

REPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



جامعة باجي مختار عنابة



UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR –ANNABA  
BADJI MOKHTAR UNIVERSITY –ANNABA

Année 2022

Faculté des Sciences de la Terre  
Département de Géologie

Laboratoire Des Ressources en Eaux et Développement Durable

## THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat LMD  
Option : Hydrogéologie

# MODÉLISATION DE LA GESTION DES EAUX DANS LA RÉGION DE GUELMA (MOYENNE SEYBOUSE)

Présentée par :

M<sup>elle</sup> BOUDJEBIEUR Essia

Président	HANI Azzedine	Prof.	Université Badji Mokhtar-Annaba
Directeur de these	CHAFFAI Hicham	Prof.	Université Badji Mokhtar-Annaba
Co-Directeur de thèse	MAOUI Ammar	Prof.	Université 08 Mai 1945-Guelma
Examineur	DJABRI Larbi	Prof.	Université Badji Mokhtar-Annaba
Examineur	GHRIB Lassaad	Prof.	Université 08 Mai 1945-Guelma
Examineur	KHELFAOUI Hakim	MCA	Université 20 Août 1955 Skikda

Année 2021/2022

## ***REMERCIEMENTS***

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes remerciements et ma profonde gratitude, avant tout à Dieu le tout puissant qui m'a donné le courage et la force pour mener à bout ce modeste travail.

La première personne à qui je m'adresserai en premier c'est monsieur le professeur CHAFFAI Hicham, à qui je dois beaucoup. Sans son aide précieuse, et surtout ses conseils qui m'ont été d'un apport démesuré, ce travail n'aurait jamais pu être mené à bien. Il m'a fait l'honneur de diriger ce travail.

Je ne saurais exposer cette thèse sans exprimer toute ma reconnaissance au Professeur MAOUI Ammar qui a assuré le Co-encadrement de ce travail, pour ces nombreux conseils fructueux, sa disponibilité, sa rigueur et son expérience scientifique qui ont beaucoup contribué à l'aboutissement de ce travail.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements au professeur HANI Azzedine de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de cette thèse.

Je remercie également les membres de jury, Pr DJABRI Larbi, Pr GHRIEB Lassaad et Dr KHALFAOUI Hakim d'avoir accepté d'examiner, d'évaluer ce travail et de siéger au jury, qu'il me soit ainsi permis de leur exprimer si humblement les meilleurs formules de respect et mes vifs remerciements.

Je dois énormément remercier mon collègue ABDELHAFID MEKAOUI Ingénieur en hydrogéologie, qui m'a encouragé et aidé depuis le début jusqu'à la fin de ce travail.

Je remercie toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse et particulièrement Dr DAIFALLAH Tarek, Dr BOUGUERA Hamza et Dr TACHI Salah, je vous prie de trouver l'expression de ma profonde considération.

Je voudrai en fin rendre un hommage particulier à la patience de ma famille qui n'est guère fatiguées de prier pour moi, de me supporter, et de me soutenir.

## Dédicace

- Je dédie entièrement ce travail à ma mère, Source inépuisable de tendresse, mon pilier, mon exemple, mon premier supporteur et ma plus grande force. Merci pour votre présence, votre soutien et surtout votre amour, merci de n'avoir jamais douté de moi. J'espère ne jamais te décevoir, ni trahir ta confiance et tes sacrifices. Puisse Dieu tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et Bonheur.
- A la mémoire de mon défunt père, que dieu le tout puissant lui accorde sa grâce et sa miséricorde.
- À la personne la plus idéale qui fut dans ce monde je dédie ce travail, c'est vrai qu'elle n'est pas avec nous et elle m'a quitté sans goûté au bonheur et jouir de mon succès, mais elle reste toujours la plus présente, à l'âme de mon Cousin et mon professeur **MAHIA Mohamed**. Que dieu t'accueille dans son vaste paradis.
- A mes frères, sœurs ; A toute ma famille.
- À Docteur **BENZAICHE Farid**, qui depuis des années m'encourage, me comprend et a toujours été à mes côtés, mes remerciements ne pourront jamais égaler son grand cœur qui m'a apporté du soutien au moment où j'avais besoin d'aide, que dieu lui donne du bonheur, santé et réussite et atout le personnel de l'école privé **BENZAICHE Guelma**.
- A tous mes amis, mes collègues et connaissances.

## RESUME :

La situation hydrique dans le bassin de la moyenne Seybouse est alarmante, une croissance démographique rapide, l'expansion des secteurs agricoles et industriels, le changement climatique et la détérioration de la qualité de l'eau et leur impact sur la santé publique créent des pressions accrues sur les ressources en eau.

Le bassin de la moyenne Seybouse est une région montagneuse, au relief accidenté, d'une superficie de 820.30 km<sup>2</sup>. Soumis à un climat subhumide. Le principal réservoir d'eau superficielle est le barrage de Bouhamdane d'un volume régularisé de 55 hm<sup>3</sup>. Les principaux réservoirs souterrains se présentent dans les systèmes aquifères de la plaine de Guelma, la plaine de Bouchegouf, la nappe des calcaires du bassin Oued Helia et les karsts d'Héliopolis.

L'analyse des différentes utilisations de l'eau nous conduit à la nécessité d'établir une gestion intégrée des ressources en eau pour permettre une exploitation rationnelle. Une gestion durable des ressources en eau dépend fortement de l'évaluation des quantités et de la qualité des eaux qui sont destinées à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et à l'industrie.

Le programme WEAP21 a été utilisé pour modéliser les ressources en eau de notre bassin d'étude, en choisissant 2017 comme année de référence, qui est un scénario de base pour la « demande en eau » et nous avons retenu 03 scénarios, deux liés au changement climatique basés sur les prévisions climatiques pour les horizons 2020-2050 obtenus à partir du modèle UKHI du issu du Global Water Partnership pour l'Algérie et ce sur 2 niveaux (Haut et Bas) et un scénario sur l'extension des terres irriguées sur la période de 31 ans (2018-2050). Sur la base des scénarios simulés mis en œuvre par le modèle WEAP, une pénurie d'eau a été mise en évidence à partir de l'année 2017. Nous avons également modélisé la qualité des eaux de surface de la zone d'étude à l'aide de l'indice de qualité de l'eau IQE et de techniques d'intelligence artificielle utilisant l'algorithme des techniques d'apprentissage automatique (arbre de décision, AdaBoost), résultat de l'urbanisation croissante et de la grande pollution causée par les déchets déversés dans la vallée de l'Oued Zénati, qui est considéré comme le plus grand affluent de Bouhamdane. Quant à l'eau de l'Oued Seybouse, les résultats de l'indice de qualité de l'eau d'irrigation ont été présentés au niveau de 12 stations de qualité acceptable pour l'irrigation.

**Mots clés :** Gestion intégrée, Ressources en eau, Demande en eau, Modélisation, WEAP21, Scénario, IQE

## **ABSTRACT:**

The water situation in the middle Seybouse basin is alarming, rapid population growth, the expansion of agricultural and industrial sectors, climate change and degradation of water quality and their impact on public health are creating pressures accumulates on water resources.

The basin of the middle Seybouse is a mountainous region, with rugged terrain, covering an area of 820.30 km<sup>2</sup> (according to the ABH River Basin Agency). Submitted to a sub-humid climate. The main surface water reservoir is the Bouhamdane dam with a regulated volume of 55 hm<sup>3</sup>. The main underground reservoirs occur in the aquifer systems of the Guelma plain, the Bouchegouf plain, the limestone aquifer of the Oued Helia basin and the Heliopolis karsts.

The analysis of the different uses of water leads us to the need to establish an integrated management of water resources to allow rational exploitation. Sustainable management of water resources strongly depends on the assessment of the quantities and quality of water intended for drinking water supply, irrigation and industry.

The WEAP21 program was used to model the water resources of our study basin, by choosing 2017 as a reference year, which is a base scenario for “water demand” and we have adopted 03 scenarios, two related to climate change based on climate forecasts for the horizons 2020-2050 obtained from the UKHI model of the Public Partnership The water shortage for Algeria at two levels (lower and upper) as well as the scenario of the extension of the irrigated lands over a period of 31 years (2018-2050) based on the simulated scenarios implemented by the WEAP model, a water shortage has been shown starting from the year 2017. We also modeled the surface water quality of the study area using the IQE water quality index and artificial intelligence techniques using the algorithm of automatic learning techniques (decision tree, AdaBoost). This is a result of the increasing urbanization and the great pollution caused by urban waste dumped in the Wadi El-Zanati valley, which is considered the largest influx of Bouhamdan. As for the water of Wadi Seybouse, the results of the irrigation water quality index were shown at the level of 12 stations of acceptable quality for irrigation.

**Key Words:** Integrated management, Water resources, Water demand, Modelling, WEAP21, Scenario, IQE

إن الوضعية المائية الحالية لحوض سبيوس الأوسط تنذر بالخطر. النمو الديموغرافي، توسع و تطور القطاعين الفلاحي و الاصطناعي، التغيير المناخي و تدهور نوعية الماء و تأثيرها على الصحة العمومية كل هذه العوامل قد خلقت ضغوطا كبيرة على الموارد المائية.

يعد حوض سبيوس الأوسط منطقة جبلية ذات تضاريس وعرة مساحته تقدر بـ 820.30 كم<sup>2</sup> خاضع لمناخ شبه رطب. يعد سد بوحمدان الخزان الرئيسي للمياه السطحية بحجم منظم يقدر بـ 55 هم<sup>3</sup>، تتواجد به أهم الخزانات الجوفية في أنظمة طبقات جيولوجية مختلفة هي سهل قالمة، سهل بوشقوف، طبقة الحجر الجيري في حوض واد حلبة و الكارستية بهيليو بوليس.

إن تحليل مختلف استعمالات الماء تدفعا لإتباع سياسة تسيير متكاملة للموارد المائية من أجل استغلال رشيد لها. تتعلق عملية التسيير المستدام للموارد المائية بشكل كبير بعملية تقييم كميات ونوعية المياه الموجهة للتزويد بالماء الشروب، الزراعة و الصناعة.

