



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la  
Recherche Scientifique

جامعة زيان عاشور - الجلفة

Université Ziane Achour –Djelfa

كلية علوم الطبيعة و الحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

لمعلومات الفلاحية و البيطرية

Département des Sciences Agronomiques et Vétérinaires



*MEMOIRE DE FIN D'ETUDE*

*Envue del'obtention du diplôme de*

*MASTER ACADEMIQUE*

*EN SCIENCES AGRONOMIQUES*

**Spécialité : EAU ET ENVIRONNEMENT**

**Thème**

**Evaluation de degré de pollution des eaux de  
l'oued Seybouse (Nord Est Algérien)**

Présente Par : \* KHELID HAKIMA

\* SEDIRA SARA

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

**President: Mr.AZOUZI Bilel**

MCB - UnivDjelfa

**Promotrice : Mme.KHADRI Samira**

MCB - UnivDjelfa

**Examineur :BAKHTI Mohamed**

MCB - Univ Djelfa

**Examineur :BOUZNAD Imad**

MCB - UnivDjelfa

**Année Universitaire**

**2019–2020**

## الملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم درجة تلوث مياه وادي السيوسور وادمو توصيف أنواع التلوث المختلفة بـ 18 عينة أخذت على طول وادي سيوسور وادمو. تم التحليلات التجريبية بالترتيب الرئيسية عناصر التلوث (الأس الهيدروجيني،  $\text{NO}_3^-$ ،  $\text{BOD}_5$ ،  $\text{NO}_2^-$ ،  $\text{NH}_4^+$ ،  $\text{PO}_4$ ،  $\text{mg}$ ،  $\text{Hco}$ ،  $\text{cl}$ ،  $\text{so}_4$ )، (تقدير التحويلات الكيميائية للمياه السطحية والجوفية بالمنطقة).  
سعة الكلور الكيميائي بـ  $\text{BOD}_5$ ، التي تُقاس التحليل البيولوجي، متنوعا  
التلوث في منطقة الدراسة. إنه محلي في الغالب وفي معظم النقاط التي تُسجل، من أصل غذائي زراعي على مستوى وادي سيوسور، مما يعكس في الغالب بيروبي أفضل وأخير امتصاصا صناعيا على مستوى وادي ميز. شـمياه وادي سيوسور وادمو بـ مقبول لـ، ولكنها تتميز بتلوث  
متر من قبل  $\text{NO}_3^-$ ،  $\text{NH}_4^+$ ،  $\text{BOD}_5$ ،  $\text{PO}_5$

## Résumé

La présente étude a pour objectif d'évaluation de degré de pollution des eaux de l'Oued Seybouse et ses affluents et la caractérisation des différents types de pollution. seize points de prélèvements le long de l'oued Seybouse et ses affluents. Les analyses effectuées ont concerné les éléments majeurs et les éléments de pollution (pH , DBO5 ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{PO}_4$ , ça , mg , Hco, cl,  $\text{so}_4$  , ). Les résultats des analyses chimiques montrent que les eaux de surfaces et souterraines de la région sont caractérisées par les faciès chimiques chloruré-bicarbonaté-sodique. Le rapport /DBO5, traduisant la biodégradabilité montre une origine diversifiée de la pollution dans la région d'étude. Elle est à dominance domestique dans la majorité des points analysés, d'origine agroalimentaire au niveau de l'Oued Seybouse traduisant ainsi une meilleure biodégradabilité et enfin d'origine industrielle au niveau de l'Oued Maiz. Les eaux de l'Oued Seybouse et ses affluents présentent une qualité admissible pour l'irrigation, mais elles sont marquées par une pollution excessive par les  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , DBO5, et  $\text{PO}_5$

## **Summary**

The objective of this study is to assess the degree of pollution of the waters of Oued Seybouse and its tributaries and to characterize the different types of pollution. sixteen sampling points along the Seybouse wadi and its tributaries. The analyzes carried out concerned the major elements and the elements of pollution (pH, BOD5, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> and PO<sub>4</sub>, that, mg, Hco, cl, so<sub>4</sub>). The results of chemical analyzes show that surface and groundwater in the region are characterized by chemical chlorine-bicarbonate-sodium facies. The / BOD5 ratio, reflecting biodegradability, shows a diverse origin of pollution in the study region. It is predominantly domestic in most of the points analyzed, of agro-food origin at the level of Oued Seybouse, thus reflecting better biodegradability and finally of industrial origin at the level of Oued Maiz. The waters of Oued Seybouse and its tributaries have an acceptable quality for irrigation, but they are marked by excessive pollution by NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, BOD5, and PO<sub>5</sub>.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# Remerciements:

*Au dieu le clément et le miséricordieux , le grand merci lui revient de nous avoir à élaborer ce mémoire de dissertation scientifique.*

*La première personne que nous voudrais remercier ma superviseures 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.*

*Nous tenues à exprimes sincères remerciement à tous les professeurs qui mon  
ont enseigné et mon ont soutenu dans la poursuite de mon études.*

*Enfin, nous remercions tous ceux qui, de près  
ou ont Contribué à la réalisation de ce travail*



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# Remerciements:

**HAKIMA :**

*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.*

*A mon mari : DAUDI ABDELHAKIM*

*Mess cheers frères: RACHIDA ,SOUFIEN , MARWA et INESS.*

*A mon oncle et à la femme de mon cher oncle : DJAMILA et KADOUR*

*A la petite famille : AHMED*

**SARA**

*Je dédie ce modeste travail à ma très chère mère ( dieu la repose et la met au paradis ).*

*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: AMIRA , IBTIHAL ,HANEN ,et IYAD.*

*N'oubliez pas des enfants de la famille : BAHA ELEDDINE , LINA , MAYAR , AKRAM ,RANIM*

*A ma deuxième maman : NASIRA et ZAHIYA*

*A mon grand père :MOHAD*

*A ma tante ;FATIHA ,ATRA , HAKIMA , RMILA .*

*Ma belle mère :FAYIHA*

*Et toutes les familles : SEDIRA*



# TABLE DES MATIERES

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Résumé                |  |
| Remerciement          |  |
| Dédicace              |  |
| Table des matières    |  |
| Liste des figures     |  |
| Liste des tableaux    |  |
| Liste des abrégés     |  |
| Introduction générale |  |

## Chapitre I : Cadre Général

|  |    |
|--|----|
| I. 1. Situation géographique.....        | 03 |
| L 2. Aspect géomorphologique .....       | 03 |
| L2.1. les terrasses de la Seybouse ..... | 05 |
| L2.2. les montagnes .....                | 05 |
| A .Le massif de l'Edough.....            | 05 |
| B . Le tell Nord Guelmien.....           | 05 |
| L2.3. Le domaine des plaines .....       | 05 |
| A. La plaine d'Annaba .....              | 05 |
| B. la plaine de El Hadjar.....           | 05 |
| II .Le réseau hydrographique.....        | 06 |
| III .Contexte socio-économique .....     | 08 |
| IV . Aperçu géologique .....             | 10 |
| Conclusion.....                          | 13 |



# TABLE DES MATIERES

## Chapitre II : Climatologie

|   |    |
|---|----|
| I. Introduction.....  | 15 |
| II. Caractéristiques des stations de mesure.....                        | 15 |
| III. Etude des paramètres climatiques.....                              | 15 |
| III.1. Les précipitations.....  | 15 |
| III.1.1 Précipitations moyennes mensuelles.....                         | 15 |
| III.1.2. Précipitations saisonnières.....                               | 16 |
| III.1.3 Précipitations moyennes annuelles.....                          | 17 |
| III.2. Les Température.....   | 18 |
| III.3. Classification climatique en fonction des indices d'aridité..... | 19 |
| III.3.1. Indice d'aridité de De Martonne.....                           | 19 |
| III.3.2. Indice d'aridité mensuel.....                                  | 20 |
| III.3.3. Diagramme pluviométrique de Gaussen (P=2T).....                | 21 |
| III.4. Estimation des paramètres du bilan hydrique.....                 | 21 |
| III.4.1. L'évapotranspiration.....                                      | 22 |
| III.4.1.1 Evapotranspiration potentielle (ETP).....                     | 22 |
| III.4.1.2 Evapotranspiration réelle (ETR).....                          | 23 |
| III.4.2. Ruissellement.....   | 27 |
| III.4.3 Estimation de l'infiltration.....                               | 28 |
| Conclusion.....   | 28 |

## Chapitre III : Hydrogéologie

|   |    |
|---|----|
| II. Identification des nappes.....                | 30 |
| II.1. La nappe des formations superficielles..... | 31 |

## **TABLE DES MATIERES**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>I. Caractéristiques géométriques de Lanappesuperficielle.....</b> | <b>33</b> |
| <b>II. Interprétation descartespiézométriques.....</b>               | <b>35</b> |
| <b>Conclusion .....</b>  | <b>38</b> |
| <br>   |           |
| <b>Chapitre IV : Hydrochimie</b>                                     |           |
| <b>I. Introduction .....</b>   | <b>39</b> |
| <b>II. Evaluation de la qualitédel'eau.....</b>                      | <b>40</b> |
| <b>Indice de la pollutionorganique(IPO) .....</b>                    | <b>41</b> |
| <b>a. Interprétation de l'indice de lapollution organique .....</b>  | <b>41</b> |
| <b>b. . Indicateursd'eutrophisation .....</b>                        | <b>44</b> |
| <b>Indice de la qualité de l'eau(WQI).....</b>                       | <b>44</b> |
| <b>a. Calculde WQI .....</b>   | <b>45</b> |
| <br>   |           |
| <b>III. Conclusion.....</b>  | <b>50</b> |

*Liste  
des  
figures*

## **LISTE DES FIGURES**

|                     |   |           |
|---------------------|---|-----------|
| <b>Figure 01</b>    | <b>Carte de situation géographique de la zoned'étude.....</b>           | <b>04</b> |
| <b>Figure 02.</b>   | <b>Carte des altitudes de la zoned'étude.....</b>                       | <b>06</b> |
| <b>Figure 03.</b>   | <b>Réseau hydrographique .....</b>                                      | <b>07</b> |
| <b>Figure 04.</b>   | <b>Le couvert végétal dans le secteur de la Seybouse .....</b>          | <b>09</b> |
|                     | <b>maritime</b>   |           |
| <b>Figure 05. .</b> | <b>Carte d'inventaire des entreprises industrielles.....</b>            | <b>10</b> |
|                     | <b>et des rejets dans la région</b>                                     |           |
| <b>Figure 06</b>    | <b>Esquisse géologique de la région d'étude .....</b>                   | <b>13</b> |
| <b>Figure 07</b>    | <b>Variation de précipitation moyennemensuelle .....</b>                | <b>16</b> |
| <b>Figure 08.</b>   | <b>Répartition saisonnière des précipitations.....</b>                  | <b>17</b> |
| <b>Figure 09.</b>   | <b>Les variations du coefficient pluviométrique.....</b>                | <b>18</b> |
| <b>Figure 10</b>    | <b>Variation des températures moyennes mensuelles .....</b>             | <b>19</b> |
| <b>Figure 11.</b>   | <b>Diagramme pluviométrique de Gausson.....</b>                         | <b>21</b> |
| <b>Figure 12.</b>   | <b>Moyennes pluriannuelles des éléments climatiques.....</b>            | <b>27</b> |
|                     | <b>à la station de salines (1989-2019)</b>                              |           |
| <b>Figure 13</b>    | <b>Extension des différents aquifères dans les plaines .....</b>        | <b>31</b> |
|                     | <b>d'Annaba</b>   |           |
| <b>Figure 14</b>    | <b>Position des nappes souterraines dans la basse plaine de la.....</b> | <b>32</b> |
|                     | <b>Seybouse</b>   |           |

## **LISTE DES FIGURES**

|                   |  |           |
|-------------------|--|-----------|
| <b>Figure 15</b>  | <b>Carte des isopaches de la nappe phréatique de la plaine de la Seybouse.....</b>   | <b>33</b> |
| <b>Figure 16</b>  | <b>Carte d'inventaire des points d'eau .....</b>   | <b>34</b> |
| <b>Figure 17</b>  | <b>Carte piézométriques basses eaux .....</b>  | <b>36</b> |
| <b>Figure 18</b>  | <b>Carte piézométriques hautes eaux.....</b>   | <b>37</b> |
| <b>Figure 19</b>  | <b>Carte d'inventaire des points de prélèvements .....</b>   | <b>40</b> |
| <b>Figure 20</b>  | <b>L'évolution de l'indice de la pollution organique.....</b><br><b>                  dans les eaux de l'oued Seybouse</b> | <b>42</b> |
| <b>Figure 21</b>  | <b>L'évolution de l'indice de la pollution organique.....</b><br><b>                  dans les eaux de l'oued Seybouse</b> | <b>43</b> |
| <b>Figure 22.</b> | <b>L'évolution de l'indice de la qualité des eaux de .....</b><br><b>                  l'oued Seybouse</b>                 | <b>48</b> |
| <b>Figure 23.</b> | <b>L'évolution de l'indice de la pollution organique.....</b><br><b>                  dans les eaux de l'oued Seybouse</b> | <b>49</b> |

## **LISTE DES FIGURES**

# *Liste des tableaux*

## LISTE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| Tableau 01. Population recensée dans la basse Seybouse parRGPH(2008) .....             | 08 |
| Tableau 02. Les coordonnées des stations de mesures(SABOUA,2010) .....                 | 15 |
| Tableau 03. Précipitationsmoyennes mensuelles .....                                    | 16 |
| Tableau 04 Variation desprécipitationssaisonnaire .....                                | 17 |
| Tableau 05. Températuresmoyennesmensuelles .....                                       | 18 |
| Tableau 06 : Indice annueld'aridité(A).....  | 20 |
| Tableau 07: Indice d'ariditémensuelmoyen.(IDM).....                                    | 20 |
| Tableau 08. Résultats de l'ETR par la méthodede Turc.....                              | 23 |
| Tableau 09. Vérification de la condition $1/8\lambda < p (m) < 1/2\lambda$ .....       | 24 |
| Tableau 10. ETR selon la méthodedeCoutagne.....  | 24 |
| Tableau 11 ;Tableau récapitulatif pour l'ETR.....                                      | 25 |
| Tableau12 : . Bilan hydrique selon la méthode deC.W.Thornthwaite.....                  | 26 |
| (Station les Salines 19889-2019).  |    |
| Tableau 13. Résultatsduruissement .....  | 28 |
| Tableau 14. Estimation de l'infiltration par la méthodede Thornthwaite.....            | 28 |
| Tableau 15. Description géologique et hydrogéologique du site (H.T.Debeiche,2002)..... | 41 |
| Tableau 16. Grille de degré d'indice depollutionorganique.(khadri2018), .....          | 42 |
| Tableau 17. Les poids relatifs des paramètres physico-chimiques.(khadri ,2018) .....   | 47 |



# *Introduction générale*

## INTRODUCTION GENERALE

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 que 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.

"L'eau est vitale à la survie, à la santé et à la dignité humaines et elle est une ressource fondamentale au développement humain. Les ressources en eau douce du monde sont sous pression croissante, déjà de nombreuses personnes manquent encore d'accès adéquat à l'approvisionnement en eau pour leurs besoins de base. La croissance de la population, une activité économique en plein essor et des niveaux de vie améliorés mènent à une concurrence accrue et à des conflits pour une ressource en eau douce limitée. Sur notre planète Terre, l'eau douce accessible correspond à environ 10 % du volume total d'eau douce, soit environ 0,26 % de l'hydrosphère. L'eau souterraine représente la fraction de la ressource en eau la plus importante avec 96 % ; d'où l'intérêt majeur de la préserver contre toute menace de dégradation. L'Algérie se trouve dans une région du monde la plus défavorisée en matière de disponibilité hydrique, pour cela la pénurie d'eau est devenue un problème décisif vécu par toutes les sociétés. En effet, l'accroissement des populations et le développement des agglomérations, des unités industrielles et des terres cultivées ont eu pour corollaire une dégradation de la qualité des eaux souterraines et surface et une baisse très significative des réserves qui représentent parfois les seules ressources d'eau pour l'alimentation des populations. A l'instar de la plupart des régions du pays, la région extrême du Nord-Est Algérien recèle une ressource très importante en eau souterraine et superficielle due essentiellement à la pluviométrie qui dépasse souvent 1000 mm/an et caractérisée par des grandes nappes d'eau souterraines à grande extension. Notre travail consiste à évaluer le degré de pollution de cette ressource en eau et essayer de remédier au problème de la contamination à partir des mesures sur terrain (campagnes piézométrique et hydrochimie) ainsi que l'interprétation des résultats et l'analyse des données. Dans cette optique, il a été jugé utile d'élaborer une analyse assez exhaustive (selon les données disponibles) pour mieux appréhender les différentes facettes de ce secteur vital.

## INTRODUCTION GENERALE

Nous allons essayer d'étudier quelques paramètres hydrogéologique et hydrochimique pour fournir les informations essentielles sur la qualité 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-chimiques des eaux de surface et souterraines pour déterminer leur qualité.

Cadre général

*C  
H  
A  
P  
I  
T  
R  
E  
I*



**I. 1. Situation géographique**

Le bassin versant de la basse Seybouse se situe au nord-est de l'Algérie à 600 Km à l'Est d'Alger dans les territoires des wilayas de Guelma, El Tarf et Annaba, et appartient au système aquifère Annaba - Bouteldja. Ses limites naturelles sont (Figure 01) :

- 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 Djebel Haouara (981 m). 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 Djebel de .Beni Salah.
- Enfin au Sud, la chaîne numidique (1411m).

