



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

A. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique

جامعة زيان عاشور - الجلفة

Université Ziane Achour –Djelfa

كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Science de la Nature et de la Vie

قسم العلوم الفلاحية والبيطرية

Département des Sciences Agronomiques et Vétérinaires



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE
En vue de l'obtention du diplôme de
MASTER ACADEMIQUE
EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Spécialité : EAU ET ENVIRONNEMENT

Thème

**Caractérisation de l'interaction eaux surface- eaux souterraines dans le
sous bassin versant de la Seybouse maritime (Nord-Est Algérien)**

Présente Par : BEN DJEDDOU Aicha

Soutenu publiquement le 29/09/2019, devant le jury composé de :

President: Mr. BOULKENAFET Zohir MC (B) - Univ Djelfa

Promoteur : Mme. KHADRI Samira MC(B) - Univ Djelfa

Examineur : KHALDI A.Y MC(B) - Univ Djelfa

Examineur : ELAHCENE Omar MC(A) - Univ Djelfa

Année Universitaire 2018 – 2019

الملخص

يعد سيبوز جزءاً من حوض الكبير الذي يتميز بنشاط حضري وصناعي كبير تم تقديمه على ضفتي وادي سيبوز وهذه الروافد تتجمع التصريفات اليومية دون علاج يعتمد هذا العمل على العديد من المعالم الجيولوجية والهيدروجيولوجية والهيدروكيميائية للحوض لتحديد العلاقة الموجودة بين المياه السطحية والمياه الجوفية. تسلط الدراسات البيزومترية التي أجريت خلال فترات المياه العالية والمياه المنخفضة على نوعين من التبادلات بين الأنظمة المختلفة (الواديان ، المياه الجوفية). الأول يوضح أن الوادي في الجزء العلوي الواديان يتغذى من الجزء الأسفل المياه الجوفية. يوضح تحليل التحليلات الفيزيائية والكيميائية وجود تبادلات لبعض العناصر الفيزيائية والكيميائية مثل الناقلية الكهربائية والكلوريد والكالسيوم والمغنيسيوم والأمونيوم والنترات بين الوسطتين. يشير التمدن القوي في الجزء السفلي من المنطقة إلى اتصال المياه البحرية بالمياه الجوفية وادي سيبوز .

الكلمات المفتاحية: واد سيبوز ، المياه الجوفية ، الامطار ، قياس الضغط ، المقاييس الفيزيائية .

Résumé

Le Seybouse maritime (la basse Seybouse) fait partie du grand bassin versant de la Seybouse qui se caractérise par une grande activité urbaine et industrielle présentée sur les deux rives de l'oued Seybouse et ces affluents et recueille quotidiennement des rejets sans traitement

Ce travail est basé sur plusieurs paramètres géologique, hydrogéologique et hydrochimique du bassin pour bien déterminer les caractéristiques des liens existants entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

Les relevés piézométriques effectués pendant la période hauts eaux et basses eaux mettent en évidence deux types d'échanges entre les différents systèmes (oueds, nappe). Le premier montre que la nappe draine l'oued dans la partie amont quand le second montre que dans la partie aval c'est l'oued qui alimente la nappe.

L'interprétation des analyses physico-chimiques montre l'existence des échanges des certains éléments physico-chimiques tels que la conductivité

électrique, les chlorures, le calcium, le magnésium, l'ammonium et les nitrates entre les deux milieux. La forte minéralisation à la partie aval de la région désigne le contact des eaux marines avec les eaux souterraines et l'oued Seybouse.

Mots clés : l'Oued Seybouse, eau souterraine, précipitations, piézométrie, paramètres physico-chimiques, échanges.

Summary

Summary The Maritime Seybouse (Bass Seybouse) is part of the great watershed of Seybouse which is characterized by a great urban and industrial activity presented on both banks of Wadi Seybouse and these tributaries and collects daily discharges without treatment This work is based on several geological, hydrogeological and hydrochemical parameters of the basin to determine the characteristics of existing links between surface water and groundwater The piezometric surveys carried out during the high and low water periods highlight two types of exchanges between the different systems (wadis, tablecloth). The first shows that the aquifer drains the wadi in the upstream part when the second one shows that in the downstream part it is the wadi that feeds the aquifer. The interpretation of physicochemical analyzes shows the existence of exchanges of certain elements. physicochemicals such as electrical conductivity, chlorides, calcium, magnesium, ammonium and nitrates between the two media. Significant mineralization at the downstream portion of the region refers to the contact of marine waters with groundwater and d'oud Seybouse.

Keywords: l'oud seybouse, eau souterrane ,precipitation, piezometry , physicochemical , parameters , exchanges.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements:

La première personne que je voudrais remercier ma superviseure Mme (Khadri Samira), pour l'orientation, la confiance, la patience qui ont constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

C'est un grand honneur d'avoir comme président du jury, Monsieur BOULKENAFET ZOHIR, en lui exprimant toute notre grande reconnaissance pour avoir accepté de valoriser et présider le jury de ce mémoire.

Je profonds remerciements vont également à Monsieur le Docteur KHALDI A.Y et Monsieur le Docteur ELAHCENE OMAR nous fait l'honneur d'accepter de juger ce travail. Nous leur présentons nos vifs remerciements.

Des remerciements particuliers mon collègue (Sahara Mekki) pour ses aides, ses aides, et soutien.

Je remerciement A.D.E .Djelfa , pour toutes les facilités qu'ils m'ont données pour acquérir les données nécessaires à la réalisation de ce travail..

Je remerciement également les ingénieurs du laboratoire de la STEP de Djelfa, en particulier Madame YOUNSI AMINA, Responsable du Laboratoire

Des remerciements particuliers et sincères vont aussi à mon frères. A mon collègues. Pour leurs aides, leurs soutiens, et leurs conseils.

Je tiens à exprimer mon sincères remerciement à tous les professeurs qui mon ont enseigné et mon ont soutenu dans la poursuite de mon études.

Enfin, je remercie tous ceux qui, de près ou ont

Contribué à la réalisation de ce travail



بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

Je dédie ce modeste travail à ma très chère mère, qui m'a accompagné durant les moments les plus pénibles de ce long parcours de mon éducation, celle qui a fait preuve de ces plus copieux desseins pour me permettre de goûter le fardeau de ce monde et de chercher la voie de ma vie avec ces précieux conseils, donc je devais incessamment être de grande compétence et motivation. Cependant. Je prie ALLAH le Miséricordieux qu'il portera récompense, car le mienne ne sera guère complète. Et te protège et le garde en bonne santé.

A mon père qui a sacrifié sa vie afin de me voir grandir et réussir dans le parcours de l'enseignement. Celui qui est toujours resté à mes côtés dans les moments rudes de ma vie.

Mess cheers frères: ABDEL LALI, MEHAMED, HOCINE, et YACINE

A mes cher sœur: FATIMA Et la femme de mon frère : DJIHAN

Mari ma sœur : HAMZA

N'oubliez pas des enfants de la famille : DINNA, ISLEM, RAYAN, BILAL YAILL

Et toutes les familles : BENDJEDDOU



Liste des figures

LISTE DES FIGURES

Figure 01	Carte de situation géographique de la zone d'étude.....	04
Figure 02	La carte orographique du Nord-Constantinois.....	06
Figure 03.	Esquisse géologique de la région d'étude.....	08
Figure 04	Esquisse géologique de la région d'étude.....	10
Figure 05	Coupes au travers de la plaine d'Annaba.....	12
Figure 06	Coupe géologique de la région de Bouchegouf	14
Figure 07	Carte de population dans la basse Seybouse (2007).....	17
Figure 08	Le couvert végétal dans le secteur de la Seybouse.....	18
	maritime	
Figure 09	Variation de précipitation moyenne mensuelle pour la.....	19
	station les salines et Belkheir	
Figure 10	Variation annuelle des précipitations pour la station les....	20
	Saline	
Figure 11	Variation annuelle des précipitations pour la station de....	21
	Belkheir	
Figure 12	Variation des températures moyennes mensuelles pour les	21
	stations les salines et Belkheir	
Figure 13	Diagramme ombrothermique pour la station les Salines...	27
Figure 14	Diagramme ombrothermique pour la station de Belkheir..	27
Figure 15	Représentation graphique du bilan hydrique pour station.	28
	des salines	
Figure 16	Représentation graphique du bilan hydrique pour station.	29
	des Belkheirs	
Figure 17	Extension des différents aquifères dans les plaines.....	31
	d'Annaba	
Figure 18	Position des nappes souterraines dans la basse plaine de la	33
	Seybouse	

LISTE DES FIGURES

Figure 19	Carte des isopaches de la nappe phréatique de la basse..... plaine de la Seybouse.	35
Figure 20	Carte d'inventaire des points d'eau.....	36
Figure 21	Carte piézométriques hautes eaux.....	38
Figure 22	Carte piézométriques basses eaux.....	39
Figure 23	Carte d'inventaire des points de prélèvements.....	47
Figure 24	Variation du potentiel d'hydrogène.....	48
Figure 25	Variation de la température.....	49
Figure 26	Variation de la turbidité.....	50
Figure 27	Variation de conductivité électrique.....	51
Figure 28	Variation des chlorures.....	52
Figure 29	Variation des bicarbonates.....	53
Figure30	Variation des sulfates.....	54
Figure 31	Variation du calcium.....	55
Figure 32	Variation du magnésium.....	56
Figure 33	Variation des Nitrate (NO ₃ ⁻).....	57
Figure 34	Variation des nitrites.....	58
Figure 35	Variation l'ammonium (NH ₄ ⁺).....	59

Liste des tableaux

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 01. Population recensée dans la basse Seybouse par RGPH (2008).....	13
Tableau 02. Les coordonnées des stations de mesures (D'après ANRH Constantine 2017)...	16
Tableau 03. Précipitations moyennes mensuelles.....	17
Tableau 04. Précipitation annuelles dans les stations des Salines, et Belkheir (mm).....	18
Tableau 05. Températures moyennes mensuelles (ANRH 2018).....	19
Tableau 06. Résultats du ruissellement.....	23
Tableau 07. Estimation de l'infiltration par la méthode de Thornthwaite.....	24
Tableau 07. Estimation de l'infiltration par la méthode de Thornthwaite.....	25
Tableau 08. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite.....	26
 (Station les Salines 1987-2017).	33
Tableau 09. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite.....	42
 Station Belkheir (1987-2017).	42
Tableau 10. Description géologique et hydrogéologique du site (H.T. Debeiche, 2002).....	45
Tableau 11. Les récepteurs des eaux usées au niveau de la basse vallée de la Seybouse.....	48
Tableur 12. Inventaire des entreprises existant dans la région.....	49
Tableau 14. Engrais et produits phytosanitaires utilisés par les agriculteurs de la région....	50
 d'Annaba	51
Tableau 13. La répartition des stations de lavage et vidange à travers la zone d'étude.....	52
 (Environnement Annaba 2015)	

TABLE DES MATIERES

Résumé	
Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Table des matières	
Liste des abréviations	
Introduction générale	

Chapitre I : Cadre Général

I. Situation géographique.....	03
II. Aspect géomorphologique.....	05
II.1. Les terrasses de la Seybouse.....	05
II.2. Les montagnes.....	05
A. Le massif de l'Edough.....	05
B. Le tell Nord Guelmien.....	05
II.3. Le domaine des plaines.....	07
A. La plaine d'Annaba.....	07
B/ la plaine d'El Hadjar.....	07
III. Aspect géologique.....	07
III.1. Description lithologique.....	07
A. Le Néoprotérozoïque-Paléozoïque.....	07
B. Le Mésozoïque – Cénozoïque.....	08
C. Le Quaternaire.....	11
III.2. Tectonique.....	11
IV. Aperçu socio-économique.....	12
IV.1. Agriculture.....	13
IV.2. Industrie.....	13
IV.3. Population.....	13
V. Végétation.....	14
Conclusion.....	15

TABLE DES MATIERES

Chapitre II : Hydroclimatologie

Introduction.....	16
I. Les stations de mesure.....	16
I.1 Les facteurs climatiques.....	16
I.1.1 Les précipitations.....	16
A. Précipitations moyennes annuelles.....	17
B. Précipitations moyennes annuelles.....	18
I-1.2 Les Température.....	19
I.1.3. Températures moyennes mensuelles.....	19
II. Diagramme Ombrothermique.....	20
III. Le bilan hydrique.....	22
III.1. L'évapotranspiration.....	22
III.1.1. Evapotranspiration potentielle (ETP).....	22
III.1.2. Evapotranspiration réelle (ETR).....	22
III.2. Ruissellement.....	23
III.3. Estimation de l'infiltration.....	23
III.4. Calcul du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite.....	24
A. Interprétation du Bilan hydrique.....	26
IV. Hydrologie.....	27
IV.1 Réseau hydrographique.....	28
IV.2 Profil en long.....	29
Conclusion.....	30

Chapitre III : Hydrogéologie

Introduction.....	31
I. Identification des nappes.....	31
I.1. La nappe des formations superficielles.....	31
I.2. La nappe des graviers.....	32
I.3. La nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja.....	32

TABLE DES MATIERES

I.4. La nappe des alluvions de la haute terrasse.....	32
I.5. La nappe des cipolins.....	32
I.6. La nappe des travertins.....	32
I.7 La nappe libre du cordon dunaire.....	32
II. Caractéristiques géométriques de La nappe superficielle.....	34
II.1. Alimentation de la nappe superficielle.....	35
III. La piézométrie de l'aquifère.....	35
III.1. Interprétation des cartes piézométriques.....	36
III.1.1. Calcule de gradient hydraulique.....	36
III.1.2. Interprétation des cartes piézométriques.....	37
Conclusion.....	39

Chapitre IV : Hydrochimie

Introduction.....	41
I.1. Les principaux types et origines de pollution dans la zone d'étude.....	41
I.1.1 Pollutions urbaines et domestiques.....	41
I.1.2 pollution industrielle.....	42
I.1.3 Pollution agricole.....	45
II. Evaluation de la qualité des eaux.....	46
II.1 Les prélèvements et analyses de l'eau.....	46
II.2 Variation des paramètres physico-chimique.....	48
II. 2. 1. Potentiel d'hydrogène (pH).....	48
II. 2. 2. Température (T).....	48
II. 2. 3. Turbidité (NTU).....	49
II. 2. 4. Conductivité électrique (CE $\mu\text{s}/\text{cm}$).....	50
II. 2. 5. Chlorure (Cl^-).....	51
II. 2. 6. Bicarbonates (HCO_3^-).....	52
II. 2. 7. Sulfates (SO_4^{2-}).....	53
II. 2. 8. Calcium (Ca^{2+}).....	54
II. 2. 8. Magnésium (Mg^{2+}).....	55
II. 2. 9. Nitrates (NO_3^-).....	56

TABLE DES MATIERES

II. 2. 10. Nitrites (NO_2^-).....	57
II. 2. 11. L'ammonium (NH_4^+).....	58
Conclusion.....	59
Conclusion générale	
Référence bibliographique	
Annexes	

Liste des Abréviations

NTU : Unité de turbidité Néphélométrique

TA : Titre Alcalimétrique.

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

Dosimat : un distributeur automatique

ADE : Algérien Des Eaux

R.F.U : Réserve Facilement Utilisable

ANRH : Agence National des Ressources Hydriques.

RFU : Réserve en eau Facilement Utilisable

EXC : Excédent

DA : déficit agricole

RE : Recharge de la nappe

ES : Epuisement de Stocke

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

Introduction générale

INTRODUCTION GENERAL

La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration, à cause des rejets industriels non contrôlés, de l'utilisation intensive des engrais chimiques dans l'agriculture d'une part ainsi l'exploitation désordonnée des ressources en eau d'autre part. Ces dernières ont produit une modification chimique de l'eau en la rendant impropre aux usages souhaités.

Les eaux souterraines et de surface ne sont pas des composants isolés du système hydrologique. Les eaux souterraines sont en liaison avec les autres types de masses d'eau, d'une part les eaux douces continentales (cours d'eau, zones humides, lacs...) et d'autre part avec les eaux marines en bordure littorale. Les liaisons entre les eaux de surface et les eaux souterraines jouent un très grand rôle en hydrogéologie, il existe des échanges permanentes de l'une vers l'autre et dans les deux sens en fonction de certains paramètres qui contrôlent cette relation. Une compréhension des principes de base des interactions entre les eaux souterraines et de surface l'eau est nécessaire pour une gestion efficace de ressources en eau.

Au sein de la région d'étude, les eaux de surface et souterraine sont souvent utilisées pour répondre aux besoins en eau potable et en eau d'irrigation. L'installation de plusieurs unités industrielles dans la région et les rejets effectués directement au niveau des oueds a provoqué une dégradation de la qualité de ces eaux.

Dans ce travail nous tenterons de présenter une vue d'ensemble des liens existants entre les eaux souterraines et les eaux superficielles et les paramètres qui

INTRODUCTION GENERAL

contrôle cette relation au niveau du bassin versant de la Seybouse maritime (la basse Seybouse). Nous allons essayer d'étudier quelques paramètres hydrogéologique et hydrochimique pour fournir les informations essentielles sur la qualité et la quantité des ressources en eaux.

Le présent travail comprend quatre chapitres, au cours de ces derniers nous avons essayé de mettre en exergue les variations spatiales de la qualité des eaux souterraines et des eaux de l'oued.

- Ainsi dans le premier chapitre nous donnons un aperçu sur le cadre général de la région d'étude. Nous avons insisté sur la géologie et la géomorphologie de la zone étudiée, les formes géomorphologiques et les formations géologiques décrites peuvent constituer un facteur aggravant de la pollution.

- Le deuxième chapitre est apporté à l'étude du climat de la zone d'étude. Au cours de ce chapitre nous avons quantifié les apports par les précipitations au niveau de deux stations et l'évaluation des différents termes du bilan hydrique qui seront présentés par la pluviométrie, l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration.

-Le troisième chapitre consacré à l'étude hydrogéologique du bassin versant, il a été commencé par une identification des différents aquifères. L'étude piézométrique nous permet de tracer les cartes piézométriques et de définir les grandes lignes d'écoulement souterrain.

- Le quatrième chapitre concerne l'étude des paramètres physico-chimique des eaux de surface et souterraines pour déterminer leurs qualité.

Cadre général

*C
H
A
P
I
T
R
E
I*

I. Situation géographique

La Seybouse est un des Oueds les plus importants de l'Algérie par la longueur de son parcours, le nombre de ses affluents et la superficie de son bassin. La région d'étude fait partie du grand bassin versant de l'Oued Seybouse qui couvre au total une superficie de 6471 K m² (Bachiri. N., 2011). Il possède trois parties : les hautes plaines (haute Seybouse), le tell méridional (moyenne Seybouse) et le tell septentrional (basse Seybouse), ce dernier est la zone d'étude.

La région d'étude est située dans les territoires des wilayas de Guelma, El Tarf et Annaba.

Elle est limitée par :

- Au Nord, la mer méditerranée

-A l'ouest, par le massif de l'Edough (1008 m) et le bassin fermé du lac Fetzara dont il est séparé par les crêtes septentrionales du Dj.Haouara (981). Plus au Sud Ouest par les crêtes de la forêt de Béni Mezzeline.

- A l'Est, le prolongement oriental du système aquifère Annaba – Bouteldja, et au Sud Est par le Dj.Bni Salah.

- Enfin au Sud, la chaîne numidique (1411 m).

La Seybouse a ses origines les plus éloignées de la mer dans les hautes plaines de Heracta et des Sellaoua qui s'étalent à une altitude de 800 à 1000 m. La Seybouse est un cours d'eau héritier d'un réseau hydrographique qui descendait depuis les Aurès et par les paysages naturels de Guelma allait se jeter dans la mer Méditerranée demeure toujours en vigueur.

Au niveau de la basse Seybouse, située entre Bouchegouf et Annaba (Figure 01), l'oued s'écoule dans une vallée étroite, rectiligne du Sud vers le Nord ; c'est-à-dire de Bouchegouf jusqu'à Chihani. A partir de Chihani, l'oued traverse la plaine d'Annaba et se jette dans la mer.

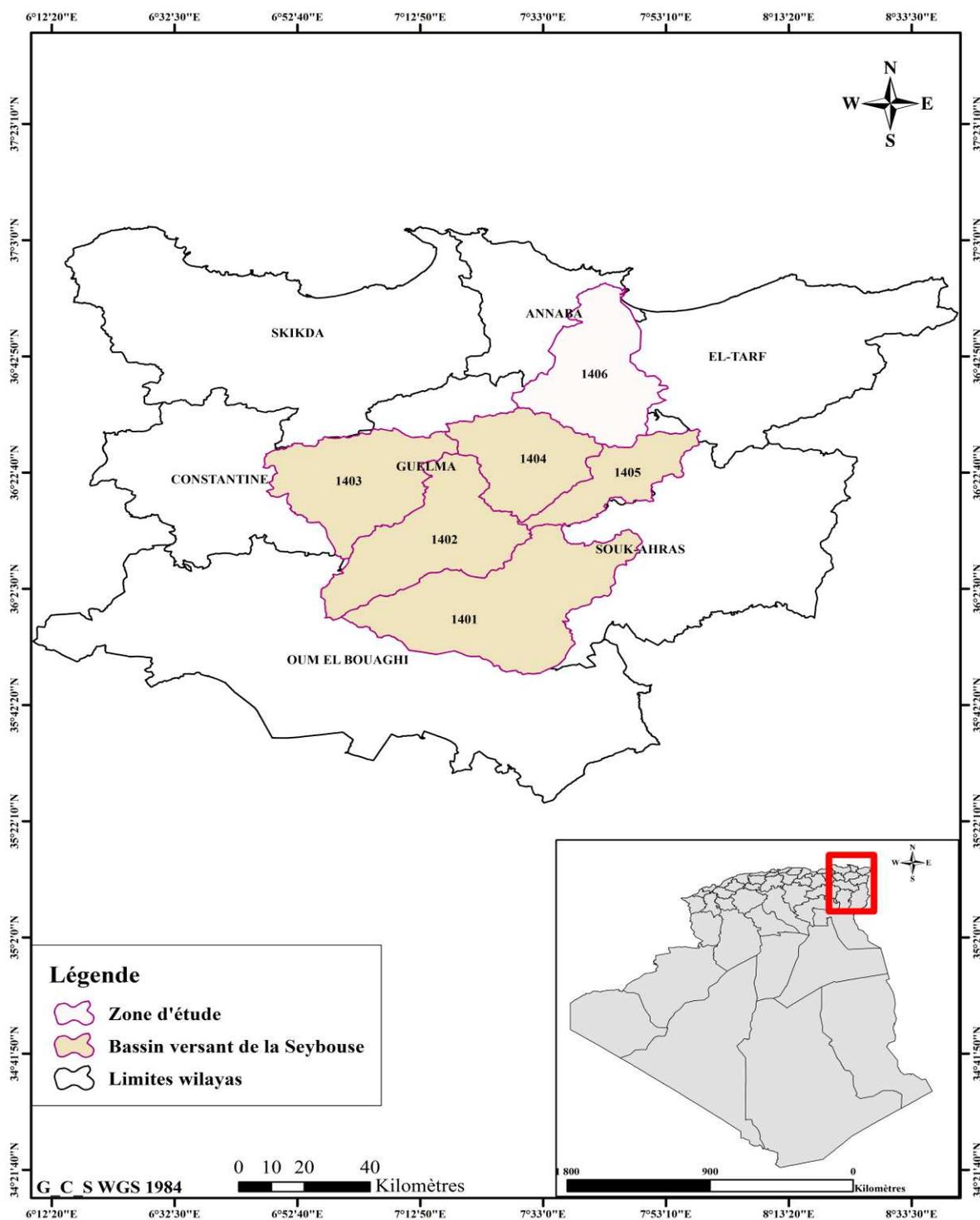


Figure 01. Carte de situation géographique de la zone d'étude.

II. Aspect géomorphologique

Dans le large espace drainé par cet important cours d'eau plusieurs milieux naturels apparaissent ce qui laisse entrevoir les formes géomorphologiques suivantes :

II.1. Les terrasses de la Seybouse

La Seybouse présente le long de son cours des terrasses alluviales étagées à des cotes diverses. Les principales unités géomorphologiques que l'on pouvait remarquer sont :

- Hautes terrasses (située à des altitudes allant de 100 à 150 m) : Ce sont des formations argileuses pratiquement imperméables qui ne présentent aucun intérêt hydrogéologique. Elles sont localisées surtout entre Drean et Ain Berda.

- Moyennes terrasses (située à des altitudes variant entre 20 et 50 m) : Ce sont des formations constituées de cailloutis à la base, assez fines au sommet, formées de graviers, de galets et spécialement d'argiles sableuses. Elles présentent un intérêt hydrogéologique peu important.

- Basses terrasses (situées à une altitude moyenne de 15 m) : Elles sont formées par des dépôts alluvionnaires constitués d'un matériel argilo-limoneux avec des galets, graviers et sables.

Ce sont des formations accumulatives d'eaux souterraines. (A Maoui., 2001).

II.2. Les montagnes**A. Le massif de l'Edough**

C'est le massif principal qui caractérise la région d'Annaba. De plus de 1008 m, il s'élève brusquement au dessus des autres reliefs qui l'entourent. Sa masse principale de direction NE-SW, présente une ligne de crête longue de 26 km qui débute depuis le lac de Fetzara au Sud et s'élève progressivement jusqu'au point culminant (1008 m) à Kef Sebaa pour redescendre ensuite depuis Seraidi vers Cap de Garde au Nord. (A.Marre., 1987).

Au Sud, ce massif est flanqué par le Djebel Boukantas (511 m) et Belilieta (287 m) et se prolonge vers Annaba par le petit massif de Boukhadra (156 m).

B. Le tell Nord Guelmien

Le tell Nord-Guelmien présente une allure nettement irrégulière. Le versant sud domine, par les fortes pentes, les vallées de l'Oued Bou Hamdane et le bassin de Guelma drainé par l'Oued Seybouse. En revanche, le versant nord descend plus lentement vers le lac Fetzara. Le Djebel Haouara culminant à 981 m, domine fièrement toute cette région. Plus au nord, un massif gréseux affleure en allant de Bouati Mahmoud à Ain Berda (A. Marre., 1987). Il est représenté à l'est d'Ain Berda par les Djebels Hadjar Nahal et Oust .