وقد تم استعمال برنامج WEAP21 لنمذجة الموارد المائية لحوض دراستنا، وذلك باختيار 2017 كسنة مرجعية، التي تعد سيناريو قاعدي لـ «طلب الماء» واعتمدنا 03 سيناريوهات، اثنين يخصان التغيير المناخي استنادا على التوقعات المناخية لأفاق 2020-2050 المتحصل عليها من نموذج UKHI من الشراكة العامة للماء الخاصة بالجزائر على مستويين اثنين (سفلي و علوي) و كذا سيناريو امتداد الأراضي المسقية على مدى 31 سنة (2018-2050) انطلاقا من السيناريوهات المحاكاة المنجزة بنموذج WEAP فقد تبين نقص مائي ابتداء من سنة 2017. كما قمنا بنمذجة نوعية المياه السطحية لمنطقة الدراسة باستخدام مؤشر نوعية المياه IQE و تقنيات الذكاء الاصطناعي مستخدمين خوارزمية تقنيات التعلم الأوتوماتيكي (شجرة القرار، AdaBoost) نتائج النمذجة على مستوى سد بوحمدان بينت أن نوعية مياه السد في مدة 10 سنوات دراسة تتغير ما بين الجيدة الى السيئة و هذا ناتج عن التوسع الحضري المتزايد و التلوث الكبير الذي يسببه النفايات الحضرية الملقاة في وادي واد الزناتي الذي يعتبر اكبر رافد لبوهمدان. أما بالنسبة لمياه وادي سبيوس فقد اظهرت نتائج مؤشر نوعية مياه السقي المأخوذة على مستوى 12 محطة ذو نوعية مقبولة للسقي.

**كلمات البحث:** تسيير متكامل، موارد مائية، طلب على المياه، نموذج، WEAP، سيناريوهات، IQE

## TABLE DES MATIÈRES

<b>RÉSUMÉ :</b> .....	I
<b>ABSTRACT:</b> .....	II
<b>ملخص</b> .....	III
<b>LISTE DE FIGURE</b>	
<b>LISTE DE TABLEAU</b>	
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b>	
<b>INTRODUCTION GÉNÉRALE</b> .....	1
<b>CHAPITRE I CADRE GÉNÉRAL DE LA ZONE D'ÉTUDE</b>	
<b>I. 1 SITUATION GÉOGRAPHIQUE ET ORGANISATION ADMINISTRATIVE</b> .....	5
I.1.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE .....	5
I.1.2. L'ORGANISATION ADMINISTRATIVE .....	6
I.1.3. APERÇU SOCIO-ÉCONOMIQUE .....	7
<b>I.2. CARACTÉRISTIQUES PHYSIOGRAPHIQUES</b> .....	8
I.2.1 CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES .....	8
I.2.1.1 SUPERFICIE ET PÉRIMÈTRE DU BASSIN DE LA MOYENNE SEYBOUSE.....	8
I.2.1.2 CARACTÉRISTIQUES DE FORME .....	8
I.2.1.3 INDICE DE COMPACTITÉ DE GRAVELIUS .....	8
I.2.2 TOPOGRAPHIE.....	9
I.2.2.1. COURBE ET CARTE HYSOMÉTRIQUE .....	9
I.2.2.2. CARTE DES PENTES .....	12
I.2.2.3. RECTANGLE ÉQUIVALENT .....	14
I.2.3 INDICES DE PENTE.....	15
I.2.3.1. INDICE DE PENTE DE ROCHE .....	16
I.2.3.2. INDICE DE PENTE CLASSIQUE OU INDICE DE PENTE MOYENNE (%) .....	16
I.2.3.3. INDICE DE PENTE GLOBAL .....	17
I.2.3.4. DÉNIVELÉE SPÉCIFIQUE.....	18
<b>I.3 LES CARACTÉRISTIQUES DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE</b> .....	19
I.3.1 LA HIÉRARCHISATION DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE.....	19
I.3.2. LA DENSITÉ DE DRAINAGE ET LA DENSITÉ HYDROGRAPHIQUE.....	21
I.3.3. LE COEFFICIENT DE TORRENTIALITÉ .....	22
I.3.4. LE TEMPS DE CONCENTRATION .....	22
I.3.5. LE RAPPORT DE CONFLUENCE.....	22
<b>I.4 LE COUVERT VÉGÉTAL</b> .....	23

I.4.1 LE DOMAINE AGRICOLE .....	24
I.4.2. LE PÉRIMÈTRE D'IRRIGATION .....	24
I.4.3. LES GRANDES CULTURES .....	24
<b>I.5 RÉCAPITULATION DES CARACTÉRISTIQUES DU BASSIN VERSANT DE LA MOYENNE SEYBOUSE.....</b>	<b>25</b>
<b>I.6 LA GÉOLOGIE LOCALE.....</b>	<b>26</b>
I.6.1. NAPPES ALLUVIONNAIRE DE GUELMA .....	27
1.6.2. GÉOLOGIE ET STRATIGRAPHIE .....	28
1.6.2.1. LE PRIMAIRE.....	28
1.6.2.2. LE TRIAS .....	28
1.6.2.3. LE NÉRITIQUE.....	28
1.6.2.4. L'UNITÉ TELLIEUNE.....	29
1.6.2.5. L'UNITÉ ULTRA – TELLIEUNE.....	29
1.6.2.6. LE NUMIDIEN.....	29
1.6.2.8. LE QUATERNAIRE .....	30
<b>1.7. LA TECTONIQUE .....</b>	<b>31</b>
<b>1.8. CONCLUSION.....</b>	<b>32</b>

## **CHAPITRE II HYDROCLIMATOLOGIE**

<b>II.1 INTRODUCTION.....</b>	<b>34</b>
<b>II.2 ANALYSE DES PARAMÈTRES CLIMATIQUES.....</b>	<b>34</b>
II.2.1 LA PLUVIOMÉTRIE .....	35
II.2.2 COEFFICIENT PLUVIOMÉTRIQUE .....	35
II.2.3 RÉPARTITION SAISONNIÈRE DES PRÉCIPITATIONS .....	37
II.2.4 RÉPARTITION MOYENNES MENSUELLES DES PRÉCIPITATIONS .....	38
II.2.5 RÉPARTITION MOYENNES ANNUELLES DES PLUIES .....	39
II.2.6 ÉVOLUTION DES TEMPÉRATURES .....	41
II.2.7 RÉPARTITION DES TEMPÉRATURES MOYENNES MENSUELLES INTERANNUELLES .....	41
II.2.8 RÉPARTITION DES TEMPÉRATURES MOYENNES ANNUELLES (1988-2020)	42
<b>II.3 INDICES CLIMATIQUES .....</b>	<b>43</b>
II.3.1 CALCUL DE L'INDICE D'ARIDITÉ DE MARTONNE (1923).....	43
II.3.2 DIAGRAMME PLUVIO-THERMIQUE DE GAUSSEN.....	44
II.3.3 CLIMAGRAMME D'EMBERGER .....	45
<b>II.4 NOTION DU BILAN D'EAU.....</b>	<b>47</b>

II.4.1	ÉTUDE DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION .....	47
II.4.1.1	ESTIMATION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION RÉELLE (ETR) .....	47
II.4.1.2	ESTIMATION DE L'ÉVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE (ETP).....	50
II.4.2	INTERPRÉTATION DES GRAPHIQUES DU BILAN HYDRIQUE .....	52
II.4.3	ESTIMATION DE LA LAME D'EAU ÉCOULÉE.....	52
II.4.4	INFILTRATION EFFICACE .....	53
<b>II.5</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>54</b>
<b>CHAPITRE III</b>	<b>.....</b>	<b>55</b>
<b>HYDROCHIMIE</b>	<b>.....</b>	<b>55</b>
<b>III.1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>56</b>
<b>III.2</b>	<b>PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET IDENTIFICATION DES FACIES</b>	<b>56</b>
III.2.1	ÉCHANTILLONNAGE .....	56
III.2.2	LES PARAMÈTRES PHYSIQUES .....	57
III.2.2.1	LA TEMPÉRATURE .....	57
III.2.2.2	LE POTENTIEL D'HYDROGÈNE .....	58
III.2.2.3	LA CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE .....	59
III.2.3	LES PARAMÈTRES CHIMIQUES .....	60
III.2.3.1	LES CATIONS .....	60
III.2.3.2	LES ANIONS.....	63
III.2.4	REPRÉSENTATIONS GRAPHIQUES ET IDENTIFICATION DES PRINCIPAUX FACIÈS .....	66
III.2.5	CARTOGRAPHIE HYDROCHIMIQUE.....	69
<b>III.3</b>	<b>QUALITÉ DES EAUX DE SURFACE DE LA MOYENNE SEYBOUSE.....</b>	<b>69</b>
III.3.1	L'IRRIGATION À PARTIR DES EAUX DE SURFACE.....	69
III.3.1.1	LES FACTEURS DÉTERMINANT L'USAGE AGRICOLE DE L'EAU .....	70
III.3.1.1.1	LE RAPPORT D'ADSORPTION DU SODIUM (SAR) .....	70
III.3.1.1.2	POURCENTAGE DE SODIUM (NA %).....	71
III.3.1.1.3	L'ALCALINITÉ RÉSIDUELLE (RSC).....	72
III.3.1.1.4	INDICE DE PERMÉABILITÉ (IP).....	73
III.3.1.2	CALCULS DES PARAMÈTRES.....	74
III.3.1.3	APTITUDE DES EAUX À L'IRRIGATION .....	75
III.3.1.4	CLASSIFICATION DES EAUX PAR LA MÉTHODE DE RICHARDS (RIVERSIDE) .....	75
III.3.1.5	CLASSIFICATION DES EAUX PAR LA MÉTHODE DE WILCOX.....	77

<b>III.4 INDICES DE LA QUALITÉ DE L'EAU</b> .....	78
III.4.1 HISTORIQUE DES INDICES DE LA QUALITÉ DE L'EAU .....	79
III.4.2 L'INDICE DE QUALITÉ DE L'EAU ARITHMÉTIQUE PONDÉRÉE .....	80
III.4.2.1 COLLECTE DES DONNÉES .....	80
III.4.2.2 MÉTHODOLOGIE .....	81
III.4.2.3 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS .....	84
III.4.3 L'INDICE DE QUALITÉ DE L'EAU D'IRRIGATION (IQEI) .....	87
III.4.3.1 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS OBTENUS .....	90
<b>III.5 ESSAI DE MODÉLISATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU DU BARRAGE DE BOUHAMDANE PAR L'UTILISATION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE</b> ..	91
III.5.1 APERÇU DES TECHNIQUES D'APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE .....	91
III.5.2 APPLICATION SUR LA QUALITÉ DES EAUX DU BARRAGE BOUHAMDANE .....	93
III.5.2.1 DÉVELOPPEMENT DE MODÈLES .....	93
III.5.2.2 SÉLECTION DES ENTRÉES .....	94
III.5.2.3 SÉLECTION DE L'ÉVALUATION DU MODÈLE .....	94
III.5.2.4 CLASSIFICATION DE PERFORMANCE .....	96
III.5.2.5 DISCUSSION .....	96
<b>III.6 CONCLUSION</b> .....	98