La zone d'étude fait partie du grand bassin versant de l'Oued Seybouse qui couvre au total une superficie de 6471 km<sup>2</sup> (ABH, 2007). 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. Ensuite le cours d'eau continue dans l'Atlas Tellien allait se jeter dans la mer Méditerranée avec un relief est fortement accidenté et très complexe où le réseau hydrographique est rarement adapté à la structure.

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.

**I. 2. Aperçu Géomorphologie**

La Seybouse draine un ensemble de régions très hétérogènes. Aux Hautes Plaines, aux reliefs assez simples et aux écoulements lents et parfois nuls, succède l'Atlas tellien fortement accidenté de structures très complexes ou le réseau hydrographique est tantôt adapté, tantôt inadapté à la structure. Les oueds sont à débits irréguliers. Le profil en long, irrégulier et tendu, assure l'évacuation rapide des eaux. Cependant l'existence des dépressions et bassins renfermant des nappes alluviales traversées et reliées par la Seybouse, permet de régulariser l'écoulement saisonnier de cet oued, vu la part importante des précipitations d'hiver reçues par cette chaîne montagneuse. A la sortie de cette dernière, la Seybouse pénètre dans la plaine d'Annaba en perdant sa torrencialité et en abandonnant une grande partie de sa chargesolide.

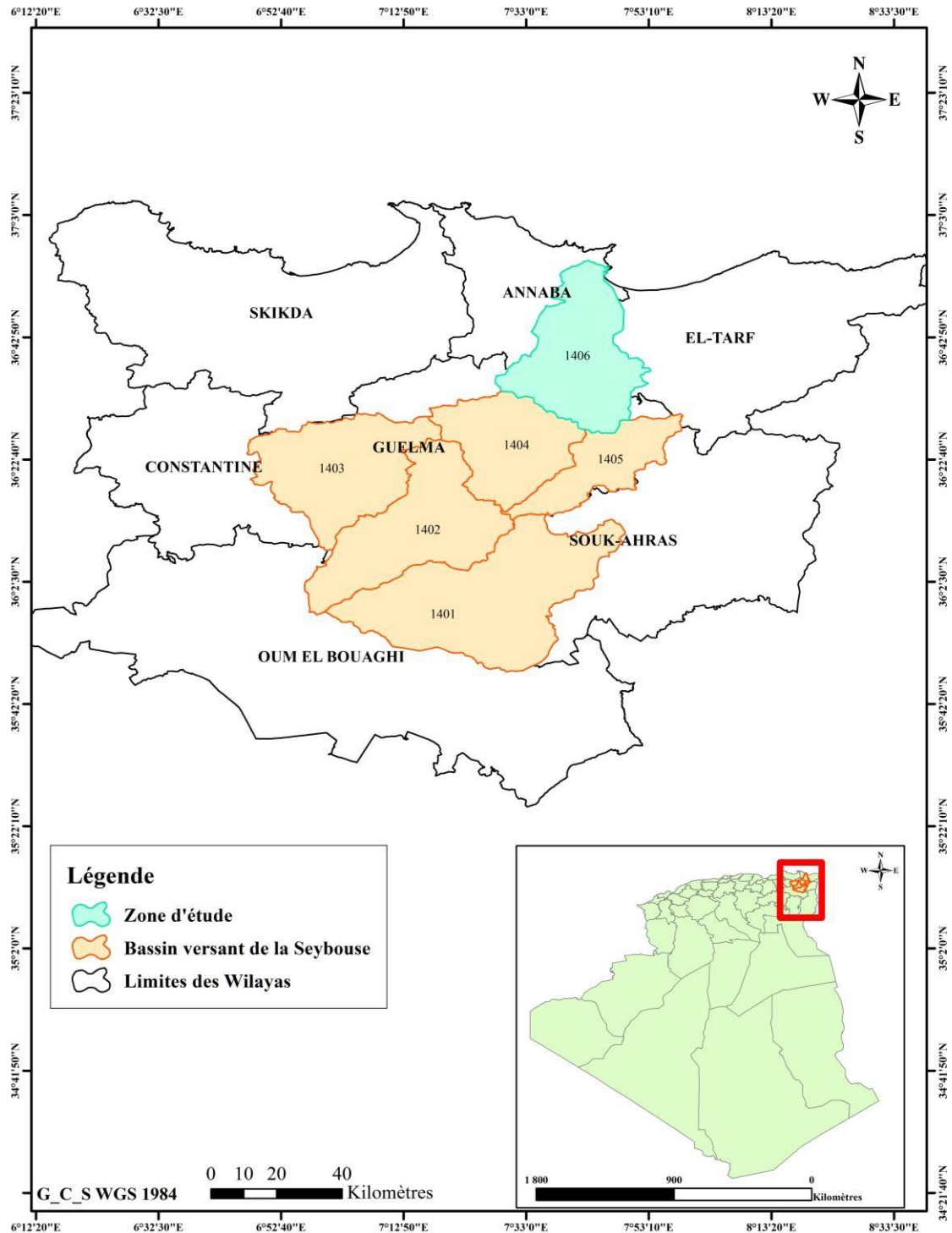


Figure 01. Carte de situation géographique de la zone d'étude.

Les faibles pentes, le cordon dunaire et les champs d'inondation très vastes favorisent largement la stagnation des eaux et rendent l'écoulement fluvial difficile.

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

**I. 2. 1. Les terrasses de laSeybouse**

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 (Maoui, 2001) :

- 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 AinBerda.
- 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 etsables.

**I.2. 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 (Marre, 1987).

**B. Le tell NordGuelmien**

Le tell Nord-Guelmien présente une allure nettement irrégulière. 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 (Marre, 1987). Il est représenté à l'est d'Ain Berda par les Djebels Hadjar Nahal etOust.

**I.2. 3. Le domaine des plaines****A. La plained'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'ElHadjar**

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 (Hilly., 1962).



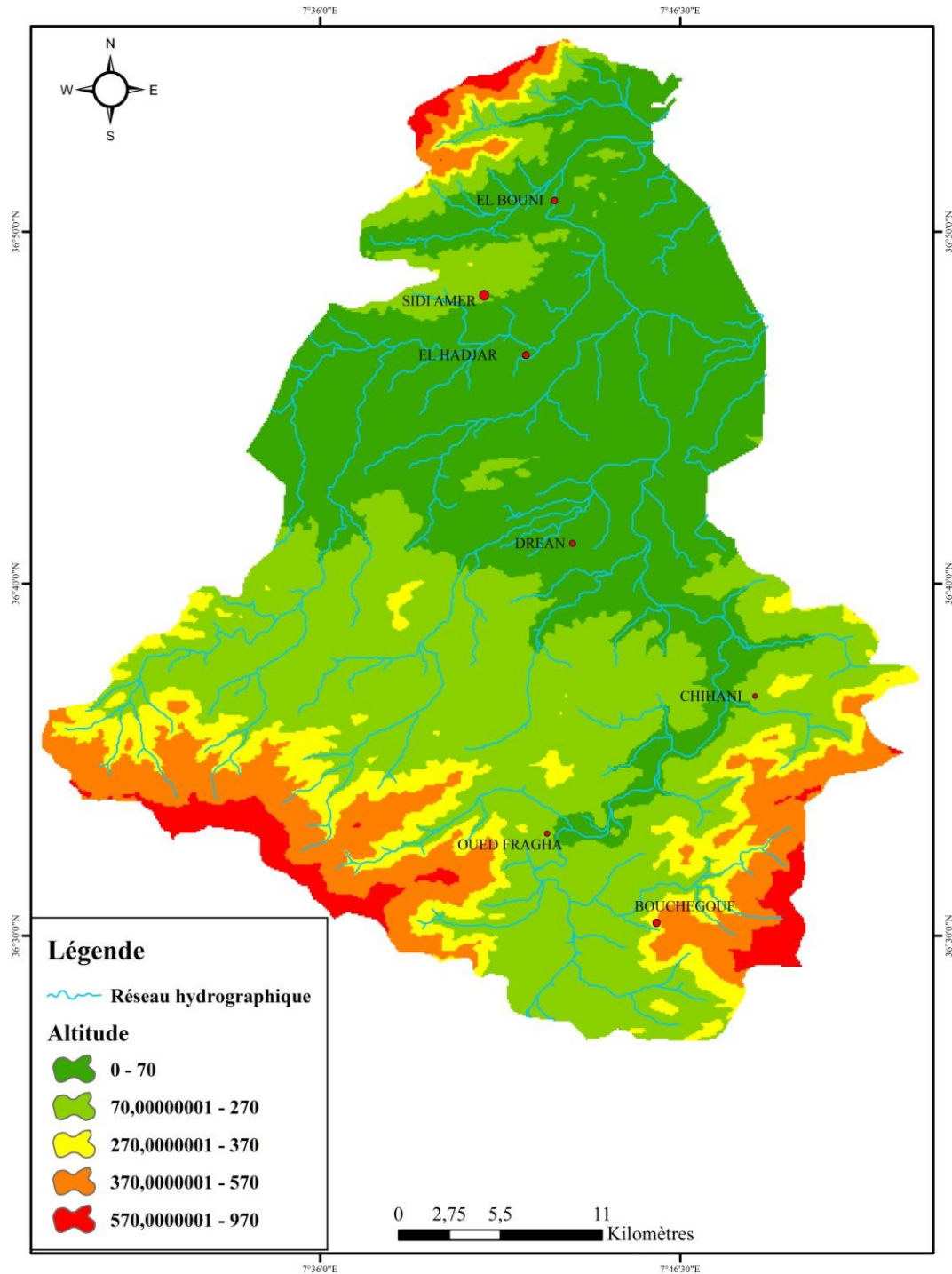


Figure 02. Carte des altitudes de la zone d'étude.

## II. Le réseau hydrographique

L'oued Seybouse 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 3) :

- L'oued Seybouse, présente l'axe de drainage d'un bassin versant de 6471Km<sup>2</sup>.

- l’oued Fragha, Djefeli et oued Oglat el Feli, affluents de l’oued Seybouse.
- l’oued Ressoul à AinBerda.
- l’oued Meboudja, le dernier affluent de l’oued Seybouse, assure la vidange du lac Fetzara par un canal d’assèchement de 14Km.

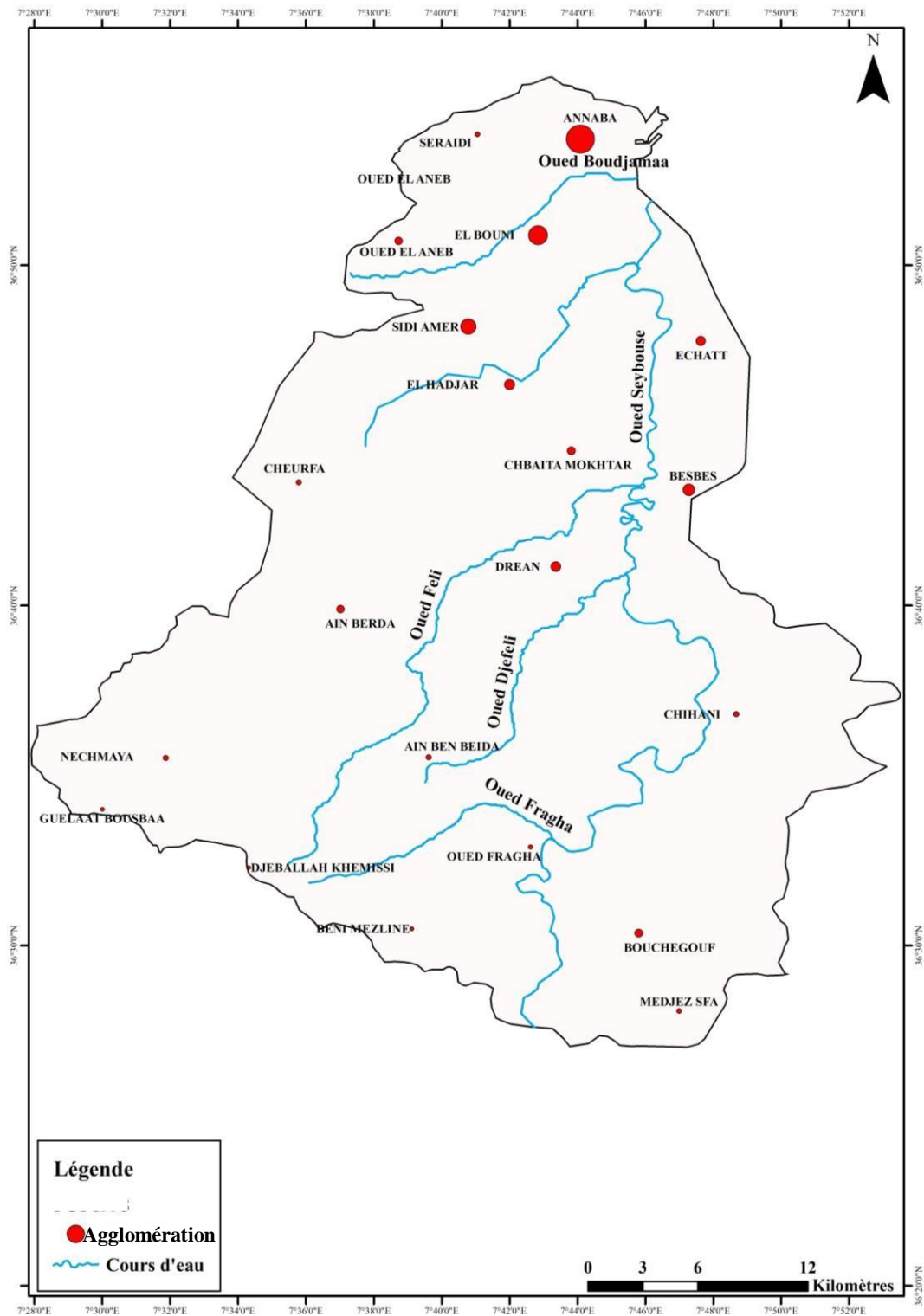


Figure 03. Réseau hydrographique.

### III. Contexte socio-économique

La région est connue par sa grande activité agricole et industrielle. La population de la zone d'étude est passée de 685286 à 844745 habitants entre 2008 et 2019 (Tableau 01) (Bendjadou, 2019), elle est concentrée généralement au niveau des communes et des hameaux.

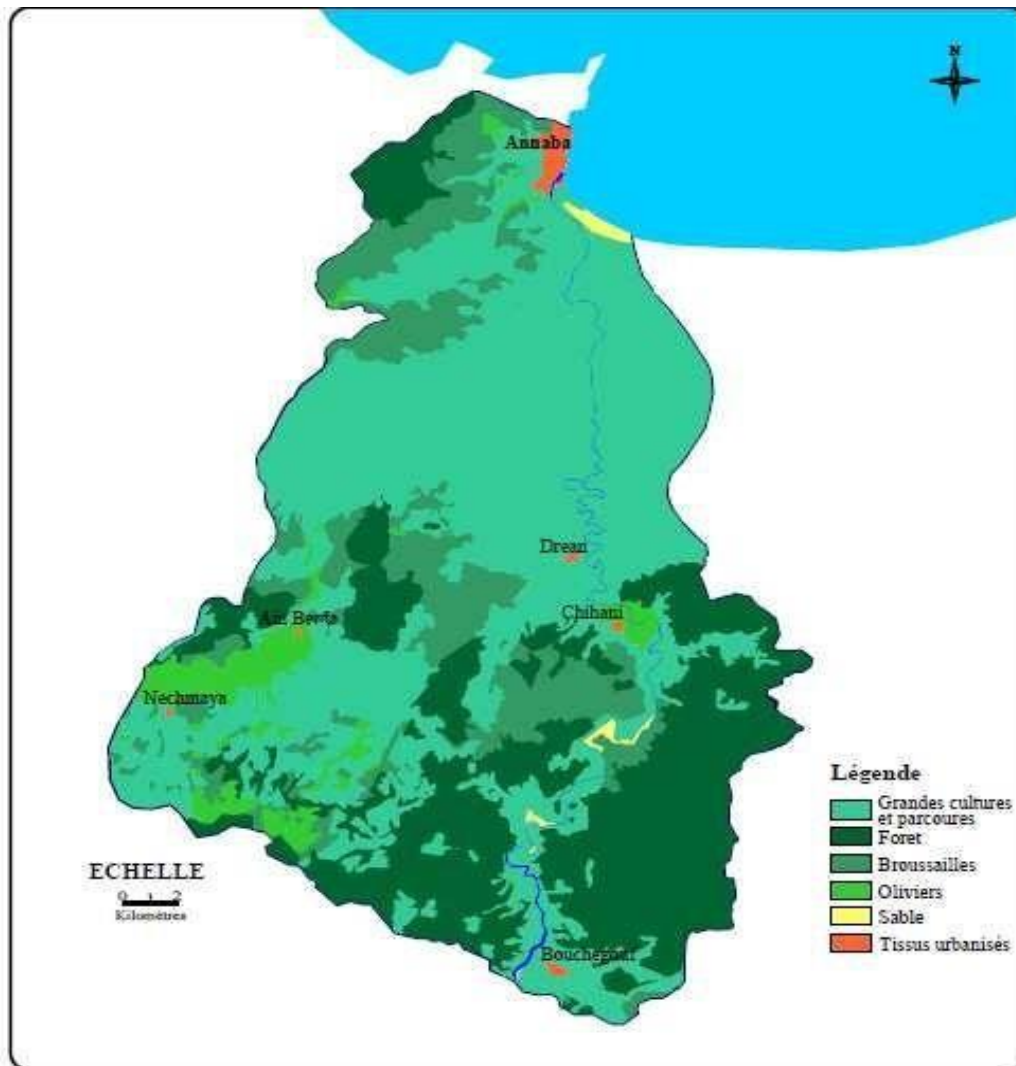
**Tableau 01.** Population de sous bassin versant par RGBH (2008).

| Communes<br>S.B.V. Seybouse | Pop (RGPH<br>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<br>Mokhtar         | 24762              |
| Drean                       | 25892              |
| Ain Ben Beida               | 10655              |
| Nechmaya                    | 8066               |
| Oued Fragha                 | 8083               |

La nature des terrains de la basse Seybouse combinée d'altitudes, donc d'humidité et de température, détermine un couvert végétal très varié.

