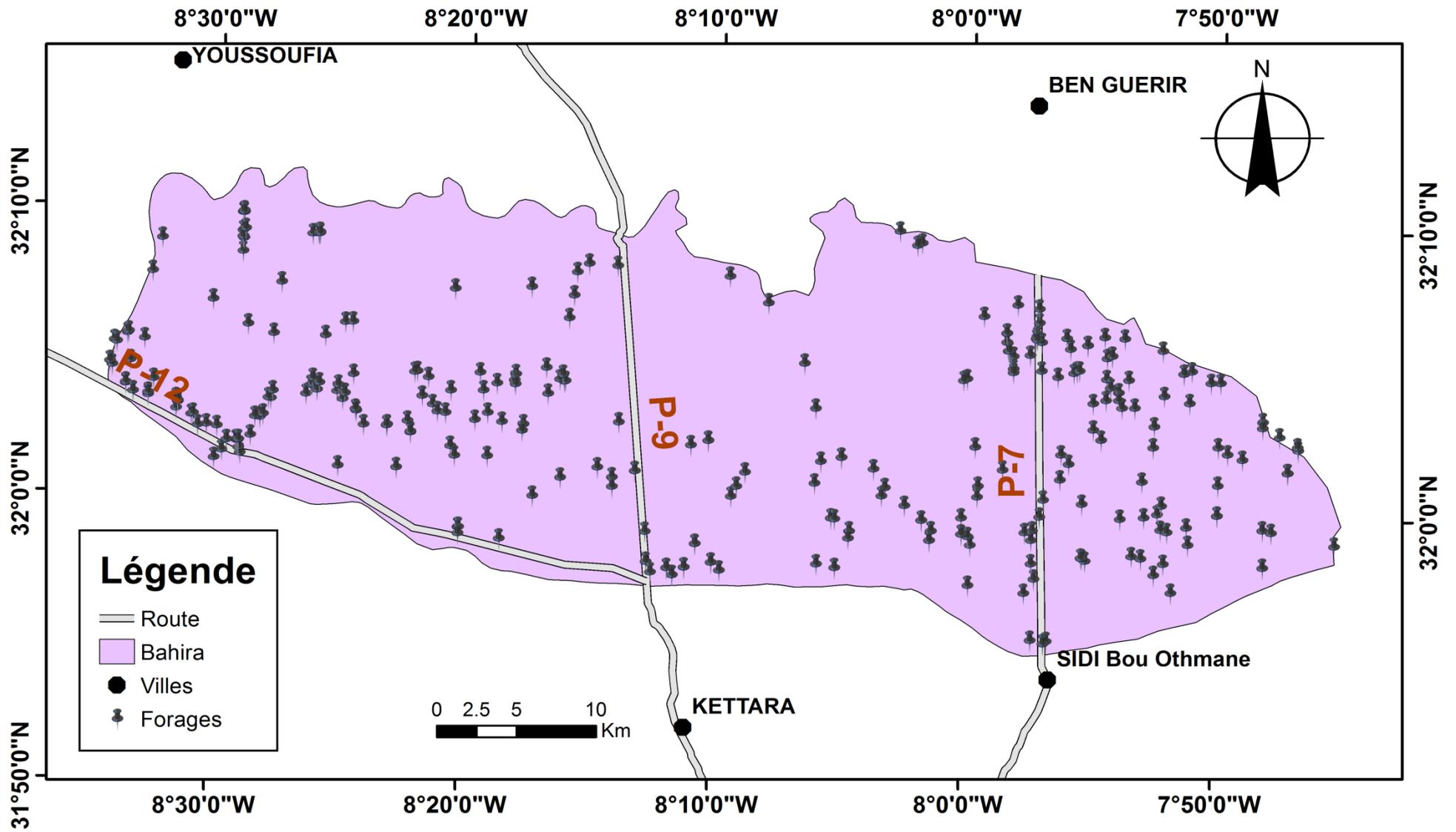


Figure 17: Carte des forages au niveau de la nappe de la Bahira

7. Caractéristiques Hydrodynamiques

6.1. Coefficient d'emmagasinement

L'emmagasinement caractérise la capacité d'un aquifère à stocker et à restituer de l'eau. Dans le cas de la nappe libre de la Bahira, il s'apparente à la porosité efficace de la formation. Un coefficient d'emmagasinement uniforme de 2 % est appliqué à toute la nappe. (Source ABHT).

6.2. Débits (Figure 18)

La carte effectuée à partir du fichier Excel montre des débits considérables qui varient entre 53 et 80 l/s, aussi bien au Sud de la Bahira orientale qu'au niveau de la Bahira occidentale et plus spécifiquement la zone d'El khoualka.

Comme on peut assimiler les débits à la productivité des forages, les zones de forts débits connaissent l'installation de plusieurs projets agricoles.

6.3. Transmissivité (Figure 19).

La [transmissivité](#) d'un [aquifère](#) est la capacité de celui-ci à mobiliser l'eau qu'il contient et se détermine lors de pompages d'essai. Nous avons pu dresser une carte de transmissivité malgré le manque des données pour certains puits.

Cette carte montre des valeurs importantes de transmissivité (0,029-0,071 m²/s) enregistrées au niveau des puits localisés dans la Bahira orientale. De même, la transmissivité est de l'ordre de 0,016-0,028 m²/s au niveau de la Bahira occidentale et plus particulièrement sur la région d'El khoualka.

Les valeurs élevées de la transmissivité sont liées aux forts débits enregistrés, qui est un indicateur de la bonne fracturation du calcaire du lutétien.