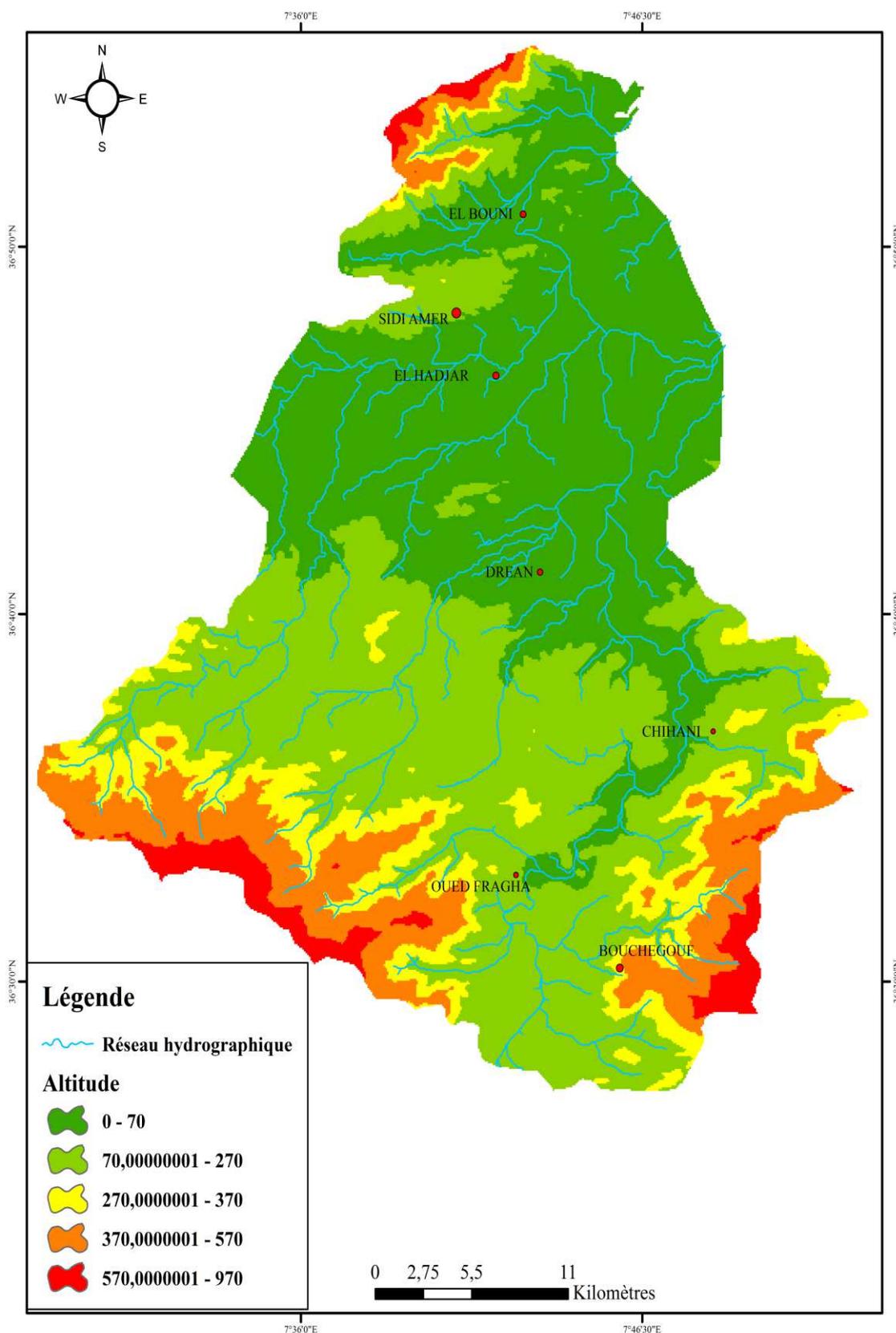


Figure 02. Carte des altitudes du bassin versant de la Seybouse maritime.

II.3. Le domaine des plaines**A. La plaine d'Annaba**

La plaine drainée par les deux oueds : Seybouse au Sud et Bounamoussa au Nord (Figure 02).

Elle se situe au centre d'un synclinaurium limitée par le massif de l'Edough au Nord et la chaîne numidienne au Sud.

B. la plaine d'El Hadjar

Elle présente une forme inclinée vers la mer et occupe la partie Est du fond de la cuvette du lac Fetzara et se prolonge vers la plaine de Annaba (Figure 02). La liaison entre le lac et la plaine d'El Hadjar se fait par l'oued Meboudja (J.Hilly., 1962)

III. Aspect géologique

L'examen du cadre géologique permet de situer l'objet des recherches centrées sur les eaux souterraines. En effet pour élaborer le schéma conceptuel de la zone étudiée il est indispensable de bien identifier la lithologie du complexe aquifère étudié et de cartographier les caractéristiques géométriques des différents horizons aquifères.

III.1. Description lithologique

Les études géologiques réalisées dans la région (L. Joleaud, 1936 ; J. Hilly, 1962 ; J. M. Vila, 1980 ; J. C. Lahondère, 1987 ; D. Hammor, 1992) montrent l'existence de deux types de terrains, métamorphiques et sédimentaires (Figure03). Les âges de ces terrains se répartissent du Neoproterozoïque au Quaternaire.

A. Le Néoproterozoïque-Paléozoïque

Le massif de l'Edough constitue le complexe métamorphique le plus oriental du littoral algérien. Il est composé d'une variété de roches métamorphiques d'âge Précambrien à Paléozoïque ; l'ensemble de ces roches forme une antiforme d'axe NE-SW (J. Hilly, 1962 ; J. M. Vila, 1970 ; N. Zenati, et Marignac, 1999 ; Marignac, 1985 ; Bouguerra, 2008 ; D. Hammor, 1992 ; Aissa et al., 1995 ; Hammor et Lancelot, 1998 ; S. Labar, 2003). Les gneiss forment la base et les métapélites viennent juste au-dessus des gneiss et consistent deux unités principales: des micaschistes à grenat et souvent à disthène en alternance avec des niveaux de marbre et de skarns d'épaisseur métrique, et une unité supérieure d'âge Paléozoïque constituée de schistes alumineux à andalousite et staurotide en alternance avec des quartzites feldspathiques.

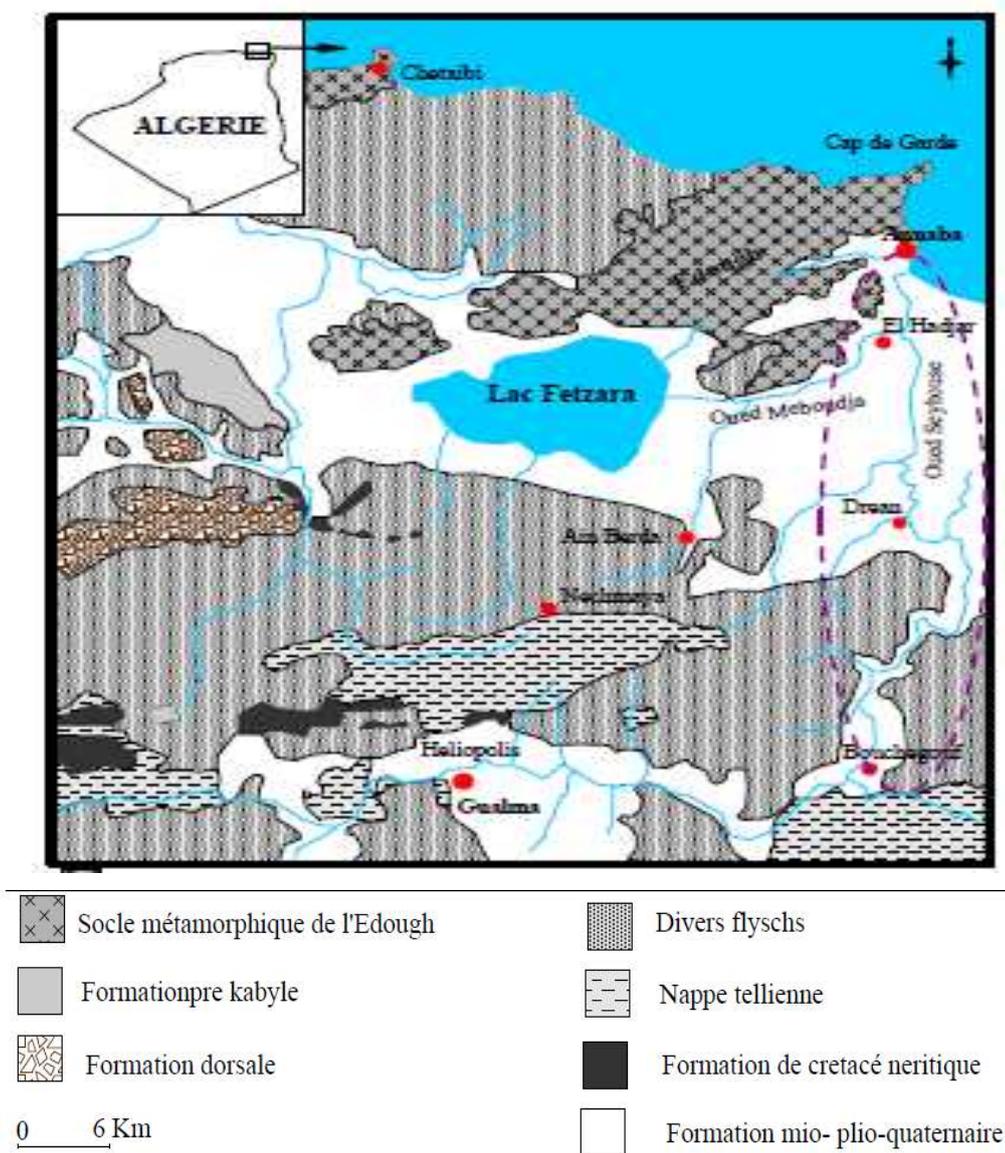


Figure 03. Esquisse géologique de la région d'étude (S. khadri.,2009)

B. Le Mésozoïque - Cénozoïque

Le massif de l'Edough est couvert vers le Sud et l'Ouest par des terrains sédimentaires formant une série de nappes assez complexe (Neumann et Vila, 1967 ; Marignac, 1985). De bas en haut, la structure est la suivante :

- L'autochtone est représenté par une formation néritique d'age créacé. Il est composé surtout de calcaires épais, massifs, avec parfois des fissures ou vides karstiques.
- Le flyschs mauritanien affleure à Ain. Berda. Ce sont des formations d'age Cénomanién à Oligocène, constituées de plusieurs faciès : brèches, schiste, calcaires et grés micacés ;

- Le dorsale kabyle est composé de deux unités : une unité inférieure (Néocomien à Eocène) composée de sédiments pélagiques et une unité supérieure (Eocène à Oligocène) caractérisée par des formations néritiques.
- Le flyschs massilien d'âge crétacé est composé de grés, argiles et marnes ;
- Le flyschs Numidien est composé de grés d'âge Oligo-Miocène.

La plus part de ces roches sédimentaires sont recouvert par des sables Mio-Pliocène jusqu'au Quaternaire

Le Trias affleure a quelque kilomètres au sud de la région de Bouchegouf (Abdi et al, 1991).

La structure de la couverture sédimentaire s'explique par le phénomène de diapir triasique. Il comporte des formations évaporitiques composées par des marnes gypseuses, argiles bariolées, dolomies, calcaires et sels.

- Le Mio-Pliocène est constitué par les faciès suivants :
 - Faciès marin (Plaisancien) : Il est caractérisé par des marnes bleues avec des intercalations calcaires.
 - Faciès continental : Il est caractérisé par des conglomérats, des grés et des argiles qui sont liés aux dépôts d'effondrement, et qui constituent le réservoir de la nappe captive des plaines de Annaba - Bouteldja.
 - Faciès fluvatile : Il est bien développé dans la plaine d'Annaba et il est formé essentiellement par des galets et des argiles le long des oueds.

La prospection par sismique réflexion (Sonatrach, 1969 ; Strojexport, 1975) a pu mettre en évidence l'existence de deux fosses : (1) la fosse de Ben-Ahmed, orientée S-N et (2) la fosse de Ben-M'hidi, orientée SW-NE. Ces deux fosses sont séparées par le haut fond (ou élévation) de Daroussa (Figure 03), (Hani, 2003). L'effondrement qui a provoqué la naissance des deux fosses s'est produit probablement au cours du Mio-Pliocène.

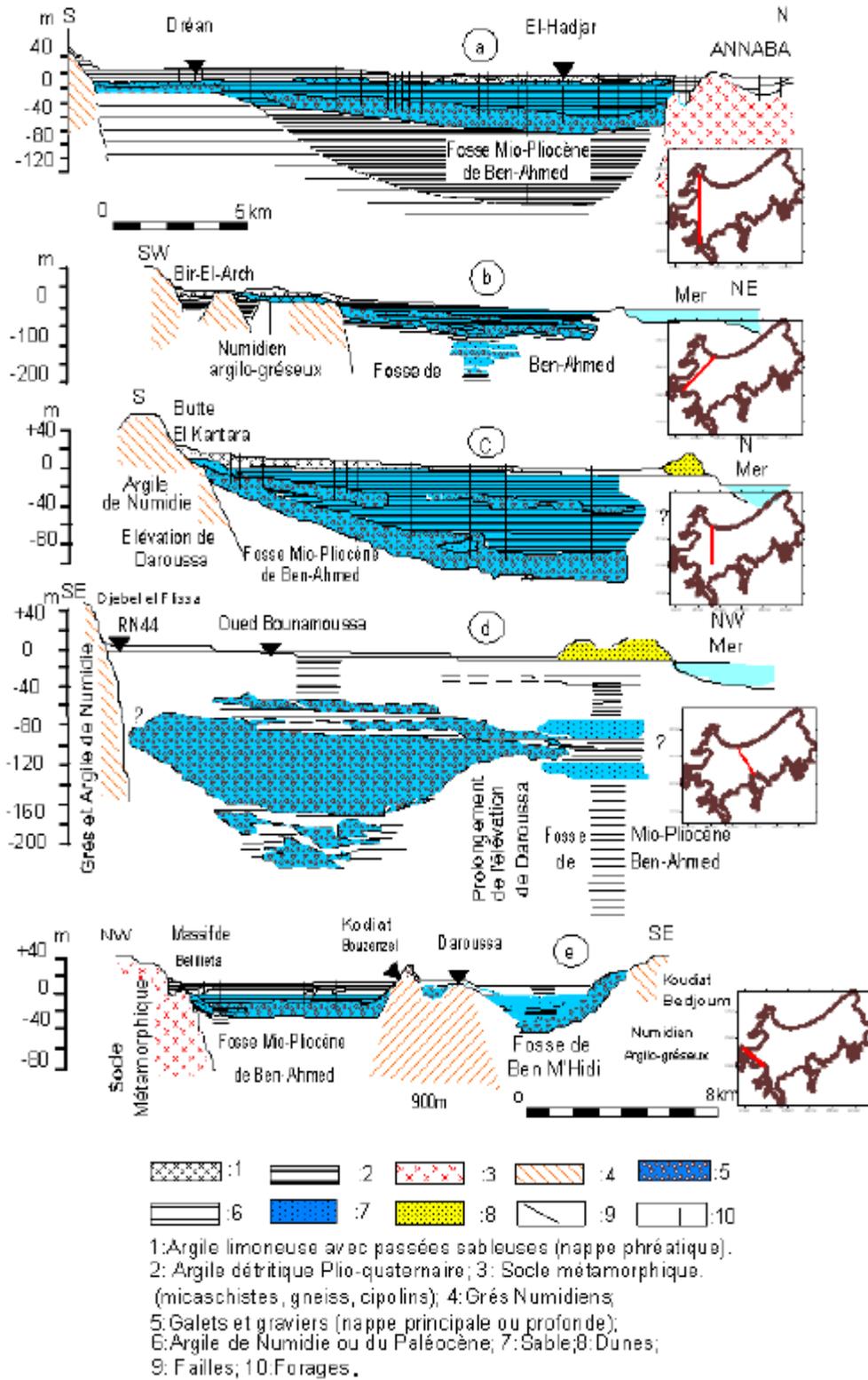


Figure 04. Coupes hydrogéologiques au travers de la plaine d'Annaba (B. Attoui, 2014)

C. Le Quaternaire

L. Joleaud, en 1936, a donné une description détaillée du Quaternaire dans la région. Il a pu distinguer trois niveaux (figure 04) :

- Le Quaternaire ancien (haute terrasse) : Il est constitué par des formations alluviales (argile, limon, sable, gravier et galets) et qui un réservoir d'eau superficielle. Son altitude varie entre 75 et 150 m .

- Le Quaternaire moyen : Il correspond à la basse terrasse avec une épaisseur de 20 à 50 m et il est constitué par des argiles et des sables. Cette terrasse supporte des terres cultivées et se développe sur toute la région, surtout au niveau de la vallée d'oued Seybouse.

- Le Quaternaire récent : Il correspond aux sables des cordons dunaires littoraux et aux limons alluvionnaires de la Seybouse.

-Le Quaternaire actuel est formé par des alluvions représentées par des dépôts du lit actuel de l'oued Seybouse, généralement de matériaux variés (argiles, sables et des cailloux) résultant de l'érosion des formations traversées par l'Oued.

Cette description géologique a fait apparaître que dans la zone d'étude, seules les formations du Mio-Pliocène et du Quaternaire peuvent constituer des réservoirs d'eau importants. Par contre, les formations anciennes qui apparaissent à l'entourage du site, sont rarement exploitées.

III.2. Tectonique

La région d'étude est caractérisée par une tectonique très complexe, elle peut être subdivisée en deux unités structurales (J.M. Vila, 1977).

- Les monts de cheffia : Ce sont des formations grés-argileuses occupant la partie sud de la région et se présentent comme une ride tectonique marquée par des anticlinaux à noyaux argileux, parfois faillés.

- La plaine d'Annaba qui a subit deux évènements tectoniques. Dans un premier temps, durant le Miocène inférieure au Miocène supérieure, les mouvements tectoniques provoquent l'enfoncement progressif des grés numidiens (conséquence de la deuxième phase alpine). Par la suite, il y a eu un remplissage Plio-Quaternaire par des matériaux détritiques (formations continentales).

Pendant le Miocène inférieure, l'ensemble de la région a été soumis à des phénomènes orogéniques et à un isolement complet du massif de l'Edough. Ainsi, la plaine se trouve au centre d'un bassin limité au Nord par l'antiforme du massif de l'Edough et au sud par l'anticlinal principal de la chaîne numidique.

A partir de Pliocène et pendant le Quaternaire, un effondrement a lancé des processus de formations et de comblement des deux fosses, celle de Ben Ahmed orientée Nord-Sud et celle de Ben M'hidi orientée Sud-Ouest-Nord Est. Ces deux fosses sont limitées par des failles à très forts pendages (60° à 80°) et séparées par un horst subméridien représenté par l'élévation de Daroussa à laquelle appartient la butte de Daroussa.

Le Trias, probablement diapirique, affleure dans la zone Bouchegouf – Dreaan. Il recoupe les divers plis dirigés Nord Est-Sud-Ouest (J. Blayac, 1912).

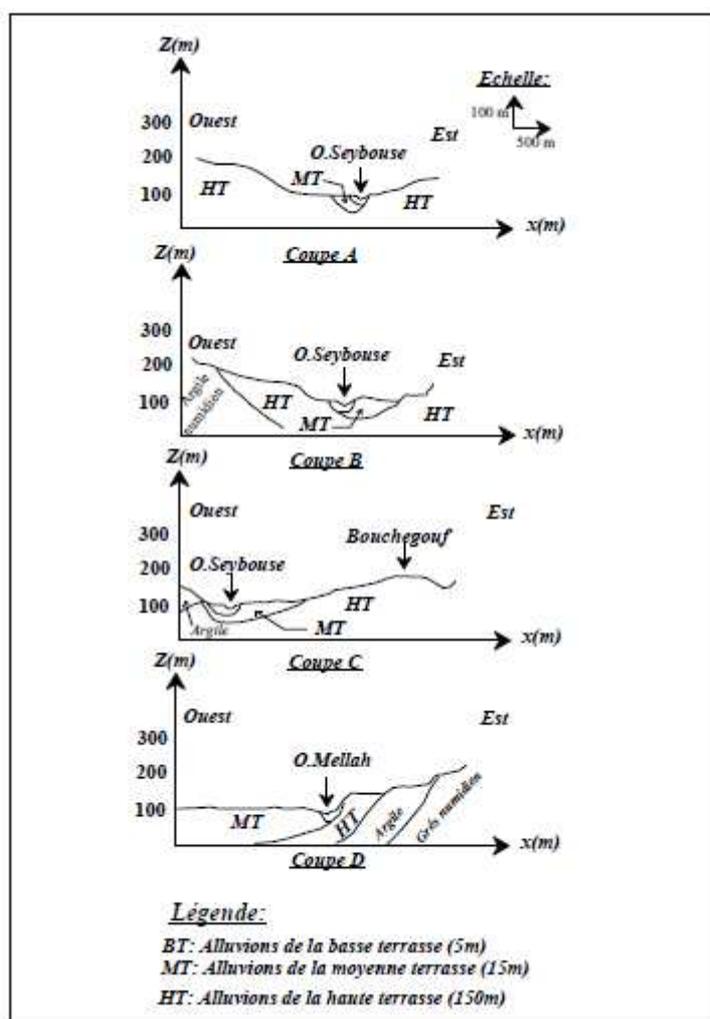


Figure 05. Coupe géologique de la région de Bouchegouf (D'après W. Chaoui .,2007)

IV. Aperçu socio-économique

La région d'étude est une région à vocation agricole et industrielle. Les industries agroalimentaires en général et les laiteries en particulier sont parmi les plus exigeants en qualité et en quantité d'eaux.

IV.1. Agriculture

L'agriculture est observée sur l'ensemble de la zone, avec une très grande variété de cultures, céréalières, arboricoles, maraîchères et maraîchère industrielle.

Les terres irriguées dans le bassin de la Seybouse occupent une superficie de 13976 hectares (L. Sayad.,2015), l'irrigation traditionnelle (gravitaire) est pratiquée dans le bassin du Haut Cherf et l'irrigation moderne (par aspersion) dans la basse Seybouse.

IV.2. Industrie

Les industries dans le bassin de la Seybouse sont principalement regroupées dans le sous bassin de la Seybouse Maritime. C'est des villes importantes d'Annaba, El Hadjar, El Bouni et Sidi Amar que le tissu industriel est le plus dense.

Trois catégories d'industries sont observées :

- industries lourdes ;
- industrie chimique ;
- et enfin l'industrie agro-alimentaire présentée par de petites entreprises.

IV.3. Population

La population qui se trouve sur la zone d'étude, elle est fortement concentrée dans les agglomérations les plus importantes (chef lieu de la Wilaya, des daïra et des communes). Le tableau (01) montre la population de la basse Seybouse est passée de 685286 à 844745 habitants entre 2008 et 2019

Tableau 01. Population recensée dans la basse Seybouse par RGPH (2008).

Communes S.B.V. Seybouse	Pop (RGPH 2008)
Annaba	278827
Kherazas	3200
El bouni	132530
Sidi Slem	7940
El hadjar	38655
Sidi Amar	92273
HadjarDiss	9543
Ain berda	10956
Chihani	10026
Chebaita Mokhtar	24762
Drean	25892
Ain Ben Beida	10655
Nechmaya	8066

Oued Fragha	8083
Bouchegouf	23878
totale	685286

Source : Monographie de Annaba, Guelma, et El Tarf 2008.

V. Végétation

La nature des terrains du sous bassin de la Seybouse combinée d'altitudes, donc d'humidité et de température, détermine un couvert végétal très varié. L'essentiel de la couverture végétale est représenté par des cultures diverses. On distingue deux catégories :

- Le domaine agricole : est représenté par les grandes cultures et parcours, les oliviers.
- la végétation naturelle : regroupe toute la végétation naturelle ; les forêts, les maquis, et les broussailles. (Figure 05)

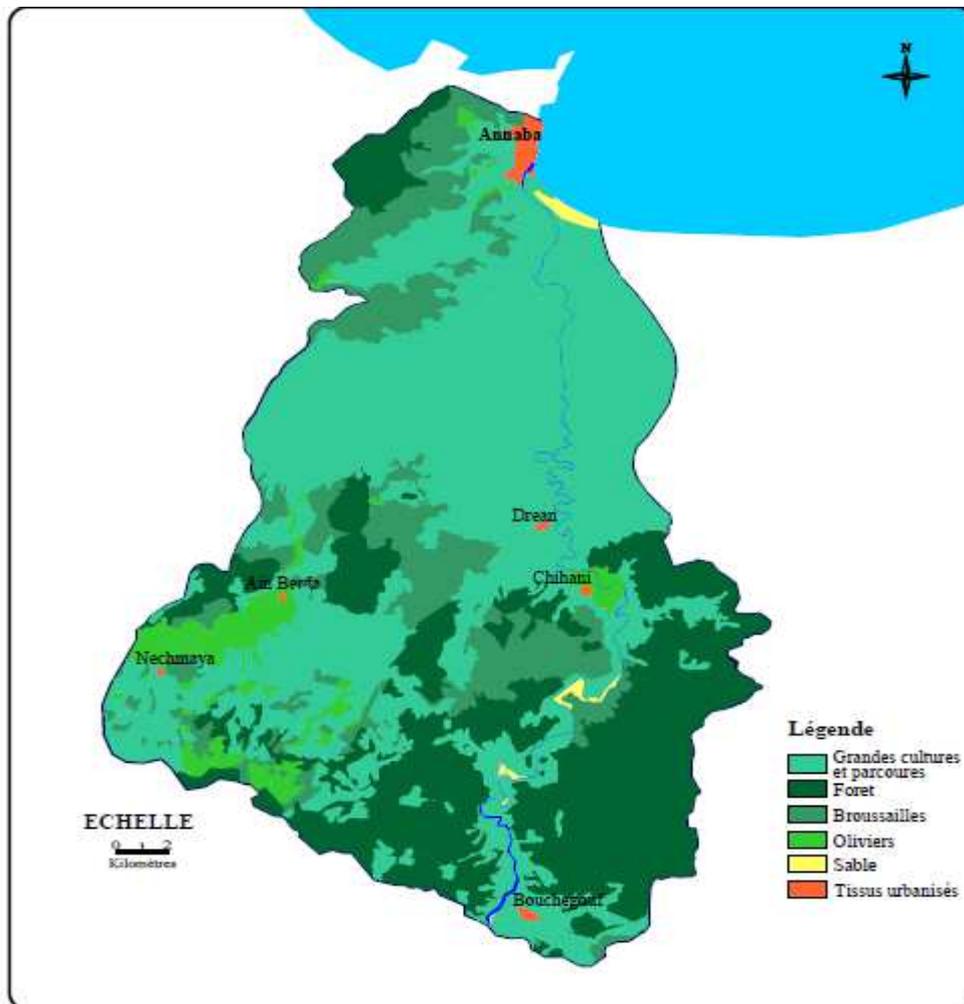


Figure 06. Le couvert végétal dans le secteur de la Seybouse maritime (D'après Bouare. K. N. et Kabira. E., 2004, modifiée).