L'agriculture est observée sur l'ensemble de la plaine, avec une très grande variété de cultures, céréalières, maraîchères et arboricoles. 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 (Figure04).



**Figure 04.** Le couvert végétal dans le secteur de la Seybouse maritime (D'après Bouare et Kabira, 2004, modifiée).

L'industrie est remarquable dans la région, elle se positionne surtout en bordure de l'oued Meboudja (Figure 05). Trois catégories d'industries sont observées :

- industries lourdes avec SIDER (Société Nationale de Sidérurgie) ;
- industrie chimique avec le complexe des engrais phosphatés et azotés (ASMIDAL);
- enfin l'industrie agro-alimentaire présentée par de petites entreprises.

L'ensemble des rejets urbains et industriels se jette directement dans les oueds, sauf celui de l'usine ASMIDAL qui envoie ces rejets au niveau de la mer.



**Figure 05.** Carte d'inventaire des entreprises industrielles et des rejets dans la région (Khadri, 2009).

#### IV. Aperçu géologique

La région d'étude a fait l'objet de plusieurs études géologiques, dont celle de L. Joleaud (1936), J. Hilly (1936), J. M. Vila (1980), J. C. Lahondère (1987). Ces études montrent l'existence de deux types de terrains, l'un sédimentaire et l'autre métamorphique (Figure 06).

L'échelle stratigraphique de ces terrains se répartit du Primaire au Quaternaire :

- 1) Le socle du Primaire : affleure à l'ouest dans le massif de Djebel Edough, Belelieta et Bouhamra, constitué par des roches cristallophylliennes qui se superposent en trois séries:

- Série inférieure, représentée par des gneiss riches en biotite et sillimanite d'une épaisseur moyenne de 70 m, cette formation constitue le coeur de l'anticlinal du massif de l'Edough ;
- Série intermédiaire, caractérisée par des schistes et des micaschistes riches en biotite, muscovite et du grenat et parfois avec des feldspaths souvent visibles à l'oeil nu. Cette série contient des marbres qui s'intercalent dans les formations des micaschistes sous forme de skarns;
- Série supérieure, constituée par un ensemble de gneiss ocellés, schistes satinés, micaschistes grenats et amphibolites.

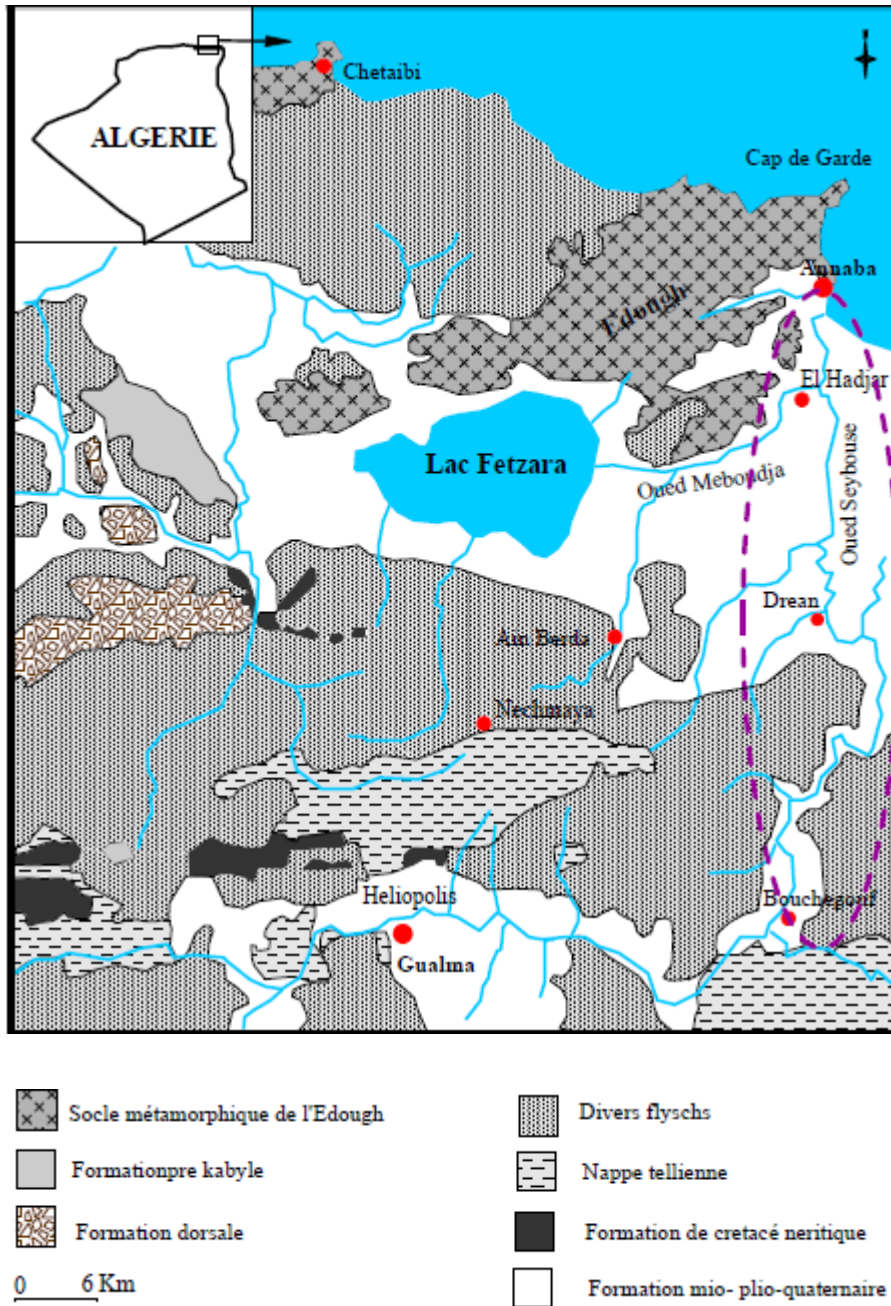
Ces trois séries du point de vue hydrogéologique sont peu importantes, sauf pour le gneiss altéré ou le cipolin fissuré qui peuvent constituer le siège d'une nappe d'eau souterraine.

- 2) Le Secondaire affleure dans la partie sud de la région d'étude, au niveau de la région de Guelma et Bouchegouf. Les trois systèmes sont constitués par:
  - Le Trias, formé par une association de dolomies, calcaires dolomitiques et de gypse;
  - Le Jurassique, représenté par des dolomies noires et des schistes calcareux;
  - Le Crétacé comporte des calcaires dolomitiques riches en foraminifères et des débris de rudistes.
- 3) Le Tertiaire présente une épaisseur importante dans la zone d'étude avec trois systèmes:
  - L'Eocène inférieur : série transgressive formée de calcaire massif à faciès épinéritique ;
  - L'Oligocène comporte des niveaux argilo-gréseux numidiens qui forment le relief des montagnes du Sud de la plaine d'Annaba, son épaisseur atteint 150 m;
  - Le Mio-Pliocène, constitue le remplissage graveleux et sablo-argileux du bassin de la plaine d'Annaba. Ces formations sont d'origine continentale, elles incluent des horizons graveleux et des niveaux de travertins qui constituent le réservoir de la nappe desgraviers.
- 4) Le Quaternaire où L. Joleaud (1936) a distingué trois niveaux:
  - Le Quaternaire ancien, constitué par des formations alluviales (argile, limon, sable, gravier et galets) constituant la haute terrasse, son altitude varie entre 75 et 150 m ;

- Le Quaternaire moyen correspond à la basse terrasse de 20 à 50 m, constitué par des argiles, et des sables. Elle supporte des terres cultivées. Cette terrasse se développe sur toute la région surtout au niveau de la vallée de l'oued Seybouse;
- Le Quaternaire récent correspond au sable des cordons dunaires littoraux et aux limons alluvionnaires de la Seybouse.

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 du Primaire et celle du Tertiaire (Eocène inférieur et Oligocène), qui apparaissent à l'entourage du site, sont rarement exploitées (Debieche, 2002).





**Figure 06.** Esquisse géologique de la région d'étude (Djabri et al, 2003 in Khadri, 2009 ; modifiée).

**Conclusion**

La présentation du bassin versant de la Seybouse dans sa partie aval sera la base d'une analyse de géométrie des aquifères.

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. Cette étude fait ressortir la très grande diversité lithologique qui, obligatoirement, entraîne des conséquences sur la stabilité du régime des eaux souterraines.

# CLIMATOLOGIE

# C H A P I T R E

# II

### I. Introduction

L'étude des facteurs climatiques (précipitations, température, évapotranspiration) est primordiale pour mener à bien toute étude hydrogéologique, Ces mêmes facteurs climatiques permettent également l'explication des variations des composantes du bilan hydrique.

L'étude climatologique est nécessaire à la compréhension des mécanismes de circulation des eaux superficielles et souterraines. Elle informe également sur l'évolution des éléments chimiques, la protection et la résolution des problèmes de la pollution. Pour réaliser notre travail, nous nous prenons en considération les informations recueillies au niveau des stations météorologiques implantées dans la zone d'étude (Station les Salines).

### II. Caractéristiques des stations de mesure

Le choix des stations de mesure est basé sur la représentativité de la zone d'étude et l'existence de séries complète. Pour réaliser notre travail nous avons utilisé les données collectées sur une période de 30 ans au niveau de la station des Salines.

**Tableau 02.** Caractéristiques géographiques des stations étudiées (SABOUA ,2010).

| Station     | X (km)  | Y (km)  | Z (m) | Période d'observation |
|-------------|---------|---------|-------|-----------------------|
| Les Salines | 955,800 | 403,800 | 3     | 1989/2019             |

### III. Etude des paramètres 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.

#### Précipitations

La précipitation demeure un facteur primordial, dans les études climatiques. Le présent travail est réalisé, sur la base des données enregistrées aux stations de Salines .Les données recueillies s'étalent sur une période de 30 ans (1989/ 2019).

#### Précipitations moyennes mensuelles

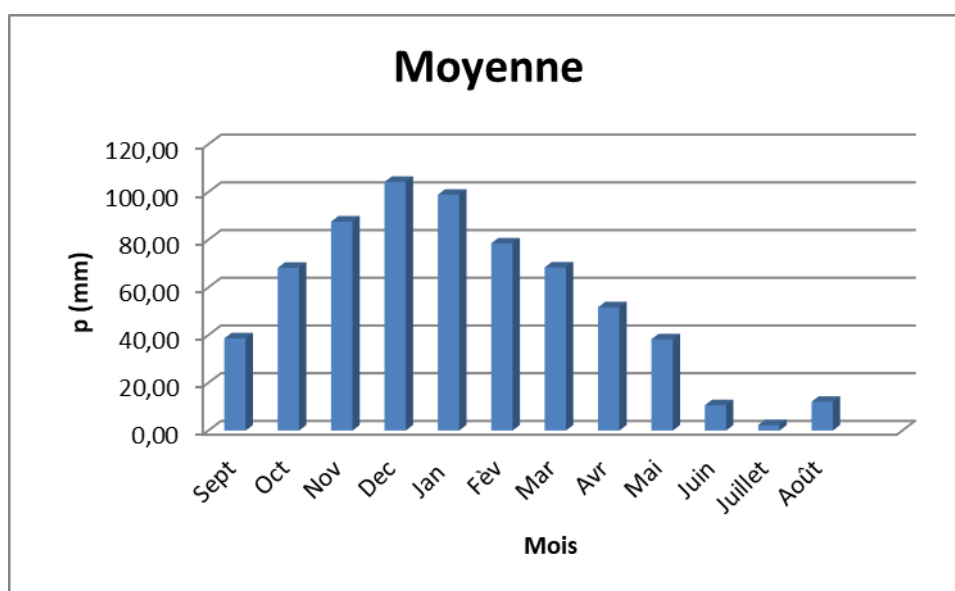
Les précipitations moyennes mensuelles nous permettent de donner un aperçu sur les variations mensuelles des précipitations en se basant sur des calculs de la moyenne arithmétique des hauteurs des précipitations du mois considéré pour un nombre d'années bien déterminé.

Les hauteurs des pluies moyennes mensuelles enregistrées durant les périodes d'observation (1989 - 2019) sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 03.** Les précipitations moyennes mensuelles (mm).

| Mois<br>Station | S     | O     | N     | D             | J     | F     | M     | A     | M     | J     | J           | A     |
|-----------------|-------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|
| Les Salines     | 38,65 | 68,21 | 87,63 | <b>104,23</b> | 98,89 | 78,48 | 68,40 | 51,68 | 38,30 | 10,63 | <b>2,30</b> | 12,08 |

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations, représentées par la figure 07 montrent une variation mensuelle des pluies. Cette variation traduit une forte irrégularité entre les différents mois de l'année hydrologique. L'histogramme montre une hétérogénéité importante des précipitations d'un mois à l'autre avec un maximum de l'ordre de **104.23** mm au mois de Décembre. Les précipitations minimales sont enregistrées pendant le mois de juillet de **2.30** mm à la station dessalines.



**Figure 07.** Variation des précipitations moyennes mensuelles (Station les salines).

### III. 1. 2. Précipitations saisonnière

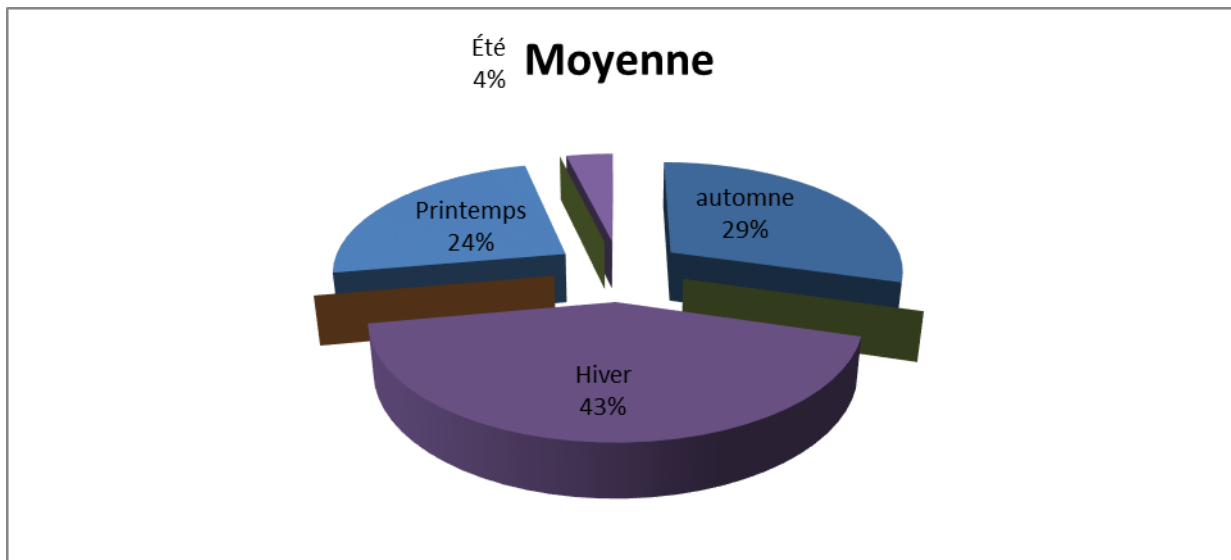
La subdivision des pluies de l'année pour chaque saison est faite suivant les saisons agricoles (automne : Septembre, Octobre et Novembre, l'hiver : Décembre, Janvier et Fev, printemps : Mars, Avrillé et Mai, été : Juin, juillet et Août).

Le tableau ci-dessous montre la répartition saisonnière des précipitations :

**Tableau 04** Variation des précipitations saisonnière.

| Saisons | automne |       | Hiver  |       | Printemps |       | Été   |      | Total  |     |
|---------|---------|-------|--------|-------|-----------|-------|-------|------|--------|-----|
| Moyenne | Mm      | %     | mm     | %     | mm        | %     | mm    | %    | mm     | %   |
|         | 194,50  | 29,49 | 281,59 | 42,69 | 158,38    | 24,01 | 25,01 | 3,79 | 659,47 | 100 |

L’observation de la figure suivante, montre que la saison hivernale est la plus pluvieuse, la précipitation est estimée à 281,59 mm, soit autour de 42,69 %, du total annuel. L’automne et le printemps, se caractérisent par une pluviométrie allant de 158,38 mm à 194,50 mm soit 24,01 % à 29,49 % des pluies totales annuelles. En été, la pluviométrie est faible, ne dépassant pas 25,01 mm, soit 3,79 % du total des pluies.