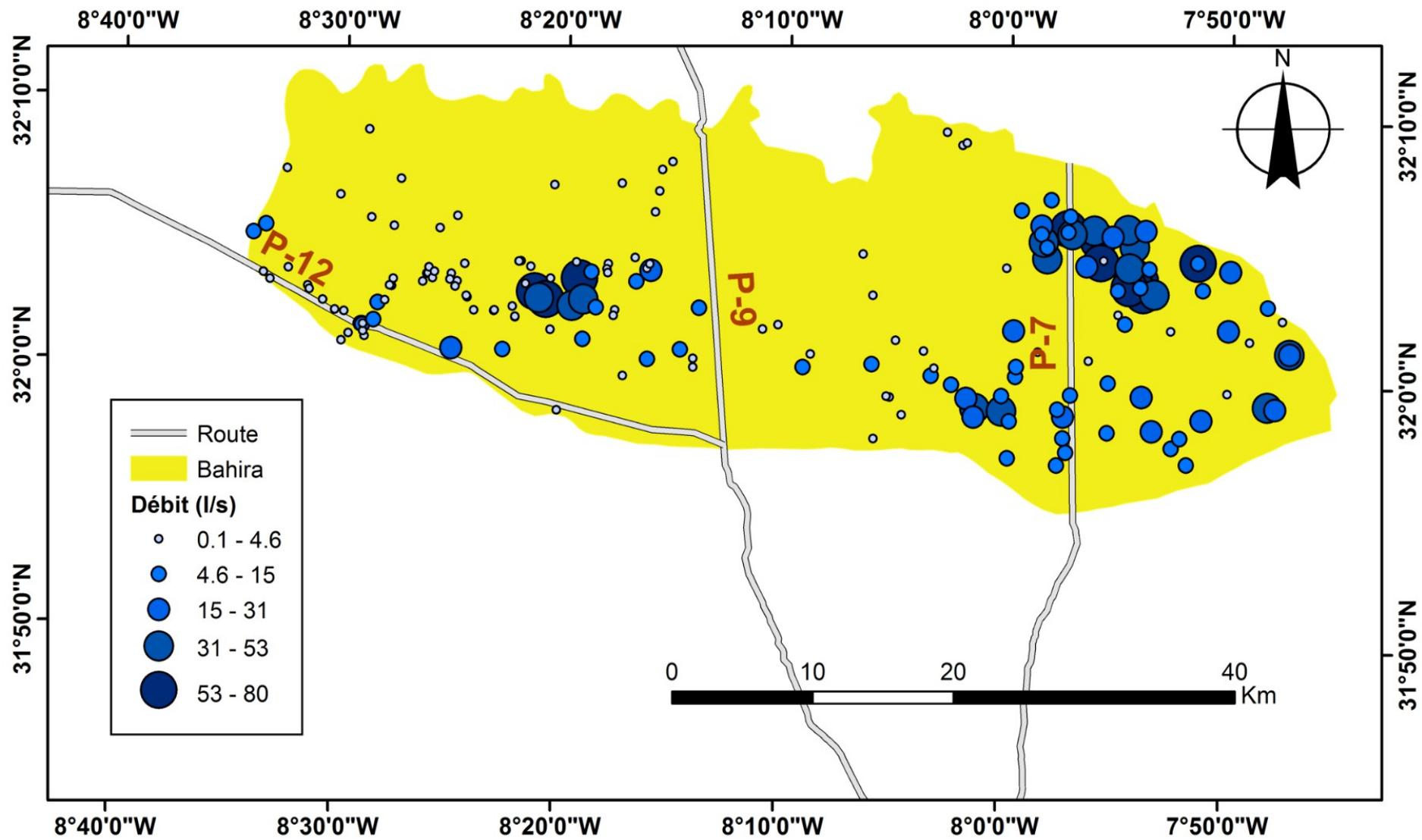


Figure 18: Carte des débits des forages de la Bahira

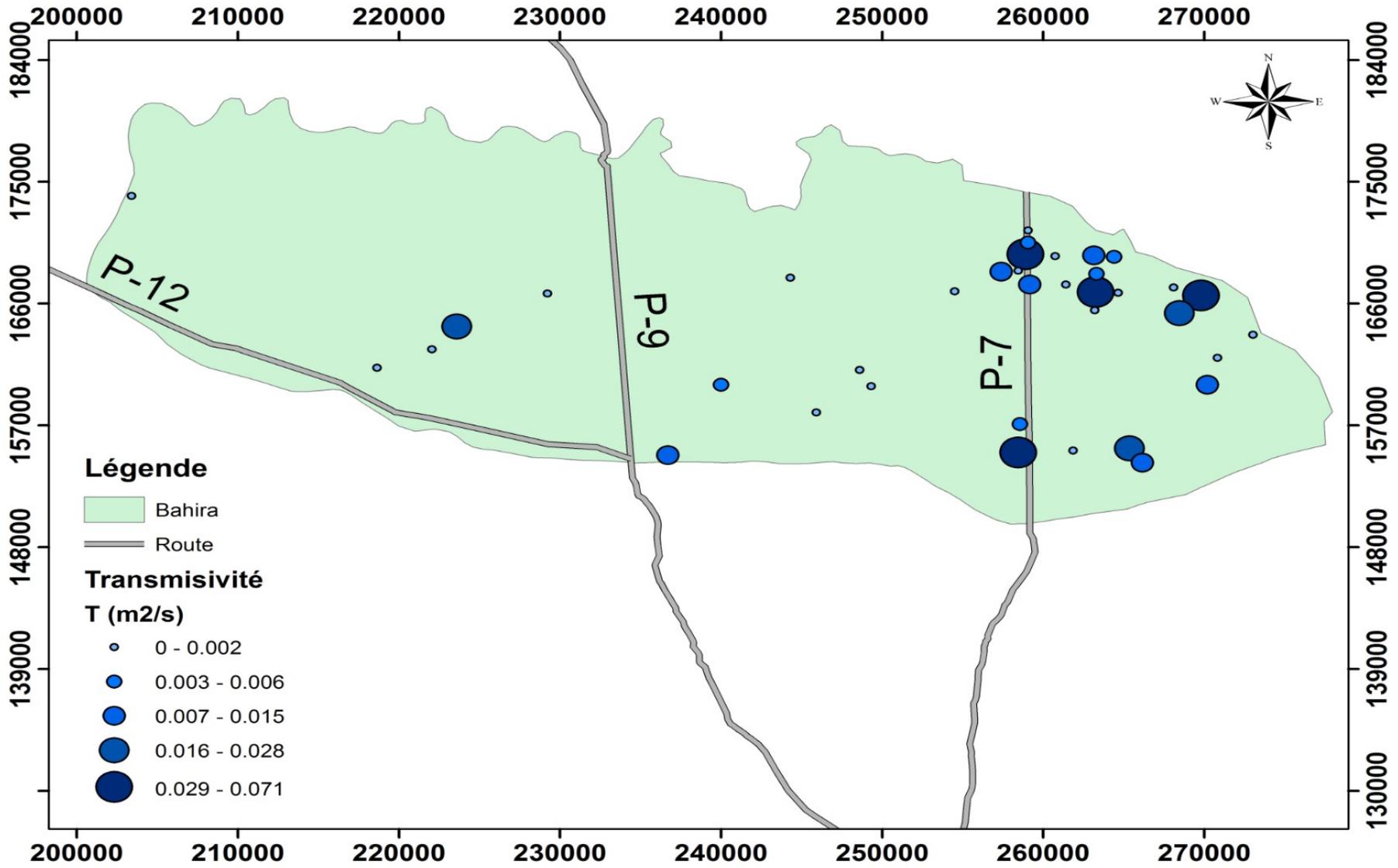


Figure 19: Carte de transmissivité

8. Qualité des eaux (Figure 20)

Afin d'évaluer la qualité de l'eau on a eu recours à la réalisation d'une carte de conductivité. Cette dernière donne des indications sur la minéralisation des eaux. En effet, plus la minéralisation est forte, conséquence d'une évaporation intense, plus la conductivité augmente.

Ainsi, sur la carte on remarque que la conductivité diminue au centre de la Bahira occidentale et au Sud de la Bahira orientale (couleur bleu). Ceci s'explique par le fait que les calcaires lutétiens affleurent dans ces zones à des grandes épaisseurs les mettant à l'abri d'une évaporation accrue.

L'ensemble de ces caractéristiques (débit, transmissivité, conductivité) fait de ces zones le siège de prédilection de l'installation d'un plus grand nombre de forages.

Bilan d'eau :

Le bilan d'eau d'un système aquifère est la différence entre les entrées égales au débit moyen des apports et des sorties représentées par le débit moyen des écoulements. Ce bilan se réfère à un domaine limité dans l'espace et à une durée moyenne précise.

Le bilan de la région de la Bahira, tel qu'il nous a été communiqué par l'ABHT, est représenté sur le tableau 2 ci-dessous.

Le déstockage constaté de la nappe (12 Mm³) est dû à sa surexploitation par la multiplication des forages dédiés à l'irrigation et à la succession des périodes de sécheresse. Ceci est à l'origine de la baisse du niveau piézométrique de la nappe de la Bahira, problématique dont l'étude fera l'objet du chapitre suivant.