Conclusion

Cette zone d'étude fait partie du grand bassin versant de oued Seybouse qui couvre au total une superficie de 6471 km². L'oued prend sa source dans les hautes plaines des Sellaoua et de Heracta, et draine des reliefs assez simples avec des écoulements très lents.

Le cadre géologique d'un bassin versant conditionne les écoulements des eaux de surface Souterraines.

La zone d'étude fait partie l'ensemble géologique du Tell algérien nord oriental. Elle est définie par des formations géologiques allant du Néoprotérozoïque au Quaternaire et est représentée par l'affleurement de terrains métamorphiques et des roches éruptives constituant la bordure Ouest et des terrains sédimentaires caractérisant la bordure Sud et la plaine d'Annaba.

Hydroclimatologie

C
H
A
P
I
T
R
E

II

Introduction

L'étude des données climatiques est une opération indispensable dans toute étude hydrogéologique, car elle facilite la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux naturelles. Pour mieux comprendre le fonctionnement et les influences d'un système hydraulique de surface d'une région donnée, il est nécessaire d'établir un bilan hydrique. L'évaluation de ce bilan exige la connaissance des paramètres suivants : La température, les précipitations, l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration.

I. Les stations de mesure

Nous utiliserons les données récoltées au niveau de deux stations météorologiques l'une au Sud de la région la station de Belkheir et l'autres au Nord celle des Salines. La période d'observation est de 1987 à 2017 pour la station des Salines, et de 1985 à 2017 pour la station de Belkheir . Les coordonnées de ces stations de mesure sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 02. Les coordonnées des stations de mesures (D'après ANRH Constantine 2017)

Station	X (km)	Y (km)	Z (m)	Période d'observation
Les Salines	955.800	403.800	3	1987/2017
Belkheir	949.150	362.200	110	1985/2017

I.1. Les facteurs climatiques

Les facteurs climatiques constituant un facteur essentiel qui caractérise le climat d'une région, les précipitations jouent un rôle prépondérant dans le comportement hydrologique des cours d'eau et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines.

I.1.1. Les précipitations

Les précipitations sont considérées comme un facteur essentiel pour caractériser le climat d'une région. Les précipitations jouent un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eau et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines. Les précipitations constituent le premier facteur important dans le cycle de l'eau.

La zone d'étude fait partie des régions les plus tempérées et les plus arrosées de l'Algérie, elle est soumise à un climat méditerranéen caractérisé par un hiver doux et humide et un été chaud et sec, dont le régime dépend principalement de la précipitation et de la température.

A .Précipitations moyennes mensuelles

Les précipitations moyennes mensuelles calculées pour les deux stations étudiées sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 03 .Précipitations moyennes mensuelles

Mois / Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Salines	39.52	60.62	83.83	106.47	95.95	78.56	64.14	53.71	36.55	12.1	2.49	8.18
Belkheir	40.11	45.01	67.60	82.38	81.67	72.30	66.92	59.38	47.30	16.40	3.56	14.51

Source (ANRH 2017)

On remarque que au niveau des deux stations que le mois de décembre demeure le plus pluvieux par opposition le mois de juillet reste le plus sec. Les précipitations moyennes mensuelles dans les deux stations sont représentées par la (figure 07).

Les histogrammes, des précipitations moyennes mensuelles (figure 07), donnent un aperçu sur les variations mensuelles des précipitations dans la région d'étude. Le mois décembre est le mois le plus pluvieux au niveau des deux stations, on a enregistré un maximum de l'ordre de 106.47 mm à la station des salines et une valeur de 82.38 mm pour la station Belkheir. Tandis que le mois de juillet est le mois le moins pluvieux avec un minimum de l'ordre de 3.56 mm à la station de Belkheir et 2.49 mm au niveau de la station des Salines.

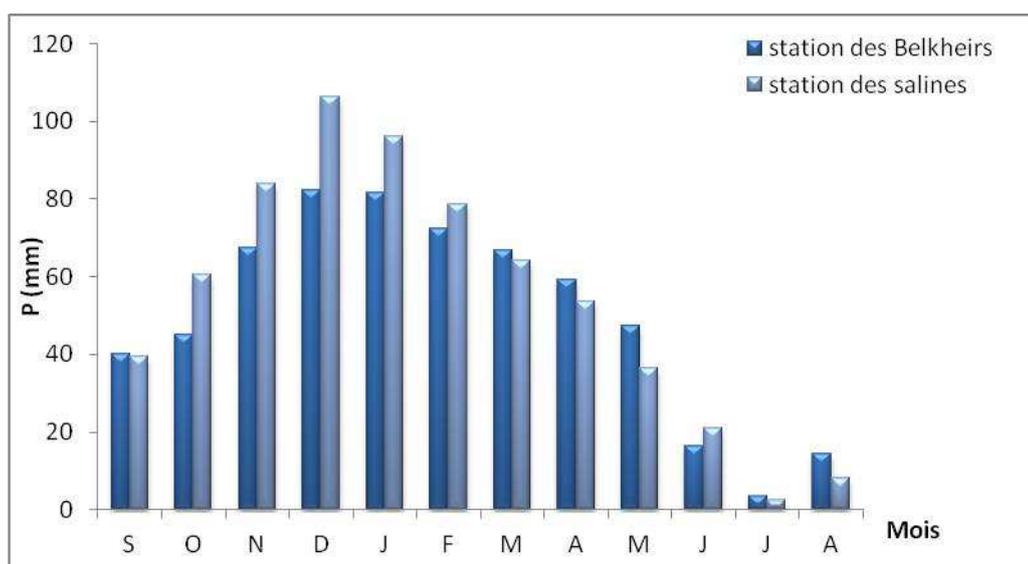


Figure 07. Variation des précipitations moyennes mensuelles pour la station les salines et Belkheirs.

B .Précipitations moyennes annuelles

Les valeurs des précipitations moyennes annuelles permettent de caractériser la pluviosité de chaque année. Au niveau des deux stations, on constate que l'année la plus pluvieuse est l'année 2004/2005 pour les Salines et l'année 2003/2004 au niveau de la station de Belkheir. Les moyennes annuelles des précipitations enregistrées sont respectivement de 987.7mm aux Salines, et 866.10 mm à Belkheir. Par contre l'année la plus sèche est l'année 2016/2017 pour les Salines avec 397.03 et l'année 1996/1997 pour la station de Belkheir avec une valeur de 291.7 mm. Le tableau suivant, récapitule toutes ces informations.

Tableau 04. Précipitation annuelles dans les stations des Salines, et Belkheir (mm).

Année / Station	Année sèche	P min (mm)	Année pluvieuse	P max (mm)	La moyenne (mm)
Les Salines	2016/2017	397,03	2004/2005	987,7	653,85
Belkheir	1996/1997	291.7	2003/2004	866.10	595.08

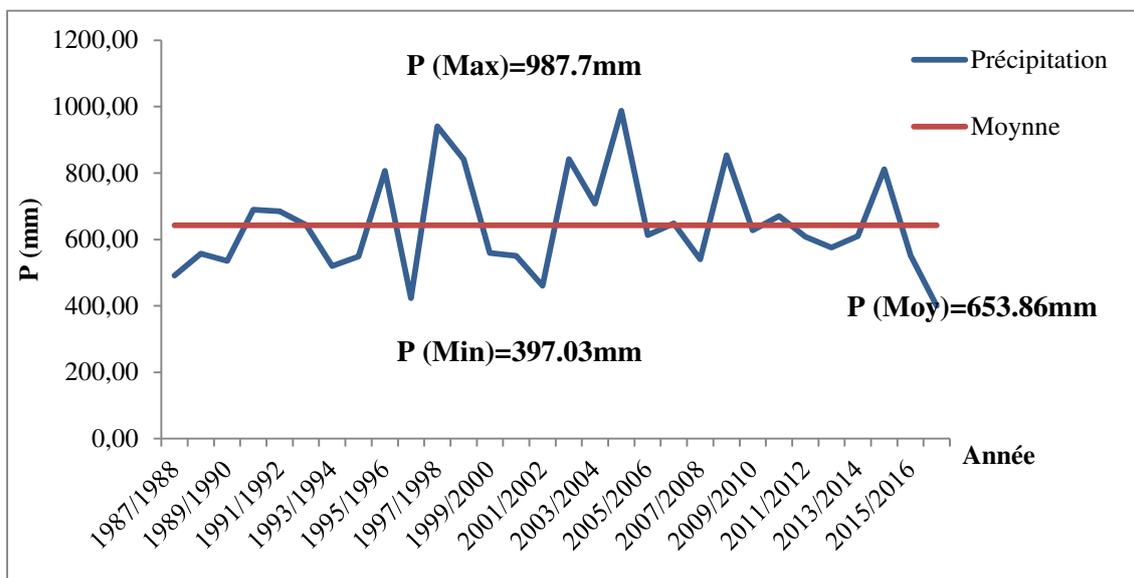


Figure 08. Variation annuelle des précipitations (Station les Salines).

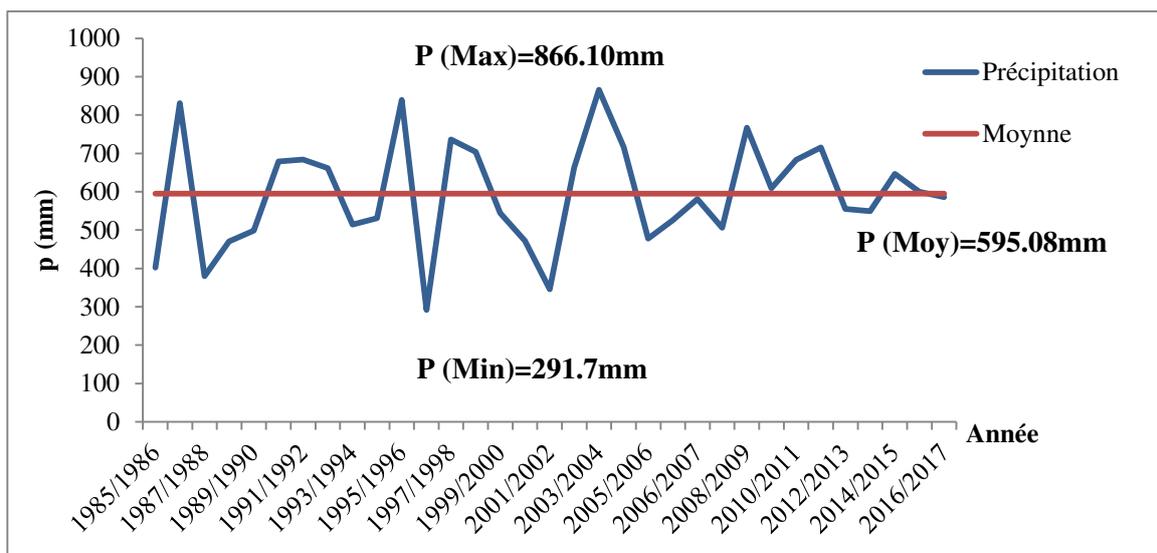


Figure 09. Variation annuelle des précipitations (Station de Belkheir).

I-1.2 Les Température

Les températures constituent l'autre élément majeur conditionnant le climat d'une région.

Elles permettent d'étudier l'évapotranspiration et le déficit d'écoulement et interviennent dans le développement du rythme biologique des végétaux et facilitent l'établissement du bilan hydrique. Elle constitue un facteur essentiel et déterminant dans l'étude de l'évaporation et l'évapotranspiration.

A .Températures moyennes mensuelles

Les températures sont un facteur climatique très important qui régit directement, en interaction avec les autres facteurs météorologiques (humidité, précipitation,...etc), biogéographiques, le développement de la végétation, le phénomène de l'évapotranspiration et ainsi que le déficit d'écoulement annuel et saisonnier. Pour l'étude des températures, nous avons utilisé les données disponibles qui sont les valeurs moyennes mensuelles mesurées au niveau des stations les Salines (1987/2017) et Belkheir (1985/2017). Les valeurs sont portées dans le tableau suivant :

Tableau 05. Températures moyennes mensuelles (ANRH 2018)

Mois / Station	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Salines	23.04	20.12	15.56	12.98	10.95	11.16	13.19	15.34	18.55	22.46	25.12	25.9
Belkheir	24.08	20.35	14.82	10.96	9.77	10.13	12.38	14.91	18.81	23.71	26.97	27.57

Dans le tableau précédent on observe une variation progressive des températures au cours de l'année, la valeur maximale des températures moyennes mensuelles (figure10) est enregistré au mois d'août pour les deux stations (25. 9°C à les salines et 27.57°C à belkheir) et le minimum au mois de janvier avec une valeur de l'ordre de 10.95 °c à les salines et de 9.77 °c à la station de belkheir.

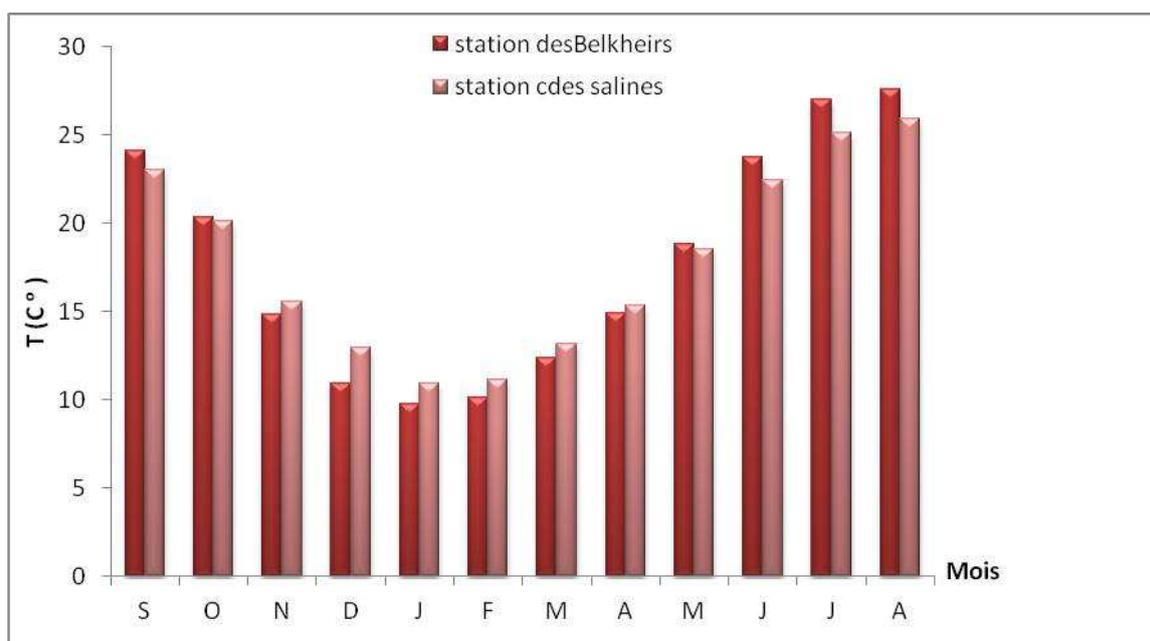


Figure 10. Variations des températures moyennes mensuelles pour les stations les salines et Belkheir.

II. Diagramme Ombrothermique

Il s'agit de la combinaison des températures et des précipitations moyennes mensuelles, Il permet de déterminer les saisons sèches et humides

L'indice d'aridité de Gausson est encore à l'heure actuelle un des indices les plus utilisés, cet indice tient compte des moyennes mensuelles des précipitations (p en mm) et de la température

(T en °C) et donne une expression relative de la sécheresse estivale en durée et en intensité (Gausson et Bagnouls, 1952) .On trace le diagramme ombrothermique pour repérer les mois secs et humides et mettre en évidence les périodes de sécheresse d'une localité. Un mois donné est considéré comme sec quand $p < 2t$, c'est-à-dire quand les pertes en eau (supposées causées par une température trop forte) sont supérieures aux apports (précipitations). Inversement, quand $p > 2t$, le mois est considéré comme humide.

Le diagramme ombrothermique (figure 11 et 12) montre que la région d'étude possède un climat type Méditerranéen, caractérisé par deux saisons l'une humide s'étend du mois d'octobre jusqu'au mois de mai et l'autre sèche qui va du mois de mai jusqu'au mois de septembre

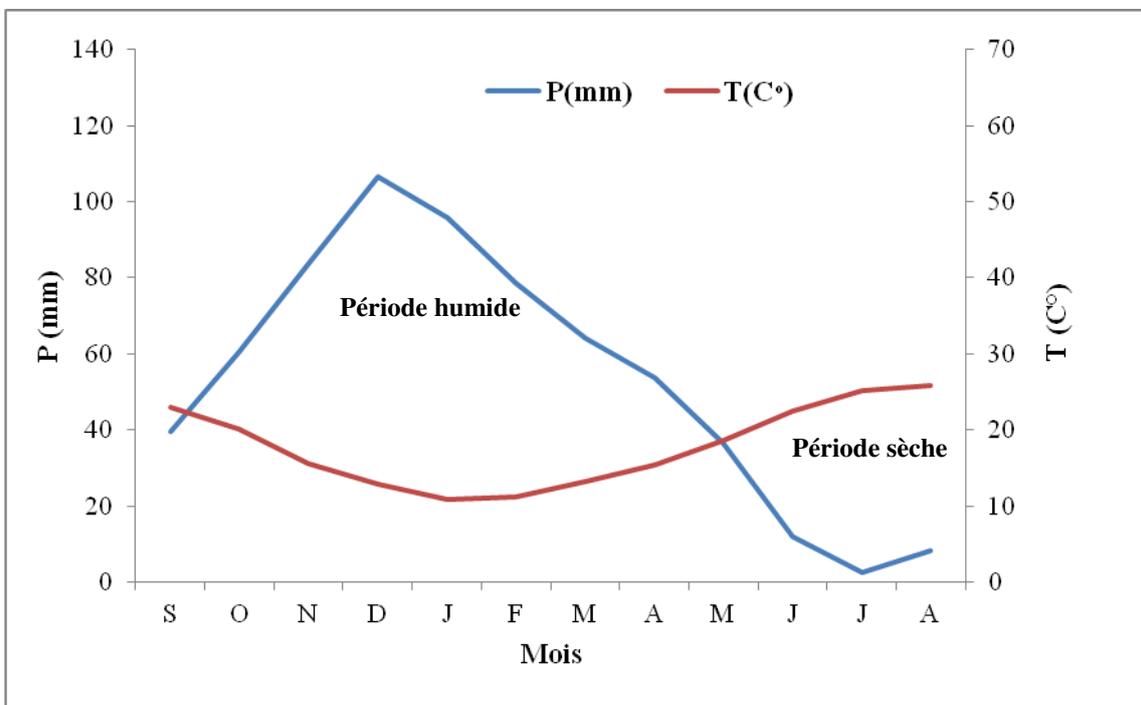


Figure 11. Diagramme ombrothermique pour la station les Salines

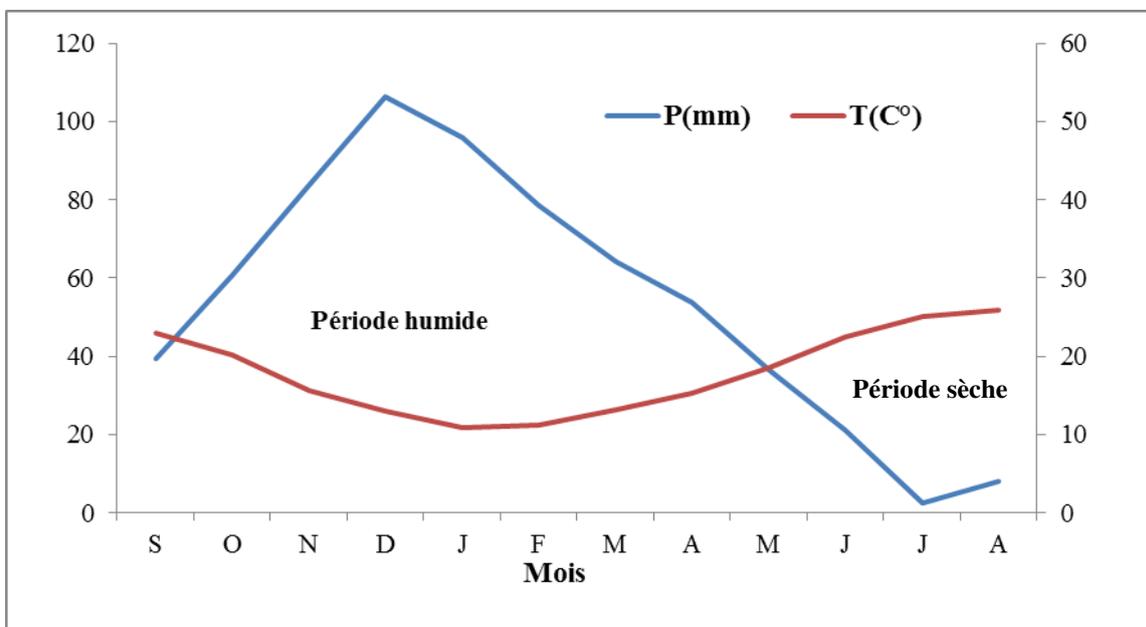


Figure 12. Diagramme ombrothermique pour la station de Belkeir.

III. Le bilan hydrique

Le bilan de l'eau est fonction d'un certain nombre de facteurs, dont les précipitations, l'infiltration et surtout l'évapotranspiration. Il nous permet d'évaluer les effets du climat sur l'écoulement dans le bassin versant et tient compte uniquement des entrées et des sorties, qui s'effectuent par voie atmosphérique.

III.1. L'évapotranspiration

Le terme évapotranspiration désigne la quantité d'eau rejetée dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau par évaporation directe à partir du sol et par transpiration des organes aériens des plantes (Baudry et Journal, 2003).

On distingue :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP)
- L'évapotranspiration réelle (ETR)

III.1.1 Evapotranspiration potentielle (ETP)

Nous appelons évapotranspiration potentielle (ETP), exprimé en hauteur de lame ou tranche d'eau évaporée, la somme des quantités d'eau pouvant s'évaporer et transpirer sur une surface donnée et pendant une période bien définie, en considérant des apports d'eau suffisants (J.P. Laborde, 2012),

Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle nous avons utilisé la formule de Thornthwaite qui a établi une correction entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration mensuelle, cet auteur définit d'abord un indice thermique mensuel (i), (Laborde J.P., 2012), où

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a * k \quad I = \sum i \quad a = \left(\frac{1.6}{100} \right) I + 0.5 \quad i = \left\{ \frac{T}{5} \right\}^{1.5}$$

Avec:

ETP : Evapotranspiration potentielle en (mm).

T : Température moyenne mensuelle en (°C)

i : Indice thermique mensuel.

I : Indice thermique annuel.

K : Coefficient d'ajustement

III.1.2 Evapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration est la quantité d'eau évaporée à partir du sol, des surfaces d'eau libres et celle transpirée par les végétaux (S. Khadri, 2009).

Nous avons essayé d'estimer l'évapotranspiration réelle par la formule de Thornthwaite. Cette méthode est décrite en détaille plus loin et les résultats sont représentés dans le tableau du bilan hydrique.

III.2 Ruissellement

Le ruissellement s'oppose à l'infiltration, il indique la partie des précipitations qui s'écoule à la surface du sol quand l'intensité des précipitations dépasse l'infiltration. Le ruissellement (R) peut être calculé par deux formules (S. Khadri, 2009):

- Tixeront Berkallof par Romantchouk (1974) pour $P > 600$ mm

$$R = P^3 / 3 \dots\dots\dots(1)$$

- Tixeront Berkallof., pour $P < 600$ mm

$$R = P^3 / 3 \cdot (ETP)^2 \dots\dots\dots (2)$$

Avec :

R : Ruissellement en m ;

P : Précipitation moyenne mensuelle en m ;

ETP : Evapotranspiration potentielle en m.

Les précipitations enregistrées dans la région d'étude dépassent 600 mm pour les Salines, la formule utilisée est celle de Tixeront (1). La station de Belkheir est employée la formule de Tixeront (2).

La lame d'eau ruisselée des précipitations pour les deux stations est reportée dans le tableau qui suit :

Tableau 06. Résultats du ruissellement

Station	P(m)	ETP(m)	R(m)
Les Salines	0,653	0.884	0.097
Belkheir	0,597	0.913	0.092

III.3 Estimation de l'infiltration

L'infiltration est un facteur qui régit sur l'équation du bilan hydrologique, nous pouvons le déduire comme (A. Halimi., 1980):

On a le Bilan global :

$$P = R + I + ETR$$

Donc :

$$I = P - R - ETR$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle

P : Précipitation moyennes mensuelles (mm)

R : Ruissellement (mm)

I : L'infiltration (mm)

✓ Si $I > 0$: Les entrées sont supérieures aux sorties.