**Figure 08.** Répartition saisonnière des précipitations.

**III .1. 3. Précipitations annuelles**

Les valeurs des précipitations annuelles permettent de caractériser la pluviosité de chaque année.

**Coefficient pluviométrique (CP)**

Le coefficient pluviométrique correspond à l’évolution interannuelle des précipitations et permet de différencier les années excédentaires (CP > 1) et les années déficitaires (CP < 1).

Il est obtenu par le rapport de la pluviométrie d’une année à la pluviométrie moyenne d’une série à une station donnée (Chaoui, 2007).

$$CP = \frac{P}{\bar{P}}$$

Avec :

CP : Coefficient pluviométrique ;

P : Hauteur des pluies annuelles (mm) ;

$\bar{P}$  : Moyenne annuelle pluviométrique(mm).

Le calcul du coefficient pluviométrique durant la période d’observation met en évidence les années déficitaires et les années excédentaires pour la station des Salines (Figure 08).

L’observation une évolution alternative entre année déficitaire et excédentaire avec un maximum et un minimum. Au niveau de de station, on remarque que l’année la plus pluvieuse est 2004/2005. Les précipitations annuelles enregistrées sont respectivement de 987,70 mm. Par contre l’année la plus sèche est l’année 2016/2017 avec une valeur de 397,03 mm.

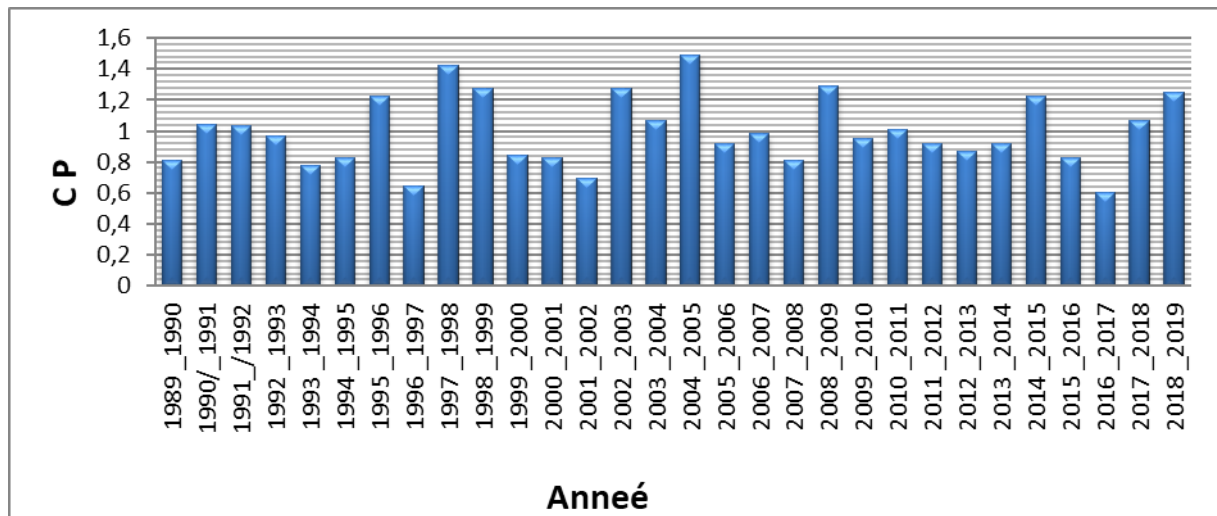


Figure 09. Les variations du coefficient pluviométrique.

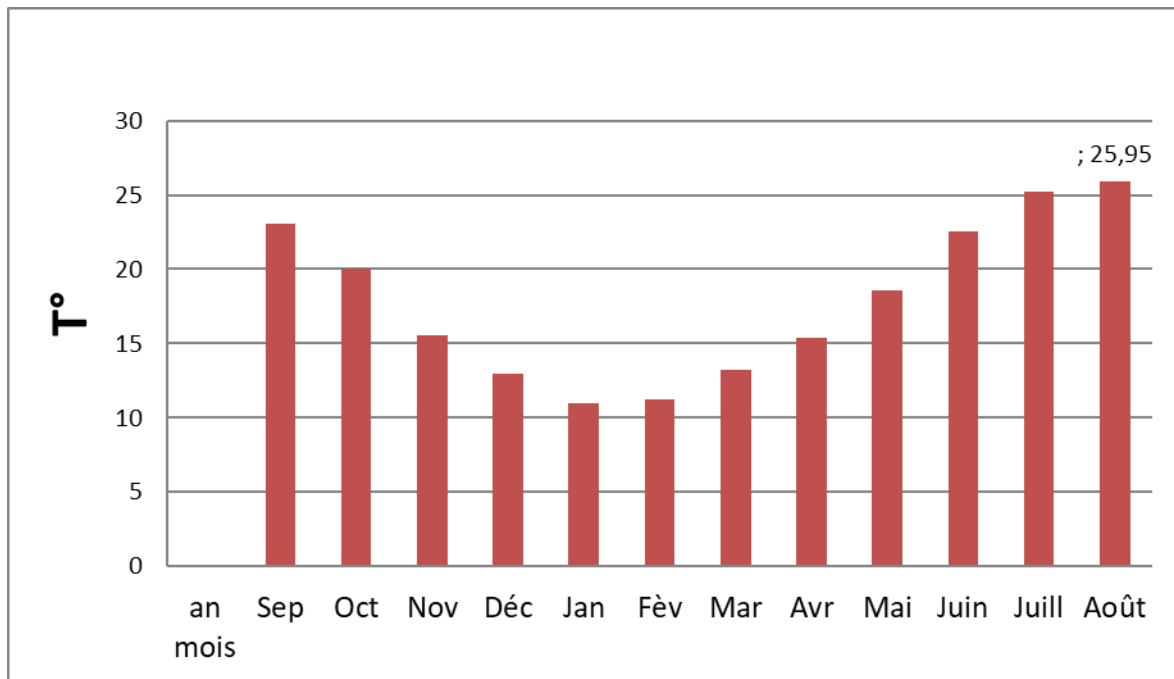
### III. 2. Température

La température est un facteur très important, dans la l’étude du climat de la région.

Les données disponibles sont issues des enregistrements réalisés aux stations des Salines, comme indiqué dans le tableau suivant :

Tableau 05. Températures moyennes mensuelles.

| Mois Station | S     | O     | N     | D     | J            | F     | M     | A     | M     | J     | J     | A            |
|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| Salines      | 23,05 | 20,03 | 15,59 | 12,99 | <b>10,95</b> | 11,20 | 13,21 | 15,35 | 18,60 | 22,54 | 25,22 | <b>25,95</b> |



**Figure 10.** Variation des températures moyennes mensuelles.

Dans l'histogramme de la température moyenne mensuelle (Figure 9) nous constatons une variation progressive des températures au cours de l'année et nous remarquons aussi que le mois le plus chaud est le mois Aout avec une température de l'ordre de 25,95° C. Le mois le plus froid est le mois de Janvier avec 10,95° C à la station desalines

### III 3. Classification climatique en fonction des indices d'aridité

#### III. 3. 1. Indice d'aridité de DeMartonne

Pour la détermination du type de climat De Martonne (1925) a proposé une formule climatologique appelée indice d'aridité qui est fonction de la température moyenne annuelle et des précipitations moyennes annuelles (Chaoui,2007).

$$A = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

A : Indice d'aridité annuelle ;

P : précipitation moyenne annuelles en mm ;

T : température moyenne annuelle en °C.

Le type de climat selon la valeur de l'indice de De Martonne :

- $A < 5$  : climat hyperaride ;
- $5 < A < 7,5$  : climat désertique;
- $7,5 < A < 10$  : climat steppique;
- $10 < A < 20$  : climat semi-aride;

- $20 < A < 30$  : climat tempéré;
- $30 < A < 55$  : Humide.

**Tableau 06.** Indice annuel d’aridité (A).

| Station     | P      | T     | A     | Observation    |
|-------------|--------|-------|-------|----------------|
| Les Salines | 659.47 | 17,89 | 23,64 | Climat tempéré |

Le résultat du calcul de l’indice d’aridité concernant la zone d’étude indique un climat tempéré.

**III. 3. 2. Indice d’aridité mensuel**

De Martonne a également défini un indice utilisable à l’échelle mensuelle. Pour un mois donné caractérisé par une précipitation et une température (Khadri, 2018).

L’indice d’aridité mensuel est :

$$IDM = \frac{12P}{T+10}$$

Où :

IDM : Indice d’aridité mensuel ;

P : Précipitations moyennes mensuelles en mm ;

T : Température moyenne mensuelle en °C.

**Tableau 07.** Indice d’aridité mensuel (IDM).

| Mois          | S     | O     | N     | D      | J            | F     | M     | A     | M     | J     | J     | A            |
|---------------|-------|-------|-------|--------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| <b>P(mm)</b>  | 38,65 | 68,21 | 87,63 | 104,23 | 98,89        | 78,48 | 68,40 | 51,68 | 38,30 | 10,63 | 2,30  | 12,08        |
| <b>T (°C)</b> | 23,05 | 20,03 | 15,59 | 12,99  | <b>10,95</b> | 11,20 | 13,21 | 15,35 | 18,60 | 22,54 | 25,22 | <b>25,95</b> |
| <b>IDM</b>    | 14.03 | 27.25 | 41.09 | 55.97  | 56.64        | 44.42 | 35.36 | 24.46 | 16.06 | 5.65  | 0.78  | .03          |

Le tableau 07 montre une répartition saisonnière du climat. Le climat est sec en automne (Septembre, Octobre et Novembre) avec IDM compris entre 10 et 20, humide (IDM >30) en hiver (Décembre, Janvier et Février), tempéré ( $20 < IDM < 30$ ) en printemps (Mars, Avril et Mai) et hyper aride ( $IDM < 5$ ) en été (Juin, Juillet et Aout).



### III. 3. 3. Diagramme pluviométrique de Gaussen ( $P = 2T$ )

L'indice d'aridité de Gaussen 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 (Gaussen et Bagnols, 1952).

Pour repérer les mois secs et humides et mettre en évidence les périodes de sécheresse d'une localité, on trace généralement le diagramme ombrothermique (pluviométrique). 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 pluviométrique établi (Figure 10) montre l'existence de deux saisons bien distinctes :

- Une saison estivale sèche et chaude qui s'étale du mois de Mai jusqu'à le mois de Septembre.
- Une saison hivernale humide plus longue qui dure environ sept mois débutant de Octobre jusqu'au mois de Mai.

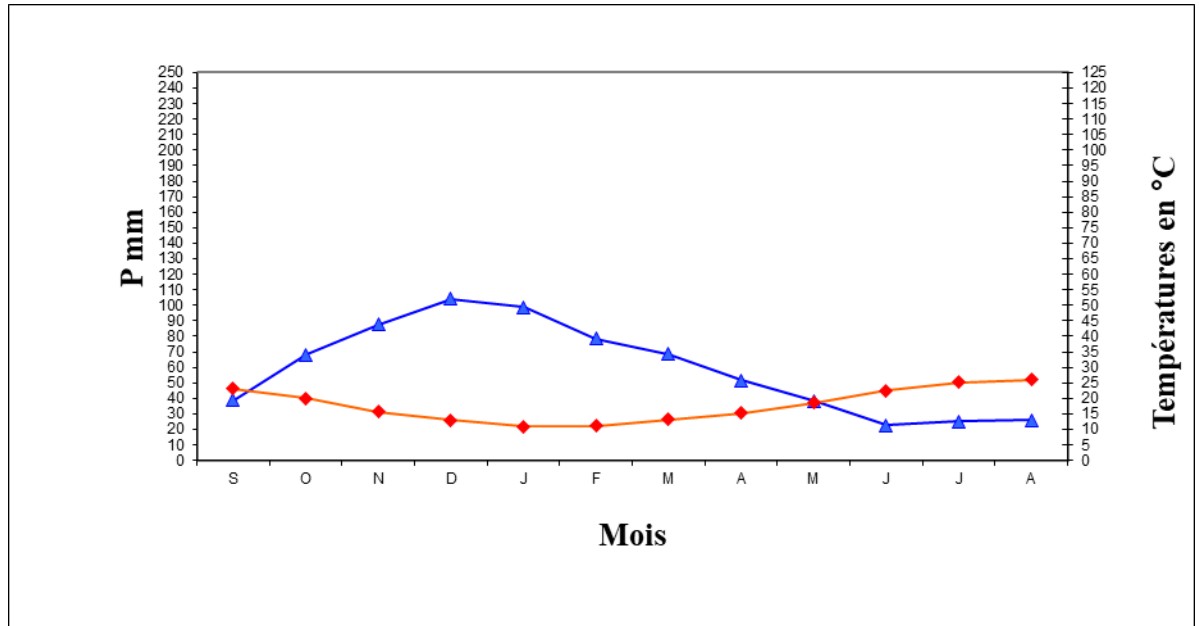


Figure 11. Diagramme pluviométrique de Gaussen.

### III. 4. Estimation des paramètres du 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. 4.1. Evapotranspiration**

Dans les études hydrogéologiques, les deux éléments principaux du bilan, évaporation et transpiration sont réunis en un seul : l'évapotranspiration.

L'évapotranspiration ou l'évaporation totale (E.T) est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (phénomène biologique).

On distingue :

- L'évapotranspiration potentielle(E.T.P)
- L'évapotranspiration réelle(E.T.R)

**III.4.1. 1. Evapotranspiration potentielle (ETP)**

On appelle 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.

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), où :

$$i = \left[ \frac{T}{5} \right]^{1.5} \quad ; \quad I = \sum_{1}^{12} i \quad ; \quad a = \left( \frac{1.6}{100} \right) I^{0.5}$$

$$ETP = 16 \left( \frac{10T^a}{I} \right)^a k$$

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.4. 1. 2. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)**

Par définition, on appelle évapotranspiration réelle effective actuelle ou encore déficit d'écoulement (ETR) la somme de l'évaporation et de la transpiration réelle pour une surface donnée et une période définie.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) :

Nous avons essayé d'estimer l'évapotranspiration réelle par les formules suivantes :

- Formule de Thornthwaite.
- Formule de Turc.
- Formule de Coutagne.

**a. Formule de Thornthwaite** (Voir tableau 12).

Cette méthode est décrite en détail plus loin et les résultats sont représentés dans le tableau du bilan hydrique.

**b. Formule de Turc**

La formule de L. Turc permet d'évaluer l'évapotranspiration potentielle mensuelle moyenne et tenant compte de la durée réelle de l'insolation.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad \text{Avec : } L = 300 + 25 \times T + 0,05 \times T^3$$

P : Précipitations moyennes annuelles (mm)

T : Températures moyennes annuelles (°C)

ETR : Evapotranspiration réelle (mm)

L : Pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

A partir de cette méthode les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant:

**Tableau 08.** Résultats de l'ETR par la méthode de Turc.

| Paramètres          | P (mm)        | ETR (mm/an)   |
|---------------------|---------------|---------------|
| Station les salines | <b>659.48</b> | <b>576.81</b> |

**c. Formule de Coutagne**

Cette formule fait appel à deux paramètres indispensables en climatologie, mais sous une autre procédure (formule) de calcul.

$$ETR = P - \lambda P^2$$

Avec :

$$\lambda = 1 / (0,8 + 0,14T)$$

ETR : Evapotranspiration réelle en mm.

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

T : Température moyenne annuelle en °C

Cette formule n'est valable que si les précipitations sont comprises entre  $1/8\lambda < p \text{ (m)} < 1/2\lambda$ .

**Tableau 09.** Vérification de la condition  $1/8\lambda < p \text{ (m)} < 1/2\lambda$ .

| Station        | $\lambda$    | $1/8\lambda$ | $< p \text{ (m)} <$ | $1/2\lambda$ |
|----------------|--------------|--------------|---------------------|--------------|
| <b>SALINES</b> | <b>0,303</b> | <b>0,413</b> | <b>0,659</b>        | <b>1,652</b> |

Ces valeurs permettent de déterminer les valeurs de l'ETR pour la station étudiée pour laquelle nous avons dressé le tableau suivant :

**Tableau 10.** ETR selon la méthode de Coutagne.

| Paramètre Station | P (m)        | T °C         | $\lambda$    | ETR (m)      | ETR (mm/an)   |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| <b>Salines</b>    | <b>0,659</b> | <b>17,89</b> | <b>0,303</b> | <b>0.527</b> | <b>527.41</b> |

**Comparaison**

La comparaison est utile car elle permet de choisir la méthode appropriée pour la zone d'étude. La formule de Thornthwaite semble la plus convenable à la région.

L'ETR, calculée par la méthode de Turc semble surestimée pour tous les mois de l'année. Cependant les formules de Thornthwaite et de Coutagne présentent des résultats assez proches de la réalité mais la méthode de Thornthwaite a été souvent utilisée avec succès dans ces régions, en plus elle prend en considération un coefficient de correction.