## **CHAPITRE IV RESSOURCES EN EAU**

<b>IV.1 INTRODUCTION</b> .....	100
<b>IV.2 DIAGNOSTIQUE QUANTITATIF DE LA RESSOURCE EN EAU DANS LE BASSIN VERSANT DE LA MOYENNE SEYBOUSE</b> .....	100
IV.2.1 LES EAUX CONVENTIONNELLES .....	100
IV.2.1.1 EAUX SOUTERRAINES .....	100
IV.2.1.1.1 LES FORAGES .....	100
IV.2.1.1.2 LES SOURCES .....	104
IV.2.1.1.3 LES PUIITS .....	105
IV.2.1.2. LES EAUX SUPERFICIELLES .....	106
IV.2.1.2.1. L'APPORT DE L'OUED SEYBOUSE .....	106
IV.2.1.2.2. LES OUVRAGES DE STOCKAGE DES EAUX SUPERFICIELLES .....	106
IV.2.2. LES EAUX NON CONVENTIONNELLES .....	111
IV.2.2.1. LA STATION D'ÉPURATION .....	111
<b>IV.3. DYNAMIQUE DÉMOGRAPHIQUE</b> .....	113

IV.3.1. LES DYNAMIQUES DÉMOGRAPHIQUES .....	114
IV.3.2. LES BESOIN EN EAUX POUR AEP .....	118
IV.3.3. LES USAGERS AGRICOLES .....	120
IV.3.4. BILAN D'IRRIGATION 2017 .....	120
IV.3.5. L'INDUSTRIE .....	121
<b>IV.4. CONCLUSION .....</b>	<b>123</b>

## **CHAPITRE V GESTION DES RESSOURCES EN EAU**

<b>V.1 INTRODUCTION .....</b>	<b>125</b>
<b>V.2. ACQUISITION DU LOGICIEL.....</b>	<b>125</b>
<b>V.3. HISTORIQUE .....</b>	<b>127</b>
<b>V.4. STRUCTURE DU MODÈLE.....</b>	<b>127</b>
V.4.1 CARTOGRAPHIE .....	127
V.4.2 DONNÉES .....	127
V.4.3 RÉSULTATS .....	127
V.4.4. SCHÉMA SYNOPTIQUE .....	128
V.4.5. NOTES .....	128
<b>V.5. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT .....</b>	<b>128</b>
V.5.1. CRÉATION D'UN NOUVEAU PROJET D'ÉTUDE .....	129
V.5.2. DÉFINITION DES PARAMÈTRES GÉNÉRAUX .....	129
V.5.3. CRÉATION DES HYPOTHÈSES CLÉS .....	129
V.5.4. INTRODUCTION DES ÉLÉMENTS DANS LA CARTOGRAPHIE .....	129
V.5.5. ENTRÉE OU SAISIE DES DONNÉES DE CHAQUE ÉLÉMENT .....	130
V.5.6. EXÉCUTION DU MODÈLE ET AFFICHAGE DES RÉSULTATS .....	130
<b>V.6. APPLICATION DU MODÈLE « WEAP21 » AU BASSIN VERSANT DE LA MOYENNE SEYBOUSE.....</b>	<b>131</b>
<b>V.6.1. PHASES SCHÉMATIQUES.....</b>	<b>131</b>
V.6.1.1. SITES DE RESSOURCES D'EAU .....	131
V.6.1.2. SITES DE DEMANDE .....	131
V.6.1.3. LIENS DE TRANSMISSION .....	131
V.6.1.4. LIENS DE RETOUR .....	131
V.6.1.5 COMPTE ACTUEL «CURRENT ACCOUNT» .....	132
V.6.1.6. NIVEAU D'ACTIVITÉ ANNUELLE.....	132
V.6.1.7 DEMANDE EN EAU POUR L'IRRIGATION .....	133
V.6.1.8 DEMANDES EN EAU POUR L'INDUSTRIE.....	134

V.6.1.9. DISTRIBUTION DES RESSOURCES .....	135
<b>V.6.2. SIMULATION DES RESSOURCES EN EAU .....</b>	<b>135</b>
<b>V.6.3. DONNÉES NÉCESSAIRES POUR LA MÉTHODE DE L'HUMIDITÉ DU SOL</b> .....	<b>136</b>
V.6.3.1. OCCUPATION DU SOL.....	136
V.6.3.2 CLIMAT.....	137
V.6.3.3 RESSOURCES EN EAU DE SURFACE DÉBIT DES COURS D'EAU.....	138
V.6.3.4 RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE .....	139
<b>V.6.4 CRÉATION DES HYPOTHÈSES CLÉS .....</b>	<b>140</b>
<b>V.6.5 CHANGEMENT D'HORIZON DE TEMPS DU SECTEUR.....</b>	<b>140</b>
<b>V.6.6 CALIBRATION DU MODEL .....</b>	<b>141</b>
<b>V.6.7 CRÉATION DES SCÉNARIOS .....</b>	<b>142</b>
V.6.7.1. SCENARIO DE « RÉFÉRENCE ».....	142
V.6.7.2. SCENARIO DE CHANGEMENT CLIMATIQUE (SCC) .....	143
V.6.7.3 SCENARIO D'EXTENSION DE TERRES IRRIGUÉES (SETI).....	143
<b>V.6.8. RÉSULTATS .....</b>	<b>144</b>
V.6.8.1. RESSOURCES EN EAU .....	144
V.6.8.1.1.EVOLUTION DE NOMBRE D'HABITANTS POUR SCÉNARIOS TENDANCIELS (3 SCÉNARIOS) .....	144
V.6.8.1.2.ÉVOLUTION DES SUPERFICIES DE TERRES IRRIGUÉES (3 SCÉNARIOS) .....	144
V.6.8.1.3ÉVOLUTION DES DEMANDES EN EAU (SUPPLY REQUIREMENT) .....	145
V.6.8.1.4EVOLUTION DES BESOINS TOTAUX EN EAU (WATER DEMAND) PAR SCÉNARIO.....	146
V.6.8.2EAU DISTRIBUÉE .....	146
V.6.8.3.DEMANDES EN EAU NON SATISFAITES PAR SCÉNARIO .....	147
<b>V.7 CONCLUSION.....</b>	<b>148</b>
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE .....</b>	<b>149</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>151</b>

## LISTE DE FIGURE

Figure 1: Carte de Situation Géographique du bassin versant de la moyenne Seybouse (Boudjebieur, 2022) .....	5
Figure 2: Le découpage administratif des communes à l'intérieur du Bassin Versant de la moyenne Seybouse (Boudjebieur,2022) .....	7
Figure 3: Carte hypsométrique du bassin versant de la moyenne Seybouse.....	10
Figure 4: Courbe hypsométrique du bassin versant de la moyenne Seybouse.....	11
Figure 5: Carte des pentes du bassin versant de la moyenne Seybouse (Boudjebieur, 2022) .	13
Figure 6: Rectangle équivalent avec le pourcentage des tranches d'altitudes du bassin versant de la moyenne Seybouse .....	15
Figure 7: Carte du réseau hydrographique du bassin versant de la moyenne Seybouse (Boudjebieur, 2022) .....	20
Figure 8: Carte de couverture végétale du bassin de la moyenne Seybouse Guelma (Boudjebieur.E. 2022) .....	25
Figure 9: Carte géologique du bassin versant de la moyenne Seybouse.....	31
Figure 10: Localisation du poste pluviométrique de référence .....	35
Figure 11 : Carte des précipitations annuelles du Nord-Est de l'Algérie – ANRH 2005 - .....	36
Figure 12: Variation annuelle des précipitations a la station de Guelma (1988-2020).....	37
Figure 13: Pourcentage saisonniers des précipitations pour la période de1988 à 2020.....	38
Figure 14: Répartition des précipitations moyennes mensuelles interannuelles à la station de Guelma (1988-2020) .....	39
Figure 15: Précipitations moyennes annuelles à la station de Guelma (1988-2020) .....	40
Figure 16: Répartition moyenne mensuelle interannuelle de la température à la station de Guelma (1988-2020) .....	42
Figure 17: Variation de températures annuelles à la station de Guelma (1988-2020).....	43
Figure 18 : Abaque de l'Indice d'aridité Annuel de DE Martone, 1923.....	44
Figure 19: Diagramme Pluvio-thermique de GAUSSEN de la région de Guelma (1988-2020) .....	45
Figure 20: Position de la station de l'ONM: de Guelma sur le Climagramme d'EMBERGER	46
Figure 21: Représentation graphique du bilan de Thornthwaite Station de Guelma .....	51
Figure 22: représentation des paramètres du bilan hydrique sur la vue 3D du Bassin Versant de la moyenne Seybouse .....	54

Figure 23: Carte des points d'eau prélevés dans le bassin versant de la moyenne Seybouse-	57
Figure 24: Carte de répartition des températures - bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-	58
Figure 25: Carte de répartition du pH. - Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-	59
Figure 26: Carte de répartition de la conductivité.- Bassin versant de la moyenne Seybouse-	60
Figure 27: Carte de répartition des concentrations en $\text{Ca}^{++}$ . - Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-	61
Figure 28: Carte de répartition des concentrations en $\text{Mg}^{++}$ . -Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-	62
Figure 29: Carte de répartition des concentrations en $\text{Na}^{++}$ . - Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-	63
Figure 30: Carte de répartition des concentrations en $\text{Cl}^-$ . - Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-	64
Figure 31: Carte de répartition des concentrations en $\text{SO}_4^{--}$ . -Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-	65
Figure 32: Carte de répartition des concentrations en $\text{HCO}_3^-$ . - Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-	66
Figure 33: Représentation des analyses chimiques des eaux de forages selon le diagramme de Stiff. -Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-	68
Figure 34: Représentation cartographique des faciès chimiques des eaux de forages. -Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc 2018)-	69
Figure 35: Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation de l'Oued Seybouse.....	71
Figure 36: Le risque dû au RSC dans l'eau d'irrigation de l'Oued Seybouse .....	73
Figure 37 : Indice de perméabilité (IP) pour l'eau d'irrigation de l'Oued Seybouse.....	74
Figure 38: Classification des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Richards).....	76
Figure 39: Classifications des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Wilcox).....	78
Figure 40: Variation des précipitations en fonction des résultats de l'IQE .....	87
Figure 41:Classes de l'indice de la qualité de l'eau d'irrigation dans les 12 stations.....	91
Figure 42: Cuvette du Barrage Bouhamdane 2012 Eutrophisation.....	98
Figure 43: Carte de la répartition des forages dans la moyenne Seybouse .....	104
Figure 44: Capacité des ressources hydrique exploitées dans le bassin versant de la moyenne Seybouse.....	106
Figure 45 : Evacuateur de crue et digue du barrage de Bouhamdane .....	107