✓ Si $I < 0$: Les entrées sont inférieures aux sorties.

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 07. Estimation de l'infiltration par la méthode de Thornthwaite.

Station	P(mm)	ETR(mm)	R(mm)	I(mm)
Les Salines	653.1	473,7	97	71.3
Belkheir	597.0	442.3	92	62.7

III.4 Calcul du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite

Le procédé de calcul pour le bilan, consiste les étapes suivantes :

P=ETP : les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol, il n'y aura donc pas de surplus pour alimenter le RFU.

P>ETP

- L'ETR=ETP

- L'excédent des précipitations sur l'ETP, est emmagasiné dans l'humidité du sol, dont il augmente la réserve jusqu'à ce que ce dernier soit saturé.

- La partie de l'excédent dépassant éventuellement la réserve cumulée et se trouve disponible pour l'alimentation de l'écoulement de surface et des nappes profondes.

P<ETP

L'ETR=P, plus tout ou partie de la réserve d'eau du sol, celle-ci est mobilisée comme suit :

- Si le RFU est assez forte pour combler l'insuffisance des précipitations, l'ETR=ETP.

- Si la réserve d'humidité du sol, est insuffisante pour satisfaire l'ETP, donc l'ETR reste inférieure à l'ETP, qui implique que l'ETR égale aux précipitations du mois plus la réserve disponible.

Le déficit agricole (représente la quantité d'eau nécessaire pour les plantes) est égal l'ETP-ETR.

Les résultats de calculs sont consignés dans les tableaux suivants :

Tableau 08. Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite.
(Station les Salines 1987-2017).

Mois	P (mm)	T(C°)	i	K	a	ETP (mm)	ETR (mm)	RFU	EXC	DA
Sep	39,52	23,04	9,89	1,05	1,837	105,2	39,5	0,0	0,0	65,7
Oct	60,62	20,12	8,072	0,91	1,837	77,0	60,6	0,0	0,0	16,4
Nov	83,83	15,56	5,489	0,75	1,837	42,3	42,3	41,6	0,0	0,0
Dec	106,47	12,98	4,184	0,7	1,837	28,4	28,4	100,0	19,6	0,0
Jan	95,95	10,95	3,240	0,73	1,837	22,2	22,2	100,0	73,7	0,0
Fèv	78,56	11,16	3,334	0,78	1,837	22,5	22,5	100,0	56,1	0,0
Mar	64,14	13,19	4,284	1,02	1,837	37,2	37,2	100,0	26,9	0,0
Avr	53,71	15,34	5,373	1,15	1,837	52,7	52,7	100,0	1,1	0,0
Mai	36,55	18,55	7,145	1,32	1,837	82,5	82,5	54,0	0,0	0,0
Juin	21,1	22,46	9,520	1,33	1,837	118,8	75,1	0,0	0,0	43,7
Juillet	2,49	25,12	11,260	1,33	1,837	148,8	2,5	0,0	0,0	146,3
Août	8,18	25,9	11,789	1,24	1,837	147,3	8,2	0,0	0,0	139,1
Total	653,1	17,83	83,587			884,9	473,7		177,4	411,1

**Tableau 09 .Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite.
Station Belkheir (1987-2017).**

Mois	P (mm)	T(C°)	i	K	a	ETP (mm)	ETR (mm)	RFU	EXC	DA
Sep	40,119	24,08	10,720	1,03	1,885	113,4	40,1	0,0	0,0	73,3
Oct	45,016	20,35	8,380	0,97	1,885	77,0	45,0	0,0	0,0	32,0
Nov	67,603	14,82	5,216	0,86	1,885	37,9	37,9	29,7	0,0	0,0
Dec	82,381	10,96	3,420	0,81	1,885	20,2	20,2	91,8	0,0	0,0
Jan	81,468	9,77	2,849	0,87	1,885	17,5	17,5	100,0	55,8	0,0
Fèv	72,31	10,13	3,134	0,85	1,885	18,3	18,3	100,0	54,0	0,0
Mar	66,923	12,38	4,081	1,03	1,885	32,4	32,4	100,0	34,6	0,0
Avr	59,38	14,91	5,284	1,1	1,885	49,1	49,1	100,0	10,3	0,0
Mai	47,31	18,81	7,395	1,21	1,885	83,6	83,6	63,7	0,0	0,0
Juin	16,403	23,71	10,529	1,22	1,885	130,4	80,1	0,0	0,0	50,3
Juillet	3,5677	26,97	12,555	1,24	1,885	169,0	3,6	0,0	0,0	165,4
Août	14,519	27,57	13,025	1,16	1,885	164,8	14,5	0,0	0,0	150,3
Total	597,0	17,87	86,595			913,5	442,3		154,7	471,3

A. Interprétation du Bilan hydrique

Ainsi, on remarque que la réserve en eau du sol RFU dans les deux stations, commence à se reconstituer à partir du mois du novembre, pour atteindre son maximum 100 mm à partir de décembre jusqu'à avril, période pendant laquelle apparaît un excédent qui va se traduire en écoulement ou une infiltration qui alimente la nappe. A partir du mois de mai (figure13 et 14) la réserve commence à s'épuiser jusqu'au mois de juin où elle devient nulle, période qui traduit un déficit agricole nécessitant l'irrigation.

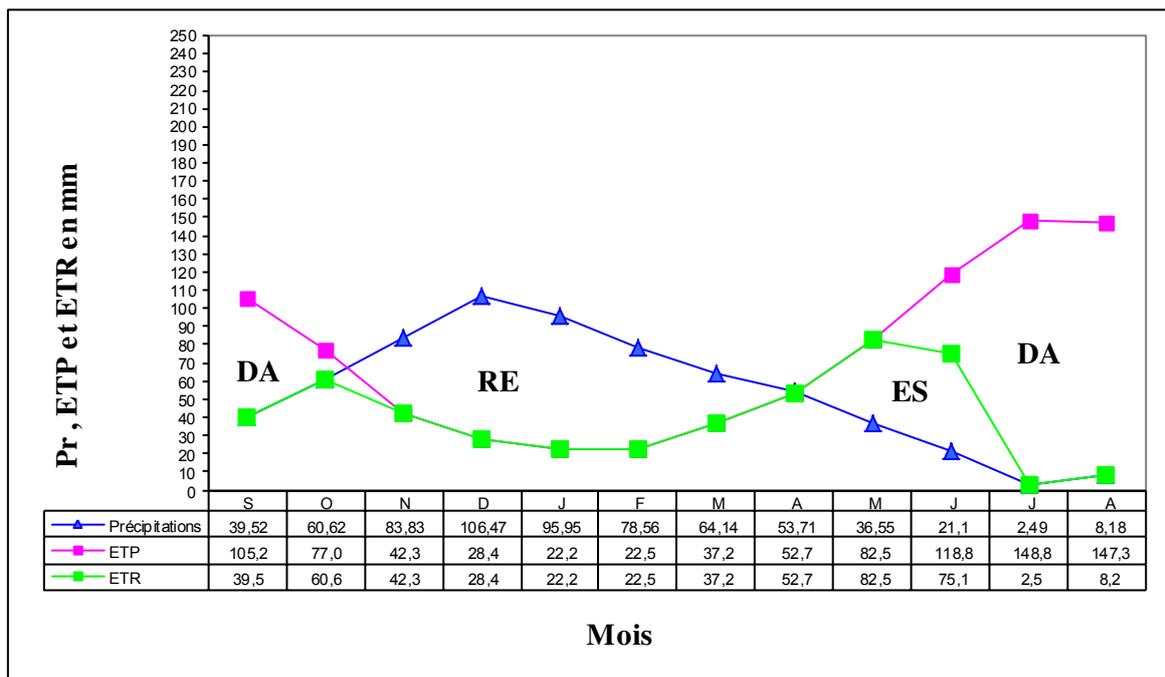


Figure 13. Représentation graphique du bilan hydrique pour station des salines.

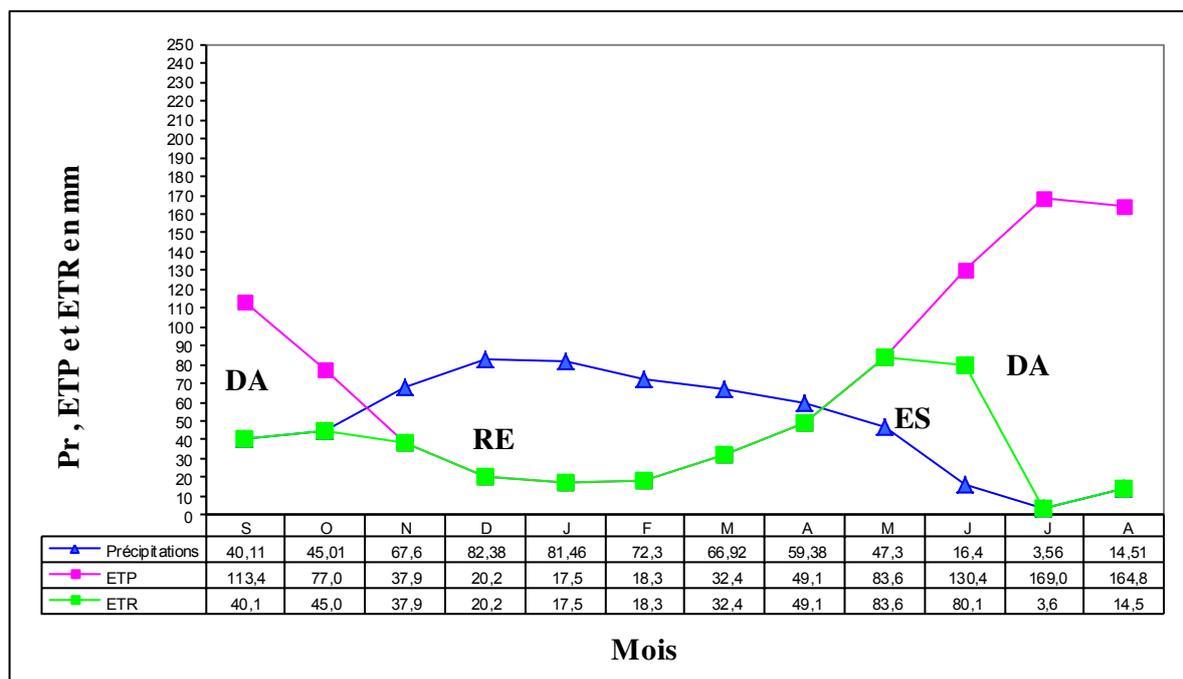


Figure 14. Représentation graphique du bilan hydrique pour station des Belkheirs.

IV. Hydrologie

Le bassin versant de la Seybouse est situé dans la région nord-est du territoire national, il s'étend sur une longueur de 240 km. Il touche près de 86 communes sur 7 wilayas de l'est du pays : Annaba, El Tarf, Skikda, Oum El Bouaghi, Constantine, Souk Ahras et Guelma. Le

réseau hydrographique emprunte surtout les axes des principaux plissements dans les couches marneuses facilement érodables (K. Benmarce., 2015).

IV.1. Réseau hydrographique

L'oued Seybouse est le plus important, il résulte de la jonction des oueds, Bouhamdène et Cherf dans la région de Medjaz Ammar (Wilaya de Guelma). A l'est de la moyenne Seybouse se trouve oued Mellah à Bouchegouf. Au niveau de la basse Seybouse, le sous bassin est traversé essentiellement par (figure 14):

- L'oued Seybouse, présente l'axe de drainage d'un bassin versant de 6471 Km2.
- l'oued Fragha, Djefeli et oued Oglat el Feli, affluents de l'oued Seybouse.
- l'oued Ressoul à Ain Berda.
- l'oued Meboudja, le dernier affluent de l'oued Seybouse, assure la vidange du lac Fetzara par un canal d'assèchement de 14 Km.

Dans la région d'étude existe une seule station hydrométrique celle de Mirbek qui contrôle oued Seybouse dans sa partie inférieur. Actuellement, la station n'est pas fonctionnelle à cause de son mauvais état et le manque de personnel. Les données disponibles sont très anciennes et ne présentent pas la situation récente de l'oued.

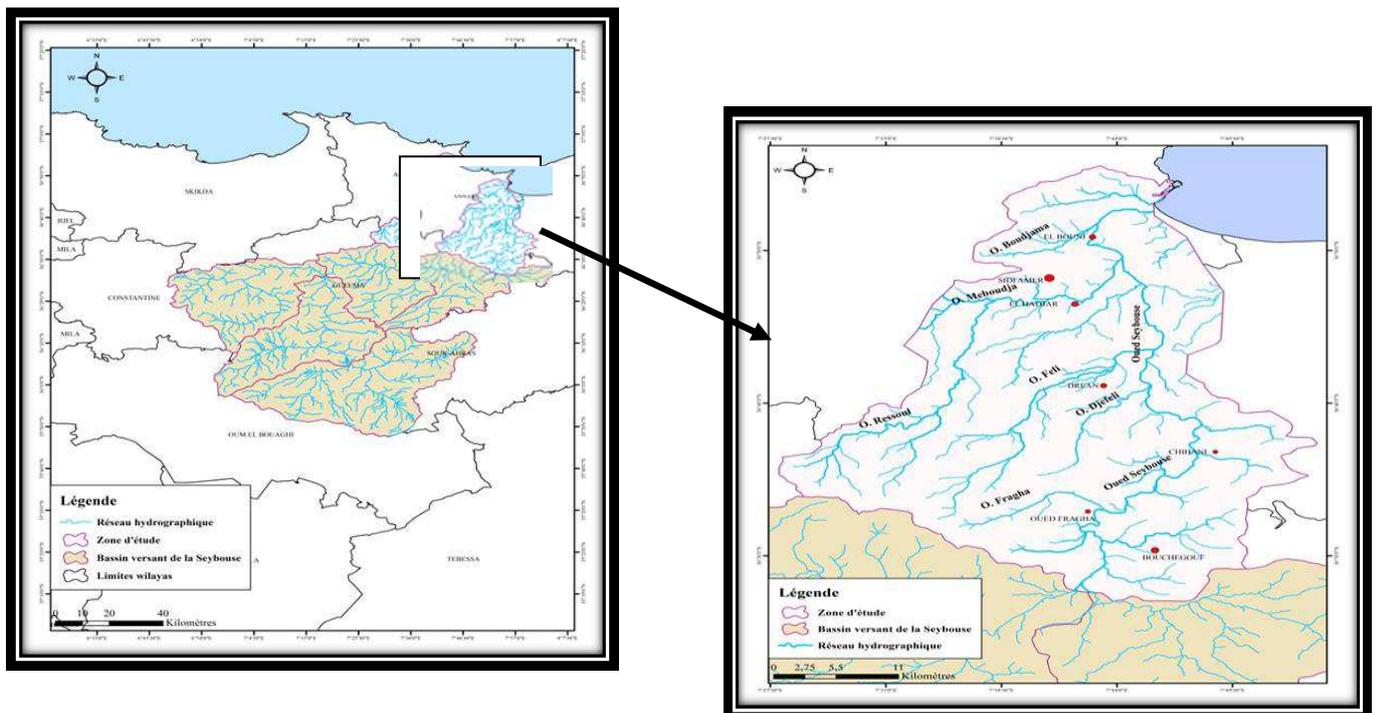


Figure 15. La carte de réseau hydrographique

IV.2. Profil en long

Les profils en long sont établis en portant en abscisses les longueurs développées à partir d'un point de référence et en ordonnées les cotes de l'eau dans le cours d'eau principal et dans ces affluents (parfois on donne la cote du fond). Les profils en long permettent d'estimer la pente moyenne du cours d'eau, cette pente moyenne sert surtout dans l'évaluation des temps de concentration d'un bassin versant (Laborde, 2009).

Le profil en long de la Seybouse présente une courbe régulière entre Bouchegouf et Sidi Salem, l'altitude du cours d'eau principale Seybouse varie de 380 m (Bouchegouf) à 7 m (à l'embouchure). Le profil en long de l'oued Oglat el Feli et oued Meboudja montre une pente irrégulière en amont de ces affluents avec des altitudes importante de 560 m et 760 m respectivement pour l'oued Oglat el Feli et oued Meboudja.

Ces différents points d'altitude montrent combien le régime de la Seybouse et ces affluents est encore fortement torrentiel.

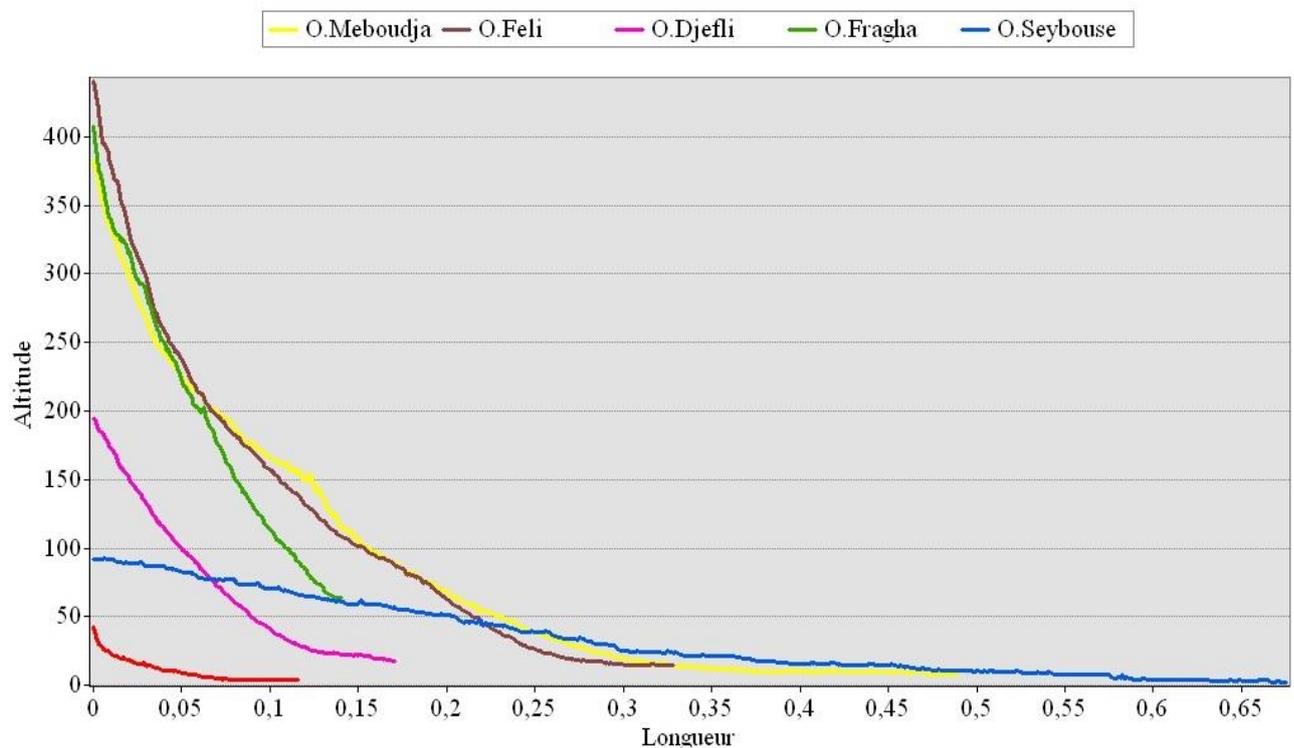


Figure 16. Profil en long de l'Oued Seybouse et ses affluents.

Conclusion

La région d'étude compte parmi les régions les plus arrosées de l'Algérie. Elle est soumise à un climat méditerranéen, doux et humide en hiver et chaud en été. La répartition spatiale des précipitations est irrégulière et montre un accroissement de la lame d'eau précipitée de l'amont à l'aval du bassin versant. Elle est liée aux conditions physico-géographiques.

Pour le calcul du Bilan, la valeur de la RFU a été choisie en fonction de la nature du terrain (RFU = 100 mm).

Le bilan hydrologique est une façon de compter tous les éléments d'apport et de sortie d'eau au-dessus d'une surface donnée.

A partir du mois de novembre, l'apport considérable de la pluie, la chute de Température et la diminution de l'évapotranspiration permettent la recharge du sol mais un déficit agricole est enregistré à partir du mois de mai jusqu'au mois d'octobre c'est la période des basses eaux et c'est également la saison durant laquelle on irrigue, afin de rattraper ce déficit les agriculteurs puisent de l'eau des oueds souvent pollués et font contaminer non seulement leurs cultures mais aussi les eaux souterraine

L'étude de l'écoulement des eaux de surface nous permet de connaître leurs régimes de circulation, premier véhicule d'éléments polluants. L'écoulement superficiel demeure un facteur très marquant de l'étude d'une éventuelle pollution, car la disponibilité potentielle de l'eau est étroitement liée à son réseau hydrographique et au comportement hydrologique d'un cours d'eau ou au régime pluvial.

Hydrogéologie

*C
H
A
P
I
T
R
E*

III

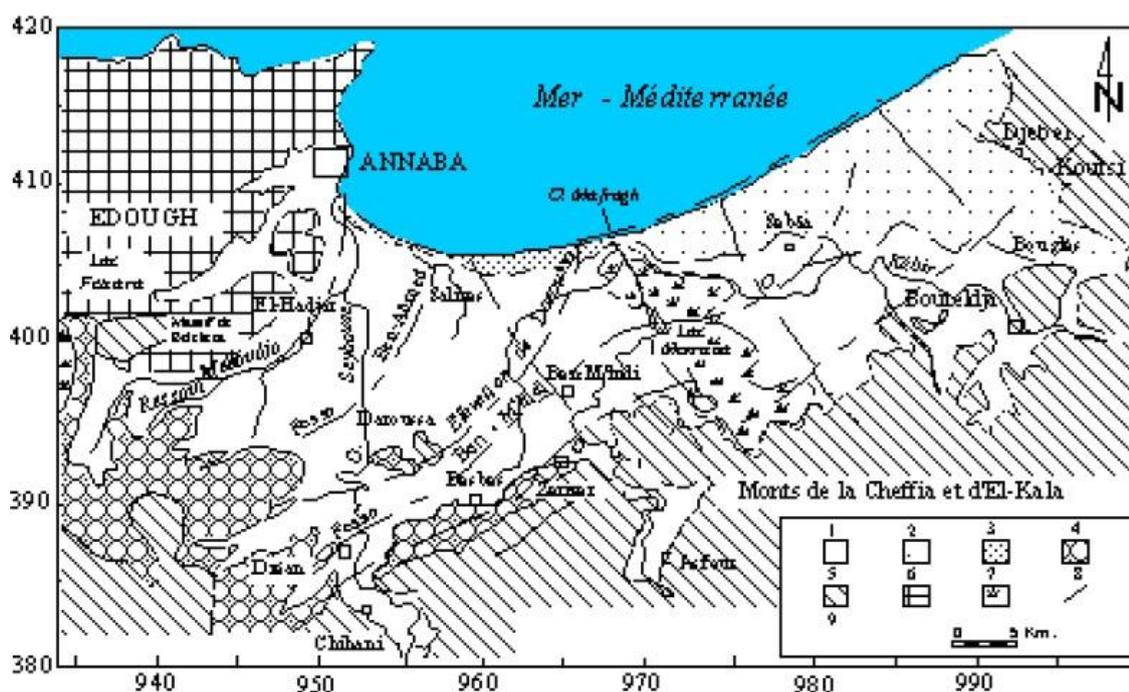
Introduction

L'étude hydrogéologique d'un bassin est nécessaire pour la détermination des différents aquifères existants et pour une meilleure connaissance des différentes formations qui les constituent. L'identification des aquifères et la détermination de leur caractéristiques hydrogéologiques permette d'avoir une idée sur les potentialités en eau souterraine de la région.

La description des différentes formations géologiques fournie par l'outil géologique a été confrontée aux renseignements fournis par l'interprétation des logs stratigraphiques des forages de prospection et d'exploitation réalisés dans la zone d'étude a permis l'identification de plusieurs aquifères, ces dernières se succèdent de manière discontinue et hétérogène

I. Identification des nappes

La basse Seybouse renferme plusieurs nappes souterraines avec des potentialités hydrauliques différentes (figure 17) :



1 : Nappe des formations superficielles ; 2 : Nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja ;
 3 : Nappe des sables du cordon dunaire ; 4 : Nappe des alluvions de haut niveau ; 5 : Grès et argiles du Numidien ; 6 : Formations métamorphiques (nappe des cipolins) ; 7 : Marrécages ;
 8 : Failles ; 9 : Fosses.

Figure 17. Extension des différents aquifères dans les plaines d'Annaba (A. Hani, 2003).

I.1. Nappe des formations superficielles

Cette nappe est contenue dans des formations sablo-argileuses incluant des lentilles de sables. Le substratum est constitué par des argiles grises compactes. La répartition des lentilles sableuses est mal connue à cause de leurs faibles extensions, cependant, elles sont

plus fréquentes à proximité de l'oued Seybouse, et à la périphérie des affleurements des grès numidiens. La nappe phréatique est globalement libre, sauf en quelques points où elle est captive sous des niveaux d'argiles. L'épaisseur de cette nappe varie de 0 à 18 m (W. Hamzaoui, 2007). L'interprétation des données de pompage effectué dans la nappe phréatique a permis de fixer un ordre de grandeur de la transmissivité qui varie de $2 \cdot 10^{-6}$ à $8 \cdot 10^{-5}$ m²/s (Gaud, 1976), la perméabilité verticale du sol montre que la zone d'étude est caractérisée par un sol moyennement perméable de 10^{-6} à $5 \cdot 10^{-5}$ m/s (W. Hamzaoui, 2007).