**Tableau 11.** Tableau récapitulatif pour l'ETR.

| Formules | C W<br>Thornthwaite | Turc   | Coutagne |
|----------|---------------------|--------|----------|
| ETR (mm) | 478.29              | 576.81 | 527.41   |

### III. 5. 2. Calcul du bilan hydrique selon la formule de Thornthwaite

Le procédé de calcul pour le bilan, consiste les étapes suivantes (Khadri, 2018) :

- $P = ETP$  : les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol, il n'y aura donc pas de surplus pour alimenter la réserve facilement utilisable (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 (EXC) 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 la 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 noté DA (représente la quantité d'eau nécessaire pour les plantes) est égale l'ETP - ETR. Les résultats de calculs sont consignés dans le tableau 12.

**Tableau 12.** Bilan hydrique selon la méthode de C.W. Thornthwaite  
Station salines (1989/2019).

| Mois    | P (mm) | T(C°) | i     | K    | ETP (mm) | ETR (mm) | RFU   | EXC    | DA     |
|---------|--------|-------|-------|------|----------|----------|-------|--------|--------|
| Sep     | 38.65  | 23.05 | 9.89  | 1,03 | 106.18   | 38.65    | 0.0   | 0.0    | 67.53  |
| Oct     | 68.21  | 20.03 | 8.01  | 0,97 | 77.23    | 68.21    | 0.0   | 0.0    | 9.02   |
| Nov     | 87.63  | 15.59 | 5.50  | 0,86 | 43.18    | 43.18    | 44.45 | 0.0    | 0.0    |
| Dec     | 104.23 | 12.99 | 4.18  | 0,81 | 29.08    | 29.08    | 100   | 19.6   | 0.0    |
| Jan     | 98.89  | 10.95 | 3.24  | 0,87 | 22.81    | 22.81    | 100   | 76.08  | 0.0    |
| Fèv     | 78.48  | 11.20 | 3.35  | 0,85 | 23.23    | 23.23    | 100   | 55.25  | 0.0    |
| Mar     | 68.40  | 13.21 | 4.29  | 1,03 | 38.14    | 38.14    | 100   | 30.26  | 0.0    |
| Avr     | 51.68  | 15.35 | 5.37  | 1,10 | 60.29    | 60.29    | 91.39 | 0.0    | 0.0    |
| Mai     | 38.30  | 18.60 | 7.17  | 1,21 | 84.07    | 84.07    | 45.62 | 0.0    | 0.0    |
| Juin    | 10.63  | 22.54 | 9.57  | 1,22 | 120.70   | 56.25    | 0.0   | 0.0    | 64.45  |
| Juillet | 2.30   | 25.22 | 11.32 | 1,24 | 150.84   | 2.30     | 0.0   | 0.0    | 148.54 |
| Août    | 12.08  | 25.95 | 11.82 | 1,16 | 148.71   | 12.08    | 0.0   | 0.0    | 136.63 |
| Total   | 659.48 | 17.89 | 83.71 |      | 964.46   | 478.29   |       | 181.19 | 426.17 |

### III. 5.2.1. Interprétation du Bilan hydrique

L'établissement du bilan hydrique a pour but, de connaître les différents paramètres (ETP, ETR, RFU, DA, Exc), qui nous aident à comprendre le fonctionnement des systèmes hydrauliques de surface. Le tableau 12 permet un certain nombre d'observations :

L'année hydrologique se divise en deux périodes : la première où les précipitations dépassent l'évapotranspiration potentielle, correspond au mois de novembre, décembre, janvier, février, mars (Figure 10).

Durant cette période, les précipitations atteignent leur maximum et l'ETP enregistre ses valeurs les plus faibles, et l'inverse se produit durant les mois restants.

Lorsque la RFU est totale, il y a un excédent d'eau, dès qu'elle diminue, il y a un épuisement du stock qui s'accompagne par un déficit agricole. Pour la station étudiée, le déficit commence à partir du mois de juin et se poursuit jusqu'au mois d'octobre (Tableau 12).

D'après le bilan hydrique de la station, selon la méthode de Thornthwaite, la RFU (réserve facilement utilisable) commence à se reconstituer à partir du mois de novembre pour atteindre son maximum (100 mm) de Décembre au mois de Mars. Le surplus d'eau alimente le ruissellement et l'infiltration. La RFU diminue à partir du mois de Avril jusqu'à ce qu'elle soit totalement épuisée au mois de Juin, caractérisant le déficit agricole (DA) qui se poursuit jusqu'à Octobre. L'ETP atteint son maximum au mois de juillet (150,84 mm), son minimum au mois de Janvier avec une valeur de 22.81 mm, l'Excédent à partir du mois de Décembre et s'étale jusqu'au mois de Mars avec un maximum au mois de Janvier (76,08 mm), l'épuisement du stock commence au mois de Juin avec un déficit agricole maximum au mois de Juillet où l'irrigation devient nécessaire.

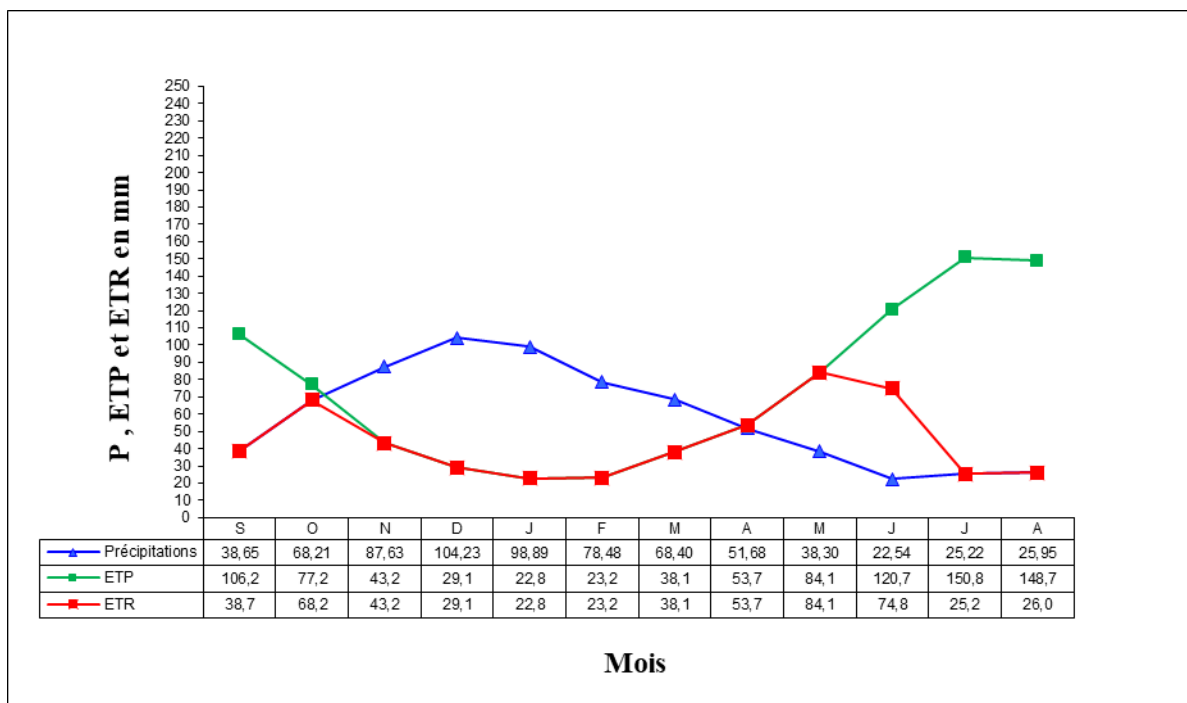


Figure 12. Moyennes pluriannuelles des éléments climatiques à la station des salines.

III. 5. 3. Ruissellement

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 :

- 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.

Le ruissellement (R) peut être estimé par la formule de Tixeront Berkallof (1) qui exige que P soit supérieur à 600 comme c'est le cas de la station de Salines. R est calculé par:

$$R = P^3 / 3$$

**Tableau 13.** Résultats du ruissellement.

| <b>Stations</b> | <b>P (m)</b> | <b>R (m)</b> |
|-----------------|--------------|--------------|
| <b>Salines</b>  | <b>0,659</b> | <b>0.095</b> |

**III. 5. 4. Infiltration**

D'après le bilan global :

$$P = R + I + ETR$$

Donc :

$$I = P - R - ETR$$

Avec :

- 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.

**Tableau 14.** Estimation de l'infiltration par la méthode de Thornthwaite.

| <b>Paramètres Stations</b> | <b>P (mm)</b> | <b>ETR (mm)</b> | <b>R (mm)</b> | <b>I (mm)</b> |
|----------------------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|
| <b>Salines</b>             | <b>659.48</b> | <b>478.29</b>   | <b>95</b>     | <b>86.19</b>  |

**Conclusion :**

L'étude climatologique a montré que la région est soumise à un climat tempéré, caractérisé par des précipitations annuelles relativement élevées de 659.48 mm. L'évolution annuelle des précipitations et des températures, permet de distinguer deux période ; une période chaude et sèche et une autre période froide et humide.



Le calcul du bilan hydrologique permet 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 juin 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 souterraines.

# Hydrogéologie

*C  
H  
A  
P  
I  
T  
R  
E*

*III*

## **I. Introduction**

Nous avons établi ce chapitre afin d'étudier l'écoulement souterrain, et déterminer la géométrie de l'aquifère superficiel qui fait par sa faible profondeur l'objet d'un risque de pollution élevé. L'étude hydrogéologique d'un bassin versant est indispensable pour la détermination des différents aquifères existants et pour une meilleure connaissance des différentes formations qui les constituent.

L'essai d'identification des aquifères et la détermination de leurs caractéristiques hydrogéologiques, permettent de reconnaître les potentialités en eau souterraine de la région.

Le système hydrogéologique de la plaine d'Annaba est complexe du point de vue structural, lithologique, et hydrodynamique.

Nous décrivons ci-dessous les différents réservoirs aquifères dans la région et nous essayons de voir plus en détail les caractéristiques hydrogéologiques de la nappe superficielle qui fait l'objet de notre étude.

## **II. Identification des nappes**

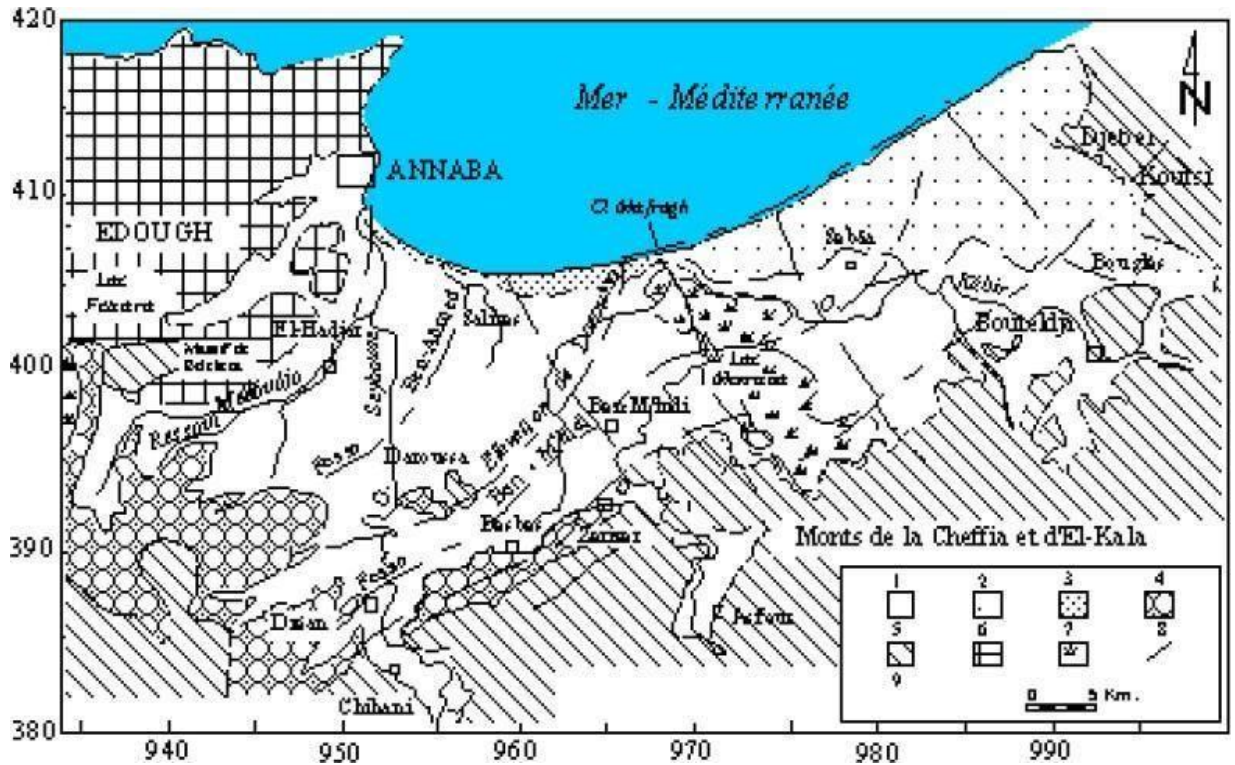
La basse Seybouse renferme trois nappes souterraines avec des potentialités hydrauliques différentes : deux sont superficielles (la nappe du cordon dunaire et la nappe sablo-argileuse) et l'autre peu profonde dans la partie Sud et profonde dans la partie Nord (nappe des graviers) (Debieche, 2002) :

1) La nappe du cordon dunaire est une nappe littorale constituée par le sable dunaire. La transmissivité moyenne est de l'ordre de  $10^{-3} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  et la perméabilité est de  $10^{-3}$  à  $10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  (Debieche, 2002), cette nappe est exploitée par des puits.

2) La nappe phréatique et la nappe des graviers, sont deux nappes superposées qui s'étendent sur toute la zone d'étude. La nappe phréatique est constituée par des sables argileux et des limons, son épaisseur varie entre 0 et 20 m (Hani, 2003), elle est exploitée par des puits pour l'irrigation et les usages domestiques. La nappe des graviers constituée par des graviers, galets et sables est située en dessous de la nappe superficielle. Elle est souvent postulée par des forages pour l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation.

La nappe phréatique et la nappe des graviers sont confondues dans la partie Sud entre la région de Drean et Chihani. Plus on se dirige vers le nord, plus elles sont séparées par une couche argileuse de 10 à 140 m d'épaisseur (Debieche, 2002). Cette dernière augmente du sud vers le nord et de l'ouest vers l'est.

D'autres nappes locales peuvent apparaître au niveau du socle métamorphique sous l'effet de l'altération des formations rocheuses du cipolin ou des alluvions des terrasses supérieures (Figure 11).



Légende : 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 : Marréçages ; 8 : Failles ; 9 : Fosses.

**Figure 13.** Extension des différents aquifères dans les plaines d’Annaba (d’après Gaud, 1976 in Hani, 2003).

### II. 1. La nappe superficielle

Au centre de la zone d’étude au niveau de la plaine d’Annaba, le sol est constitué par des formations argilo-sableuses, argilo-limoneuses et sablo-argileuses. La détermination de la perméabilité du toit de la nappe superficielle a été faite par la D.G.R.H.A. (Direction Générale des Ressources Hydriques d’Annaba) et la S.N.S. (Société Nationale de Sidérurgie) en 1967-1968 (Debieche, 2002), par la méthode de Porchet. L’ensemble des résultats obtenus montre des valeurs qui varient entre  $10^{-6}$  et  $3 \cdot 10^{-5} \text{m.s}^{-1}$ . La transmissivité des terrains varie entre  $10^{-6}$  et  $10^{-3} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .

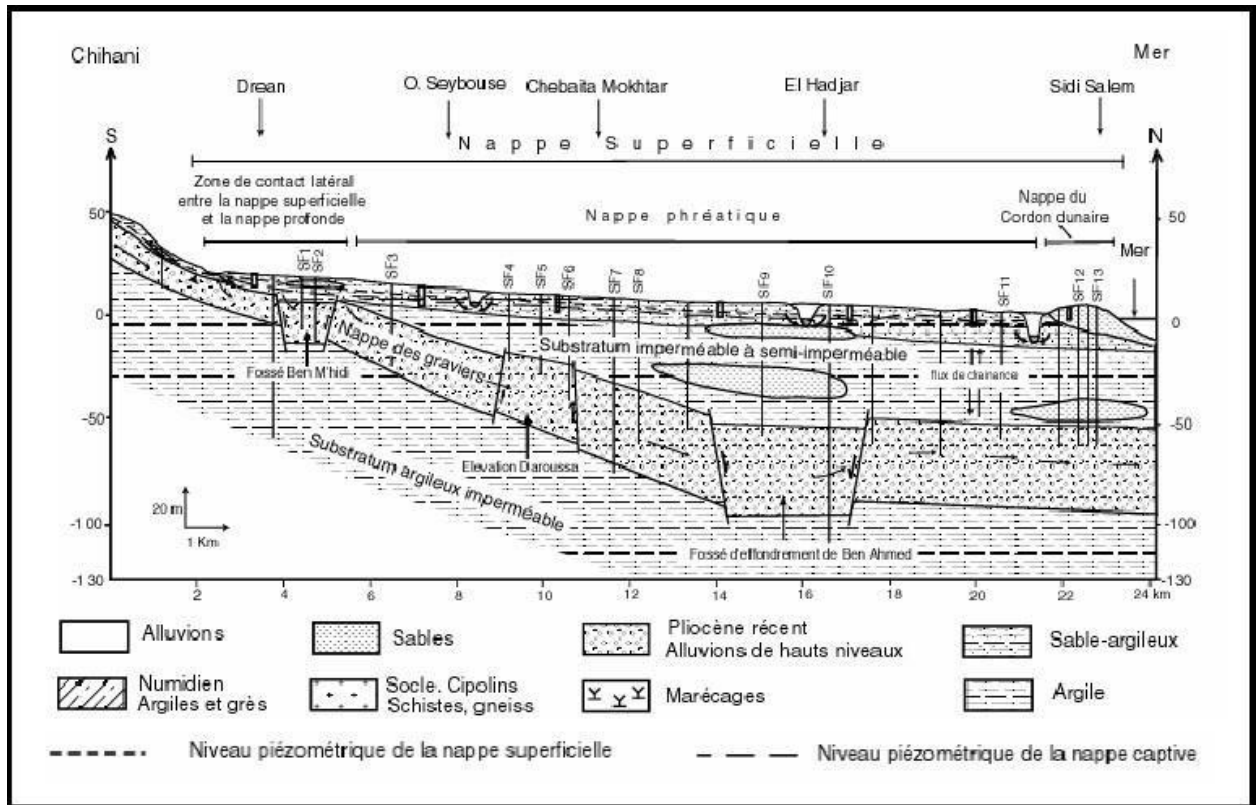
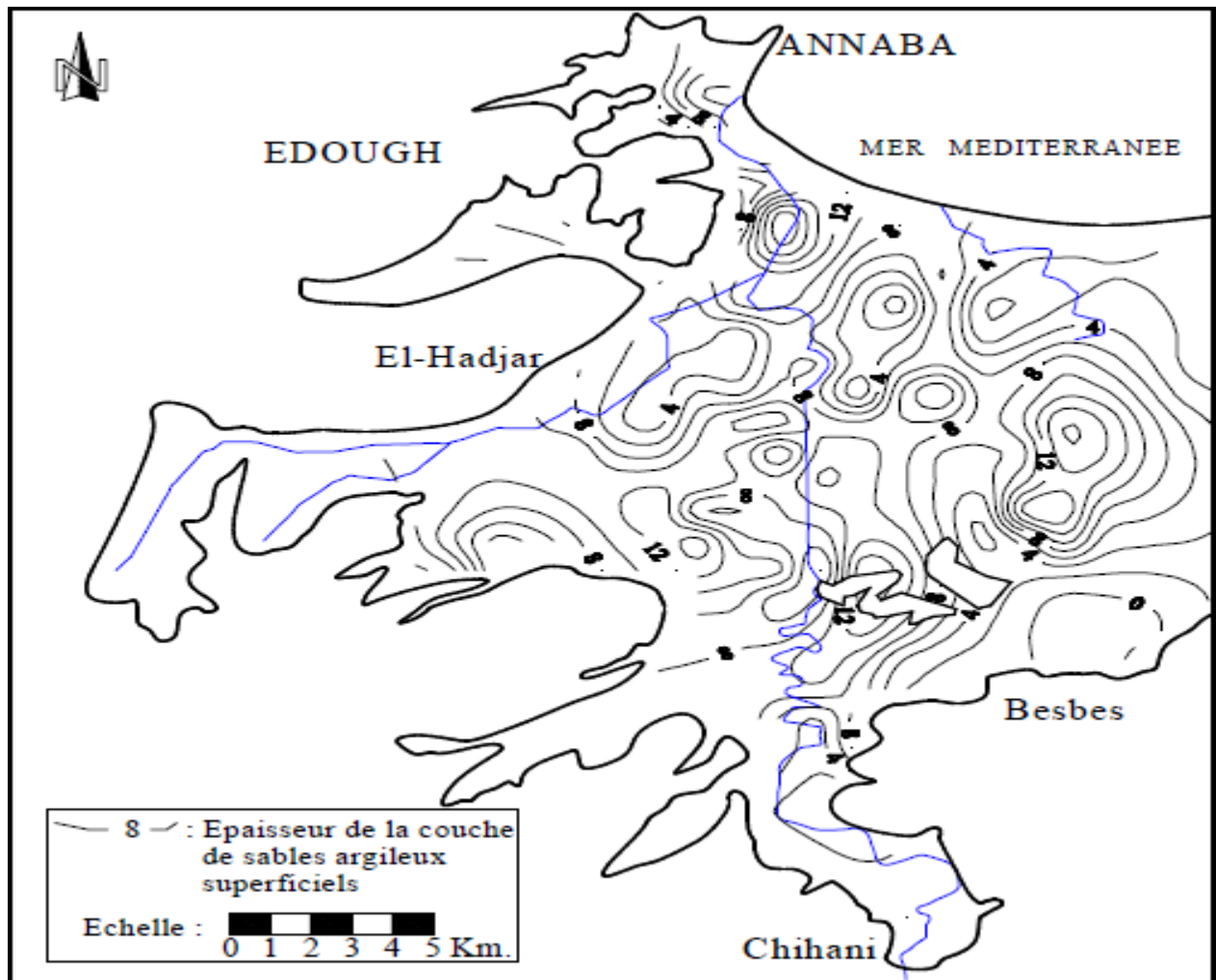


Figure 14. Position des nappes souterraines dans la basse plaine de la Seybouse (Debieche, 2002).

Les caractéristiques géométriques de la nappe superficielle montrent une hétérogénéité des dépôts qui 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.

A partir de ces coupes lithologiques, une carte isopaches a été réalisée (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 (Hani, 2003), et plus de 12 m dans la partie côtière de l'aquifère (Figure 13). 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 15.** Carte des isopaches de la nappe phréatique de la basse plaine de la Seybouse (A. HANI 2003).

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. Caractéristiques de l'écoulement des eaux souterraines

La connaissance de la surface piézométrique de la nappe superficielle a été obtenue par l'inventaire réalisé sur 11 puits (Figure 14).

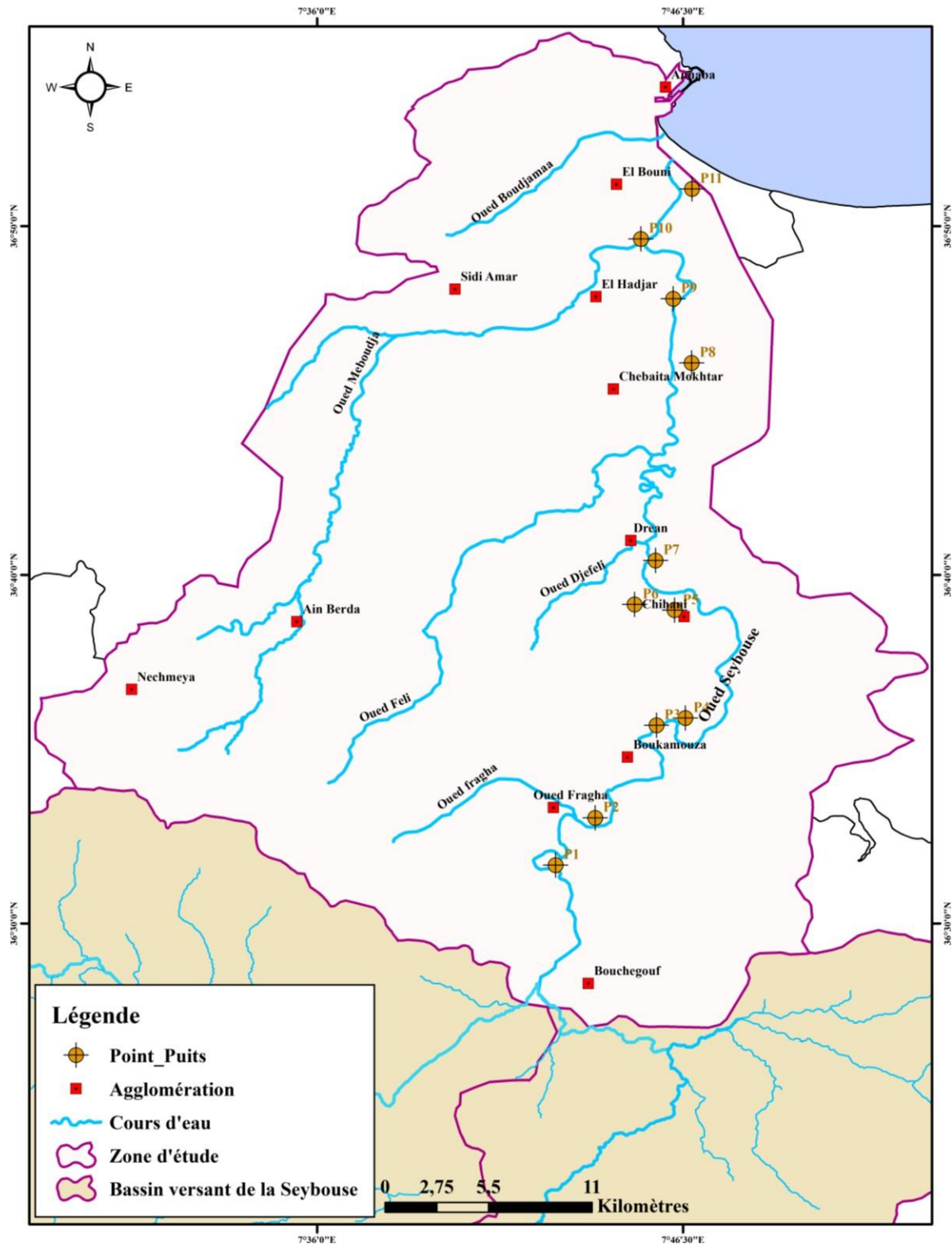


Figure 16. Carte d'inventaire des points d'eau (Bendjadou, 2019).

Deux cartes piézométriques ont été tracées pour caractériser l'écoulement des eaux souterraines dans la nappe superficielle : l'une pour la période des basses eaux (Aout 2018, Figure 15) et l'autre pour la période des hautes eaux (Février 2019, Figure 16). 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 H1, l'autre aval H2, séparés d'une distance L, à partir de la formule suivante (G. Castany, 1982) :

$$i = \frac{H1 - H2}{L}$$

Avec :

**i** : gradient hydraulique.

**H1** : niveau piézométriques au point1

**H2** : niveau piézométriques au point2

**L** : la distance entre les deux points 1 et 2

### **III.1. Interprétation des cartes piézométriques**

Les deux cartes piézométriques sont globalement identiques (Figure 15, 16), avec un petit changement dans l'allure des isopièzes entre basses et hautes eaux, l'examen des courbes isopièses montre une surface piézométrique assez régulière. L'aspect général des courbes isopièses 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 (Bendjadou, 2019). 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.



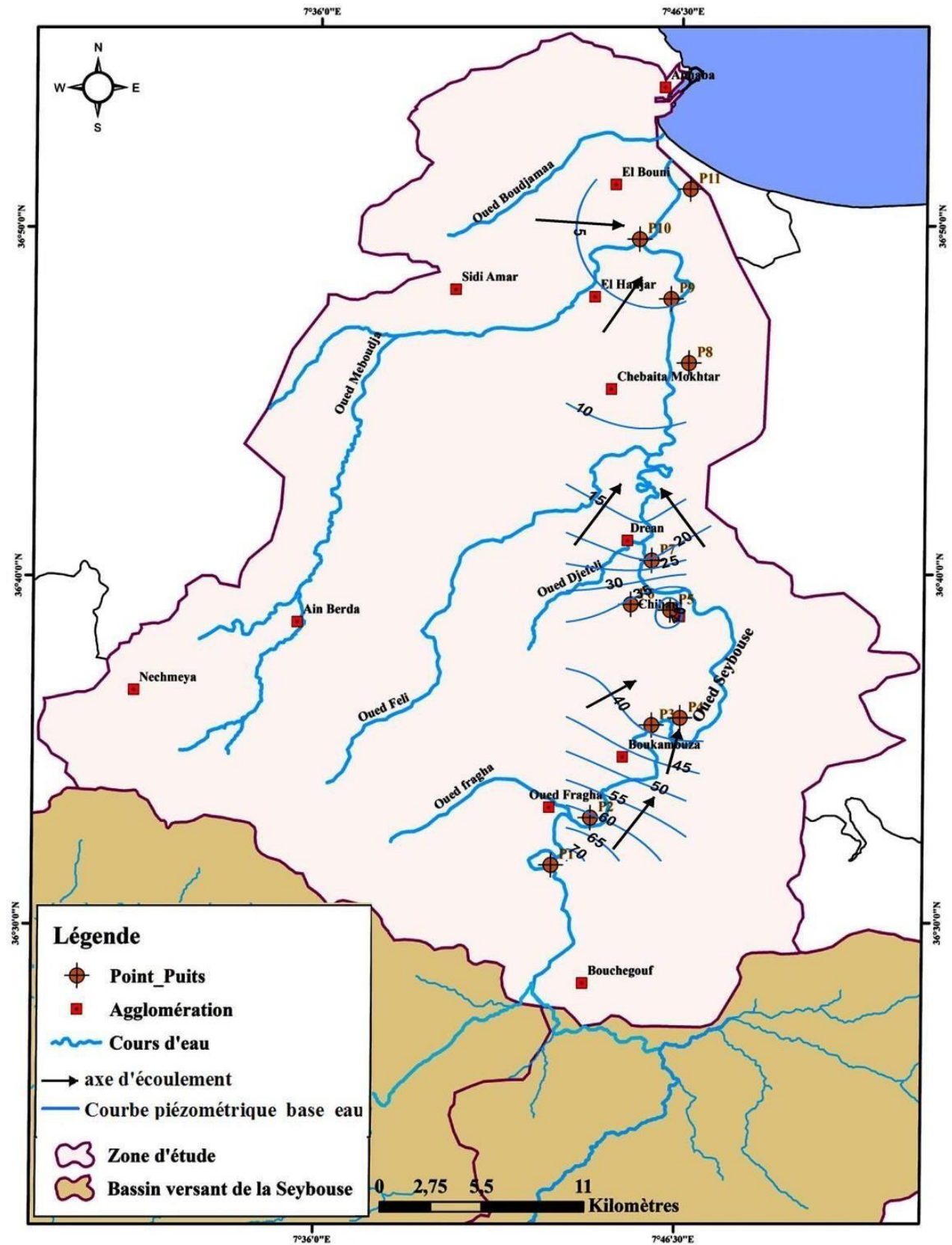


Figure 17. Carte piézométriques de basses eaux.

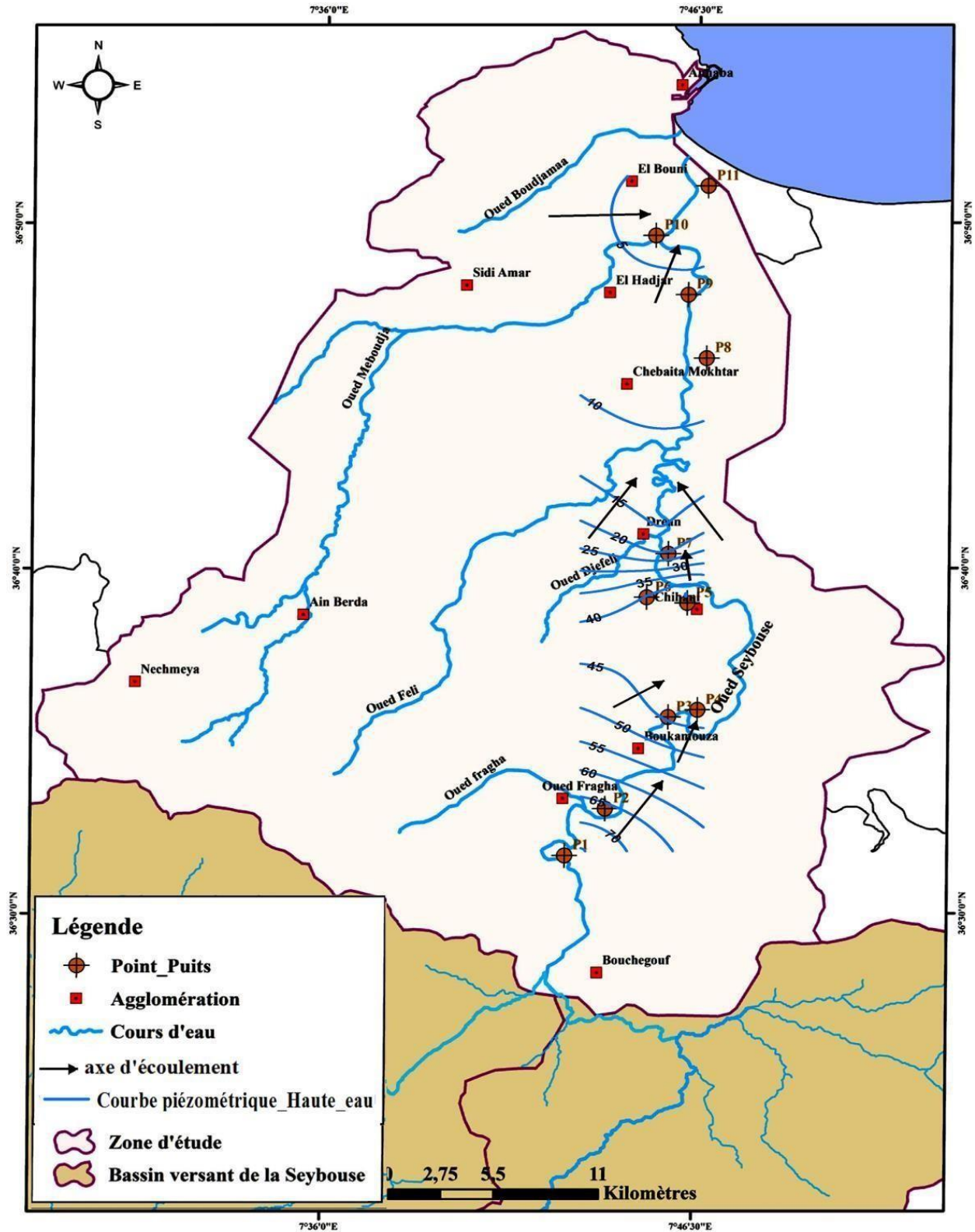


Figure 18. Carte piézométriques d’hautes eaux (Bendjadou, 2019).