Figure 46: Evolution annuelle du taux de remplissage du barrage de Bouhamdane en % (1991/92 - 2018/19).....	108
Figure 47: Les volumes annuels produits du barrage Bouhamdane pour l'AEP et l'irrigation .....	110
Figure 48: Situation géographique de STEP de Guelma.....	112
Figure 49: Evolution mensuelle des volumes d'eaux brutes et épurées à la STEP de Guelma (2018) .....	113
Figure 50: Taux D'accroissement, Wilaya De Guelma Dans sa Région (PAW 2012).....	115
Figure 51: densité de population par commune dans le bassin versant de la moyenne Seybouse .....	116
Figure 52: La distribution de l'eau potable dans les communes du BV-MS(Boudjebieur.E)	119
Figure 53: Demande de la licence du logiciel WEAP.....	126
Figure 54: Fenêtre montrant les cinq affichages possibles du modèle.....	128
Figure 55: Fenêtre d'affichage des résultats du modèle.....	130
Figure 56: Schématisation des sites de demandes et des ressources en eau sur WEAP .....	132
Figure 57: Population de chaque site de demande (niveau d'activité annuelle par personne). Compte d'état actuel, 2017.....	133
Figure 58: Surface agricole de chaque site de demande (niveau d'activité annuelle par Ha). Compte d'état actuel, 2017.....	134
Figure 59: Répartition de la demande en eau industrielle par unité de production.....	134
Figure 60: Diagramme conceptuel et équations incorporées dans le modèle d'humidité du sol .....	136
Figure 61: Schéma conceptuel du barrage Bouhamdane (BOUDJEBIEUR, 2022) .....	139
Figure 62: Horizon de calcul pour le scénario .....	140
Figure 63: Débit observé / débit simulé .....	141
Figure 64: Scénario de référence.....	142
Figure 65 : Evolution de nombre d'habitant pour tous les scénarios.....	144
Figure 66: Evolution des superficies irriguées dans le bassin versant pour tous scénarios ...	145
Figure 67: Evolution de demandes totales en eau par scénario (2017-2050).....	145
Figure 68: Evolution des besoins totaux en eau (Water demand) par scénario .....	146
Figure 69 : Volume en eau distribué pour tous les usagers par scénario (2017-2050) .....	147
Figure 70 : Volume de demande en eau non satisfaite par scénario .....	147

## LISTE DE TABLEAU

Tableau 1: Données des superficies des communes dans le Bassin Versant de la moyenne Seybouse (DPAT) .....	6
Tableau 2: Superficie et périmètre du bassin de la moyenne Seybouse.....	8
Tableau 3: Répartition par tranches d'altitudes de la superficie du bassin versant de la moyenne Seybouse .....	10
Tableau 4: Classes des pentes dans le bassin versant de la moyenne Seybouse .....	13
Tableau 5: indice de compacité et longueur du rectangle équivalent .....	15
Tableau 6: Classes d'altitudes, surfaces partielles et dénivellation du bassin versant de la moyenne Seybouse.....	16
Tableau 7: Classification du relief selon Ig par l'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre-Mer) .....	17
Tableau 8: Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M.....	18
Tableau 9: Hiérarchisation du réseau hydrographique du secteur d'étude .....	20
Tableau 10: Rapport de confluence du bassin versant de la moyenne Seybouse .....	23
Tableau 11: Répartition des types de végétation par classes de superficie .....	24
Tableau 12: Caractéristiques physiographiques (physiques) du bassin versant de la moyenne Seybouse.....	25
Tableau 13: Caractéristiques géographiques de la station pluviométrique de Guelma.....	34
Tableau 14: Evolution du coefficient pluviométrique (1988/2020).....	36
Tableau 15: Répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station de Guelma .....	38
Tableau 16: Les précipitations moyennes annuelles à la station de Guelma (1988-2020) .....	39
Tableau 17: Moyennes mensuelles interannuelle de la température à la station de Guelma (1988-2020).....	41
Tableau 18: Moyenne annuelle des températures à la station de Guelma (1988-2020) .....	42
Tableau 19: Indice annuel d'aridité (A) .....	44
Tableau 20: Paramètres climatique déterminant l'indice d'EMBERGER.....	46
Tableau 21: L'ETR annuelle selon la méthode de Turc.....	48
Tableau 22: L'ETR selon la méthode de Coutagne .....	48
Tableau 23: Résultats du calcul de l'ETR selon Turc, Coutagne et Thornthwaite .....	49
Tableau 24: Bilan Hydrique de Thornthwaite de la station de Guelma (1988-2020) .....	51
Tableau 25 : Ruissellement selon la formule de Tixiront-Berkaloff.....	53
Tableau 26: Les valeurs de l'infiltration efficace .....	53
Tableau 27: Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation.....	70

Tableau 28: Niveaux du risque dû au carbonate de sodium résiduel .....	72
Tableau 29: Classification de la qualité des eaux de surfaces en fonction de son aptitude à l'irrigation .....	74
Tableau 30: Paramètres de qualité de l'eau, ses unités et limites admissibles .....	80
Tableau 31: Evolution de la qualité de l'eau selon L'indice de qualité de l'eau arithmétique pondérée .....	82
Tableau 32: Exemple de calcul de l'indice de qualité de l'eau .....	82
Tableau 33: Valeurs limites pour la mesure de la qualité (qi ) (AYERS et WESTCOT, 1999) .....	87
Tableau 34 : Poids des paramètres de l'indice de la qualité de l'eau d'irrigation.....	88
Tableau 35: Caractéristiques des classes de l'indice de la qualité de l'eau d'irrigation .....	89
Tableau 36: Combinaisons d'entrée des paramètres physico-chimiques basées sur l'analyse de sensibilité.....	94
Tableau 37: Exemple de matrice de confusion pour n = 2. Source : VISA et al., (2011).....	95
Tableau 38: Classification de la performance avec les valeurs de AUC Source : (Sajedi-Hosseini, et al., 2018).....	96
Tableau 39: Résultats obtenus par les deux modèles utilisés (DT&ADA) des différentes combinaisons.....	96
Tableau 40 : Forages de la nappe alluvionnaire de Guelma (DRE 2018).....	101
Tableau 41: Forages dans l'aquifère des calcaires néritiques de Hammam Bredaa(DRE 2018) .....	102
Tableau 42: Forages au niveau de la nappe calcaire du bassin de l'Oued Helia (DRE 2018)	103
Tableau 43: Débits exploitables par l'AEP, l'irrigation et l'industrie (DRE 2018).....	104
Tableau 44: Liste des Sources exploitées dans la moyenne Seybouse (DRE Guelma 2018)	105
Tableau 45: Statistique des puits existants dans le bassin versant de la Seybouse (DRE 2018) .....	105
Tableau 46: Volumes alloués à l'AEP et irrigation par le barrage de BOUHAMDANE .....	109
Tableau 47: Retenues collinaires dans le bassin de la moyenne Seybouse (DRE) .....	111
Tableau 48: Volume des eaux épurées STEP Guelma 2017 .....	112
Tableau 49: Taux D'accroissement : La Wilaya De Guelma Dans sa Région (Source : Les 03 RGPH1987, 1998,2008).....	114
Tableau 50: Évolution de la population par commune .....	115
Tableau 51: Rapport entre besoin et distribution en eau potable (DRE 2018) .....	118
Tableau 52 : Les cinq secteurs du périmètre irrigué .....	120

Tableau 53: Besoins en eau industrielle dans le bassin versant de la moyenne Seybouse ....	121
Tableau 54: Caractéristiques des sous-bassins introduits pour le modèle .....	136
Tableau 55: Caractéristiques des nappes d'eau souterraines .....	139
Tableau 56: Résultats du projet national ALG / 98 / G31 pour les quatre saisons .....	143

## LISTE DES ABREVIATIONS

**ABH**: Agence de Bassin Hydrographique

**ADE**: Algérienne Des Eaux

**ADA** : AdaBoost

**ACP** : Analyse des composantes principales

**AEA** : Alimentation en Eau d'Agriculture.

**AEI** : Alimentation en Eau d'Industrielle.

**AEP** : Alimentation en Eau Potable.

**ANRH** : Agence Nationale des Ressources Hydriques

**ANBT** : Agence Nationale des Barrages et des transferts

**DREW** : Direction des ressources en eau de la Wilaya

**DSA** : Direction des Services Agricoles.

**DT** : Arbre de décision

**ETP** : l'évapotranspiration potentielle

**ETR** ; l'évapotranspiration réelle

**GIEC** :Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

**GPI** : Grands Périmètres Irrigués

**GIRE** : Gestion Intégrée de la Ressource en Eau.

**ML** : Machine Learning

**ONA** : Office National d'Assainissement.

**ONID** : Office national d'irrigation et de drainage

**ONM** : Office National Météorologique.

**PMH** : Petite et Moyen Hydraulique.

**PNE** : Plan National de l'Eau

**RC** : Retenue Collinaire

**REUE** : Réutilisation des eaux usées épurées

**SAU** : Superficie Agricole Utile

**SAUT** : Superficie Agricole Utile Totale

**SAT** : Superficie Agricole Totale

**SAU** : Surface Agricole Utile.

**SEI**: Stockholm Environment Institute

**STEP**: Station d'Épuration.

**UKHI**: United Kingdom Meteorological Office High Resolution

**WEAP**: Water Evaluation And Planning

## INTRODUCTION GENERALE

En Algérie, la multiplication des besoins en eau liée principalement à l'expansion démographique, l'exploitation irrationnelle des ressources, le développement des activités économiques et agricoles, a considérablement augmenté la demande en eau. (Kiniouar et al. 2017, Hamlat et al. 2013, Kahlerras et al. 2018).

Les modèles sont parmi les dispositifs les plus utiles dans la gestion de l'approvisionnement en eau, et en particulier les outils de modélisation multi-objectifs qui impliquent les parties prenantes et facilitent la prise de décision. Ils peuvent être utilisés pour collecter des données et améliorer le processus de planification et de gestion des systèmes d'approvisionnement en eau (Sulis et Sechi, 2013, Shahraki, et al. 2016, Lévite et al. 2003, Saadoun et al, 2014), combinant des paramètres physiques et socio-économiques. Dans le modèle WEAP (Water Evaluation and Planning System) (Stockholm Environment Institute 2005), la programmation linéaire standard est utilisée pour les problèmes d'allocation de l'eau.

En utilisant WEAP, un planificateur de l'eau peut analyser une gamme complète de problèmes liés à l'eau grâce à une approche basée sur des scénarios. Les scénarios pourraient inclure la variabilité et les changements climatiques, l'état et les changements des bassins versants, les demandes anticipées, les besoins des écosystèmes, l'environnement réglementaire, les objectifs opérationnels et les infrastructures disponibles (Yates et al. 2005, Husain et Rhyne, 2021). Le logiciel, développé par le Stockholm Environment Institute, a montré ses performances dans de nombreux cas en termes de simulation pour le choix des scénarios d'aménagement et de gestion de la ressource en eau à moyen et long terme et la prise de décision qui s'impose (SEI 2008).