I.2. Nappe des graviers

Elle se situe en dessous de l'aquifère superficiel couvre l'ensemble de la zone d'étude. Elle est contenue dans des graviers, sable et cailloutis Plio-quadernaires. Elle est perméable et semis perméable et se développe sur toute leur étendue latérale. L'épaisseur de l'horizon aquifère des graviers et galets est très variable varie de 10 à 80 m (H.T. Debieche, 2002). Le coefficient d'emmagasinement est parfois très faible de l'ordre de 10^{-4} . Captive dans sa presque totalité, elle devient libre en bordure Sud- Ouest, quand les graviers affleurement en surface (S. Khadri, 2009). Cette dernière présente de bonnes qualités hydrauliques.

I.3. Nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja

Elle est située au Nord-Est de la zone d'étude, c'est la nappe libre du massif dunaire et est contenue dans les sables éoliens reposant sur le remplissage mio-pliocène de la fosse de Ben-M'hidi. (A. Hani, 2003).

I.4. Nappe des alluvions de la haute terrasse

Elle s'étend le long des massifs numidiens à l'Ouest et au Sud de la plaine d'Annaba. Ces alluvions graveleuses et caillouteuses à matrice argileuse ont des possibilités aquifères très limitées (S. Khadri, 2009).

I.5. Nappe des cipolins

Elle se situe dans les massifs de bordure du Belilieta et de Boukhadra (proche du massif de l'Edough). Elle est contenue dans des lentilles de cipolins, fissurés, existant au sein des gneiss et micaschistes du monoclinale métamorphique du Boukhadra. Ces calcaires sont en contact avec les alluvions de la plaine. Leur superficie est inférieure à 100 ha (A. Hani, 2003).

I.6. Nappe des travertins

Elle est mal délimitée. Elle a été localisée dans le secteur compris entre Fardaous, la butte de Daroussa, Chbaïta et la ferme Hallalal Aïssa (A. Hani, 2003).

I.7. Nappe libre du cordon dunaire

Elle est contenue dans les dunes le long de la Méditerranée, à l'Ouest de la Mafragh. Elle présente l'intérêt de protéger la nappe phréatique des venues d'eau salées (A. Hani, 2003).

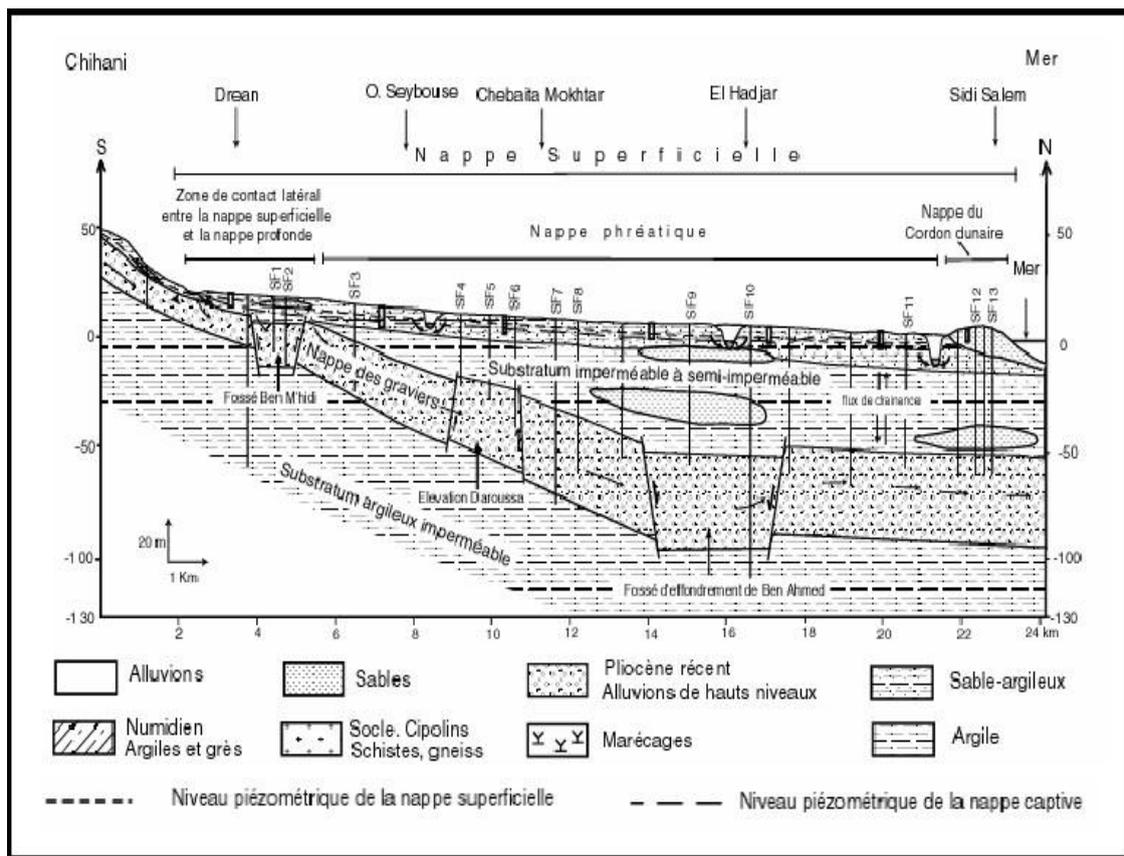


Figure 18. Position des nappes souterraines dans la basse plaine de la Seybouse (H.T. Debieche, 2002).

Le tableau suivant a été réalisé sur la base de la description géologique des terrains ainsi que les caractéristiques hydrogéologiques de chaque formation, il synthétise et combine les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de chaque étage.

Tableau 10. Description géologique et hydrogéologique du site (H.T. Debeiche, 2002).

Ere	Système	Lithologie	Epaisseur (m)	Hydrogéologie	
				Perméabilité	Type de nappe
Quaternaire	récent	Sable	5 – 15	perméable	Nappe de cordon dunaire
	moyen	Sable-argileuse	0 – 20	Semi-perméable	Nappe phréatique
	ancien	Argile avec des Lentilles sableuses	50 -150	Imperméable à semi-perméable	substratum
Tertiaire	Pliocène	Graviers et galets	10 -150	Perméable	Nappe des graviers
	Miocène	Argile	250	Imperméable	Substratum
	Oligocène	Argilo-gréseux	150	Semi-perméable	Numidienne
	Eocène inf	Calcaire massif	-	Formations fissurées	Nappe karstique
Secondaire	Crétacé	Calcaire dolomitique	-		
	Jurassique	Dolomie	-		

	Trias	Dolomie-calcaire et gypse	-	-	-
Primaire	Supérieur	Micaschistes et gneiss	-	Formations altérées	Nappe du socle métamorphique
	Intermédiaire	Schistes	-		
	Inférieur	Gneiss	-		

La nappe superficielle fera l'objet de notre étude.

II. Caractéristiques géométriques de La nappe superficielle

L'hétérogénéité des dépôts a permis de définir un système aquifère constitué par une nappe superficielle qui s'étend sur l'ensemble de la zone d'étude, excepté sur sa bordure nord constituée par les sables du cordon dunaire, à l'Ouest de l'oued Mafragh, et du massif dunaire de Bouteldja à l'Est.

Les coupes lithologiques de forage ont permis d'identifier la structure profonde des principaux aquifères et de déterminer leur extension latérale et verticale. A partir de ces coupes lithologiques, une carte isopaches a été réalisée (A. HANI 2003) et montre que la nappe phréatique, est contenue dans des formations sablo-argileuses incluant des lentilles de sables. La nappe phréatique est globalement libre sauf en quelques points où elle est captive. L'épaisseur de cette nappe est variable ; elle passe de 4 m à 8 m sur la majorité de la région, et plus de 12 m dans la partie côtière de l'aquifère (figure19). La nappe superficielle est très vulnérable à la pollution suite à l'existence des formations sablo-argileuses qui laissent les polluants chimiques s'infiltrer vers la nappe et sa faible profondeur, d'où elle est menacée par l'existence de plusieurs sites industriels, urbains et agricoles.

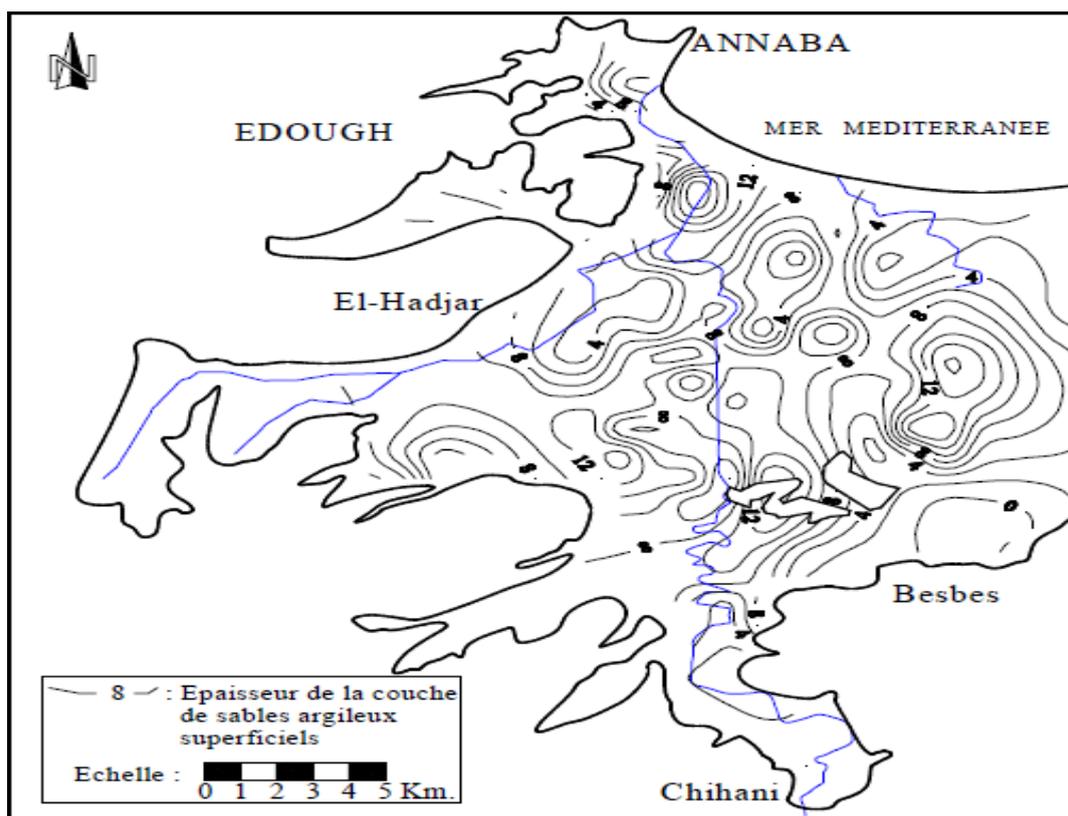


Figure 19. Carte des isopaches de la nappe phréatique de la basse plaine de la Seybouse (A. HANI 2003).

II.1. Alimentation de la nappe superficielle

L'alimentation de la nappe superficielle se fait :

- A partir, des pluies abondantes de la saison humide, des eaux d'irrigation.
- A partir des écoulements souterrains des nappes secondaires de bordure : nappe des terrasses et des grés numidiens au sud, nappe des gneiss altérés.
- A partir de réseau hydrographique, notamment l'oued Seybouse.

III. La piézométrie de l'aquifère

La connaissance de la surface piézométrique de la nappe superficielle a été obtenue par l'inventaire réalisé sur 11 puits (figure20).

Deux cartes piézométriques ont été tracées pour caractériser l'écoulement des eaux souterraines dans la nappe superficielle : l'une pour la période des basse eaux (Aout 2018, figure21) et l'autre pour la période des hautes eaux (Février 2019, figure22).

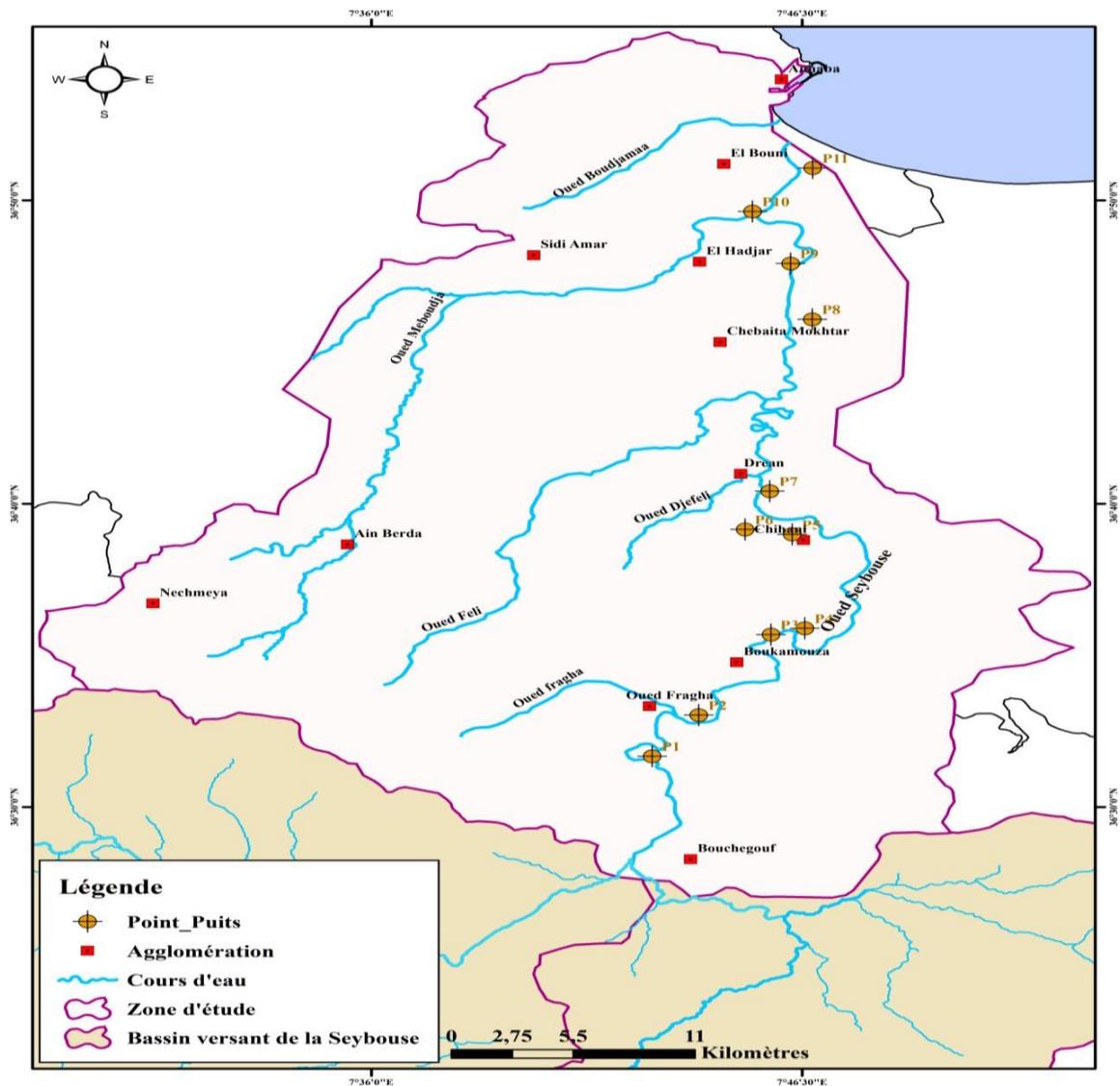


Figure 20. Carte d'inventaire des points d'eau.

III.1. Interprétation des cartes piézométriques

III.1.1. Calcul de gradient hydraulique

Le gradient hydraulique est la différence piézométrique entre deux points de surface piézométriques, par unité de longueur, mesurée le long d'une ligne de courant (G. Castany, 1982). Dans la pratique, il est calculé sur le terrain, à l'aide des niveaux piézométriques mesurés dans deux ouvrages d'observation, alignés sur une ligne de courant l'un amont H_1 , l'autre aval H_2 , séparés d'une distance L , à partir de la formule suivante (G. Castany, 1982) :

$$i = H_1 - H_2 / L$$

Avec :

i : gradient hydraulique.

H_1 : niveau piézométriques au point 1

H_2 : niveau piézométriques au point 2

L : la distance entre les deux points 1 et 2

III.1.2. Interprétation des cartes piézométriques

Les deux cartes piézométriques sont globalement identiques (figure 21 ,22), avec un petit changement dans l'allure des isopièzes entre basses et hautes eaux, l'examen des courbes isopièzes montre une surface piézométrique assez régulière. L'aspect général des courbes isopièzes montre que l'écoulement suit parfaitement la topographie du bassin, la direction générale de l'écoulement est de Sud-Ouest Nord-Est. Nous observons que les courbes sont serrées dans la partie amont de la zone d'étude et deviennent plus serrées au centre du bassin versant ce qui traduit un fort gradient hydraulique de l'ordre de $0,9 \cdot 10^{-2}$ pour la période hautes eaux et $0,6 \cdot 10^{-2}$ de la période de basse eaux. À l'approche de l'embouchure l'espacement des courbes devient important, ce qui signifie une baisse du gradient, à ce niveau il est respectivement de $0,6 \cdot 10^{-3}$ et $0,7 \cdot 10^{-3}$ pour la période d'hautes eaux et de basse eaux. Cette situation est générée par la variation de la perméabilité et le changement de la vitesse d'écoulement.

Dans la partie Sud de la région d'étude, nous remarquons que les lignes piézométriques coupent perpendiculairement l'axe de l'oued avec une légère incurvation vers l'amont ce qui révèle une alimentation de la nappe par l'oued Seybouse. Nous constatons une convergence des lignes de courants vers l'oued ce qui indique une alimentation de la Seybouse par la nappe.

A partir des cartes piézométriques nous remarquons que tantôt le niveau des puits est supérieur au niveau de l'eau dans l'Oued, ceci caractérise particulièrement la zone amont et traduit donc un drainage de la nappe par l'Oued, au niveau de la zone aval, nous notons une relation inverse c'est-à-dire le niveau d'eau est plus élevé dans l'oued se traduisant donc par une alimentation de la nappe par l'Oued.

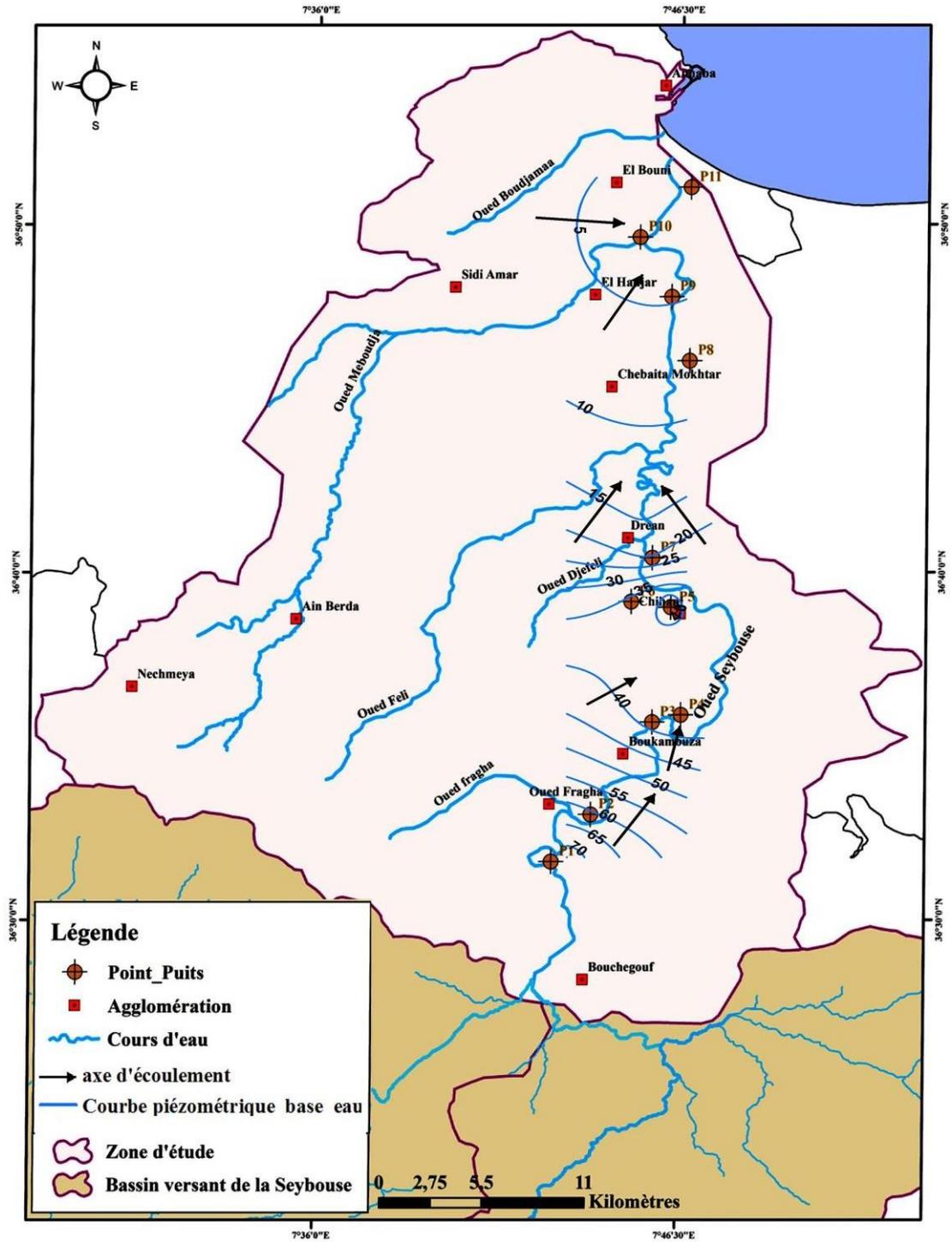


Figure21. Carte piézométriques de basses eaux

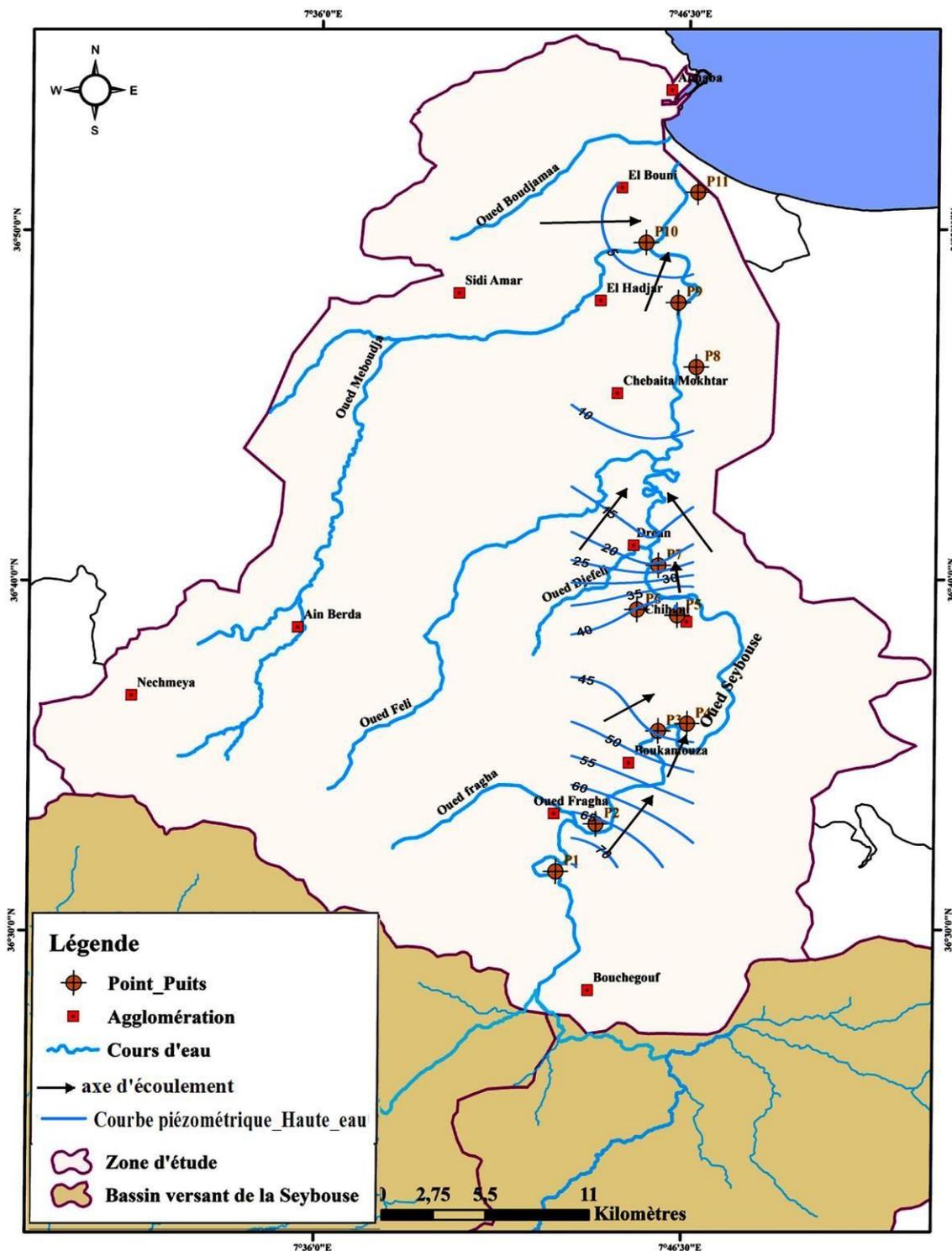


Figure22. Carte piézométriques d'hautes eaux

Conclusion

L'étude hydrogéologique nous a permis de déterminer les principales caractéristiques des nappes aquifères dans le bassin versant étudié. Dans la Seybouse maritime nous pouvons distinguer trois principales nappes ; la nappe superficielle contenue dans les argiles sableuses,

la nappe des graviers et la nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja qui constitue la bordure Est du système.