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.

### **Conclusion**

L'étude hydrogéologique nous a permis de déterminer les principales caractéristiques des nappes aquifères dans le bassin versant étudié. Dans la partie aval de la Seybouse 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.

Ce système pourrait être schématisé de la façon suivante :

- Des aquifères superficiels exploités en grande partie par des puits domestiques et dont la lithologie varie d'une zone à l'autre.
- Une nappe profonde reconnue par les forages profonds.

L'étude de l'évolution du niveau piézométrique permet 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*

**III**

**1.Introduction**

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 étudier l'utilisation des indices pour l'évaluation de la qualité des eaux de l'oued Seybouse.

L'analyse physico-chimiques 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 s'est basée sur l'analyse des paramètres physico-chimique tel que le potentiel hydrogène, la conductivité électrique, les éléments majeurs, les paramètres de pollution organique (DCO, DBO<sub>5</sub>), les éléments nutritifs (la figure 17 présentée montre leurs localisation) NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>), à partir de sièze stations de prélèvements positionnées après les points de rejets sur le cours de l'oued Seybouse et et pour les eaux souterraines en Mars 2019.

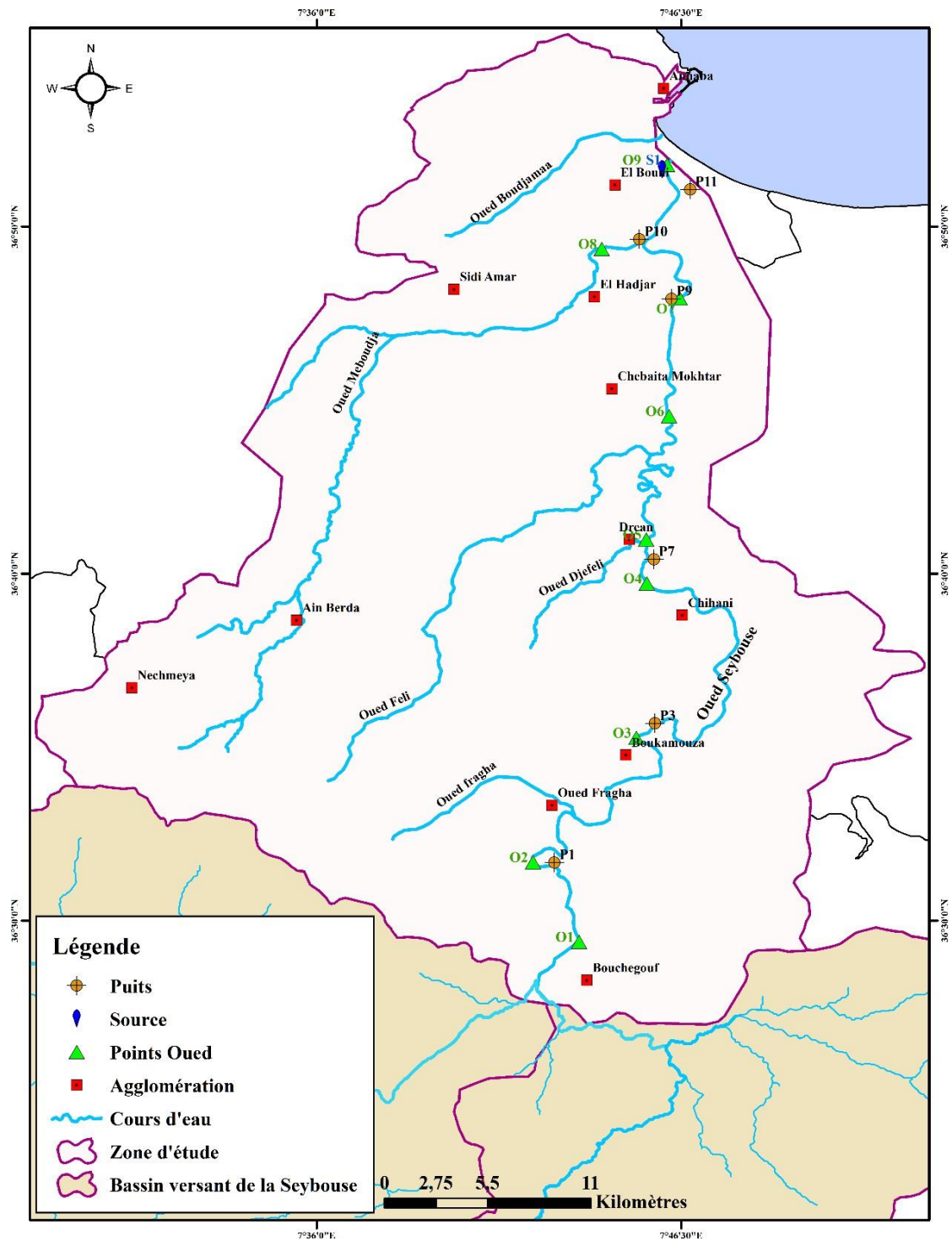


Figure 19. Carte d’inventaire des points de prélèvement d’eau

## II. Evaluation de la qualité de l'eau

La qualité de l'eau est un critère important pour faire correspondre la demande et l'offre d'eau, cette partie se veut une appréciation de la qualité physico-chimique de l'oued Seybouse. L'évaluation de la qualité des eaux de surface peut effectuée par plusieurs

méthodes, nombreux indices de qualité physico-chimique ont été développés et utilisés dans différents pays dans le monde (Belhaj et al., 2013). Nous avons utilisé des indices de qualité pour évaluer les changements de la qualité des eaux de surface et souterraine dans le bassin versant étudié.

**II. 1. Indice de la pollution organique (IPO)**

L'indice de la pollution organique des eaux de l'oued Seybouse permet nous renseigner sur leur qualité et leur degré de pollution. Les indicateurs de pollution organique regroupent les phosphates et les ions provenant de l'azote qui provoquent la pollution organique. L'indice de pollution organique IPO, calculé à partir des concentrations de ces ions, permet de classer l'eau analysée sur une échelle à 5 niveaux de pollution et chaque niveau représenté avec une couleur (Haied, 2008). On introduit habituellement dans le calcul de l'IPO, la demande biologique en O<sub>2</sub> à 5 jours (DBO<sub>5</sub>).

**Tableau 15.** Paramètres et classes de l'IPO (Bahroun, 2008).

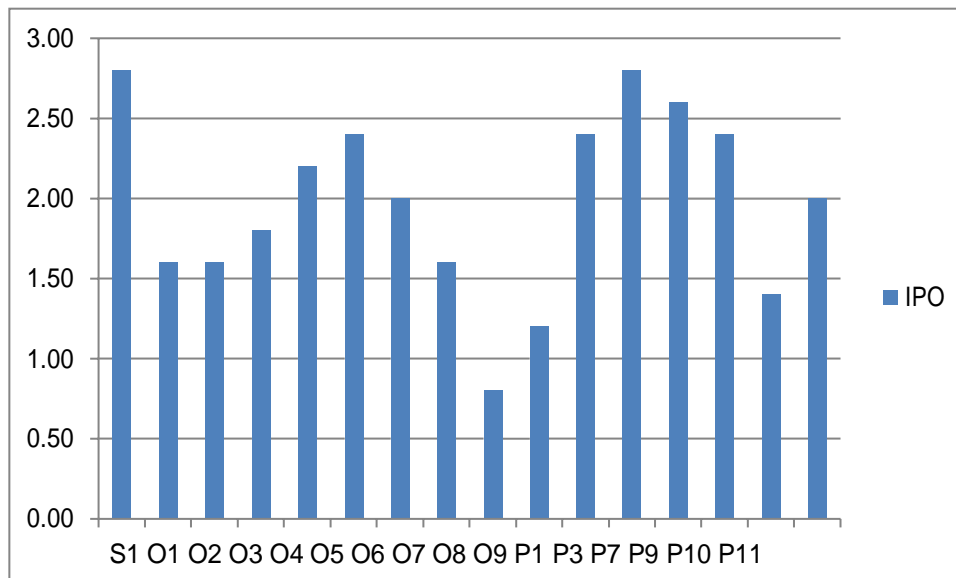
|          | <b>DBO<sub>5</sub><br/>mg O<sub>2</sub>/l</b> | <b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup><br/>mg N/l</b> | <b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup><br/>µg N/l</b> | <b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup><br/>µg P/l</b> |
|----------|---|--|--|---|
| Classe 5 | < 2   | < 0.1  | ≤ 5  | ≤ 15  |
| Classe 4 | 2 – 5   | 0.1 – 0.9                                    | 6 – 10                                       | 16 – 75                                       |
| Classe 3 | 5,1 – 10                                      | 1.0 – 2.4                                    | 11 – 50                                      | 76 – 250                                      |
| Classe 2 | 10,1 – 15                                     | 2.5 – 6.0                                    | 51 – 150                                     | 251 – 900                                     |
| Classe 1 | > 15  | > 6  | > 150  | > 900   |

L'indice de la pollution organique est la moyenne des numéros de classe pour chaque paramètre. Les calculs de l'indice de pollution organique sont réalisés à l'aide du logiciel Aquakit, le tableau 16 montre la représentation graphique des niveaux de pollution. L'indice le plus élevé correspond à une pollution nulle ou très faible, représentée conventionnellement par une couleur bleue, les indices les plus faibles ressemblent à une pollution élevée.

**Tableau 16.** Grille de degré d'indice de pollution organique (Bahroun, 2008),

| Average class | pollution organique | Cartographie |
|---------------|---------------------|--------------|
| 5,0 –4,6      | Nulle               |              |
| 4,5 –4,0      | Faible              |              |
| 3,9 –3,0      | modérée             |              |
| 2,9 –2,0      | Forte               |              |
| 1,9 –1,0      | Très forte          |              |

Nous avons réalisé, à partir des résultats des calculs de l'IPO (Les résultats des calculs de l'IPO de chaque point sont présentés dans figure 17 pour les eaux surfaces et eaux souterraines), la carte de répartition et de l'évolution de l'indice de pollution organique (Figure 18).



**Figure 20.** L'évolution de l'indice de la pollution organique dans les eaux de l'oued Seybouse



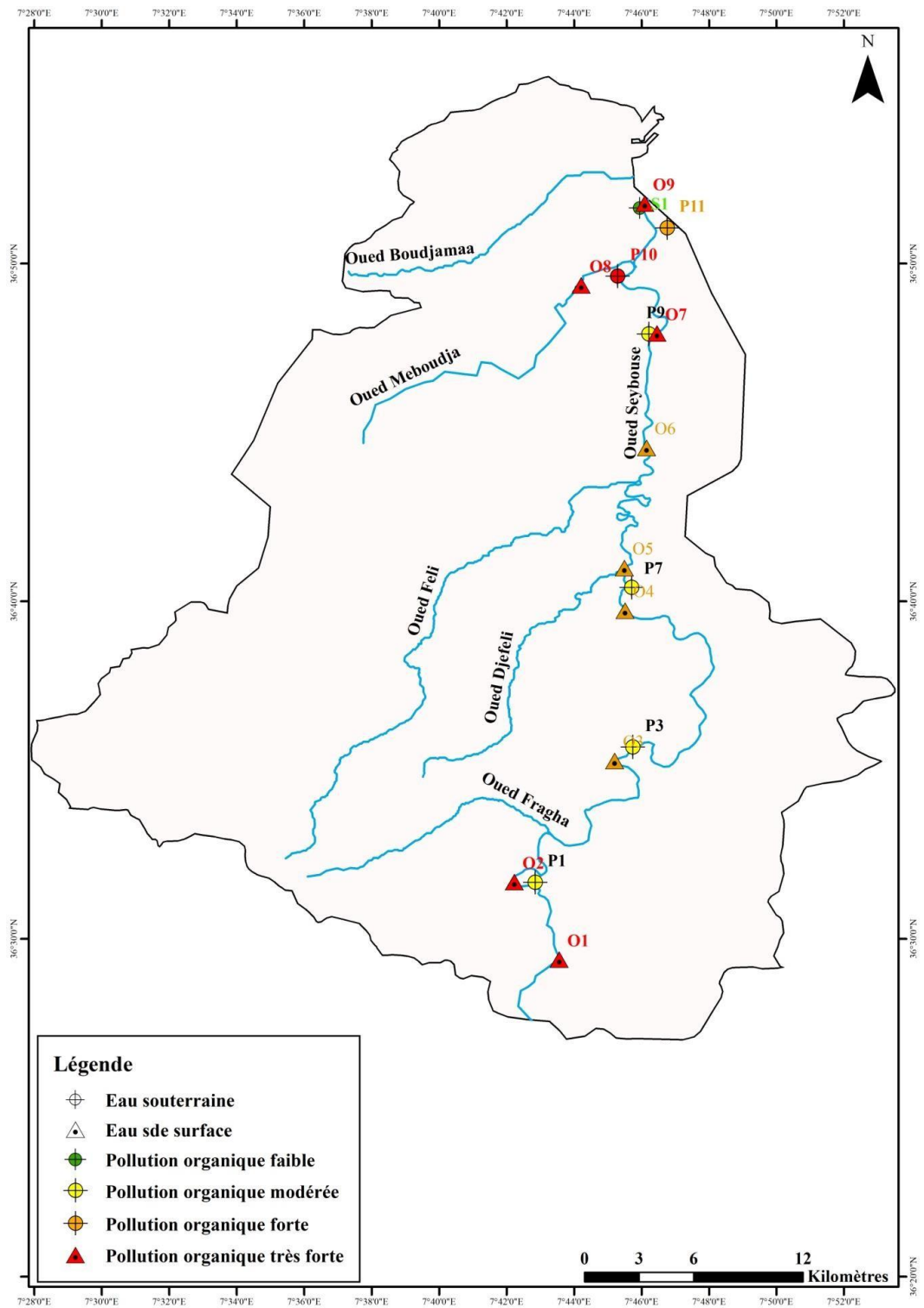


Figure 21. L'évolution de l'indice de la pollution organique dans les eaux de l'oued Seybouse.

L'interprétation de l'indice de la pollution organique montre nettement que la pollution organique des eaux de l'oued Seybouse est forte dans la majorité des stations. Ceci est dû au fait que la région d'étude est soumise de toute à une activité humaine importante.

L'évolution de l'indice de pollution organique dans l'oued est présentée dans la Figure 18. Ainsi, nous pouvons remarquer qu'au niveau des eaux de l'oued (eaux surfaces) la pollution est de qualité forte à très forte (IPO entre 0,8 et 1,8), sauf les eaux du point S1 présente une qualité modérée avec IPO égale à 3,6. Ceci peut être expliqué par les grandes variations de la charge polluante des rejets et par le nombre de population, en plus de l'utilisation excessive d'engrais dans les exploitations agricoles de la région. Il est noté de manière générale, que les eaux souterraines la pollution est de qualité forte à très forte (IPO entre 1,4 et 2,8), nous pouvons également remarquer que l'indice de pollution est élevé dénotant l'impact des polluants des rejets urbains et l'utilisation excessive d'engrais dans les exploitations agricoles de la région sur la qualité des eaux.

#### **a. Indicateurs d'eutrophisation**

Ces indicateurs regroupent les nitrates et surtout les phosphates : ils représentent le stade final de la dégradation des polluants contenant de l'azote et du phosphore dans une rivière. Ils n'ont pas un caractère toxique direct pour les êtres vivants de la rivière, mais ils peuvent provoquer un déséquilibre de l'écosystème en favorisant un développement anarchique des plantes aquatiques (Haied, 2015).

Ces indicateurs sont généralement forts dans les eaux de l'oued ce qui peut conduire à un déséquilibre de l'écosystème

## **II. 2. Indice de la qualité de l'eau (WQI)**

L'indice de la qualité de l'eau est un instrument mathématique utilisé pour transformer de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en un nombre unique qui représente un niveau de qualité de l'eau (Bordalo et al, 2006, Şener et al, 2007). Nous pouvons comparer les différents échantillons de la qualité sur la base de la valeur d'indice de chaque échantillon. L'utilisation d'un indice de qualité de l'eau WQI ou IQE a été proposée par Horton (1965) et Brown et al. (1970), (Raveendra et al, 2011). Ensuite, plusieurs auteurs ont développés des nombreuses méthodes différentes pour le calcul des IQE (Şener et al, 2017). L'indice de qualité de l'eau a été considéré comme un critère pour les classifications des eaux de surface

basé sur l'utilisation de paramètres standard pour la caractérisation de l'eau. Il fournit une image complète de la qualité de l'eau pour la plupart des utilisations domestiques.