	Entrées (Mm ³ /an)	Sorties (Mm ³ /an)		Bilan
		15 Mm ³ /an	Agriculture	
	21,6 Mm ³ /an		6,3Mm ³ /an	-12.9 Mm³/an
Total	15 Mm ³ /an	27.9 Mm ³ /an		

Tableau 2 : Tableau du bilan annuel de la nappe de la Bahira

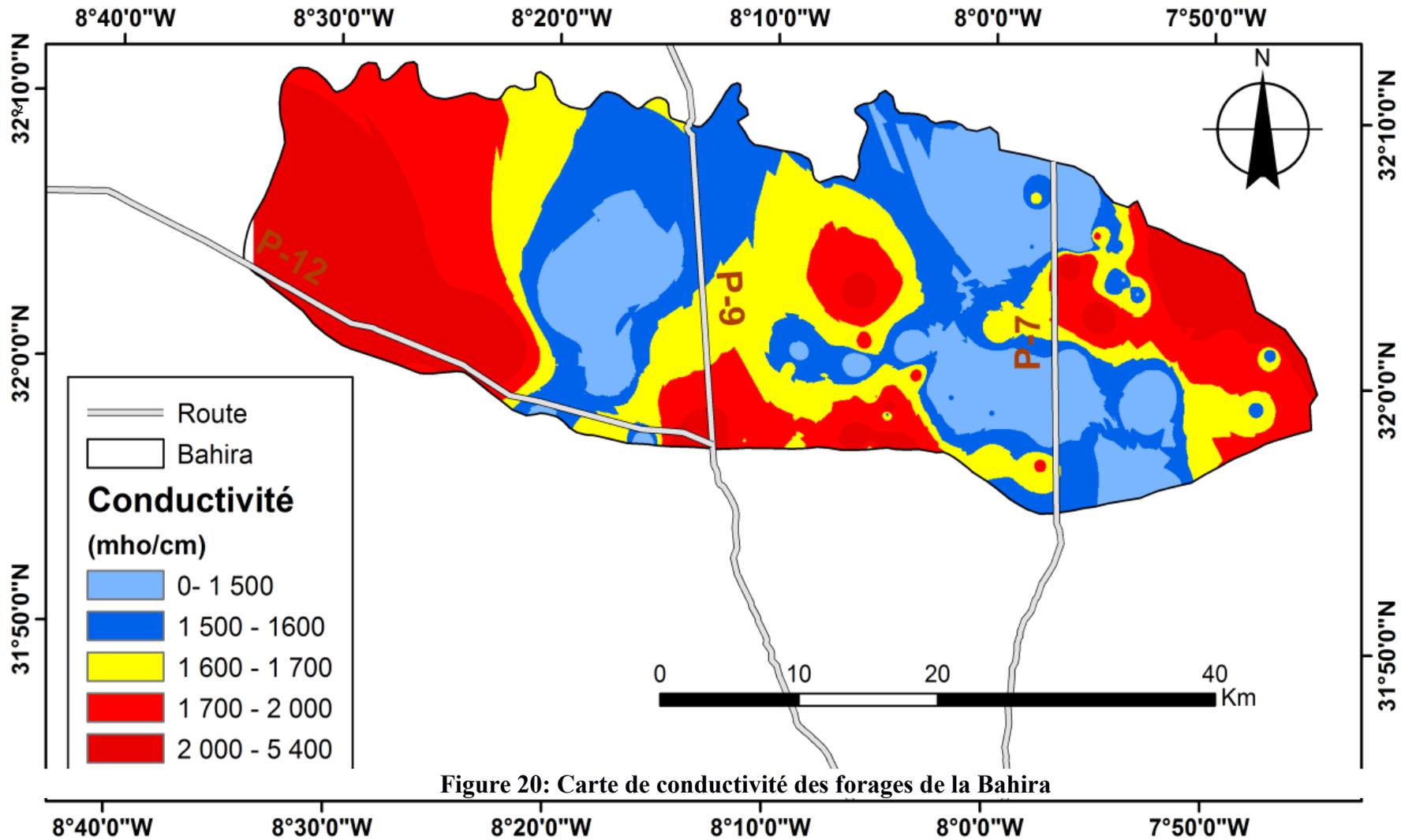


Figure 20: Carte de conductivité des forages de la Bahira

Chapitre VI

**Etude de la baisse piézométrique à
partir de 2006**

1. Analyse piézométrique

Pour effectuer l'analyse piézométrique, nous nous sommes basés sur les données de sept piézomètres (tableau 3) appartenant au réseau des eaux souterraines de l'ABHT au niveau de la nappe de la Bahira. La période d'observation, jugée courte, s'étale sur 10 ans de 2006 à 2016.

A l'aide du logiciel Arc Gis, nous avons pu concevoir une carte de répartition des piézomètres concentrés essentiellement au niveau de la zone centrale de la Bahira occidentale (figure 21).

N IRE	X	Y
4202/44	221843,86	166773,7
4203/44	228976,44	163266,38
4204/44	220840,06	163248,55
4278/44	216647,13	167245,11
4279/44	212956,99	179633,04
4352/44	222334,03	164902,57
4447/44	218069,18	169669,41

Tableau 3 : Tableau de coordonnées des piézomètres de la Bahira occidentale

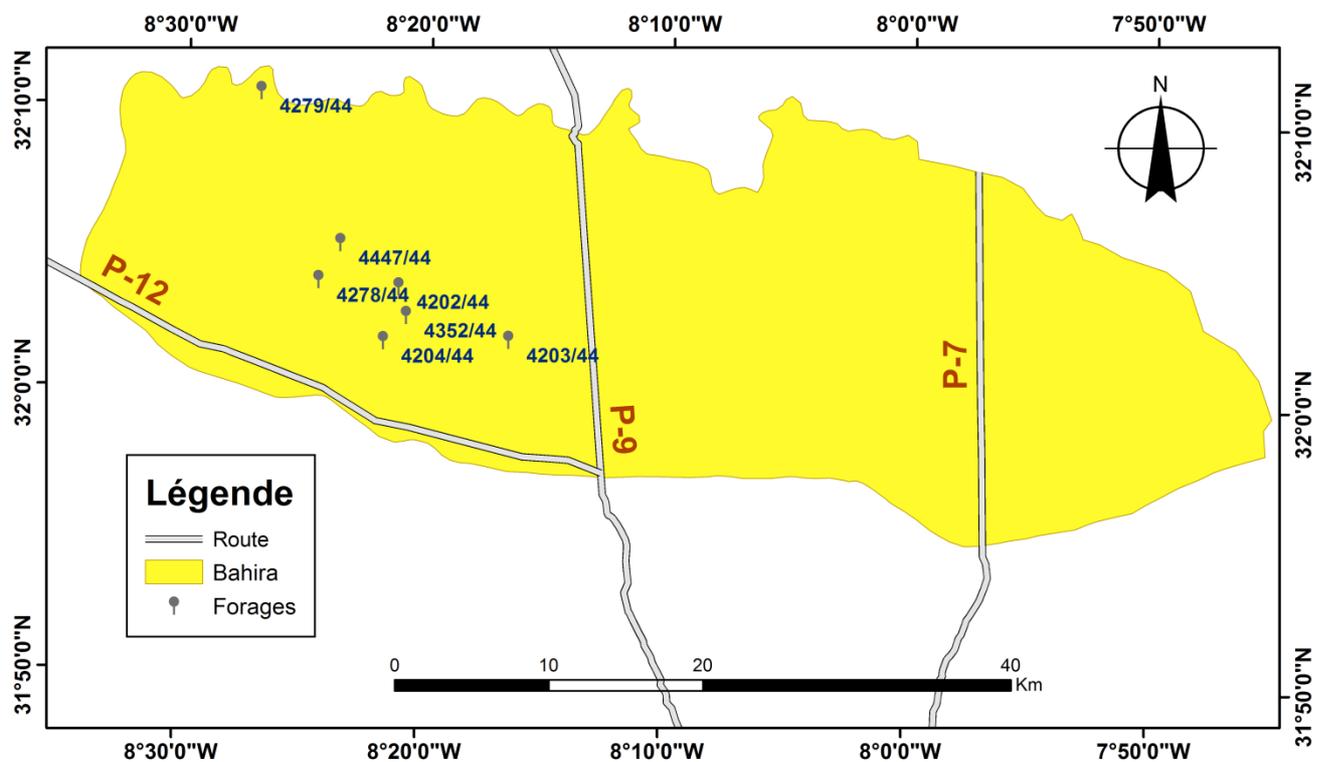
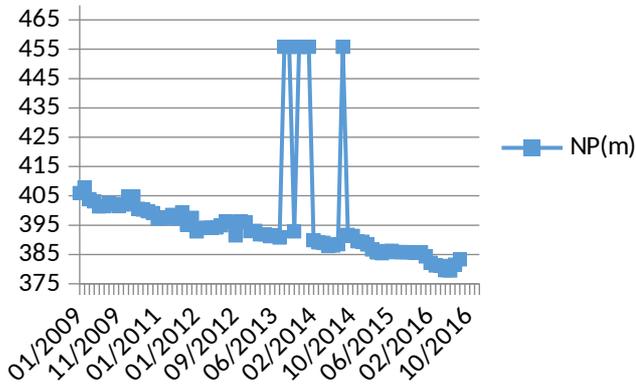