Ce modèle est un système d'aide à la décision (DSS) et fournit une analyse complète de l'offre et de la demande en eau à l'heure actuelle et une estimation du processus à l'avenir

(Yazdanpanah, et al, 2008 Höllermann et al, 2010). Ce logiciel est utilisé lorsqu'il existe une demande polyvalente et concurrentielle et permet l'analyse de différents modèles de gestion (Seiber, et al, 2005 Husain et Rhyme 2021, Xue et al, 2015). L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'impact de la demande supplémentaire en eau dans la région de Guelma, appartenant à la Moyenne Seybouse, en utilisant le système d'évaluation et de planification de l'eau (WEAP).

La zone d'étude fait partie de l'un des plus importants bassins hydrographiques de l'Algérie, le sous bassin versant de la moyenne Seybouse « Guelma », qui représente un réservoir naturel remarquable d'eaux superficielles et souterraines par son apport moyen annuel important. La wilaya de Guelma est une wilaya à vocation agricole a connu des extensions des superficies irriguées, un accroissement démographique et industriel intense face à une gestion de ressources en eau insuffisante, et limitée.

Pour pouvoir approcher cette problématique et apporter quelques éléments de réponse aux questions posées, nous présentons les chapitres qui ont été abordés, dans cette thèse :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation du site et la description des Caractéristiques géomorphologiques, les caractéristiques morpho métriques du bassin versant ainsi que le réseau hydrographique et géologique de la région.
- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude climatologique, cette étude a pour objectif de mieux connaître l'évolution des caractéristiques climatiques dans le temps et dans L'espace de la zone d'étude.
- Le troisième chapitre est une étude hydro-chimique des eaux des eaux souterraines et superficielle. Dans cette partie, nous avons essayé d'expliquer à partir d'une approche chimique certains processus responsables, de la minéralisation et la dégradation de la qualité des eaux et l'aptitude des eaux d'irrigation.
- Le quatrième chapitre propose un diagnostic quantitatif des ressources dans zone d'étude.
- Le cinquième chapitre concerne sur la gestion des ressources en eau : il permet l'estimation de la ressource en eau, les besoins en eau et les outils de gestion, L'évolution des besoins en eau et les techniques de gestion proposés on utilisant le modèle WEAP

- La conclusion générale est une synthèse des résultats obtenue et des recommandations qu'on propose aux décideurs du secteur de l'eau dans la région d'étude.

**CHAPITRE I**  
**CADRE GENERAL DE LA**  
**ZONE D'ETUDE**

## I. 1 SITUATION GEOGRAPHIQUE ET ORGANISATION ADMINISTRATIVE

### I.1.1. Situation Géographique

Le bassin versant de l'Oued Seybouse se situe dans le Nord-Est du territoire national, l'Oued Seybouse est le principal cours d'eau, il draine un vaste bassin versant de 6471 km<sup>2</sup>. Il naît dans les hautes plaines d'Heractas et de Sellaoua et se termine dans la plaine côtière d'Annaba pour se jeter dans la Méditerranée. La réunion d'Oued Charef et Oued Bouhamdane donne la naissance d'Oued Seybouse au niveau de Medjez Amar.

Le bassin de la Seybouse est une région montagneuse constitué par 06 sous bassin : Charef amont (14-01), Charef aval (14-02), Bouhamdane (14-03), La moyenne Seybouse (14-04) représente notre zone d'étude, Mellah (14-05) et Maritime (14-06).

Le bassin de la moyenne Seybouse dit aussi le bassin de Guelma (14-04) se situe entre les latitudes 36°14' et 36°35' Nord et longitudes 7°16' et 7°44' Est, s'étend sur la totalité de la wilaya de Guelma, draine une superficie de 820.30 km<sup>2</sup> (Fig.1).

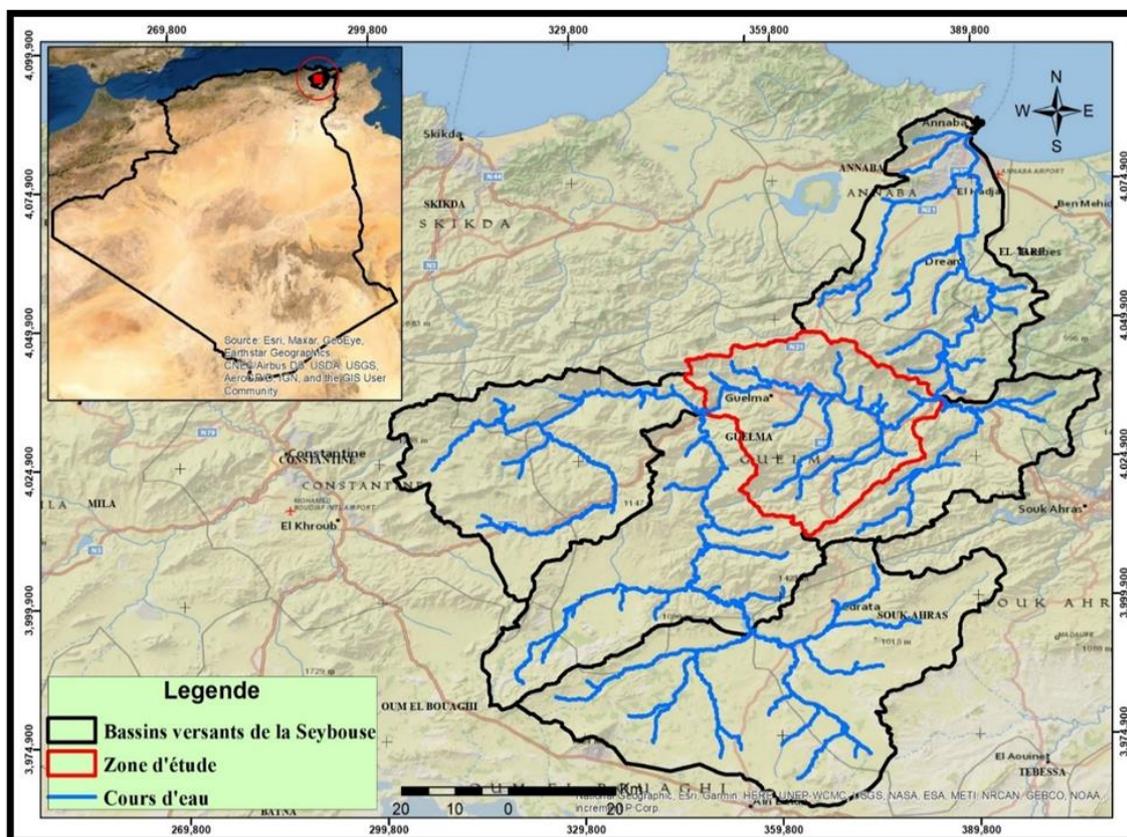


Figure 1: Carte de Situation Géographique du bassin versant de la moyenne Seybouse (Boudjebieur, 2022)

Le bassin de la moyenne Seybouse est limité :

- au Nord par les monts de Djebel el Houara (834m) et Béni Ahmed, Djebel Es Sebaa (619m).
- au Sud-ouest par Djebel Mesmassa (1319m) et les monts de Mahouna qui culminent à (1411m) d'altitude.
- Au Sud par Djebel Ras el Ma (1261m), Djebel Nguib (1130m),
- à l'Est par les monts de Nador N'bail et à l'ouest par le mont Debagh (1059m).
- Au Nord-Est par les forêts des Béni Mezline (843m).
- à l'est par Koudiat Bir el Anani (475m) et Koudiat el Guataya (737m)
- à l'Ouest par Koudiat Bouchoucha (744m) et Dj Arara (715m).

### I.1.2. L'organisation Administrative

Sur le plan administratif le bassin versant de la moyenne Seybouse(Guelma) occupe la partie centrale de la wilaya de Guelma, touche dix-sept (17) communes sur sept (07) daïras englobant : Ben Djerah ; Belkheir, Boumahra Ahmed, Béni Mezline, Djeballah Khémissi, Bouhachana, Ain Sandal, Bouâti Mahmoud, Héliopolis, Guelma, Hammam Debagh, Bouchegouf, Ain larbi, Khezaras, Medjez Ammar, Hammam N'Bail et El Fedjoudj (figure 2).

La commune de Guelma est le centre urbain le plus important du bassin, avec un taux d'urbanisation autour de 98%.

*Tableau 1: Données des superficies des communes dans le Bassin Versant de la moyenne Seybouse (DPAT)*

N°	Commune	Superficie Totale De La Commune (Km <sup>2</sup> )	Portion De La Superficie (Km <sup>2</sup> )	%
1	Héliopolis	76.75	44.45	57.79
2	Guelaat Bousbaa	36.22	26.27	72.24
3	El Fedjoudj	66.11	42.11	63.55
4	Bouchegouf	194.34	31.12	16.01
5	Djeballah Khemissi	65.83	63.53	96.49
6	Belkheir	92.21	92.22	100.00
7	Hammam Debagh	55.82	12.52	22.43
8	Beni Mezline	63.41	48.66	76.74
9	Medjez Amar	38.49	30.85	80.15

10	Guelma	44.81	44.82	100.00
11	Boumahra Ahmed	72.17	72.17	100.00
12	Bendjerrah	77.49	37.19	48.00
13	Hammam Nbail	164.77	71.93	43.65
14	Khezara	73.21	73.21	100.00
15	Ain Larbi	166.99	33.64	20.14
16	Bouhachana	66.40	66.40	100.00
17	Ain Sandel	91.57	29.21	31.89
			820.30	