#### a. Calcul de WQI

Pour le calcul de l'indice de qualité de l'eau nous suivons plusieurs étapes. Au début, chaque paramètres chimiques a reçu des poids différents ( $w_i$ ) sur une échelle de 1 (moindre effet sur la qualité de l'eau) à 5 (effet le plus élevé sur la qualité de l'eau) en fonction de son rapport d'importance dans la qualité globale de l'eau et de leurs effets sur la santé (Şener et al, 2017). Nous avons attribué le poids le plus élevé (5) aux  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{PO}_4$  et  $\text{Pb}$ , en raison de leur importance majeure dans l'évaluation de la qualité de l'eau; le poids minimal de 1 a été attribué au potassium K et magnésium Mg en raison de la moindre importance dans l'évaluation de la qualité de l'eau.

Dans la deuxième étape, Le poids relatif ( $W_i$ ) est calculé à partir de l'équation suivante (Şener et al, 2017). Les valeurs calculées de  $W_i$  sont données dans le tableau 17 :

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Où

$W_i$  : le poids relatif

$w_i$  : le poids de chaque paramètre

$n$  : le nombre de paramètres.

Après, un classement de qualité ( $q_i$ ) pour chaque paramètre est donné en divisant la concentration de chaque échantillon d'eau par sa valeur limite fixée selon les normes algériennes de potabilité et le résultat multiplié par 100 (Ramakrishnaiah et al, 2009 et Şener et al, 2017):

$$q_i = (C_i / S_i) \times 100$$

Avec  $q_i$  est la notation de qualité,  $C_i$  est la concentration de chaque paramètre chimique dans chaque échantillon d'eau en mg/l, et  $S_i$  est la norme d'eau potable algérienne pour chaque paramètre chimique en milligrammes par litre. La somme des valeurs  $SI_i$  donne l'indice de qualité de l'eau pour chaque échantillon, la valeur  $SI_i$  doit être déterminée avec l'équation suivante:

$$SI_i = W_i \times q_i$$

$SI_i$  est le sous indice du paramètre  $i$ ème ;  $q_i$  est l'évaluation de la qualité basée sur la concentration du paramètre  $i$ ème (Ramakrishnaiah et al, 2009). La somme des valeurs  $SI_i$  donne l'indice de qualité de l'eau pour chaque échantillon.

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i$$

Les valeurs de l'indice de qualité de l'eau (WQI) calculées sont classées en cinq catégories (Şener et al, 2017).

< 50 : Eau très bonne.

50 – 100 : Eau bonne.

100 – 200 : Eau pauvre.

200 – 300 : Eau très pauvre.

> 300 : Eau impropre à la consommation.

Les valeurs de l'indice de qualité de l'eau calculées sont représentées graphiquement à l'aide du logiciel Arcgis, ce logiciel permet de faire les interpolations spatiales de plusieurs paramètres sur une base de données qui a été créée sous l'Arc catalogue. Les cartes ont été générées par interpolation IDW (Pondération par l'inverse de distance).

**Tableau 17.** Les poids relatifs des paramètres physico-chimiques. (Khadri, 2018)

| Paramètres              | Norme algérienne | Poids ( $w_i$ ) | Poids relatif ( $W_i$ ) |
|-------------------------|------------------|-----------------|-------------------------|
| pH                      | 8,5              | 3               | 0,054                   |
| PO <sub>4</sub> (mg/l)  | 5                | 4               | 0,071                   |
| Cl (mg/l)               | 500              | 3               | 0,054                   |
| SO <sub>4</sub> (mg/l)  | 400              | 3               | 0,054                   |
| NO <sub>3</sub> (mg/l)  | 50               | 5               | 0,089                   |
| HCOO (mg/l)             | 120              | 2               | 0,068                   |
| Ca (mg/l)               | 200              | 2               | 0,036                   |
| Mg (mg/l)               | 50               | 1               | 0,018                   |
| DBO <sub>5</sub> (mg/l) | 5                | 4               | 0,071                   |
| NH <sub>4</sub> (mg/l)  | 0.5              | 5               | 0,089                   |

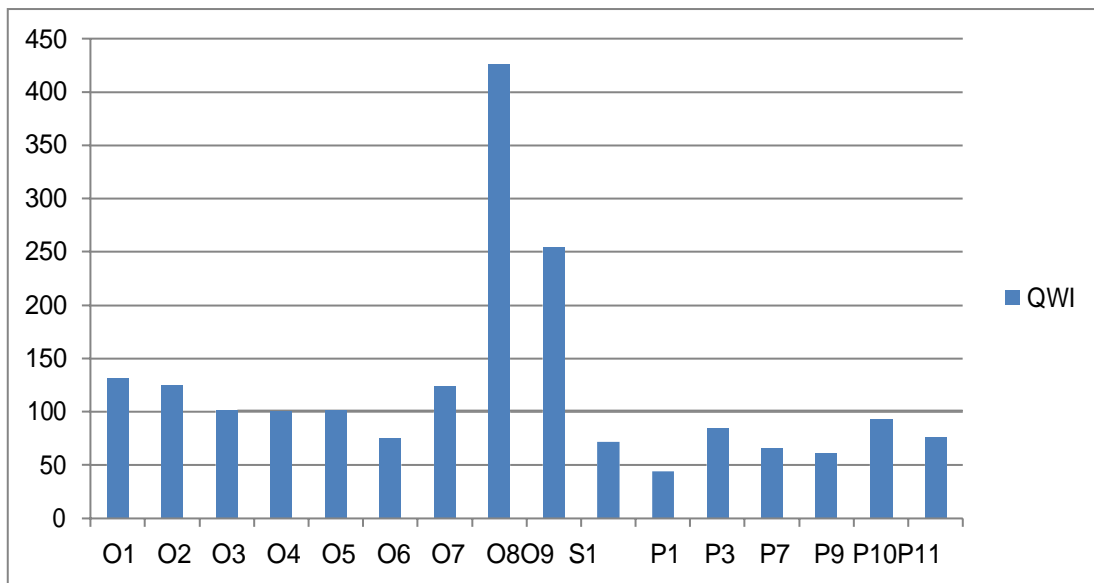
La classification de la qualité des eaux de l'oued Seybouse est basée sur les valeurs calculées de l'indice de qualité de l'eau, les valeurs de WQI sont présentées dans les figures 19 et 20.

Les valeurs de l'indice de la qualité de l'eau calculées varient entre 72,051 et 426,373 pour eaux surfaces ; et entre 44,490 et 93,048 pour les eaux souterraines. En outre, la classification de la qualité des eaux de la Seybouse est situé entre eau bonne à impropre à la consommation pour les deux types.

La figure 20 montre que les eaux de l’oued Seybouse sont caractérisées par une qualité très variable pour les eaux surfaces, nous observons une eau de bonne qualité au niveau des points O4, O6 et S1 et une eau pauvre à impropre pour les autres points.

Pour les eaux souterraines, nous observons deux classes de qualité de l'eau (Eau bonne) sont observées dans tous les échantillons d'eau sauf au niveau des points P1 qui présentent une eau de très bonne qualité. (Figure20).

La perturbation et la mauvaise qualité des eaux de l'oued Seybouse sont dues principalement aux apports des rejets domestiques et industriels ainsi que le lessivage des terres agricole au bord de l'oued.



**Figure 22.** L'évolution de l'indice de la pollution organique dans les eaux de l'oued Seybouse

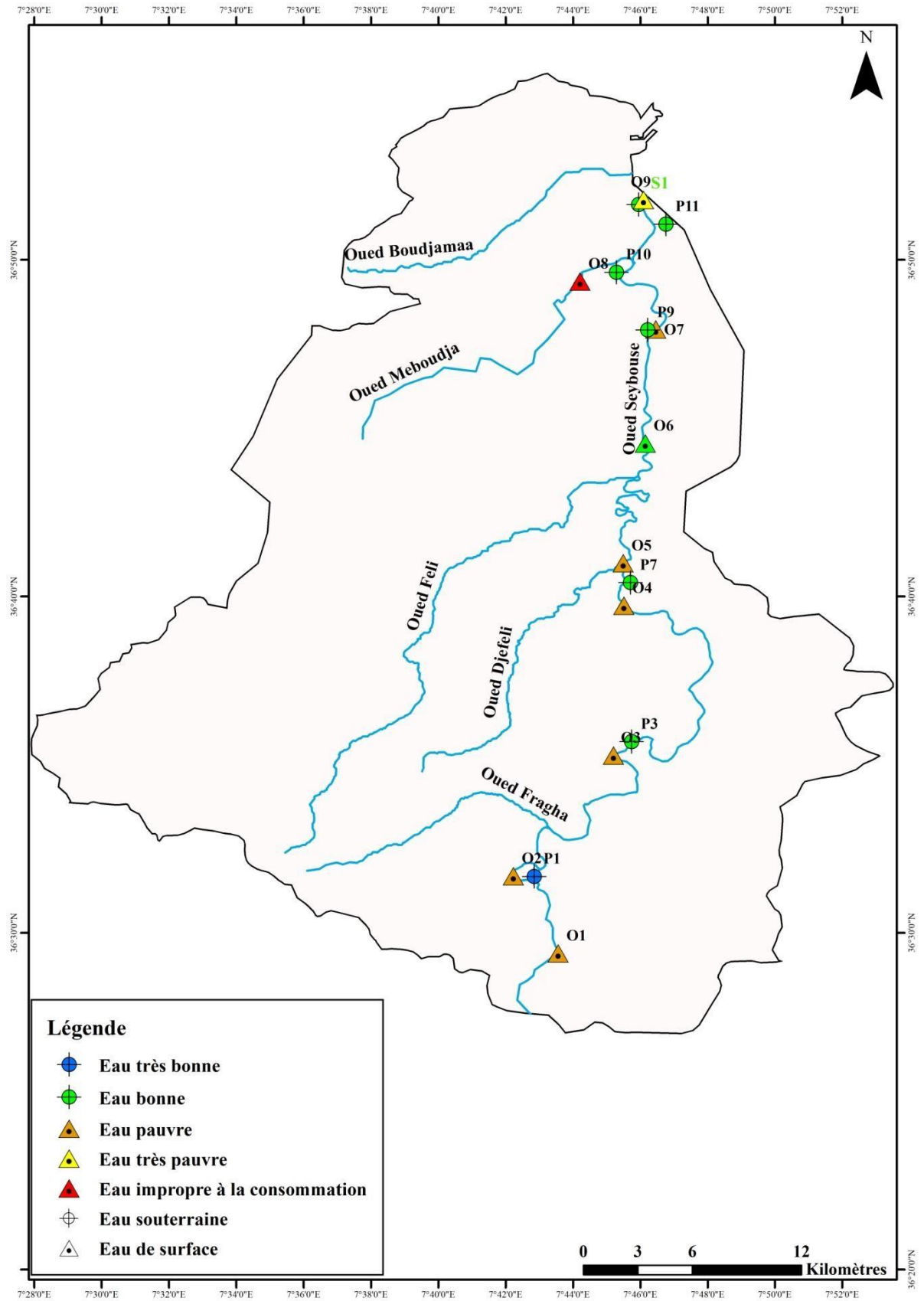


Figure 23. L'évolution de l'indice de la pollution organique dans les eaux de l'oued Seybouse

**Conclusion**

L'évaluation de la qualité des eaux de l'oued Seybouse a été effectuée par plusieurs indices de qualité (indice IPO et WQI). L'application de ces indices indique une situation presque identique au cours du temps, les résultats montrent que les degrés de pollution les plus élevés sont concentrés au niveau de l'agglomération El Hadjar et El Bouni par ailleurs les rejets urbains et industriels avec une qualité mauvaise à très mauvaise des eaux de l'oued.

La pollution est diminuée aux stations situées à côté des centres urbains de faible densité de population ou loin des rejets urbains. La qualité de l'eau de l'oued se dégrade à cause des eaux usées urbaines, de l'industrie et de l'activité agricole.

La représentation graphique des résultats des eaux de surfaces et souterraines du bassin versant de la Seybouse dans sa partie aval, nous montre que les concentrations élevées de chlore et les sulfates est due au lessivage des formations argileuse et gypseuse, alors que le calcium provient des eaux des bordures (calcaire travertins).



# *Conclusion générale*

L'importance de l'eau en tant que ressource indispensable et facteur de développement est universellement reconnue, la protection et la préservation de cette ressource contre la pollution nous conduit à évaluer et apprécier les paramètres qui influent sur la qualité des eaux superficielles et souterraines.

La présente étude s'est effectuée sur le grand bassin versant de l'oued Seybouse qui s'étend sur une superficie de 6471 km<sup>2</sup>. Il possède trois parties bien différentes : (1) les hautes plaines (Haute Seybouse), (2) le tell méridional (Moyenne Seybouse) et (3) le tell septentrional (Basse Seybouse). Nous avons étudié le bassin versant dans sa partie aval selon la disponibilité des données.

L'étude géomorphologique fait ressortir les grandes diversités lithologiques qui emporte des conséquences sur la stabilité du régime des eaux de surface et souterraines.

La géologie de la région d'étude fait partie de l'ensemble géologique du Tell algérien nord oriental. Elle est constituée essentiellement de deux formations géologiques qui affleurent le long de la région d'étude ; les formations mio-pliocène et quaternaires. Ces formations sont constituées essentiellement d'alluvions, graviers, limons, conglomérats, travertins perméables, présents sur l'ensemble du terrain et offre par conséquent un intérêt hydrogéologique, le trias gypsifère qui affleure au Sud de la région de Bouchegouf, qui est à l'origine de la contamination par les sels. Le couvert végétal est parfois dense parfois absent, il est souvent constitué par des plantes propres à la zone tel que le Guendoul, Rihane... parfois par des cultures. La connaissance de ces cultures est très importante pour l'étude de la pollution.

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 relativement élevées. La température moyenne annuelle est de 17,81 °C, elle est assez régulière, par contre, la moyenne annuelle des précipitations est de 659.48mm.

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'évaluation de la qualité des eaux de l'oued Seybouse a été effectuée par deux indices de qualité (indice IPO et WQI). L'application de ces indices indique une situation presque identique au cours du temps, les résultats montrent que les degrés de pollution les plus élevés sont concentrés au niveau de l'agglomération El Hadjar et El Bouni par ailleurs les rejets urbains et industriels avec une qualité mauvaise à très mauvaise des eaux de l'oued.

Une pollution agricole marquée par la forte concentration en nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) qui due à l'infiltration des eaux d'irrigation chargées par les engrais chimiques. 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 ( $\text{Cl}^-$ ).

# *Bibliographie*

- Agence de bassin hydrographique Constantinois -Seybouse- Mellegue, 2007,** " Cahiers de l'Agence du bassin de la Seybouse", actualisation, N7 Av.2002, 32 p.
- ANRH** (Agence Nationale des Ressources Hydriques)., (2012) : Grille de qualité des eaux de surface.
- Bahroun S., 2008,** Impact des eaux usées urbaines et industrielles sur les eaux naturelles dans la région d'El Tarf. Mémoire de magister, IST, Université d'Annaba,160p.
- Belhadj H., Kettani K., 2013,** "Evaluation de la qualité physico-chimique de l'oued Martil (Rif occidental, Maroc) " gestion et protection de l'environnement, Proceedings G-ENVIRON-5, Volume 3,31-38.
- Benmarce K., 2015,** "Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines dans la région de Guelma, Nord-Est Algérien", Thèse de doctorat en sciences, IST, Université de Badji Mokhtar Annaba, 156p.
- Blayac J., 1912,** «Esquisse géologique du bassin de la Seybouse et de quelques régions voisines", 480 p.
- Bordalo A., Teixeira R., Wiebe W., 2006,** "A Water Quality Index Applied to an International Shared River Basin: The Case of the Douro River", Environ Manage (2006) 38, 910–920.
- 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.
- 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, 199p.
- 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.
- Haied N., 2008,** " Impact des eaux de réalimentation sur la qualité des eaux souterraines de la nappe libre du massif dunaire de Bouteldja (NE Algérien) ", Mémoire de magister, IST, Université de Badji Mokhtar Annaba, 193p.
- 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.
- 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, 213p.

- 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.
- 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.
- 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.
- Laborde J.P., 2009,** "Eléments d'hydrologie de surface", cours. Université de Nice Sophia-Antipolis, édition 2009, 191p.
- Lahondère .J.C., 1987.** La série ultra tellienne d'Algérie nord orientale et les formations environnantes dans leur cadre structural, Th. Doct .Es sciences .Université Paul Sabatier, Toulouse. 1-242p.
- 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 dubassin versant du Saf-Saf,N.Ealgérien.Mémoire de magister, Université d'Annaba.118p.
- Ramakrishnaiah C. R., Sadashivaiah C., Ranganna G., 2009,** "Assessment of Water Quality Index for the Groundwater in Tumkur Taluk, Karnataka State, India", E- Journal of Chemistry, 6(2), 523-530.
- Saboua T., 2010.** ORIGINES DE LA POLLUTION HYDRIQUE ET ATMOSPHERIQUE DANS LA PLAINNE OUEST DE LA REGION D'ANNABA-, mémoire de magister, IST, Université d'Annaba, 107p.
- Şener Ş., Şener E., Davraz A., 2017,** "Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey)", Science of the Total Environment 584–585 (2017), 131–144.
- 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.