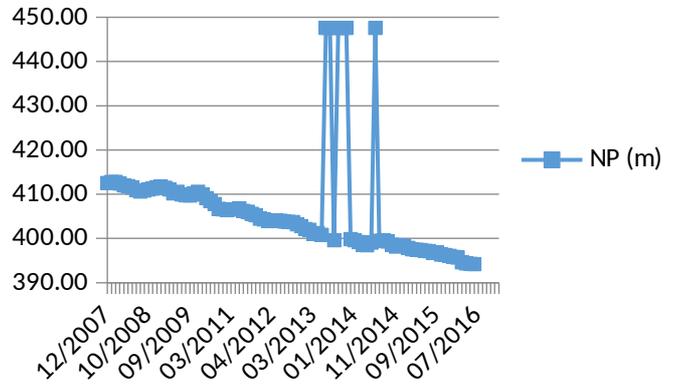
Figure 21: Carte de répartition des piézomètres

Les chroniques ci-dessous représentent l'évolution du niveau de l'eau de 2006 à 2016 (Figure 22), accompagnées de la carte de la baisse réalisée à l'aide de l'Arc Gis (Figure23).

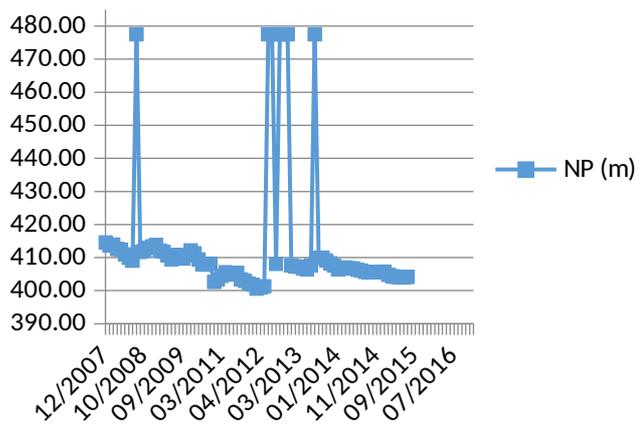
4202/44



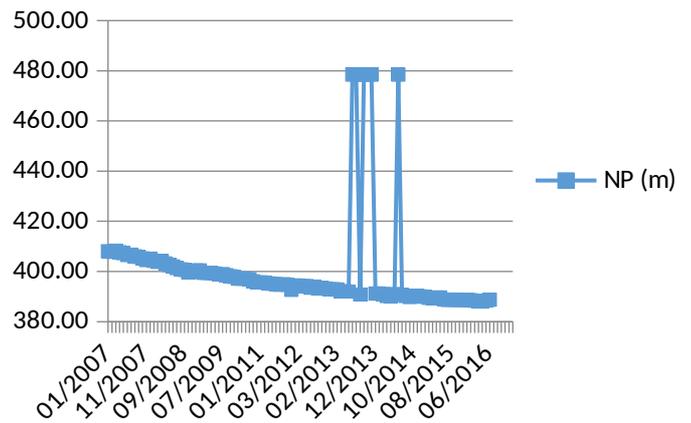
4278/44



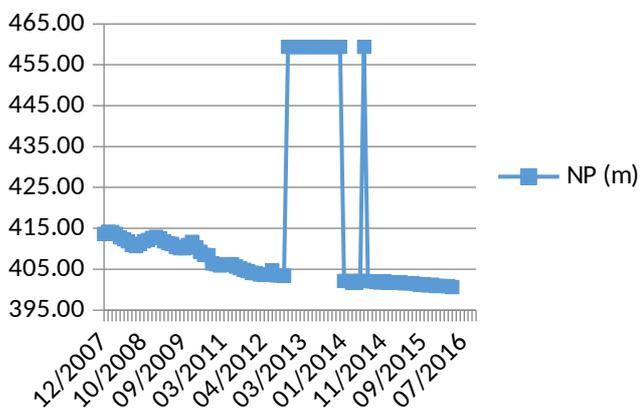
4203/44



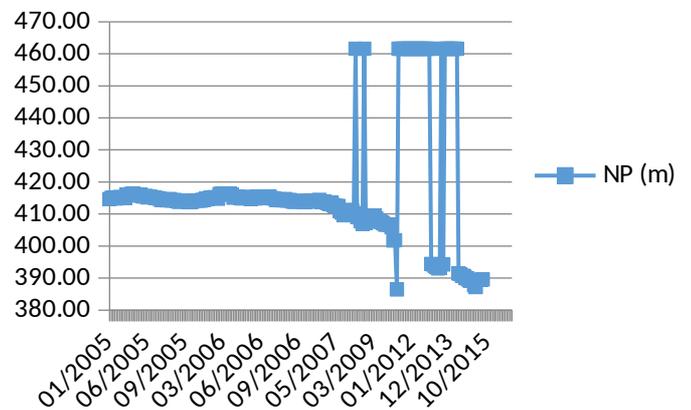
4279/44



4204/44



4352/44



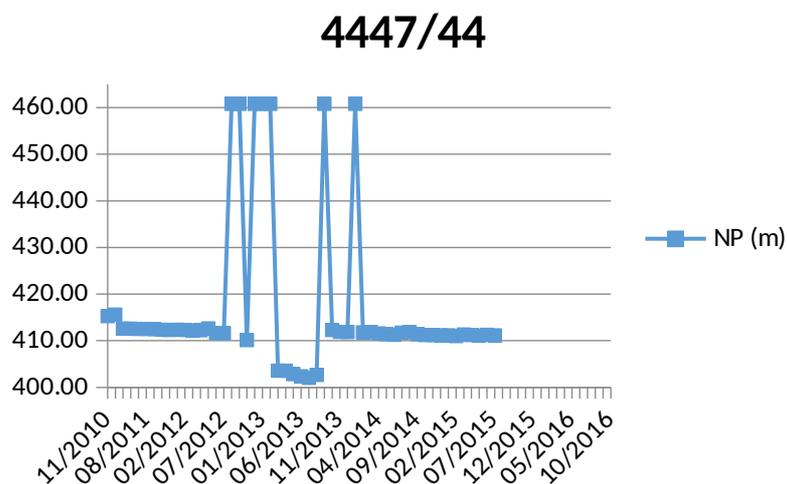


Figure 22: Chroniques piézométriques

La réalisation des chroniques piézométriques correspondant aux sept piézomètres étudiés nous a permis d'élaborer le tableau suivant (Tableau 4) montrant les valeurs de baisse du niveau piézométrique durant de 10 années d'observation ainsi que la baisse annuelle .