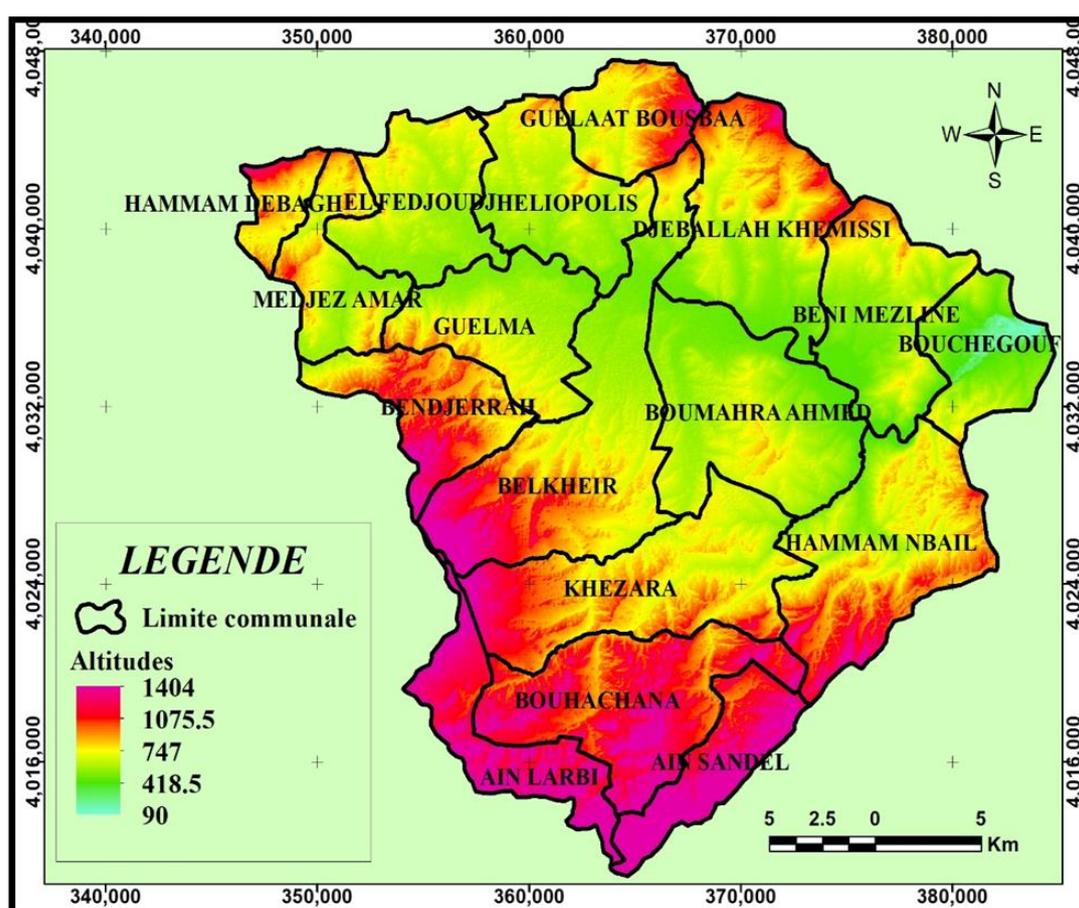


Figure 2: Le découpage administratif des communes à l'intérieur du Bassin Versant de la moyenne Seybouse (Boudjebieur, 2022)

### I.1.3. Aperçu Socio-économique

Le bassin de la moyenne Seybouse est principalement à vocation agricole. L'agriculture est observée dans tous le bassin avec une très grande diversité de cultures : céréales, maraîchage, arboricultures et élevage de volailles et bétails. L'activité industrielle est à ne pas négliger, plusieurs unités industrielles plusieurs unités industrielles ont été mise en place

comme : Unité de céramique, Unité de cycle et motocycle, L' ENA sucre, la carrière de marbre de MAHOUNA

## I.2. Caractéristiques Physiographiques

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique, et notamment le régime des écoulements en période de crue ou d'étiage. Ces facteurs, d'ordre purement géométrique ou physique, s'estiment aisément à partir de cartes adéquates ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques (Remmas, H. 2014).

### I.2.1 Caractéristiques Géométriques

#### I.2.1.1 Superficie Et Périmètre Du Bassin De La Moyenne Seybouse

Les caractéristiques géométriques du bassin de la moyenne Seybouse ont été calculé avec le logiciel « ArcGIS 10.3 », les résultats sont mentionnés sur le tableau ci-après :

*Tableau 2: Superficie et périmètre du bassin de la moyenne Seybouse*

<b>Bassin</b>	<b>Superficie (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Périmètre (Km)</b>
Moyenne Seybouse	820.30	138.78

#### I.2.1.2 Caractéristiques De Forme

Les principales indices morphologiques qui permettant de caractériser les écoulements et de comparer les bassins versants sont quatre :

- Indice de compacité,
- Topographie, caractérisée par la courbe hypsométrique,
- Rectangle équivalent,
- Indice de pente.

#### I.2.1.3 Indice De Compacité De Gravelius

L'indice de compacité de GRAVELIUS ( $K_G$ ), est un indice morphologique permettant de caractériser le milieu physique et de comparer plusieurs bassins versants entre eux. Cet indice est défini comme le rapport du périmètre du bassin versant considéré (P) au périmètre du cercle (P') ayant la même superficie (ROCHE 1963, MUSY 2005 et LABORDE 2013).

Si A est la surface du bassin en Km<sup>2</sup> et P son périmètre en Km, le coefficient KG est donné par la formule suivante :

$$K_G = \frac{P}{P'} = \frac{P}{2 * \sqrt{\pi * A}} \approx 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec :

K<sub>G</sub> : indice de compacité de Gravélius,

A : surface du bassin versant [km<sup>2</sup>],

P : périmètre du bassin [km],

Le coefficient K<sub>G</sub> est supérieur à 1 et d'autant plus voisin que cette valeur que le bassin est compact.

Si : **K<sub>G</sub> > 1.12** alors le BV est allongé

Si : **K<sub>G</sub> < 1.12** alors le BV est de forme carrée

Si : **K<sub>G</sub> = 1.12** alors le BV est de forme compacte

Pour notre bassin de la moyenne Seybouse, l'indice de compacité : KG = 1.37 > 1.12 d'où le bassin est de forme allongée favorisant un écoulement lent des eaux de ruissellement.

## I.2.2 Topographie

### I.2.2.1. Courbe Et Carte Hypsométrique

La courbe hypsométrique montre la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude .Elle fournit une vue synthétique de la pente du bassin (relief)(Fig.4).

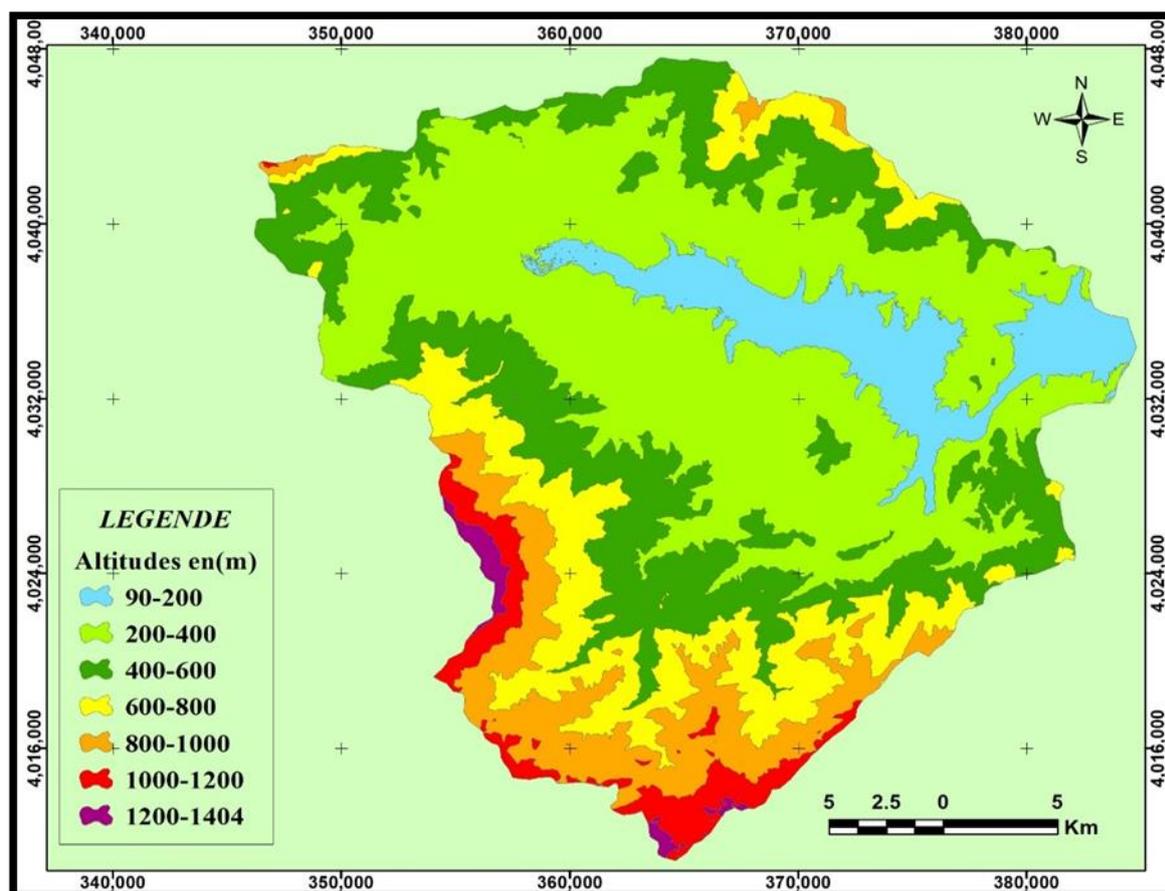


Figure 3: Carte hypsométrique du bassin versant de la moyenne Seybouse (Boudjebieur,2022)

Le tableau suivant représente les résultats de la répartition de la surface totale du bassin sur les différentes tranches d'altitude :

Tableau 3: Répartition par tranches d'altitudes de la superficie du bassin versant de la moyenne Seybouse

Altitudes(m)	Superficie partielle		Σ Superficie cumulée	
	Surface (km)	Surface (%)	Surface (km)	% surface
<b>90-200</b>	76.60	9.34	76.60	9.34
<b>200-400</b>	334.61	40.79	411.20	50.13
<b>400-600</b>	190.51	23.22	601.71	73.35
<b>600-800</b>	106.62	13.00	708.33	86.35
<b>800-1000</b>	76.51	9.33	784.85	95.68
<b>1000-1200</b>	29.55	3.60	814.40	99.28
<b>1200-1404</b>	5.90	0.72	820.30	100.00
<b>Totale</b>	820.30	100.00		

La courbe hypsométrique est la représentation graphique des couples (superficie cumulée en % - Altitudes en (m)), elle est représentée sur la figure ci-après :