L'étude de l'évolution du niveau piézométrique permettent de définir le sens de l'écoulement souterrain et ont mis en évidence la relation qui existe entre l'oued et la nappe. L'observation des cartes piézométriques réalisées montre presque la même allure pour les deux périodes. Le sens global de l'écoulement des eaux souterraines est de S-W N-E, Les relevés piézométriques effectués mettent en évidence deux types d'échanges entre les différents systèmes (oueds, nappe). Le premier montre que la nappe draine l'oued dans la partie amont quand le second montre que dans la partie aval c'est l'oued qui alimente la nappe.

La partie amont de la basse Seybouse est caractérisé par les fortes valeurs du gradient hydraulique l'ordre de $0,9 \cdot 10^{-2}$ pour la période hautes eaux et $0,6 \cdot 10^{-2}$ de la période de basses eaux. Par contre, le gradient est faible à très faible au niveau de la partie aval il varie entre $0,6 \cdot 10^{-3}$ (période d'hautes eaux) et $0,7 \cdot 10^{-3}$ (période de basse eaux).

La nappe superficielle est plus vulnérable à la pollution, suite à l'existence des formations sablo-argileuses qui laissent les polluants chimiques s'infiltrer vers la nappe, et sa faible profondeur d'où elle est menacée par l'activité de plusieurs sites industriels, urbains et agricoles.

Hydrochimie

C
H
A
P
I
T
R
E

IV

Introduction

Les échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines sont devenues un important sujet en hydrogéologie et dans la recherche sur les écosystèmes. Lorsqu'un aquifère contaminé est drainé par les cours d'eau, il peut résulter une contamination durable des eaux de surface ; à l'inverse les cours d'eau peuvent représenter une source majeure de contaminants pour les aquifères. On peut également noter des effets néfastes pour la qualité de l'eau comme l'augmentation de la minéralisation, les teneurs des éléments nutritifs et les éléments en trace métallique.

L'accroissement démographique, le développement industriel, agricole et les rejets urbains dans la région d'étude, se sont traduits par la dégradation de l'environnement et la contamination des eaux de surface. Une relation plus étroite entre les rejets et la qualité des eaux pour une connaissance exacte de l'état du milieu, il faut connaître les différentes sources de pollution et les caractéristiques de ces sources dans le sous-bassin versant de la basse Seybouse.

Dans ce contexte que s'inscrit cette partie qui a pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de l'Oued Seybouse et les eaux souterraines de la nappe superficielle.

I.1. Les principaux types et origines de pollution dans la zone d'étude

La pollution des eaux de surface et souterraines peut avoir diverses origines. Selon les activités des différents secteurs, elle peut être d'origine domestique, industrielle et agricole.

I.1.1 Pollutions urbaines et domestiques

Les agglomérations urbaines recensent actuellement 685286 à 844745 habitants entre 2008 et 2019.

Après usage, les eaux usées sont collectées dans un réseau d'assainissement l'égout et acheminées vers l'Oued et ceci sans traitements préalables. Les agglomérations de la basse Seybouse disposent de réseaux d'assainissement unitaires et séparatifs. Le tableau en dessous montre les points de rejets domestiques des agglomérations qui entourent le long de l'Oued Seybouse.

Tableau 11. Les récepteurs des eaux usées au niveau de la basse vallée de la Seybouse.

Agglomération	commune	Wilaya	Lieu de rejet
Boucheougouf	Boucheougouf	24	Oued Seybouse
Oued Fragha	Oued Fragha	24	Oued Seybouse via Oued Fragha
Moumna	Oued Fragha	24	Oued Seybouse
Boukamouza	Oued Fragha	24	Oued Seybouse
Chihani	Chihani	36	Oued Seybouse
Drean	Drean	36	Oued Seybouse
Feddaoui Moussa	Drean	36	Oued Seybouse
Chebaita Mokhtar	Chebaita Mokhtar	36	Oued Seybouse
El Hadjar	El Hadjar	23	Oued Meboudja
Sidi Amar	Sidi Amar	23	Oued Meboudja
El Bouni	El Bouni	23	Oued Seybouse
Sidi Salem	Sidi Salem	23	La Mar

Source : Environnement d'Annaba 2015

I.1.2 pollution industrielle

La région d'étude abrite dans son tissu urbain et à sa périphérie des unités industrielles particulièrement polluantes. Le tableau suivant donne un aperçu sur ces unités industrielles dont les rejets atteignent l'oued Seybouse.

Tableur.12. Inventaire des entreprises existant dans la région

Commune	Lieu d'implantation	Nom	Nature/type	Type de polluant	Volume rejeté m ³ /s
Boucheougouf	Boucheougouf	Eriad	Semoules		4
Boucheougouf	Boucheougouf	Eriad dépôt	Dépôt de semoule		1
Boucheougouf	Boucheougouf	Unité de textile militaire (CHC)	Fabrication d'habillement militaire et chaussures	P,I	/
Oued Fragha	Oued Fragha	L'huilerie (privé)	Transformation d'olive		
Drean	Drean	Saca (privé)	Transformation de tomate		28
Drean	Drean	Les Aures (privé)	Transformation de tomate		184
El Hadjar	Z.I Pt Bouchet	Sarl E.R.W.A.EST	Acierie	rejet non polluant	5
El Hadjar	Z.I Pt Bouchet	EPE-ENCC	Charpenterie métallique,	Eaux usées	N.C

			chaudronnerie, et usage		
El Hadjar	Z.I Pt Bouchet	TRANS CANAL EST	Production tuyaux en béton armé	Eaux usées industrielles	1.5
El Hadjar	Z.I Pt Bouchet	CHO-CO-TEK (privé)	Chocolaterie et confiserie	Eaux usées	9
El Hadjar	Z.I Pt Bouchet	S.N.C. Belkheri (privé)	Confiserie		N.C
El Hadjar	Z.I Pt Bouchet	SAT.PAP ALIF (privé)	Transformation) papier	Eaux usées	9
El Hadjar	Z.I Pt Bouchet	M.T.A	Maintenance, transport, transit et agréage	Eaux Huiles usées et pluviales et	4
El Hadjar	Z.I Pt Bouchet	ETS Boutra (privé)	Fabrication des sachets en plastique		10
El Hadjar	Z.I Pt Bouchet	Sarl Rhumel Gum	Fabrication de Chewing-Gum	Eaux usées	1
El Hadjar	Z.I Pt Bouchet	Sarl EST (privé)	Transport Est	Eaux + huiles usées	2
El Hadjar	Z.I Pt Bouchet	SOFARM (privé)	Fabrication articles médicaux		2
El Hadjar	Z.I Pt Bouchet	T.M.P.K (privé)	Transformation du plastique	Eaux usées	2
El Hadjar	Z.I Pt Bouchet	SIDER G.C.L	Commercialisation des produits sidérurgiques	Eaux usées	1
El Hadjar	Z.I Pt Bouchet	E.N.G.L	Production et distribution de gaz industriel	La chaux et eaux usées	600
El Hadjar	Z.I Pt Bouchet	TREFIL EST ex E.N.T.P.L	Transformation de produits longs (acier)	P,I	10
Sidi Amar	Z.I Sidi Amar	EN SIDER	Sidérurgie		10429
Sidi Amar	Z.I Sidi Amar	SARL PROCOMAC (privé)	Fabrication de carrelage GRANITO		1
Sidi Amar	Z.I Sidi Amar	PLASTINATTE (privé)	Transformation du plastique		1
Sidi Amar	Z.I Sidi Amar	Sarl Vitre Khezzane	Fabrication de parebrise, vitres et miroirs		1
Sidi Amar	Z.I Sidi Amar	E.N.A.B	Bois et dérivés		1
Sidi Amar	Z.I Sidi Amar	HIPPONE NATTES (privé)	Fabrication des nattes plastiques		5
Sidi Amar	Z.I Sidi Amar	S.N.C. C.E.C.C.O (privé)	Transformation du papier		1
Sidi Amar	Z.I Sidi Amar	Sarl S.T.C.M. (privé)	Torréfaction de café		1
Sidi Amar	Z.I Sidi Amar	G.I.P.C. CELPAP	Récupération et compactage des		1

		ENEPAC	déchets papier et carton		
Sidi Amar	Z.I Sidi Amar	PROCIM ex (PROSIDER)	Construction et galvanisation		
El Bouni	Z.I. Allelick	G.T.H ex (ETHAN)	Travaux hydrauliques	Eau chargée NH3, huile usagé, boue de chrome, poussière métallique	5
El Bouni	Z.I. Allelick	S.N.V.I/URD 801	Unité de rénovation et de distribution de véhicules		99
El Bouni	Z.I. Allelick	FERROVIAL	Construction de matériels et équipement ferroviaires		102
El Bouni	Z.I. Allelick	ORELAIT	Production et commercialisation du lait et des produits laitiers		666
El Bouni	Z.I. Allelick	(Ex. EBAN) ETCA	Bâtiments et travaux publics		9
El Bouni	Rte des salines	ORAVIEST	Production et commercialisation des produits avicoles		80
El Bouni	Gharbi Aissa	G.A.E.-U.A.B. ANNABA	Production et commercialisation des aliments de bétail		4
El Bouni	Z.I. Sidi Salem	S.N.C. Zemouli Frères	Boissons gazeuses		1
El Bouni	Z.I. Sidi Salem	Coop. El EKHOUA (privé)	Fabrication de parpaings		2
El Bouni	Z.I. Sidi Salem	ASMIDAL	Production des engrais phosphatés et azotés		2800

Source : Agence des bassins hydrographiques 2012

Les stations d'essence particulièrement, celles assurant le lavage et la vidange des véhicules sont des sources de pollution potentielle. Il convient donc de les considérer comme tel. Le tableau suivant donne un aperçu sur la répartition des stations de lavage et vidange à travers la zone d'étude.

Tableau 13. La répartition des stations de lavage et vidange à travers la zone d'étude
(Environnement Annaba 2015)

Région	Bouhegouf	Chihani	Drean	Chbaita. M	El Hadjar	Sidi Amar	El Bouni	Sidi Salem
station lavage et vidange	3	/	4	2	3	6	3	2

I.1.3 Pollution agricole

L'agriculture est une source de pollution avérée, son origine est l'utilisation abusive des engrais. Le tableau suivant donne une idée sur les quantités d'engrais livrés aux agriculteurs.

Tableau 14. Engrais et produits phytosanitaires utilisés par les agriculteurs de la région d'Annaba

Type de produits	Unité 1	Quantité livrée aux producteurs
Engrais NPK ×10	Quintal	1928
NPK 3× 15 SP	Quintal	24500
PK 0 20 25	Quintal	200
TSP SUPER PHOSPHATES	Quintal	9048
UAN	Quintal	541
NPK 3×15 KCL	Quintal	4512
UREE 46%	Quintal	14178
Sulfate d'ammonium 21%	Quintal	90
SSP (Super simple PH)	Quintal	5512
Produits phytosanitaires 1. Solides		
Insecticides	Kg	1721
Fongicides	Kg	6055
Herbicide	Kg	1678
2. Liquides		

Insecticides	Litre	15714
Fongicides	Litre	6056
Herbicide	Litre	30874

Source : l'agriculture Annaba (2008)

II. Evaluation de la qualité des eaux

Le bassin versant de l'oued Seybouse dans sa partie aval se caractérise par une grande activité industrielle et urbaine, elle est particulièrement présente sur les deux rives de l'oued Seybouse et ces affluents. La qualité des eaux de l'oued Seybouse est prévenue par des nombreuses substances rejetées dans l'oued, soit ponctuellement (rejets domestiques ou industriels non traités), soit de façon diffuse (engrais, pesticides provenant de l'agriculture intensive, boues des stations d'épuration).

Dans cette partie, nous allons donner un aperçu sur l'état actuel des eaux de l'oued et déterminer les liens pouvant exister entre la pollution et ses sources supposées.

II.1 Les prélèvements et analyses de l'eau

Pour avoir la qualité des eaux de surface et les eaux souterraines nous avons effectué une campagne de prélèvement en mois de mars (17/03/2019) sur huit (08) échantillons pour les eaux de surface et sept (07) au niveau des eaux souterraines.

Les points de prélèvements ont été choisis selon une répartition qui couvre toute la zone d'étude. Les points prélevés se situent à l'entrée ou la sortie d'une zone industrielle ou agricole. Les modes d'échantillonnage et de prélèvement ont été réalisés selon les recommandations préconisées.

L'étude de la composition physico-chimique des eaux de surface et souterraines permet de définir les polluants majeurs et d'établir les principaux facteurs de pollution. La caractérisation des eaux de l'oued Seybouse et les eaux souterraines s'est basée sur l'analyse des paramètres physico-chimique tel que le potentiel hydrogène, température, conductivité électrique, turbidité, les éléments majeurs (Ca^+ , Mg^+ , SO_4 , HCO_3 , Cl^-), Les paramètres organiques (NO_3 , NO_2 , NH_4).

Les analyses ont été effectuées au niveau du laboratoire de l'ADE de Djelfa, nous avons utilisé plusieurs méthodes d'analyse comme la méthode potentiométrique (pH, température, conductivité électrique), la méthode optique pour mesurer la turbidité à l'aide d'un turbidimètre optique et électronique HACH modèle 2100N et pour le reste des paramètres nous avons utilisé la méthode volumétrique et le Spectrophotomètre UV-Visible.

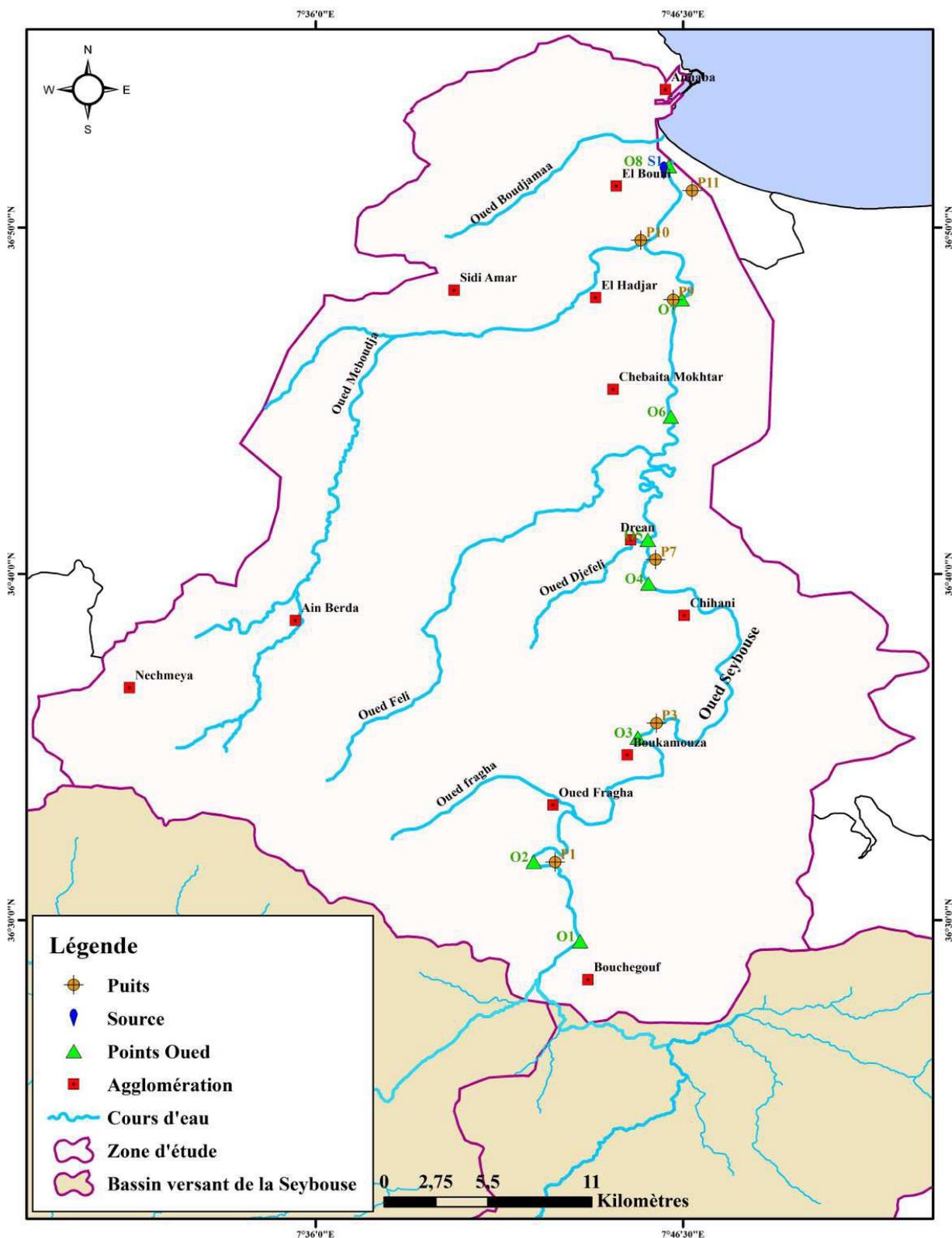


Figure 23. Carte d'inventaire des points de prélèvements.

II. 2. Variation des paramètres physico-chimiques

II. 2. 1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Le potentiel d'hydrogène (pH) représente le degré d'acidité ou d'alcalinité du milieu aquatique. Une eau de pH égal à 7 est dite neutre. Au-dessous de 7 l'eau devienne acide, et au-delà de 7 elle est basique (Rodier J., 2015). L'influence du pH se fait ressentir par le rôle qu'il exerce sur les équilibres ioniques de l'autre élément en augmentant ou diminuant leur toxicité (Rodier J., 2015).

La (figure 24), donne un aperçu sur les variations du pH, au niveau des points mesurés. On remarque que cette variation n'est pas homogène mais elle est fonction de la nature de l'eau et de son origine.

D'une manière générale la plupart des échantillons ont un pH qui ne dépasse pas les normes ($6.5 < \text{pH} < 8.5$). Dans le détail, le pH des eaux superficielles de l'oued Seybouse varie entre 8,14 et 8,44. Ce qui serait lié au contact direct avec l'air. Dans les eaux souterraines, les valeurs de pH ne dépassent pas la norme avec une valeur maximale de l'ordre de 8,2 enregistré au niveau du point S1 et une valeur minimale de 6,6 au point P1.

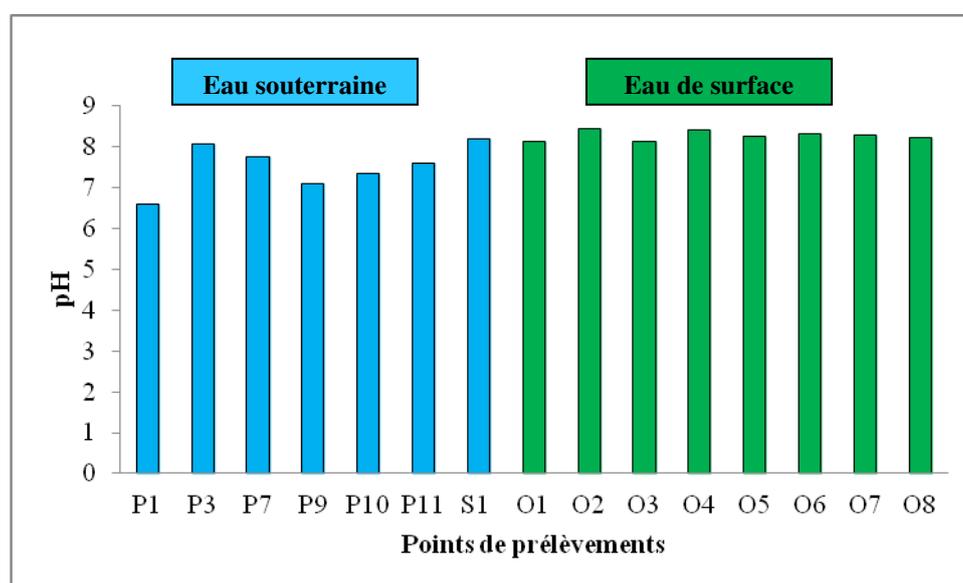


Figure 24. Variation du potentiel d'hydrogène.

II. 2. 2. Température (T)

Une température élevée réduit la solubilité des gaz dans l'eau et en particulier les teneurs en oxygène (Rodier J., 2015). Les températures basses affectent l'auto-épuration des rivières car les

réactions d'oxydation sont ralenties. Au contraire, une température plus élevée accélère ces réactions et par conséquent une plus forte consommation d'oxygène dissous (Rodier J., 2015).

La température dépend des échanges thermiques avec l'air ambiant et du rayonnement solaire et permet également d'influencer les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (l'oxygénation, conductivité et la solubilité de certaines substances...etc.).

La figure suivante (Figure 25) présente les valeurs des températures mesurées dans les eaux superficielles et souterraines. Nous observons généralement des valeurs inférieures à la norme fixée par l'O.M.S (25 °C) (Rodier J., 2015), pour les eaux de surfaces des valeurs peuvent atteindre un maximum de 16,7 °C avec un minimum de 14,4 °C et elles varient entre 14,4 °C à 16,3 °C pour les eaux souterraines. Nous remarquons une légère augmentation de la température au niveau des eaux de surface due à l'influence des conditions externes.

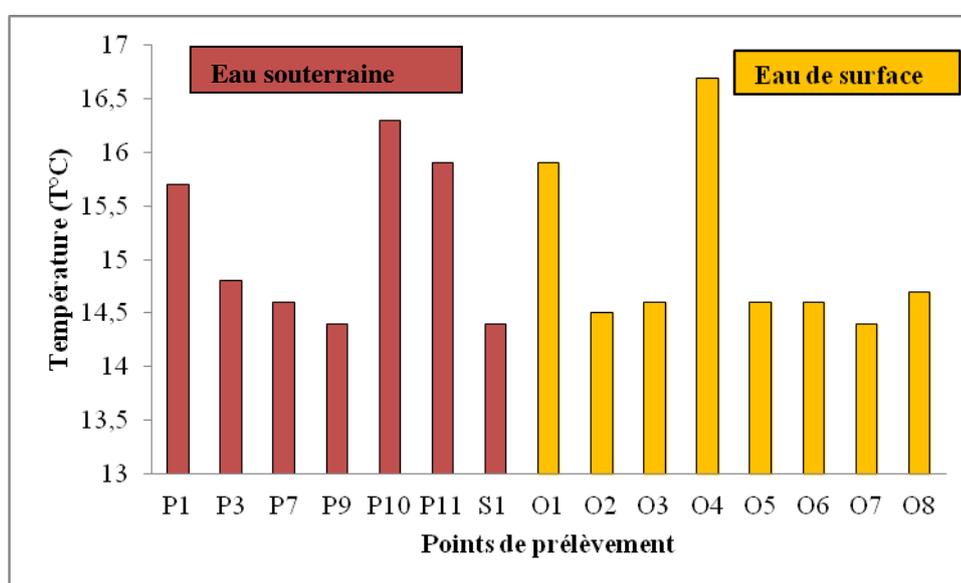


Figure 25. Variation de la température.

II. 2. 3. Turbidité (NTU)

La turbidité désigne la teneur d'une eau en matières qui le troublent. Dans les cours d'eau elle est généralement causée par des matières en suspension (particules d'argile, limon, plancton et des particules colloïdales...). La turbidité s'accroît tout en augmentant la vitesse de ruissellement superficiel et l'érosion des sols.

Les eaux de la nappe superficielle présentent des valeurs allant jusqu'à 35,9 NTU qui sont supérieures à la norme de l'eau potable (< 5 NTU). Au niveau des eaux de surface, la turbidité oscille jusqu'à 18,2 NTU.

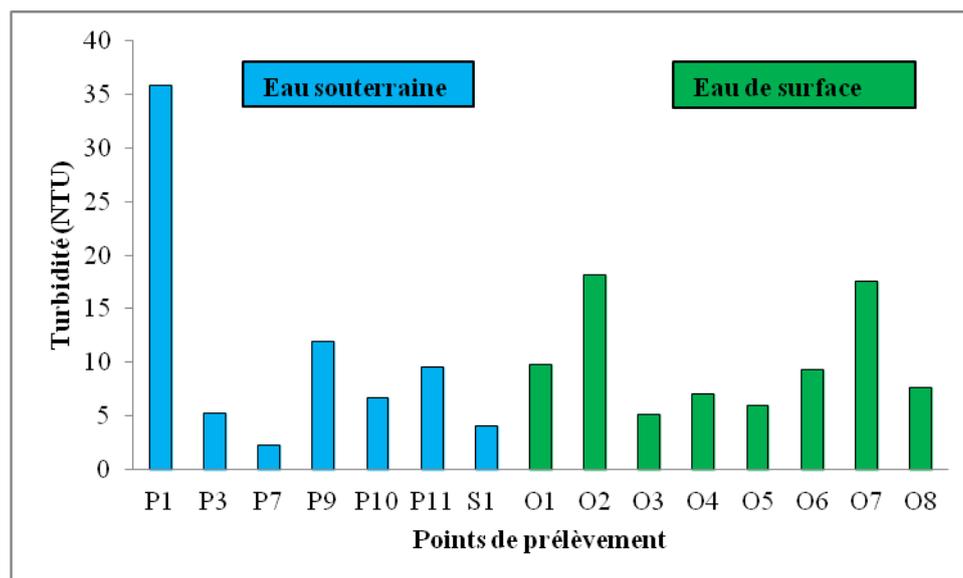


Figure 26. Variation de la turbidité.

II. 2. 4. Conductivité électrique (CE $\mu\text{s}/\text{cm}$)

La conductivité d'une solution est définie comme la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm (Rodier J., 2015).

La conductivité mesure l'aptitude 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 et par suite donner une idée sur la minéralisation totale d'une eau.

Les données présentées dans la (figure 27) montrent que la conductivité des eaux souterraines dans la basse Seybouse est élevée dans la majorité des points avec un maximum de $2700\ \mu\text{s}/\text{cm}$ au niveau du puits P11, traduisant ainsi des eaux fortement minéralisées (RODIER J., 2005). Nous avons enregistré également des valeurs faibles avec une valeur minimale de $274\ \mu\text{s}/\text{cm}$ au point S1.