N° IRE	X	Y	Z (Ecart) (m)	baisse annuelle (m/an)
4202/44	221843.86	166773.7	-18.62	-2.7
4203/44	228976.44	163266.38	-10.4	-1.2
4204/44	220840.06	163248.55	-13.01	-1.4
4278/44	216647.13	167245.11	-18.36	-2.0
4279/44	212956.92	179633.04	-19.31	-2.1
4352/44	222334.03	164902.57	-25.08	-2.3
4447/44	218069.18	169669.41	-4.1	-0.7

Tableau 4: Tableau de l'écart piézométrique

Les sept piézomètres étudiés permettent de conclure que la baisse varie de 0,7 à 2,3 m par année.

La baisse du niveau piézométrique (NP) s'accroît dans les piézomètres à partir du mois d'Avril jusqu'aux mois de Septembre et Octobre marquant ainsi la fin de la période du fort pompage et se traduisant par une légère remontée du NP, insuffisante pour récupérer le niveau du mois d'Avril, ce qui engendre une baisse qui s'accumule au fil des années.

La chute la plus notable est celle du piézomètre 4352/44 : au niveau de la zone El Khoualka, au centre de la Bahira occidentale, celui-ci montre une chute importante du NP durant la période comprise entre 2005 et 2016. En effet, son NP a enregistré une baisse de plus de 20 m pendant 11 ans.

Pour mieux caractériser la baisse du NP au niveau de la Bahira occidentale, on a réalisé deux cartes de la baisse piézométrique (Figures 23&24), basées essentiellement sur la détermination de la différence des NP relevée durant les années d'observation de chaque piézomètre. Ceci nous a été permis grâce à l'outil contour du logiciel Arc Gis.