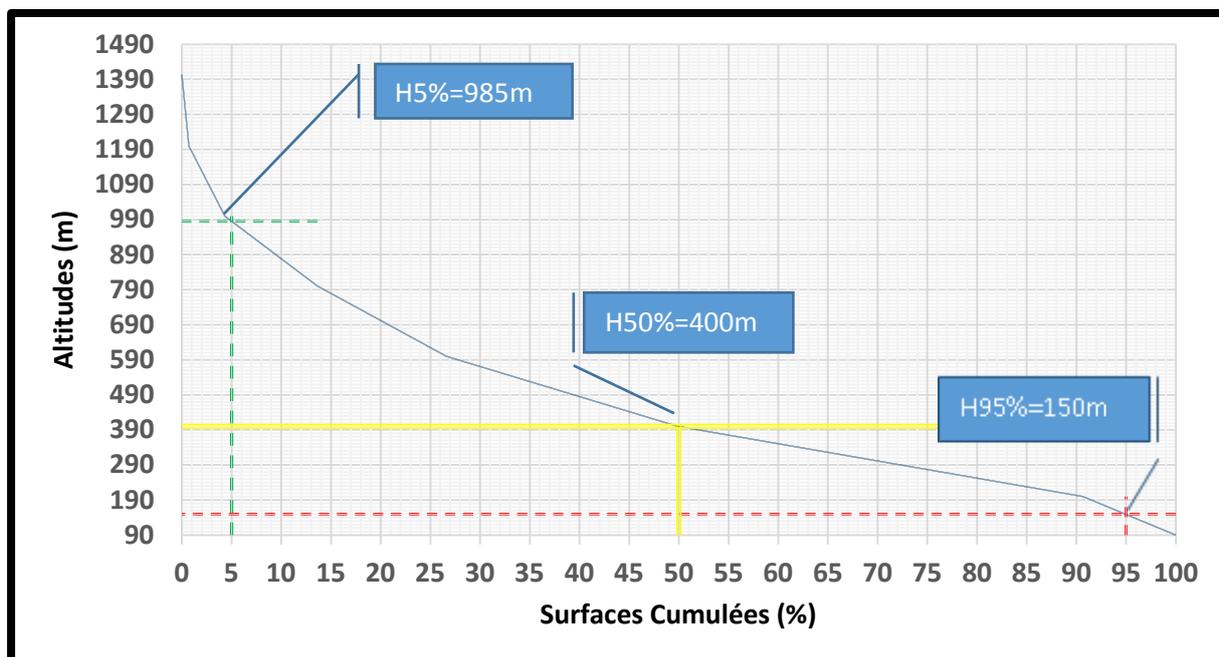


Figure 4: Courbe hypsométrique du bassin versant de la moyenne Seybouse (Boudjebieur,2022)

La courbe ci-dessus permet de relever les altitudes caractéristiques du relief :

- **Altitude minimale**

C'est le point le plus bas du bassin versant généralement à l'exutoire ; elle est égale à :

$$H_{\min} = 90\text{m}$$

- **Altitude moyenne**

Elle est calculée par la formule suivante :

$$H_{\text{moy}} = \sum \frac{A_i * h_i}{A}$$

Où :

$H_{\text{moy}}$  : altitude moyenne du bassin [m] ;

$A_i$  : aire comprise entre deux courbes de niveau [ $\text{Km}^2$ ] ;

$h_i$  : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;

$A$  : superficie totale du bassin versant [ $\text{Km}^2$ ].

Pour notre bassin, l'altitude moyenne calculée est de : **Hmoy = 475.96 m.**

- **Altitude médiane**

C'est l'altitude qui correspond à 50% de la surface total du bassin versant sur la courbe hypsométrique : **Hmed = 400 m**

- **Altitude maximale**

C'est le point le plus haut du bassin versant : **Hmax = 1404 m**

- **Altitude à 95% de surface du B.V. (H<sub>95%</sub>)**

Obtenue à partir de la courbe hypsométrique, elle correspond à l'altitude 95% de la superficie totale du bassin versant ; **H<sub>95%</sub> = 150 m**

- **Altitude à 5% de surface du B.V. (H<sub>5%</sub>)**

Obtenue à partir de la courbe hypsométrique, elle correspond à l'altitude 5% de la superficie totale du bassin versant ; **H<sub>5%</sub> = 985 m**

#### **I.2.2.2. Carte Des Pentés**

La pente topographique est un paramètre capital dans tout travail d'aménagement ; elle conditionne le drainage (Abbassi, 2004). La carte des pentes du bassin versant de la moyenne Seybousea été traitée et établie à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) sous un système d'information géographique (ArcGIS). Nous avons ensuite adopté la classification suivante (Fig. 5).

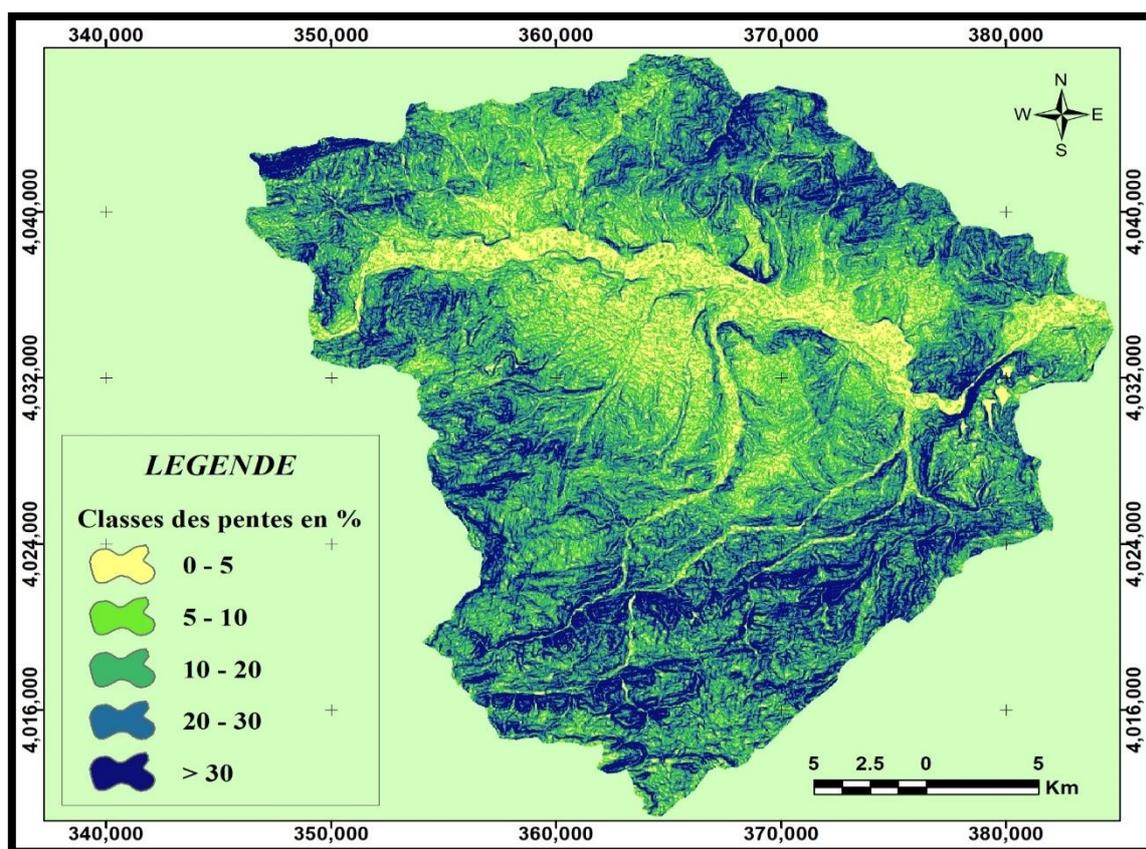


Figure 5: Carte des pentes du bassin versant de la moyenne Seybouse (Boudjebieur, 2022)

La carte des pentes établie fait ressortir Cinq (05) classes de pentes représentées dans le tableau ci- dessous (Tableau 4)

Tableau 4: Classes des pentes dans Le bassin versant de la moyenne Seybouse

Classes des pentes %	Superficie Km <sup>2</sup>	Superficie %	Observations
<b>0-5</b>	89.83	10.95	Très faibles
<b>5-10</b>	130.96	15.97	Faibles
<b>10-20</b>	284.23	34.65	Moyennes
<b>20-30</b>	175.88	21.44	Assez fortes
<b>&gt; 30</b>	139.38	16.99	Fortes à très fortes
<b>Totale</b>	<b>820.28</b>	<b>100.00</b>	

↪ **Classe des pentes très faibles (0 – 5%) :**

Occupe une petite superficie de 89.83 km<sup>2</sup>, soit 10.95 % de la superficie totale de la zone d'étude. Cette faible inclinaison et l'importance de l'épaisseur des formations superficielles réduisent l'érosion. Ces terrains sont destinés à l'agriculture.

↳ **Classe des pentes faibles (5 – 10%) :**

Couvre une superficie de 130.96 km<sup>2</sup>, soit 15.97 % de la superficie totale de la zone d'étude, se situe au Nord, à l'Est et au centre de la zone d'étude.

↳ **Classe des pentes moyennes (10 – 20%) :**

Occupe une superficie de 284.23 km<sup>2</sup>, soit 34.65 % de la superficie totale de la zone d'étude

↳ **Classe des pentes assez fortes (20 – 30%) :**

Occupe une superficie moyennement importante de 175.88 km<sup>2</sup>, soit 21.44 % de la superficie totale de la zone d'étude.

↳ **Classe des pentes fortes à très fortes (> 30 %) :**

Couvre une superficie de 139.38 km<sup>2</sup>, soit 16.99 % de la superficie totale de la zone d'étude. Représente les zones montagneuses se concentre au sud du bassin versant, c'est la classe des terres qui sont recouvertes par les forêts et les maquis.

### I.2.2.3. Rectangle Équivalent

Le rectangle équivalent correspond à un rectangle qui a le même périmètre, la même superficie et donc par conséquent le même indice de compacité que le bassin versant réel. Les courbes de niveaux deviennent des droites parallèles aux petits côtés du rectangle (ROCHE 1963).

Les caractéristiques (Longueur L et largeur l) du rectangle équivalent sont évaluées à l'aide des équations suivantes :

- **Longueur** :  $L = \frac{k_c \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2} \right]$
- **Largeur** :  $I = \frac{k_c \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c}\right)^2} \right]$

Avec :

A : surfaces du bassin versant [Km<sup>2</sup>] ;

P : périmètres du bassin [Km] ;

Kc : Indice de compacité ;

L : La longueur du rectangle équivalent [Km] ;

l : La largeur du rectangle équivalent [Km].