Pour les eaux de surface nous observons des valeurs variant de $1593\ \mu\text{s}/\text{cm}$ à $3450\ \mu\text{s}/\text{cm}$, les valeurs indiquent des eaux moyennement à fortement minéralisés. Les valeurs élevées de la conductivité traduisent un apport continu des sels minéraux le long de la rivière et les valeurs moyennes peuvent être expliquées par le fait que les eaux de surfaces sont diluées par les eaux de pluies.

La valeur très élevée de la conductivité (3450 $\mu\text{s}/\text{cm}$) au niveau d'O8 indique une contamination par les eaux de mer (Figure 24).

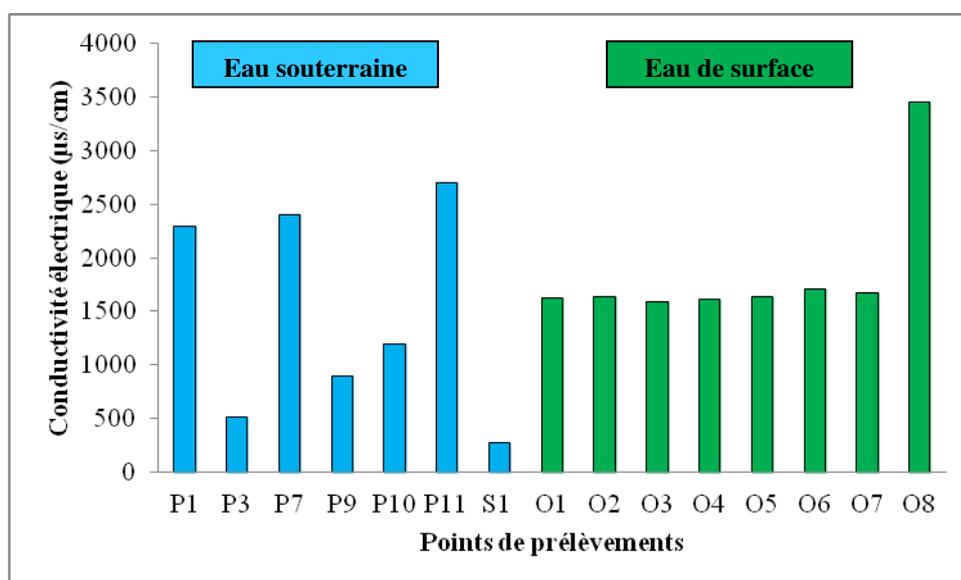


Figure 27. Variation de conductivité électrique.

II. 2. 5. Chlorure (Cl^-)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles. L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution des formations salifères et peut être aux effluents des usines de produits chimiques, aux eaux usées et à l'écoulement des eaux d'irrigation (N. Kachi, 2015).

Les teneurs en chlorure sont généralement importantes, ses concentrations sont incluse entre 170,16 mg/l et 420 mg/l pour les eaux souterraines et de 77,99 mg/l à 1134,4 mg/l pour les eaux de surface. Nous avons remarqué des anomalies dans les points P11 et O8, cette exception peut s'expliquer par l'effet de la salinité marine (figure 28).

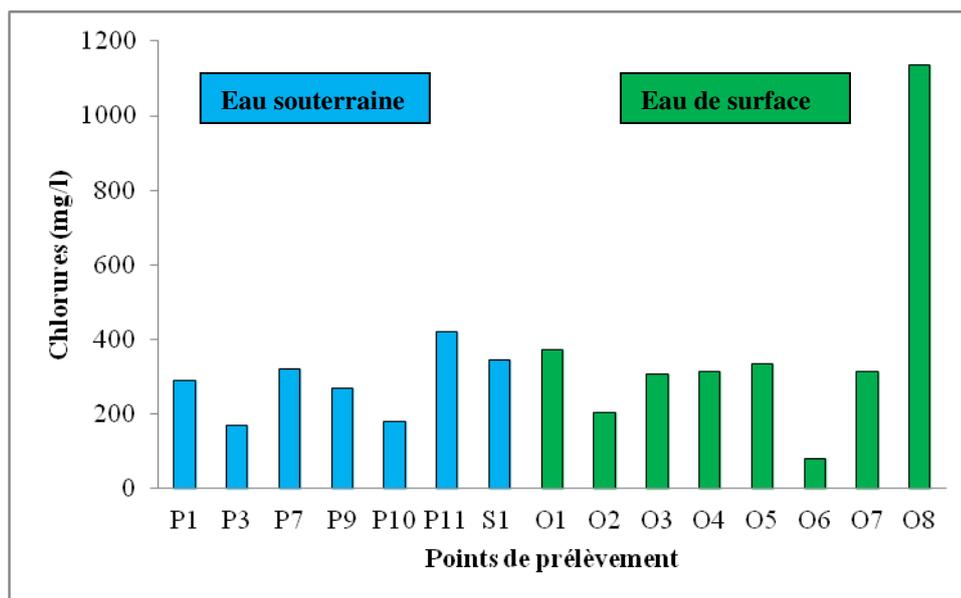


Figure 28. Variation des chlorures.

II. 2. 6. Bicarbonates (HCO_3^-)

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique (H. T. Debieche, 2002).

Les valeurs mesurées présentent des variations importantes dans l'ensemble de la région ce qui indique une hétérogénéité des origines des bicarbonates surtout au niveau des eaux souterraines, les teneurs les plus élevées sont enregistrées au niveau du puits P3 avec une valeur de 969,9 mg/l et de 640,5 mg/l au point O1 respectivement pour les eaux souterraines et les eaux superficielles (figure 29).

Les fortes teneurs des bicarbonates sont dues principalement aux apports sortant du socle métamorphique et à la dissolution des formations calcaires existant à l'amont de l'oued (Djabri, 1996).

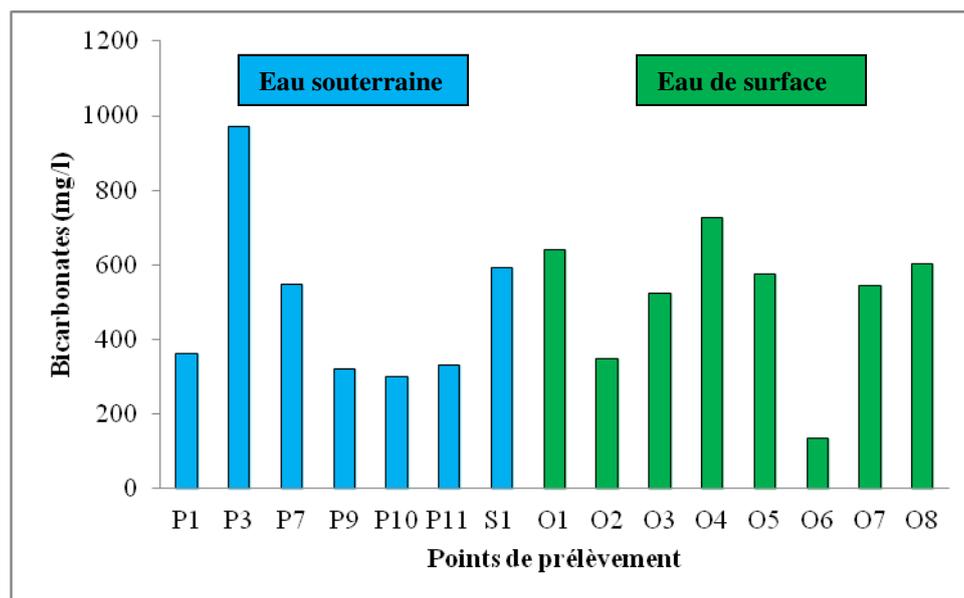


Figure 29. Variation des bicarbonates.

II. 2. 7. Sulfates (SO_4^{2-})

La présence des sulfates dans les eaux souterraines peut être d'origine naturelle (la dissolution des formations gypseuses) ou anthropique (l'activité agricole). Les concentrations observées pour les eaux souterraines et de surfaces sont présentées dans la figure suivante (figure 30).

Les concentrations enregistrées au niveau des eaux de surface montrent des teneurs inférieures aux normes des eaux superficielles (250 mg/l). Pour les eaux souterraines, les valeurs restent toujours inférieures à la norme de potabilité mais cela n'empêche pas d'avoir certains points qui ont des concentrations élevées comme au niveau de point P11 avec une concentration de 216 mg/l.

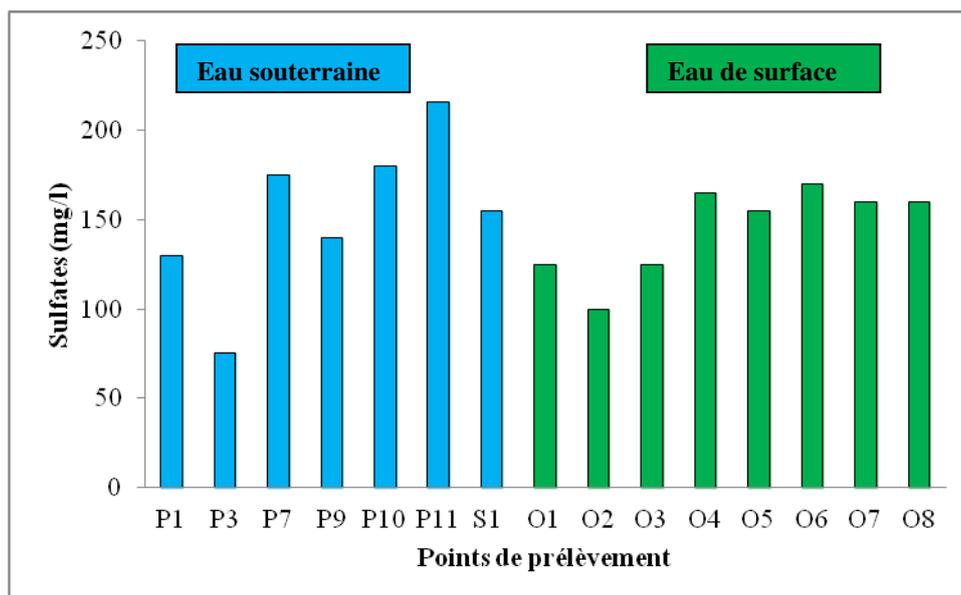


Figure 30. Variation des sulfates.

II. 2. 8. Calcium (Ca^{2+})

La présence des ions Ca^{2+} dans l'eau est liée principalement à deux origines naturelles : Soit la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3), soit la dissolution des formations gypseuses (CaSO_4) (H. T. Debieche, 2002).

La figure (30) montre que la plupart des points d'eau de l'oued présentent des valeurs importantes parfois supérieures à la norme (200 mg/l), pouvant atteindre 300 mg/l cas du point O2 pour les eaux de surface et 380 mg/l au niveau de puits P11. Cette présence en quantité est probablement liée à la dissolution des formations carbonatées et gypseuses traversées par les eaux.

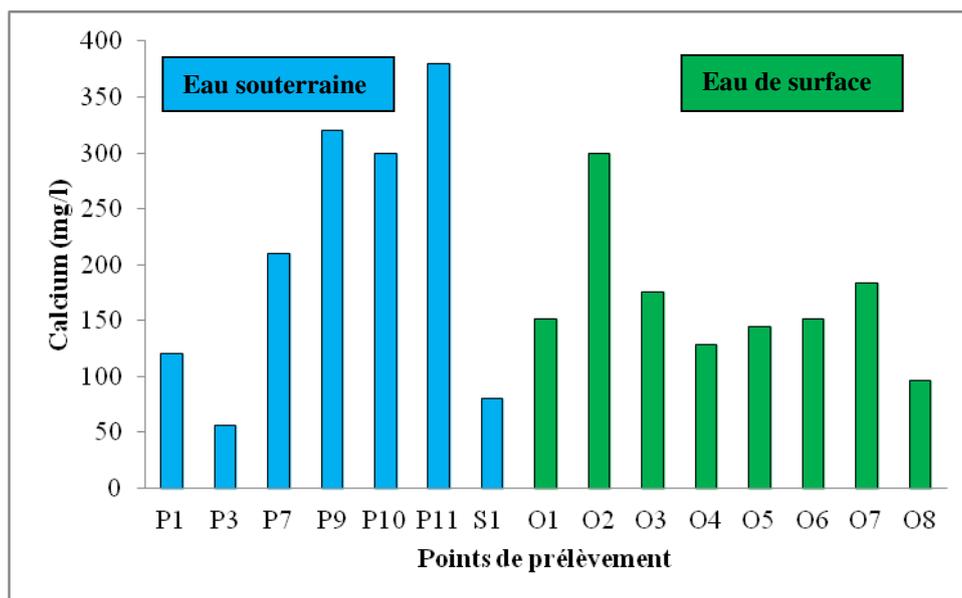


Figure 31. Variation du calcium.

II. 2. 8. Magnésium (Mg^{2+})

La majorité des eaux naturelles contiennent généralement le magnésium avec des petites quantités, sa teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées. Il provient de l'attaque par l'acide carbonique des roches à fortes teneurs en magnésium (magnésite et dolomie), ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées.

Les teneurs en magnésium varient entre 70 à 345,8 mg/l et 40 à 240 mg/l aux eaux de surface et eaux souterraines respectivement, elles sont supérieures à la norme d'OMS (50 mg/l).

L'évolution des teneurs en magnésium à l'échelle des points d'eau analysés (figure 32), montre que les valeurs augmentent en amont et en aval de la région où elles dépassent la norme.

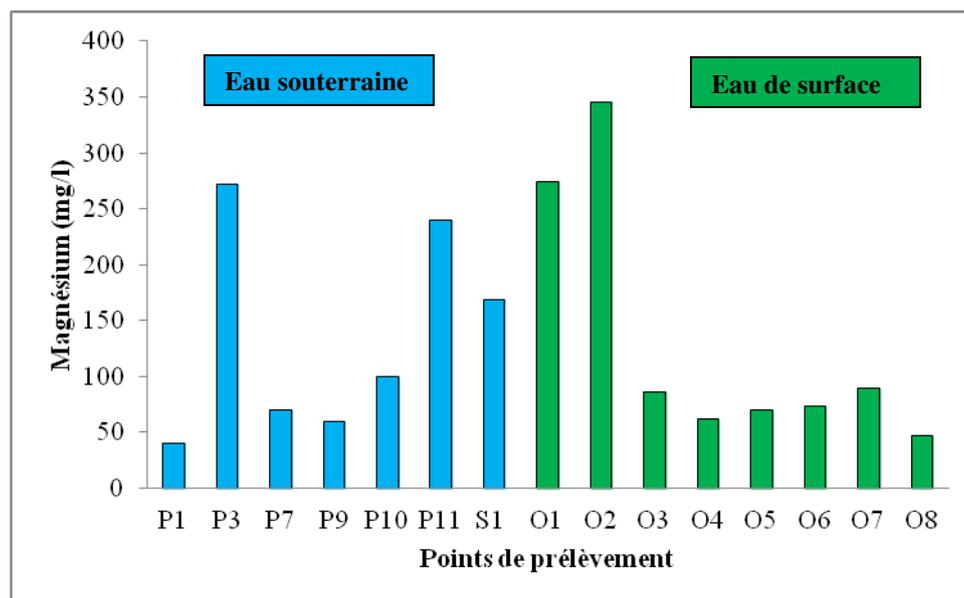


Figure 32. Variation du magnésium.

II. 2. 9. Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates NO_3^- , représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, c'est une forme très soluble, sa présence dans les eaux souterraines est liée à l'utilisation intensive des engrais chimiques (H. T. Debieche, 2002).

L'histogramme des teneurs en nitrates (figure 33) montre qu'au niveau de l'oued Seybouse, les concentrations des nitrates sont moyennes et ne dépassent pas la norme (50 mg/l). Par contre on assiste à une augmentation nette des teneurs dans les eaux souterraines qui varient de 15 à 60 mg/l. La majorité des points présentent des valeurs inférieures à la norme sauf au point P9 atteint une concentration maximale de l'ordre de 60 mg/l. Cet excès peut être expliqué par le lessivage des sols agricoles riches en produits azotés.

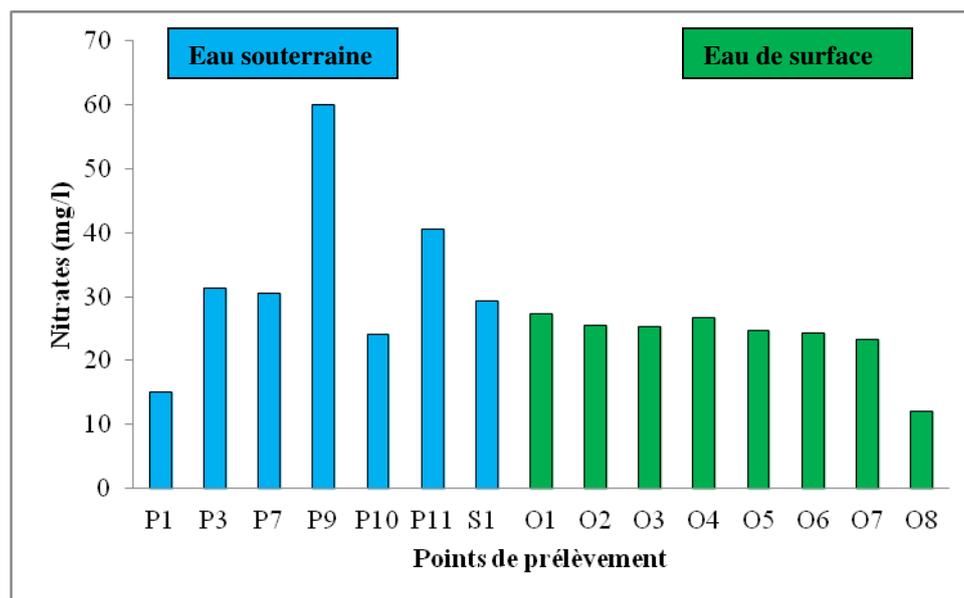


Figure 33. Variation des Nitrate (NO_3^-)

II. 2. 10. Nitrites (NO_2^-)

Le nitrite (NO_2^-) ou azote nitreux, représentent une forme moins oxygénée et moins stable, elle montre la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique (H. T. Debieche, 2002). Les valeurs les plus élevées des nitrites sont observées au niveau de l'oued Seybouse avec un maximum de 0,92 mg/l, les eaux de l'oued Seybouse présentent des concentrations qui dépassent la norme (0,1 mg/l). Elles sont dues à l'effet de l'oxydation de la forme ammonium.

Par contre au niveau des eaux souterraines les teneurs sont moins importantes, sauf au niveau des puits P10 et P11 où nous avons enregistré des valeurs supérieures à la norme de l'ordre de 2,8 et 0,8 mg/l respectivement pour P10 et P11.

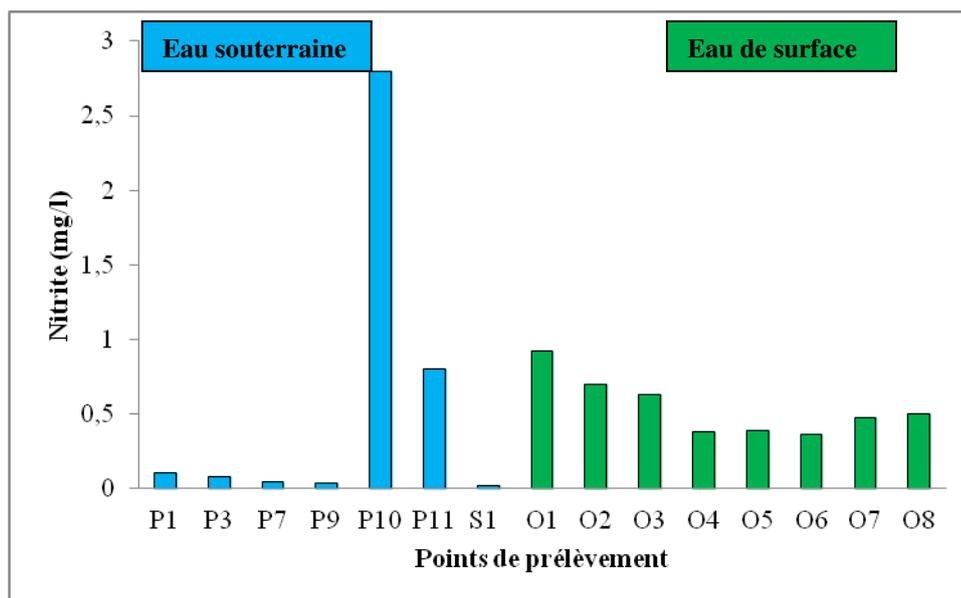


Figure 34. Variation des nitrites.

II. 2. 11. L'ammonium (NH_4^+)

L'ammonium (NH_4^+) est la forme d'azote la plus toxique, sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains et industriels, soit par la réduction des formes azotées (nitrates et nitrites) en conditions réduites (H. T. Debieche, 2002).

Les concentrations observées, dans l'ensemble des points, sont inférieures à la norme de l'OMS (0,5 mg/l). Pour l'oued Seybouse, les concentrations sont très variables et importantes qui oscillent entre 0,05 à 2,34 mg/l. L'ammonium constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains.

Dans les eaux souterraines nous observons l'absence de l'ammonium dans l'ensemble des puits sauf au puits P1 (0,03 mg/l) et P10 avec un maximum qui de (1,6 mg/l), cette concentration élevée est due à l'infiltration des eaux de l'oued Meboudja vers la nappe (figure 35).

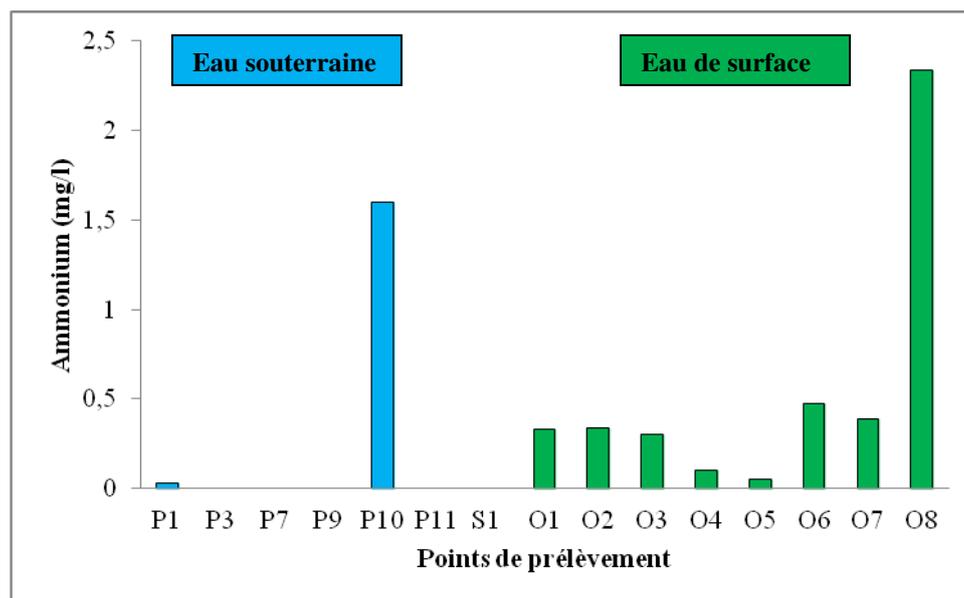


Figure 35. variation l'ammonium (NH₄⁺)

Conclusion

L'étude hydrochimique des eaux de surface et souterraines nous a permis de montrer l'existence de plusieurs polluants chimiques au niveau des eaux de surface et la nappe superficielle avec des concentrations élevées.

Les recensements réalisés au niveau de la zone d'étude montrent que la basse vallée de la Seybouse reçoit des rejets industriels et urbains, par ailleurs l'agriculture est intensément pratiquée ce qui nécessite un usage important en engrais.

L'absence de la station d'épuration permettant d'accentuer la dégradation de la qualité des eaux. Les analyses chimiques réalisées par nos soins et interprétées montrent que :

- Les eaux de surface sont affectées surtout par l'effet des rejets industriels et urbains d'où la forte concentration des eaux en nitrates et ammonium. Un effet naturel observé par la forte concentration en Cl⁻, Ca²⁺ et Mg²⁺.
- Pour la nappe superficielle, nous avons remarqué une contamination géologique qui fait apparaître les éléments : Cl⁻, Ca²⁺, HCO₃ et Mg²⁺, cela est confirmé avec les fortes valeurs de la conductivité électrique traduisant ainsi un lessivage des minéraux engendré par le contact eau-roche.

Une pollution agricole marquée par la forte concentration en nitrates (NO³) qui due à l'infiltration des eaux d'irrigation chargées par les engrais chimique et nous avons enregistré également une teneur importante en ammonium au niveau de puits P10 indique le contact des eaux souterraines avec les eaux de l'oued Meboudja qui est considéré comme un collecteur des eaux usées urbains et industriels.

En rapprochant vers l'embouchure, nous avons noté l'effet de la salinité marine qui accroît la conductivité électrique et la salinité des eaux surtout avec les chlorures Cl^- .

Conclusion générale

CONCLUSION GENERAL

Les liaisons entre les eaux de surface et les eaux souterraines jouent un très grand rôle en hydrogéologie. Les eaux de surface et les eaux souterraines sont caractérisées par des échanges quantitatifs et qualitatifs en permanence de l'une vers l'autre et dans les deux sens en fonction de leurs niveaux respectifs. L'altération d'un des deux compartiments peut donc induire la dégradation de l'autre.

Dans ce travail nous tenterons de présenter une vue d'ensemble des liens existants entre les eaux souterraines et les eaux superficielles et de comprendre les principes des interdépendances hydrologique, hydrodynamique et hydrochimique

La présente étude s'est effectuée sur le bassin versant de la Seybouse maritime entre Bouchegouf et Annaba, dans cette partie l'oued Seybouse roule un volume d'eau considérable. La région se divise en plusieurs ensembles topographiques présentant chacun des caractères et des problèmes géomorphologiques propres, on peut distinguer le versant nord du tell et la plaine d'Annaba.

La région d'étude fait partie de l'ensemble géologique du Tell algérien nord oriental. Elle est définie par des formations géologiques allant du Néoprotérozoïque au Quaternaire, ces formations sont représentées par l'affleurement de terrains métamorphiques et des roches éruptives constituant la bordure Nord-Ouest et des terrains sédimentaires caractérisant la bordure Sud. Les alluvions quaternaires de la plaine sont perméables et renferment des niveaux aquifères considérables.