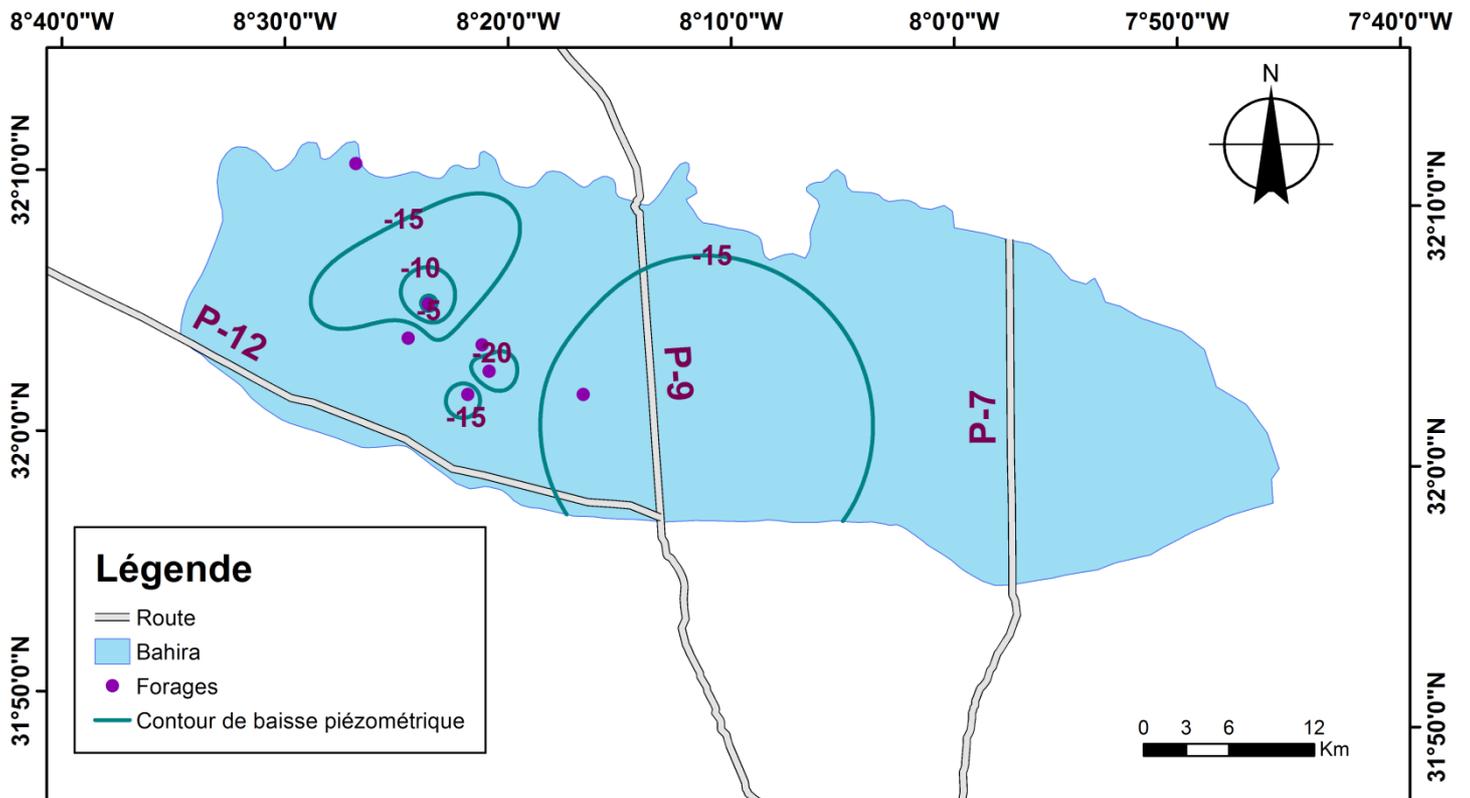


Figure 23: Carte de la baisse piézométrique entre 2006-2016

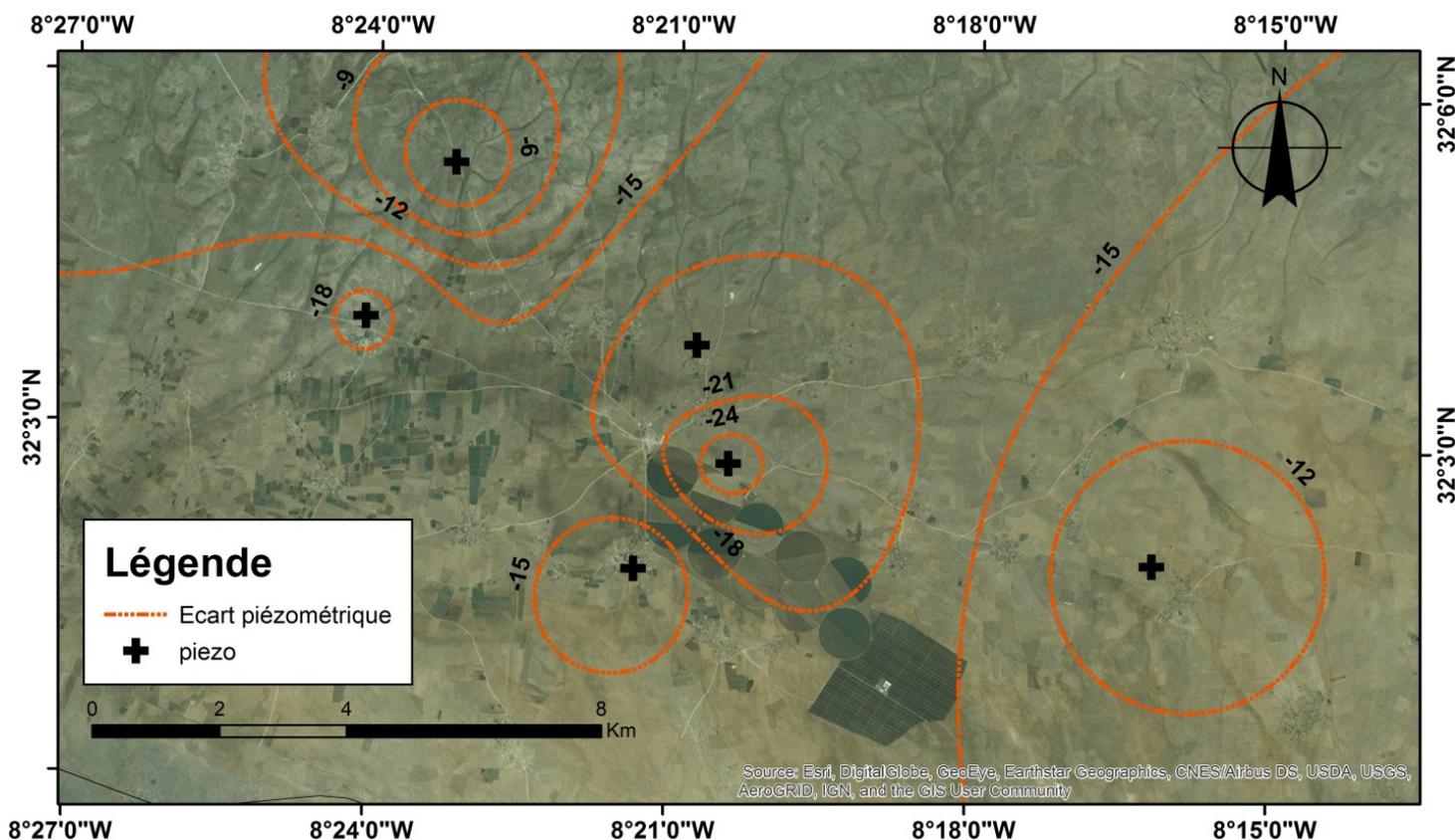


Figure 24: baisse du niveau de la nappe de la Bahira occidentale entre 2006 et 2016

La carte de la baisse piézométrique (Figure 23) nous a permis de localiser la zone où la baisse est considérée majeure et correspondant au centre de la Bahira occidentale où le déclin du NP varie entre 20 et 15m.

Depuis la carte satellisée (figure 24), on remarque qu'en s'approchant des terrains agricoles et des villages, la baisse du NP devient de plus en plus importante.

Cette détérioration du niveau piézométrique peut être expliquée par l'effet de l'exploitation intense des eaux souterraines que ce soit par le pompage destiné à l'irrigation des centaines d'hectares cultivées au niveau de la plaine de El Khoualka (21,6 Mm³/an) ou par l'alimentation en eau potables des villages (6,3072 Mm³/an). Cette régression est encore accentuée par la sécheresse due au climat aride caractérisant la zone de la Bahira occidentale.

2. Impact sur les forages d'alimentation en eau potable « AEP »

La baisse enregistrée au niveau de la nappe a un impact notable sur les forages dédiés à l'alimentation en eau potable. Cet impact est représenté dans le tableau 5 puis schématisé sous forme d'histogramme (Figure 25).

Ouvrages	Année de	Débit	Variation de débit	Baisse de débit
F1 N°IRE 4507/44	2014	40	30	-10
F2 N°IRE 4508/44	2014	40	37	-3
F9 N°IRE 1/216	2016	38,2	40	1,8
F10 N°IRE 2/216	2016	39,4	27	-12,4
F6 N°IRE 1888/44	1995	60	0	-60
F7 N°IRE 4160/44	1995	75	1	-74
F5 N°IRE10/2012	2011-2012	20	20	0
F3 N°IRE 3766/44	1995	60	0	-60
F4 N°IRE 4444/44	2010-2013	30	2	-28

Tableau 5 : Tableau des forages de l'ONEEP à la Bahira occidentale

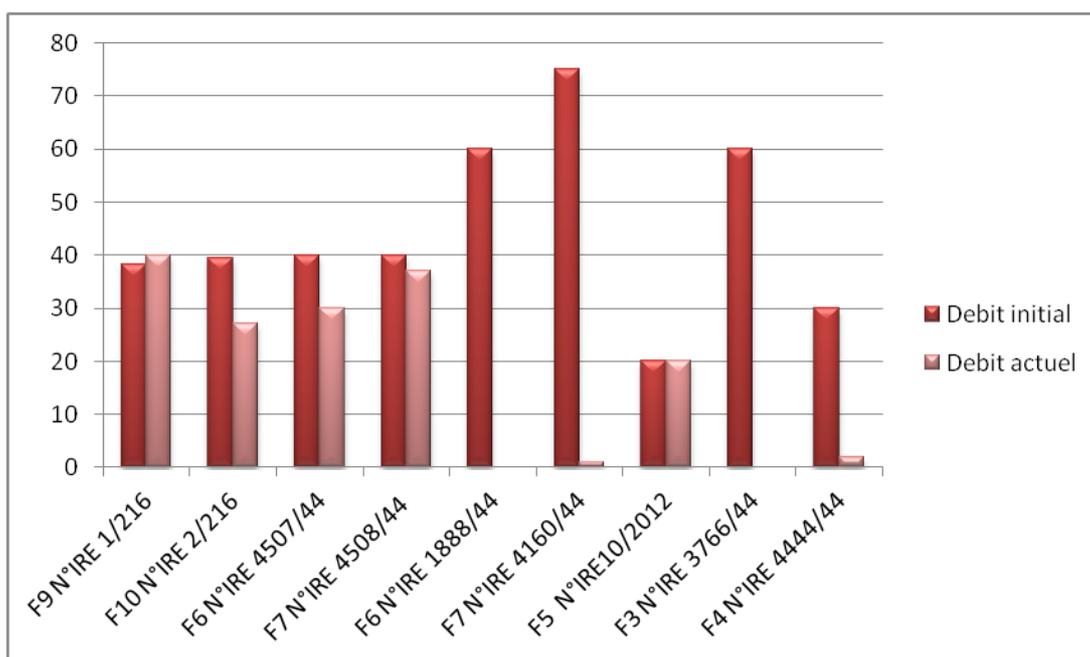


Figure 25; Histogramme de la baisse des débits des forages AEP

En raison de l'insuffisance en informations sur certains forages, notre étude s'est focalisée sur quatre forages AEP. Les caractéristiques correspondantes à ces ouvrages sont représentées dans le tableau suivant (tableau 6).

N°IRE	X	Y	Calcaire
F9 (01/216)	216671	162965	78-120m
F10 (02/216)	219175	163766	100-130m
F2 (4508/44)	215 141	161794	91-142m
F1 (4507/44)	220611	164337	62-109m

Tableau 6 : Caractéristiques des Forages AEP et leur niveau

L'estimation de la chute du NP au niveau des quatre forages AEP étudiés est représentée sur des coupes (Figure 27) réalisées à partir des fiches de reconnaissances fournies par l'ABHT. Chaque coupe est distinguée par son niveau dynamique actuel et son niveau dynamique futur calculé à partir de la carte (Figure 26).