La synthèse des données climatiques nous permet de distinguer que la région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, elle est caractérisée par deux saisons distinctes, l'une pluvieuse humide à précipitations relativement élevées et des températures basses, l'autre sèche moins pluvieuse et avec des températures plus ou moins élevées. La température moyenne annuelle est de 17.83 °C et la moyenne annuelle des précipitations est de 653,1 mm aux Salines et de 597,0 mm à Belkheir. L'infiltration est de 62.7 mm à Belkheir et de 71.3 mm à les Salines

CONCLUSION GENERAL

qui pourra jouer un rôle important dans la recharge des nappes d'eau souterraines et pour l'écoulement de surface.

L'étude hydrogéologique a pu mettre en évidence les formations aquifères et leurs caractéristiques, dans la zone d'étude nous pouvons distinguer trois principales nappes ; la nappe superficielle contenue dans les argiles sableuses, la nappe des graviers et la nappe des sables du massif dunaire de Bouteldja. Les relevés piézométriques effectués mettent en évidence deux types d'échanges entre les différents systèmes (oueds, nappe). Le premier montre que la nappe draine l'oued dans la partie amont quand le second montre que dans la partie aval c'est l'oued qui alimente la nappe.

L'interprétation des analyses physico-chimique montre qu'au niveau des eaux de surface nous avons enregistré des fortes concentrations en nitrates et ammonium dues aux rejets industriels et urbains, une contamination par les chlorures (Cl^-), le calcium (Ca^{2+}) et le magnésium (Mg^{2+}).

Pour la nappe superficielle, nous avons remarqué des valeurs élevées des Cl^- , Ca^{2+} , HCO_3^- , Mg^{2+} , NO_3^- et la conductivité électrique.

Une pollution agricole marquée par la forte concentration en nitrates (NO_3^-) qui due à l'infiltration des eaux d'irrigation chargées par les engrais chimique. Au niveau de puits P10, nous avons enregistré également une teneur importante en ammonium indique le contact des eaux souterraines avec les eaux de l'oued Meboudja qui est considéré comme un collecteur des eaux usées urbains et industriels.

En rapprochant vers l'embouchure, nous avons noté l'effet de la salinité marine qui accroît la conductivité électrique et la salinité des eaux surtout avec les chlorures (Cl^-).

Dans le bassin étudié, de toutes les observations que nous avons faites, se dégagent trois caractéristiques majeures concernant les fonctions de transfert hydrique entre les eaux de surface et les eaux souterraines :

CONCLUSION GENERAL

- La nappe se recharge considérablement pendant la saison de pluie. La masse d'eau qui contribue à l'augmentation du niveau piézométrique des nappes en hivernage tarit ensuite progressivement pendant la saison sèche, les variations du niveau piézométrique de la nappe sont bien corrélées avec les variations de pluie.
- Les cartes piézométriques réalisées dans la région montrent une relation entre l'oued vers la nappe et de la nappe vers l'oued, dû à la résurgence des eaux souterraines ou à l'infiltration des eaux de l'oued.
- Une autre relation importante apparait entre les eaux de surface et les eaux souterraines. L'interprétation des analyses physico-chimiques indique l'existence des échanges des éléments chimiques entre les deux milieux. La forte minéralisation à la partie aval de la région désigne le contact des eaux marines avec les eaux souterraines et l'oued Seybouse.

Ces résultats montrent que les transferts hydriques dans le bassin de la basse Seybouse sont dominés par des échanges entre l'atmosphère-la nappe, l'oued-nappe, la nappe-oued et la mer-nappe.

Référence Bibliographique

Liste des références bibliographique

Abdi A., Brinis N et Saadi E., 1991. Géophysique, Hydrogéologie, Hydrochimie de la vallée de la Seybouse –Guelma, Bouchegouf et Moumna-, mémoire d'ingénieur, IST, Université d'Annaba, 135 p.

Aissa T et al., 1995. Traitement de clarification des eaux usées de la laiterie « Edough » mémoire de magister UBM Annaba

Blayac J., 1912. Esquisse géologique du bassin de la Seybouse et de quelques régions voisines, 480 p.

Bachiri N., 2011. Evolution du chimisme des eaux de surface et Souterraines dans le bassin versant de la Seybouse (Nord-Est Algérien), mémoire d'ingénieur, université d'Annaba, 88 p.

Bagnouls F., et Gaussen H., 1952. Les climats biologiques et leur classification. Annales de Géographie, 66° année, N." 335:193-22.

Bougherira N., 2008. Impact des rejets industriels du complexe sidérurgique sur les eaux superficielles et souterraines dans la plaine de Meboudja, mémoire de magister UBM Annaba.

Castany J., 1965. Unicité des eaux de surface et des eaux souterraines, principe fondamental de la mise en valeur des ressources hydrologique, hydrological sciences journal ,10 :3, p 22-30.

Chaoui W., 2007. Impact de la pollution organique et chimique des eaux de l'oued Seybouse et de l'oued Mellah sur les eaux souterraines de la nappe alluviale de Bouchegouf (Guelma), mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 97p.

Djabri L., 1996. Mécanisme de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse : Origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines, Doctorat d'Etat, UBM Annaba, 176 p.

Djabri L., Hani A., Laouar R., Mania J., Mudry J and Louhi A 2003. Potential pollution of groundwater in the valley of the Seybouse River, North-Eastern Algeria, Environmental Geology, Vol 44, N6, 2003, pp738-744 .

Debieche T.H., 2002. Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est algérien. Th. Doct. Univ. de Franche-Comté, 199 p.
(H. T. Debieche, 2002).

Gaud B., 1976. Etude hydrogéologique du système aquifère d'Annaba – Bouteldja (synthèse des connaissances et recherche des conditions de modélisation) Rapport de l'ANRH. Algérie. 151p.

Hani A., 2003. Analyse méthodologique de la structure et des processus anthropiques : application aux ressources en eau d'un bassin côtier méditerranéen", thèse de doctorat d'état, Es. Sciences, Université d'Annaba, 213 p.

Hamzaoui W., 2007. Caractérisation de la pollution des eaux en milieu industriel et urbain. Cas de la plaine d'El Hadjar", mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 84p.

Liste des références bibliographique

Hammor D., 1992. Du Panafricain au Miocène : 600 millions d'années d'évolution polycyclique dans le massif de l'Edough (Algérie Nord Orientale). Retraces par la pétrologie, la tectonique et la géochronologie (U/Pb, Rb/Sr, Sm/Nd et $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$). Thèse de l'USTLanguedoc, Univ de Montpellier II, 205 p.

Halimi A., 1980. L'Atlas Blidéen, climat et étages végétaux, Office des publications universitaires, Alger.

Hilly J., 1962. Etude géologique du massif de l'Edough et du Cap de Fer (Est constantinois), Bull. n°19 carte géologique Algérie, Alger, 339p.

Ilavsky et Snopkava, 1987. Première datation du Trias détritique d'Algérie septentrionale dans la région de Guelma. C.R .Acad S.,II, t . 305, paris, 379-401 p.

Joleaud L., 1936. Etude géologique de la région de Bône et de la Calle. Bull . Serv. Carte Géol. de l'Algérie. 2e série, 12, 200p.

Journal officiel de la république algérienne 2003. n° 43 Loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

Kachi N., 2015. Impact du périmètre irrigué sur la qualité des eaux souterraines dans le bassin versant de la Seybouse, Thèse de doctorat en sciences, IST, uni Badji Mortar d'Annaba , 209p.

Khadri S., 2009. Qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie aval : Impacts des néofacteurs de pollution. Mémoire d'ingénieur, Université d'Annaba, 134 p.

Khérici N., 1985. Aquifère sableux de bord de mer, hydrodynamique et hydrochimie. Exemple de la nappe de Bouteldja (N-E Algérie), thèse de 3ème cycle, U.S.T.L, Montpellier, 202p.

Lahondère J.C., 1987. Les séries ultra telliennes d'Algérie nord orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural, Th. Doct .Es sciences .Université Paul Sabatier, Toulouse. 1-242p.

Labar S., 2003. Contribution à l'identification des aires inondables et qualité physicochimiques des eaux stagnantes temporaires dans la vallée mafragh –Extrême Nord Est Algérien-, mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 105p.

Laborde J.P., 2012. Synthèse cartographique des bilans hydriques de l'Algérie du Nord, Colloque International de Rouen, Regards croisés Nord-Sud, Université de Rouen 25-26 sept 2012.

Marre A., 1987. Le Tell Oriental Algériens de Collo à la frontière Tunisienne. Etude géomorphologique, volume 1 et 2 O.P.U. Alger. Algérie.

Maoui .A., 2001. Estimation des crues de référence pour les plans de prévention du risque inondation. Cas du bassin versant du Saf-Saf, N.E algérien. Mémoire de magister, Université d'Annaba. 118p.

Liste des références bibliographique

Maidement D et Mays L., 1988. Applied hydrology. Ed. Mc Graw-Hill CNERU (1980). Etudes et réalisations en urbanisme. Recueil sur la zone industrielle d'El-Hadjar, 42 p.

Rodier J., 2009. L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Ed. Dunod, 8ème Edition, Paris, 1383p.

Rodier J., 2015. L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Ed. Dunod, 9ème Edition, Paris, 86-1081p.

Sayad L., 2015. Le pouvoir auto épurateur de l'oued Seybouse sur les rejets de la laiterie de l'Edough (Annaba-Algérie) et les objectifs environnementaux des rejets. Thèse de Doctorat ès sciences Nat., Université d'Annaba, 19p.

Villa J. M., 1980. La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro- Tunisiens, Thèse de Doctorat ès sciences Nat., Université de Pierre Marie Curie, Paris VI, France, 2t 665p, 199 fig., 40pl.

Villa J.M., 1970. Répartition de l'autochtone en fenêtre Hahouner-Débar (feuille au 1/50000é de Gounaud-la Mahouna, Nord-Est de constantinois, Algérie).B.S.G.Farnce, (7), XII, p813-817,3fig.Paris.

Zenati N.et Marignac 1999. Relation nappes lac, Confirmation par l'hydrochimie, Cas de la nappe superficielle de la plaine Ouest d'El Hadjar, Lac Fetzara N-E Algérien, Mémoire de magistère, Univ. Annaba, 148p.

Sites internet

<https://core.ac.uk/download/pdf/39848961.pdf>

<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-57044-FR.pdf>

https://www.researchgate.net/publication/312116212_Caracterisation_physico-chimique_des_eaux_souterraines_de_Katiola_Centre-Nord_de_la_Cote_d'Ivoire

Annexes

ANNEXE

I. Mesure des paramètres physico-chimiques

I.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

A. Méthode de Travail

Réactifs

- Eau distillée ;
- Solution tampon à pH 4,01 ($\pm 0,02$ à 25°C)
- Solution tampon à pH 7,00 ($\pm 0,02$ à 25°C)
- Solution tampon à pH 10,00 ($\pm 0,02$ à 25°C)
- Solution tampon à pH 7,00 pour le contrôle qualité ($\pm 0,02$ à 25°C)
- Solution de KCl à 3 mol/l.

Matériels

- pH-mètre;
- Electrode ;
- Agitateur magnétique, barreaux magnétiques ;
- Bécher de 50 ml.

B. Partie expérimentale

- Essai
- Etalonnage du pH mètre

L'étalonnage de l'équipement se fait selon l'instruction de travail du pH mètre concerné.

L'électrode doit rester tremper dans du KCl à 3 mol/l.

I.2. Température

La mesure de la température est effectuée sur terrain par thermomètre, intègre PH mètre (HI 8915 ATC –HANNA instruments).

I.3. Conductivité électrique (CE)

A. Méthode de travail

Réactifs

- Standard de conductivité HACH à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Standard de conductivité à 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (0.01 M de KCl)

Matériels

- Conductimètre HACH senSion 7.

ANNEXE

- Conductimètre WTW inoLab 720.
- Electrode de conductivité.
- Becher de 50 ml.
- Agitateur magnétique, barreaux magnétiques.

1.4. Turbidité (NTU)

Méthode de Travail

Réactifs

- **Standards:**

< 0.1 NTU formazine (100 ml) HACH

20 NTU formazine (100 ml) HACH

200 NTU formazine (100 ml) HACH

4000 NTU formazine (100 ml) HACH

- **Huile de silicone**

Matériel

- Turbidimètre optique et électronique HACH modèle 2100N

B. Mesures et calcul du résultat

Les résultats sont exprimés en NTU (Nephelometric Turbidity Units) si cette unité est sélectionnée.

I.5. Nitrites (NO₂⁻)

A. Méthode de Travail

Réactifs

a) Réactif mixte : Dissoudre 40 gr d' amino-4 benzène sulfonamide (NH₂C₆H₄SO₂NH₂) dans un mélange formé de 100ml d'acide orthophosphorique et de 500ml d'eau.

Ajouter 2 gr de dichlorhydrate de N-(naphtyl-1) diamino-1,2 éthane (C₁₀H₇NH-CH₂-CH₂-NH₂-2HCl), compléter le volume à 1000 ml avec de l'eau distillée.

Cette solution est stable pendant un mois si elle est conservée entre 2 et 5°C.

b) Solution étalon mère de nitrites 100 mg/l : Dissoudre 0,15 g de nitrite de sodium (séché à 105°C durant au moins 2 h) dans 1000 ml d'eau distillée. Cette solution est stable pendant un mois si elle est conservée entre 2 et 5°C.

ANNEXE

c) Solution étalon fille de nitrites 1 mg/l : Prélever à l'aide d'une pipette 1ml de la solution étalon de nitrites de concentration 100 mg/l, la transvaser dans une fiole de 100ml et compléter au volume avec de l'eau distillée.

Cette solution est préparée le jour de l'emploi.

Matériel

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles et pipettes...)
- Spectrophotomètre UV -Visible permettant des mesurages à une longueur d'onde de 540 nm, équipé de cuves de 10 mm d'épaisseurs.
-

C. Mesures et calcul du résultat

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l des nitrites.

I.6. Nitrates (NO_3^-)

A. Méthode de Travail

Réactifs

a) Solution de Salicylate de Sodium à 0.5% : Dissoudre 0.5 g de salicylate de sodium dans de l'eau et compléter à 100 ml avec de l'eau distillée. Conserver dans une bouteille en verre ou en polyéthylène. Préparer cette solution chaque jour au moment de l'emploi.

b) Solution d'hydroxyde de Sodium à 30% : Dissoudre 30 g d'hydroxyde de sodium dans de l'eau et compléter à 100 ml avec de l'eau distillée.

c) Solution de tartrate double de sodium et de potassium : Dissoudre 400 g d'hydroxyde de sodium dans une fiole de 1000 ml, ajouter 60 g de tartrate double de sodium et potassium, laisser refroidir et compléter avec de l'eau distillée. Conserver dans un flacon en polyéthylène.

d) Acide sulfurique (H_2SO_4) concentré.

e) Solution mère de nitrate à 1000 mg/l : Dissoudre 1.37 g de nitrate de sodium dans de l'eau et compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée.

f) Solution fille étalon de nitrate 10 mg/l : Diluer 10 ml de la solution mère à 1000 mg/l et compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée.

Matériel

- Balance analytique de laboratoire précision 0.1 μg ;
- Capsules de 100 ml ;

ANNEXE

- Pipettes 10ml, 5ml, 2ml, 1ml ;
- Poires à pipeter ;
- Etuve pour séchage ;
- Spectrophotomètre UV-Visible.

C. Mesures et calcul du résultat

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre UV-Visible en mg/l des nitrates.

I.7. Sulfates (SO_4^{-2})

Réactifs

a) Solution stabilisante : Dans une fiole jaugée de 1000 ml, mettre 100 ml d'eau distillée, ajouter successivement 60 ml d'acide chlorhydrique pur (HCl : $d=1.19$), 200 ml d'éthanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), 150 g de chlorure de sodium (NaCl) et 100 ml de glycérol ; compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée. Cette solution se conserve deux semaines en flacon brun à 4°C.

b) Solution de chlorure de baryum (BaCl_2) à 0.01N : Peser 150g de chlorure de baryum (BaCl_2), ajouter 5 ml d'acide chlorhydrique ; dans une fiole de 1000ml et compléter jusqu'au trait de jauge. Cette solution se conserve deux semaines en flacon brun à 4°C.

c) Solution mère de sulfates à 1 g/l à partir de sulfate de sodium (Na_2SO_4) : Peser 1,479 g de sulfate de sodium (Na_2SO_4), la mettre dans une fiole jaugée de 1 000 ml et compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée. La solution se conserve pendant 2 mois si elle est mise à l'abri de la lumière dans un flacon brun à 4°C.

Matériel

- Matériel courant de laboratoire (fioles, pipettes, béchers ...)
- Spectrophotomètre UV/Visible
- Agitateur magnétique

B. Mesures et calcul du résultat

Les résultats sont exprimés en SO_4^{-2} mg/L.

I.8. Alcalinité (HCO_3^-)

A. Méthode de Travail

ANNEXE

Réactifs

a) Acide chlorhydrique (HCl) concentré à 37 %.

b) Solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 0.01 N

Diluer **0,82** ml de l'acide chlorhydrique concentré à 37 % (a) et compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée.

Matériels

- pH-mètre;
- Electrode ;
- Burette manuelle ou burette automatique ;
- Agitateur magnétique, barreaux magnétiques ;
- Bécher de 50 ml.

B. Mesures et calcul du résultat

Le titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC), exprimés en mg/l par litre sont donnés respectivement par les expressions :

$$TA = (V1 \times N \times 1000) \times \text{masse molaire des carbonates} / V$$

$$TAC = (V2 \times N \times 1000) \times \text{masse molaire des bicarbonates} / V$$

Masse molaire des bicarbonates = 61mg

Masse molaire des carbonates = 60mg

- Si l'eau contient des bicarbonates seulement donc :

$$TA = 0$$

$$TAC = (\text{HCO}_3^{-2}) \text{ mg/l} = V1 \times 61.$$

- Si l'eau contient des carbonates et des bicarbonates donc :

$$TA = (\text{CO}_3^{-2}) \text{ mg/l} / 2.$$

$$TAC = (\text{HCO}_3^{-2}) \text{ mg/l} + 2TA.$$

Où ;

V est le volume en millilitres, de la prise d'essai (100) ml.

V1 est le volume de la solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 0,01 N versé de la burette.

V2 est le volume d'acide chlorhydrique en millilitres.

N est la normalité de la solution d'acide chlorhydrique = 0.01N.

I.9. Chlorure (Cl-)

A Méthode de Travail

Réactifs

ANNEXE

a) Solution de nitrate d'argent (AgNO_3) à 0,02 mol/l : Dissoudre dans l'eau 3.3974 g de nitrate d'argent (AgNO_3) séchés au préalable à 105 °C et compléter à 1000 ml dans une fiole jaugée. Si la solution est conservée à l'obscurité dans une bouteille en verre brun munie d'un bouchon en verre, elle reste stable pendant plusieurs mois. La solution est étalonnée avec 10 ml d'une solution étalon de référence de chlorure de sodium (NaCl)

b) Solution d'indicateur de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 100 g/l : Dissoudre 10 g de chromate de potassium (K_2CrO_4) dans l'eau et diluer à 100 ml.

c) Solution étalon de chlorure de sodium (NaCl) à 0.02 mol/l : Dissoudre 1.1688 g de chlorure de sodium (NaCl) séchés au préalable à 105°C et compléter à 1000 ml d'eau distillée.

d) Solution d'acide nitrique (HNO_3) à 0.1 mol/l : Cette solution doit-être conservée dans un flacon en verre et elle est stable indéfiniment. Utilisée pour réajuster un pH supérieur à 9.5.

e) Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0.1 mol/l : Dissoudre 4 g d'hydroxyde de sodium (NaOH) dans l'eau et compléter à 1000 ml. Solution utilisée pour réajuster un pH inférieur à 5.

f) Carbonate de calcium (CaCO_3) ou mono hydrogénocarbonate de sodium (NaHCO_3) en poudre

Matériel

- Burette
- Capsules en porcelaine de 100 ml
- Pipettes
- Fioles
- Bécher

B. Partie expérimentale

Introduire 100 ml de l'échantillon dans une capsule en porcelaine blanche ou dans une fiole ou dans un bêcher conique, placé sur un fond blanc. Ajouter 1 ml d'indicateur de chromate de potassium (b) et titrer la solution par addition goutte à goutte de solution de nitrate d'Argent jusqu'à ce que la solution prenne une couleur rougeâtre. Après addition d'une goutte de solution de Chlorure de Sodium cette coloration doit disparaître

I.10. Calcium (Ca^{2+})

A. Méthode de travail

Réactifs

ANNEXE

a) Hydroxyde de sodium, solution 2 N : Dissoudre 8 g d'hydroxyde de sodium (NaOH) dans 100 ml d'eau distillée, conserver dans une bouteille en polyéthylène.

b) Calcium, solution de référence à 100 mg/l

- Une solution mère de commerce titrisol à 1 g/l en calcium peut être utilisée.
- Préparation de la solution fille à 100 mg/l de calcium : Introduire 5 ml de la solution mère à 1 g/l de calcium à l'aide d'une pipette dans une fiole jaugée de 50 ml. Ajuster avec de l'eau distillée. On obtient une solution de concentration 100 mg/l.

c) EDTA, solution titrée 0,01 mol/l : Sécher une portion d'EDTA à 80°C pendant 2 heures (étuve), dissoudre ensuite 3,725 g du sel sec dans de l'eau distillée et diluer à 1000 ml. Conserver la solution d'EDTA dans une bouteille en verre et en vérifier le titre de temps à autre (fréquence hebdomadaire), comme suit (détermination du facteur de correction) :

d) Murexide (indicateur)

Matériels

- Burette de 25 à 50 ml utilisée pour l'EDTA
- Matériel courant de laboratoire : fioles, pipettes, béchers.

B. Mesures et calcul du résultat

Prélever une prise d'essai de 50 ml de l'échantillon, ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde 2 N et une pincée d'indicateur (Murexide). Bien mélanger le tout. Titrer avec la solution d'EDTA, en versant lentement. Le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement violette. La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA.

La teneur en calcium, exprimée en mg/l, est donnée par l'équation :

$$Ca = \frac{C_1 * V_1 * A}{V_0} * Fc * 1000 * F$$

Où :

- **C1** : concentration, exprimée en mole par litre, de la solution EDTA, soit 0,01.
- **V0** : est le volume, en millilitres, de la prise d'essai, soit 50 ml.

ANNEXE

- **V1** : est le volume, en millilitres, de la solution d'EDTA, utilisé pour le dosage.
- **A** : est la masse atomique du calcium (40,08 g)
- **Fc** : facteur de correction du titre
- **F** : facteur de dilution.

I. 11. Magnésium (Mg^{+2})

A. Méthode de Travail

Réactifs

Tous les réactifs seront préparés à partir d'eau distillée exempte de toutes traces de manganèse.

a) Solution de l'EDTA ($Na_2EDTA \cdot C_{10}H_{14}N_2NaO_8 \cdot 2H_2O$), $C(EDTA) = 0.24 \text{ mol/L}$: Dissoudre 90 g de sel dissodique de l'acide éthylènediaminotétracétique $Na_2EDTA \cdot C_{10}H_{14}N_2NaO_8 \cdot 2H_2O$ et 19 g d'hydroxyde de sodium (NaOH) dans de l'eau et compléter à 1000 mL avec de l'eau distillée.

Ou bien, dissoudre 109 g de Na_4EDTA ou 100 g de sa forme dihydratée dans de l'eau et compléter à 1000 mL avec de l'eau distillée.

Matériels

- Balance analytique à 0,1 g et à 0,0001 g près ;
- Spectromètre doit convenir pour la mesure de l'absorbance dans les régions du spectre visible et proches de l'infrarouge.

Mesures et calcul du résultat

- Introduire 40 ml d'échantillon, ajouter 1 ml d'acide ascorbique et 2mL de réactif mélange dans une fiole jaugé de 50 ml. Compléter le volume.
- Effectuer parallèlement au dosage, un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités de réactif mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai.

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l de Manganèse.

I. 12. L'ammonium (NH_4^+)

A. Méthode de Travail

Réactifs

a) Réactif coloré : Dissoudre 130 g de salicylate de sodium et 130 g de citrate trisodique di hydrate dans l'eau contenue dans une fiole de 1000ml, ajouter 0,97 g de nitroprussiate de sodium et compléter à 1000ml avec de

ANNEXE

l'eau distillée. Cette solution est conservée dans un flacon en verre brun et est stable au moins deux semaines.

b) Solution de Dichloroisocyanurate de sodium : Dissoudre 32 g d'hydroxyde de sodium dans 500ml d'eau et laisser refroidir à température ambiante, ajouter 2 g de Dichloroisocyanurate di-hydraté, compléter à 1000 ml avec de l'eau distillée. Cette solution est conservée dans un flacon en verre brun et est stable au moins deux semaines.

c) Solution mère étalon d'ammonium 100 mg/l : Dissoudre 0,297g de chlorure d'ammonium (séché à 105°C pendant au moins 2h) dans 1000 ml d'eau distillée.

Cette solution est conservée dans un flacon en verre et est stable au moins un mois.

d) Solution fille étalon d'ammonium 1 mg/l : Prélever à l'aide une pipette 1ml de la solution étalon d'ammonium de 100mg/l. Verser dans une fiole de 100 ml et compléter au volume avec de l'eau distillée. Préparer cette solution le jour de l'emploi. La durée de conservation ne dépasse pas 24h.

e) Solution de lavage : Dissoudre 100 g d'hydroxyde de potassium dans 100 ml d'eau distillée. Refroidir la solution et ajouter 900 ml d'éthanol 95%. Conserver dans un récipient en polyéthylène.

Matériels

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles et pipettes).
- Spectrophotomètre UV/VIS.

B. Mesures et calcul du résultat

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l d'ammonium.