Figure 26: Carte des forages AEP

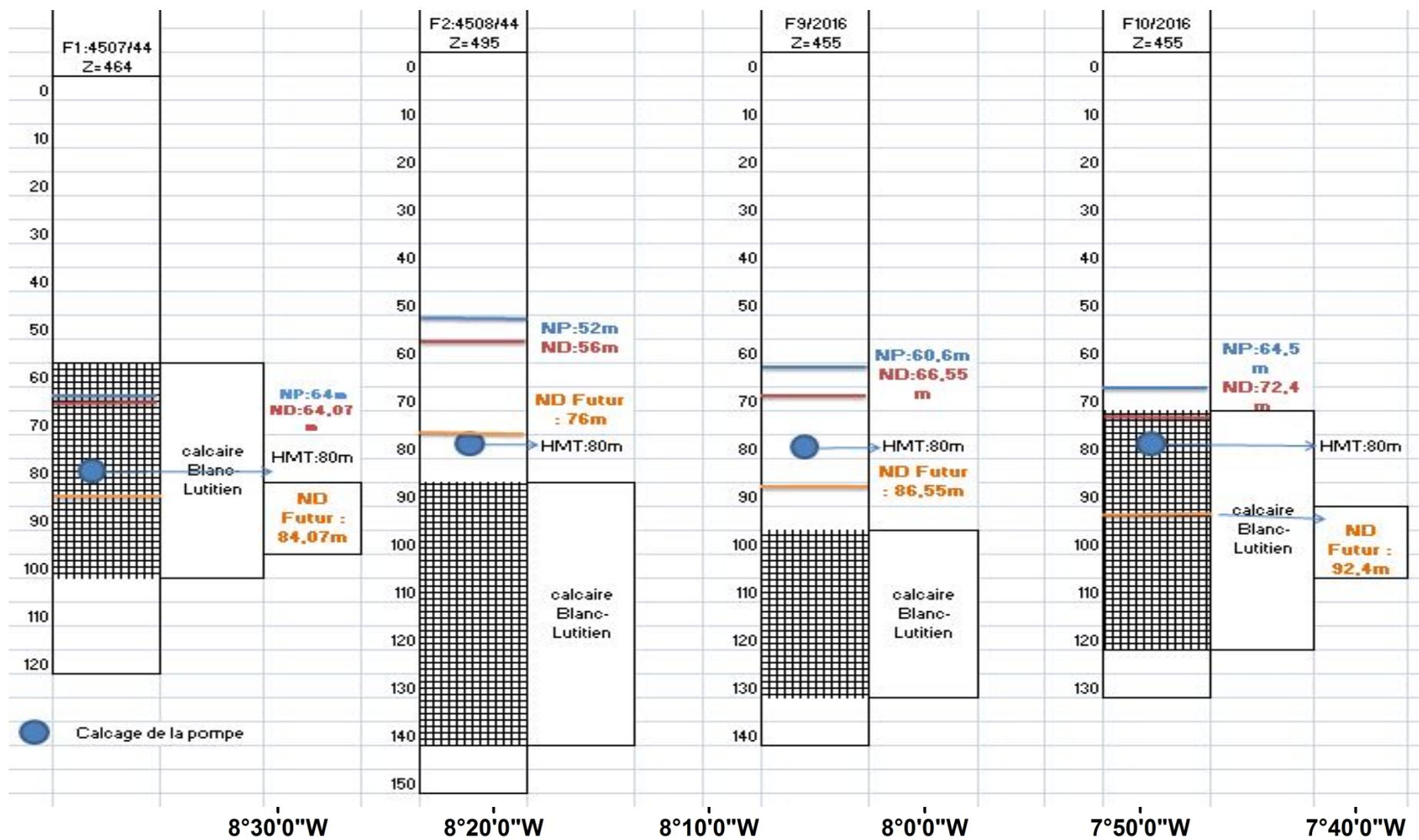


Figure 27: Coupe des forages AEP de la zone de la Bahira occidentale

Compte tenu des baisses des niveaux piézométriques enregistrées au niveau de la nappe de la Bahira et qui ne cessent de croître, le déficit en alimentation en eau potable des villes de Youssoufia et Echamiaa serait le risque inéluctable de cette chute des niveaux. Aussi, les ressources actuelles ne permettront plus de satisfaire les besoins de ces villes, situation qui risque de s'empirer durant les prochaines années.

En effet, les forages dédiés à l'AEP étudiés (tableau7), montre un essoufflement en terme de productivité qui peut atteindre 12,4 l/s. Notamment ceux situés au niveau de la zone qui présente la plus grande baisse de niveau d'eau. (figure26)

D'autre part, les coupes réalisées des 4 forages AEP montrent que la principale venue d'eau se situe dans l'aquifère des calcaires. Les caractéristiques intrinsèques des calcaires diffèrent d'une zone à l'autre selon le degré de fracturation ce qui peut également contribuer à la chute de productivité dans le cas où ces failles ne sont pas connectées et prolongées jusqu'aux zones d'appel.

La forte baisse ne peut donc être expliquée que par l'exploitation de la nappe calcaire crétacée au niveau du champ captant d'EL Khoualka traduit par un développement excessif de pompage agricole, accompagné par les faibles apports pendant les années de sécheresse.

Vu le constat réalisé, l'alimentation en eau potable à partir des eaux souterraines ne représente plus une solution pérenne, ceci dit il est urgent de s'orienter vers d'autres solutions pour assurer l'AEP de la région notamment les eaux de surface.

CONCLUSION

L'étude menée dans le cadre de notre projet de fin d'études de licence porte sur une synthèse de données de forages et l'impact du développement hydro-agricole sur les forages d'alimentation en eau potable dans la région de la Bahira occidentale.

La plaine de la Bahira occidentale s'étend entre le socle primaire du Jbilet au Sud et le socle primaire d'Erhamna au Nord. Le climat dominant est de type semi-aride. Les précipitations sont très irrégulières avec alternance des années sèches et humides. L'évapotranspiration potentielle est très élevée.

Le réseau hydrographique de la plaine à l'Ouest de la Bahira se limite à des talwegs qui descendent des collines bordières (Jbilet, Rehamna et Mouissate). Ces talwegs disparaissent dans la plaine, lui conférant ainsi l'aspect endoréique. Ce réseau s'organise en sous bassins contribuant à l'alimentation des réservoirs souterrains. Les eaux de ruissellement se concentrent dans des dépressions fermées, principalement le lac Zima où elles sont reprises par l'évaporation.

Sur le plan géologique, Le substratum paléozoïque puissant souvent caché par les dépôts postérieurs, peu profond au niveau de la Bahira occidentale ($\geq 100\text{m}$) et affleure au niveau du douar Rhirat. En discordance majeure, le substratum schisteux est recouvert par une série sédimentaire d'âge qui s'étend du Trias au Quaternaire. La lithologie des terrains est dominée par des marno-calcaires, des calcaires, et des dépôts continentaux sous forme de conglomérats, graviers, argiles et calcaires lacustres.

L'aquifère Lutétien-Plioquaternaire est le plus important réservoir dans la Bahira occidentale. Il s'agit de la nappe libre de la Bahira logée dans les calcaires lutétiens au niveau de Ganntour. L'alimentation de cette nappe se fait essentiellement par infiltration des eaux de pluies et par le retour des eaux d'irrigation.

Les meilleures caractéristiques hydrodynamiques sont celles de la nappe des calcaires lutétiens, au niveau de la zone d'EL Khoualka. La transmissivité varie entre 10^{-2} et 10^{-6} m^3/s et un coefficient d'emménagement de 2 %. Ceci se concorde avec les débits enregistrés qui oscillent entre 40 et 80 l/s, qui sont un indicateur de la bonne fracturation du calcaire du lutétien.

Vu le nombre considérable de forages installés au niveau de la Bahira occidentale, la nappe a connu un déstockage significatif dû à la surexploitation. L'étude des sept piézomètres a permis de conclure à une baisse en termes de productivité allant jusqu'à 2,3m par an. L'étude effectuée en s'appuyant sur des forages AEP a également montré un fort déficit de point de vue débit.

Le déclin du niveau piézométrique expliqué par le développement excessif de pompage agricole et aggravé par les faibles précipitations et le climat aride mèneront à une crise inéluctable en ressources d'eau au niveau de la plaine de la Bahira. La prise de conscience de cet état de fait impose la convergence des efforts de planification et de gestion d'eau vers d'autres solutions épargnant les eaux souterraines et s'appuyant sur l'exploitation des eaux superficielles à l'instar de l'alimentation en eau de la région de Youssoufia à partir du barrage MASSIRA.

Annexes

وزارة الجيولوجيا والنكون الجيولوجي وتكوين الاطر ادارة خلدسة المياه مديرية البحث والتخطيط الفني		DENOMINATION DE AIT Ouazzan	NUMERO DE FORAGE 1931 / 44								
RASSEIN Teniffa		OUVRAGES Multiples	N° I.R.E. / / / /								
SOUS-BASSIN -		Niveau(s)	- / - / -								
CENTRE REGIONAL Mamarch		CODE CENTRE REGIONAL (1)	CODE NATURE (1)								
ARCHIVES -		OUVRAGE SURVEILLE PAR LE CENTRE REGIONAL DE Mamarch									
SITUATION ET ACCES Au P.R. N° 11, Sud de la R.P. N° 3 allant de Mamarch -> Nazagan.		CARTE I.R.E. AU 1/100 Mamarch - Inedj	CARTE I.R.E. AU 1/100								
/ / 1921/44		FORM. FONDS (1)	ALPHABET X Y								
/ / / /		ALTITUDE d'après Z (m)	Z (topog) DATE								
/ / / /		Position	REFERENCE DES MESURES Nature DATE								
- Le côté du croquis doit être orienté vers le haut - Inscrire dans les cases les "I.R.E." de tous les forages et les puits situés dans un rayon de 200 mètres - Préciser les distances entre les forages sites puits											
HAUT. REPERE (m)	PROFONDEUR MESUREE (m)	I.P. (m) ou PRESSION (bar) AU REPERE	EPaisseur D'EAU DISPONIBLE (m)	ALTITUDE DU PLAN D'EAU (m)	TEMP. EAU (°C)	OR (mg/l)	RESIDU SEC A 105° C (mg/l)	CONDUCTIVITE A 25°C (µmhos/cm)	NOM DE L'OBSERVATEUR	HEURE	DATE
0,40	36,00	13	27	265,40	24	420	590	Mohaine		30/3/82	
CODE (1)		OUVRAGE EXECUTE EN		3,0 0,3 8,2	2,3 1,0 8,2	REFERENCE DU MARCHÉ		(1) Les cases "code"			

COUPE		PERFORATION ET EQUIPEMENT		1931/44
PROFONDEUR LITHOLOGIE GEOLOGIE	PROFONDEUR MAXIMUM ATEINTE (m) 36,00	VITESSE D'AVANCEMENT m/A	PERTES DE FLUIDE m/A	MODE DE FORAGE Drilage Rotary bore - eau - air Rotary circulation inverse Niveau fond de trou Niveau hors de trou
DESCRIPTION DETAILLEE		Appareil utilisé :		
1 Limon rose + caoutchouc de schistes 2 SCHISTES vert tendre schiste blanc à vent couche albâtre		TETE DE FORAGE		
13 14 17 23 24 25 26		REDUCTIONS Télécopie Cône de réduction Cône de suspension Autre : Détails :		
schiste vert albâtre humide schiste gris à vent (fortifié) schiste gris à vent + trace d'oxyde de fer schiste jaune à vent dur Echantillons de schiste gris schiste gris à jaune + peu de quartzite schiste gris à vent + passées de quartzite		INSTRUMENTATION		
Ne pas oublier de mentionner la (les) date(s) de (des) réparations				
REPARATIONS				

Annexe 1

N IRE	X	Y	Z	Date	Profondeur (m)	NP (m)	Productivité (mhc)	Lithologie	Débit (l/s)	durée (h)	abattement (r)	T (m ² /s)		
1690/44	235,75	128,35	352	30/11/1992	49,5	35,5			3	6	2,5			
1691/44	234,05	123,625	397,37	14/06/1986	50	47			23,66	24	11,1	8,6.10 ⁻⁴		
1692/44	249,65	132,35	461	09/05/1977	25,5	15,9			1	6	3,07			
1693/44	258,65	154	467,5	15/08/1977	62,85	53,2			9,5	24				
1739/44	259,05	170,5	438,5	27/06/1995	64	42,55			10	12	4,2	2,7.10 ⁻³		
1752/44	248	121,2	422	24/07/1977	27,95	18,7			5,44	36	10,46	5,3.10 ⁻⁴		
1759/44	254,275	119,85	449,62	10/04/1978	39,9	11,5			5	12	20,21	2,6.10 ⁻⁴		
1794/44	244,65	120,15	423	12/06/1999	28,99	12,12			25	4	15,88			
1800/44	249,5	118,8	444,4	24/06/1977	24,25	18,75			2,39	6	5,08			
1801/44	249,55	118,475	444,58	28/06/1977	20,1	15			0,25	6	3			
1802/44	274,1	163,1	416,25	07/09/1977	76	8	2143	0-1m : limons argileux 1-6m : conglomérat 6-63m : marne+argile avec q.q graviers 63-73m : calcaire blanc et rose 73-75m : calcaire marneux 75-77m : calcaire greseux+marne 77-103m : marne marron et rouge +q.q graviers	1,77	6	23,66			
1803/44	275,25	162,25	419,14	29/07/1977	133	10	4300	0-2m : terre végétale 2-5m : conglomérat 5-10m : calcaire conglomératique 10-12m : limon argileux + q.q graviers	<0,5	1	30			

Annexe 2

Bibliographie

- **ABHT** (Agence du bassin hydraulique de Tensift)- Elaboration d'un plan d'action pour le développement de la recharge artificielle des nappes dans le bassin du Tensift. Mission 1. Marrakech, 189p.
- **Agence du bassin hydraulique de Tensift**. La nappe de la Bahira (en ligne). Disponible sur <http://www.eau-tensift.net/menu/nos-ressources-en-eau/eaux-souterraines/nappe-de-la-bahira.html>
- **EIADIB YASSMINE ET EI OTMANI AICHA**, 2015, Synthèse bibliographique sur l'hydrogéologie du Bassin de la Bahira-Gantour (Maroc), Mémoire de licence, Faculté des sciences et technique, Marrakech, 46p.
- **El Mokhtar M, Fakir Y, El Mandour A, Benavente J, Meyer H, Stigter T**, 2012.
- Salinisation des eaux souterraines aux alentours des sebkhas de Sad Al Majnoun et Zima (plaine de la Bahira, Maroc). Secheresse 23 : 48-56. doi : 10.1684/sec.2012.0329
- **Fatima Ezzahra OMDI**, 2013, Actualisation des connaissances hydrogéologiques de l'aquifère Eocène de la Bahira centrale (Maroc), Mémoire de master, Faculté des sciences et techniques, Marrakech, 92p.
- **Morad Karroum, Abdennabi El Mandour, Driss Khattach, Albert Casas, Mahjoub Himi, Samia Rochdane, Nour-Eddine Laftouhi et Nouredine Khalil**, 2014, Fonctionnement hydrogéologique du bassin de la Bahira (Maroc central) : apport de l'analyse des données géologiques et gravimétriques, 51, DOI: 10.1139/cjes-2013-0130.
- **Morad KARROUM**, 2015, Apport de la géophysique et l'hydrogéochimie à la caractérisation des eaux souterraines de la Bahira (Maroc centrale), Thèse de la faculté des sciences Semlalia-Marrakech, 215p.