Pour notre bassin versant,  $Leq = 55$  km et  $leq = 14.92$  km. En se basant sur les données de la carte et de la courbe hypsométriques (Fig. 3 et 4), on peut dessiner le rectangle équivalent de la zone d'étude (Fig. 6)

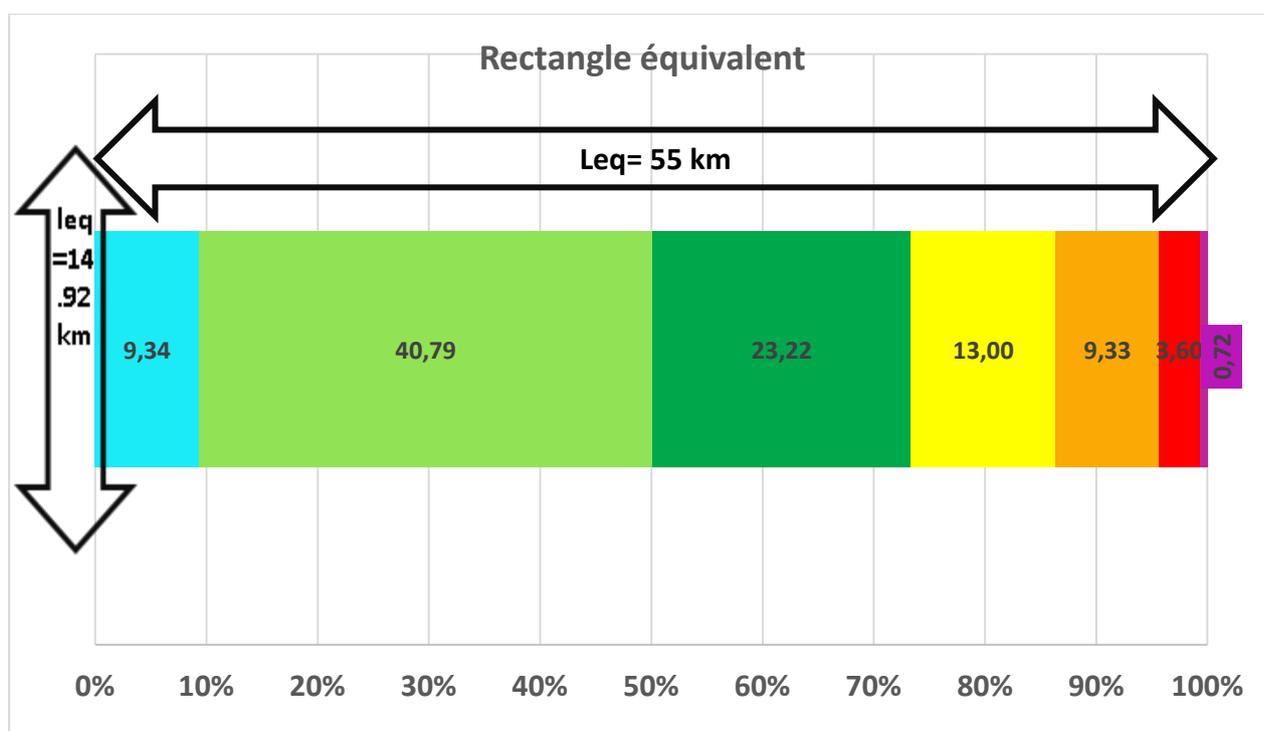


Figure 6: Rectangle équivalent avec le pourcentage des tranches d'altitudes du bassin versant de la moyenne Seybouse

Le tableau suivant (tableau 5) résume les valeurs obtenues :

Tableau 5: indice de compacité et longueur du rectangle équivalent

Bassin	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Périmètre (Km)	Indice de Compacité $K_G$	Longueur Leq (Km)	Largeur leq (Km)
Moyenne Seybouse	820.30	138.78	1.37	55	14.92

### I.2.3 Indices De Pente

Vu l'influence de la pente sur le ruissellement des eaux superficielles, les hydrologues travaillent avec des indices de pente, pour tenir compte des dénivellations de relief qui sont en contact avec la réponse hydrologique du bassin versant.

### I.2.3.1. Indice De Pente De Roche

L'indice de pente de Roche  $I_p$  proposé par ROCHE en 1963 se calcule à partir du rectangle équivalent. Son objectif est de caractériser le régime hydrologique, de comparer et de classer plusieurs bassins entre eux. Il s'exprime par la formule suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{Leq}} * \sum_1^n \sqrt{a_i * d_i}$$

Leq : Longueur du rectangle équivalent = 54.996 km=54995.89 m,

$a_i$  : représente la fraction de la surface totale A du bassin versant comprise entre deux courbes de niveau voisines distantes de  $d_i=200$ m. Elle est donnée par la répartition hypsométrique.

$d_i$  : désigne l'équidistance ou la dénivelée en (m) entre deux courbes de niveau,  $d_i = 200$ m.

Pour le bassin versant de la moyenne Seybouse, l'Indice de pente de Roche  $I_p=0.138$  soit 13.80%.

*Tableau 6: Classes d'altitudes, surfaces partielles et dénivellation du bassin versant de la moyenne Seybouse.*

Classe d'altitude	Surface entre courbes de niveau (Km <sup>2</sup> )	Surface partielle $a_i$	Dénivellation $d_i$ (m)	$a_i * d_i$	$\sqrt{a_i * d_i}$
90-200	76.60	0.09	110	10.27	3.20
200-400	334.61	0.41	200	81.58	9.03
400-600	190.51	0.23	200	46.45	6.82
600-800	106.62	0.13	200	26.00	5.10
800-1000	76.51	0.09	200	18.66	4.32
1000-1200	29.55	0.04	200	7.21	2.68
1200-1404	5.90	0.01	204	1.47	1.21
<b>Total</b>	<b>820.30</b>	<b>1.00</b>			<b>32.37</b>

### I.2.3.2. Indice De Pente Classique Ou Indice De Pente Moyenne (%)

L'Indice de pente classique  $I_c$  (ou Indice de pente moyenne  $I_m$  du bassin versant) consiste à rapporter l'altitude entre les deux points extrêmes (Dénivelée totale du bassin versant en mètre  $DT = H_{max} - H_{min}$ ) à la longueur du bassin définie par la longueur du rectangle équivalent :

$$I_m = \frac{DT}{Leq} = \frac{H_{max} - H_{min}}{Leq}$$

$H_{min} = 90$  m et  $H_{max} = 1404$  m et  $DT = H_{max} - H_{min} = 1314$  m

Par application de la formule,  $I_m$  du bassin versant de la moyenne Seybouse est :

$I_m = (1404 - 90) / 55 = 1314/55 = 23.89$ . Donc  $I_c = 23.89\%$ . Il s'agit donc d'une pente modérée.

### I.2.3.3. Indice De Pente Global

L'indice de pente global déterminant le relief d'un bassin versant est défini comme étant le rapport entre la dénivelée qui sépare les altitudes et sur la courbe hypsométrique et la longueur du rectangle équivalent (DUBREUIL 1966), il est exprimé en m/km et défini par la formule suivante :

$$I_g = \frac{D_g}{Leq} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{Leq}$$

L'indice de pente global ( $I_g$ ) est très bien corrélé avec l'indice de pente de Roche ( $I_p$ ), ces indices sont étroitement liés à la surface du bassin versant, ils augmentent lorsqu'elle diminue (DUBREUIL 1975).

L'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.), a fourni une première classification du relief basée sur l'indice de pente global ( $I_g$ ). Cette classification est applicable pour les bassins versants de petites tailles d'environ 25 km<sup>2</sup> de surface (DUBREUIL 1971).

Pour notre bassin versant,  $H_{5\%} = 985$  m,  $H_{95\%} = 150$  m.

-La dénivelée globale du bassin étudié est  $D_g = 835$  m.

- $Leq$  est la longueur du rectangle équivalent, exprimée en km.  $Leq = 55$  km.

Pour le bassin versant de la moyenne Seybouse,  $I_g = 15.18$  m/km = 0.015.

Cette valeur reflète donc un relief modéré (Tab.7).

*Tableau 7: Classification du relief selon  $I_g$  par l'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre-Mer)*

<b>R1</b>	Relief très faible	$I_g < 0.002$
<b>R2</b>	Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
<b>R3</b>	Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
<b>R4</b>	Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$

<b>R5</b>	Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
<b>R6</b>	Relief fort	$0.05 < I_g < 0.1$
<b>R7</b>	Relief très fort	$I_g > 0.1$

#### I.2.3.4. Dénivelée Spécifique

La dénivelée spécifique ( $D_s$ ) représente le produit de l'indice de pente global ( $I_g$ ) par la racine carrée de la superficie totale du bassin versant ( $A$ ), Elle s'exprime en mètres et calculée par la formule suivante :

$$D_s = I_g * \sqrt{A}$$

Avec :

$I_g$ : pente global

$A$  : surface du bassin versant

Une deuxième subdivision en sept classes de nature du relief selon la dénivelée spécifique ( $D_s$ ) a été établie par le service hydrologique de l'O.R.S.T.O.M. (tableau 8). Cette classification ne tient pas compte de la superficie du bassin versant, elle est applicable à tout bassin quel que soit sa superficie (DUBREUIL 1971) :

Tableau 8: Classification des reliefs d'après l'O.R.S.T.O.M

<b>R1</b>	Relief très faible	$D_s < 10m$
<b>R2</b>	Relief faible	$10m < D_s < 25m$
<b>R3</b>	Relief assez faible	$25m < D_s < 50m$
<b>R4</b>	Relief modéré	$50m < D_s < 100m$
<b>R5</b>	Relief assez fort	$100m < D_s < 250m$
<b>R6</b>	Relief fort	$250m < D_s < 500m$
<b>R7</b>	Relief très fort	$D_s > 500m$

Notre bassin versant possède un dénivelé spécifique de  $D_s=434.85m$ . Sa valeur, se trouve dans la classe R6 ( $250m < D_s < 500m$ ) correspond à un relief fort (Tab.8).

### I.3 LES CARACTERISTIQUES DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin. Le réseau hydrographique peut prendre une multitude de formes. La différenciation du réseau hydrographique d'un bassin est due à quatre facteurs principaux (la géologie, le climat, la pente du terrain, la présence humaine, le couvert végétal). L'étude du réseau hydrographique permet de donner une idée sur le développement de son chevelu (ramification lâche ou dense), sa forme, sa hiérarchisation, sa densité de drainage, son rapport de longueur. Le réseau hydrographique du secteur d'étude draine une superficie de l'ordre de **820.30 Km<sup>2</sup>**.

#### I.3.1 La Hiérarchisation Du Réseau Hydrographique

Pour chiffrer la ramification du réseau hydrographique, chaque cours d'eau reçoit un numéro en fonction de son importance. Cette numérotation appelée, ordre du cours d'eau, diffère selon les hauteurs : Nous retenons la classification de STRAHLER qui est la plus utilisée (figure 7). Cette classification permet de décrire sans ambiguïté le développement du réseau de drainage d'un bassin de l'amont vers l'aval. Elle se base sur les règles suivantes :

- Tout cours d'eau dépourvu de tributaires est d'ordre un.
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordre différent prend l'ordre du plus élevé des deux.
- Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau de même ordre est augmenté d'un.

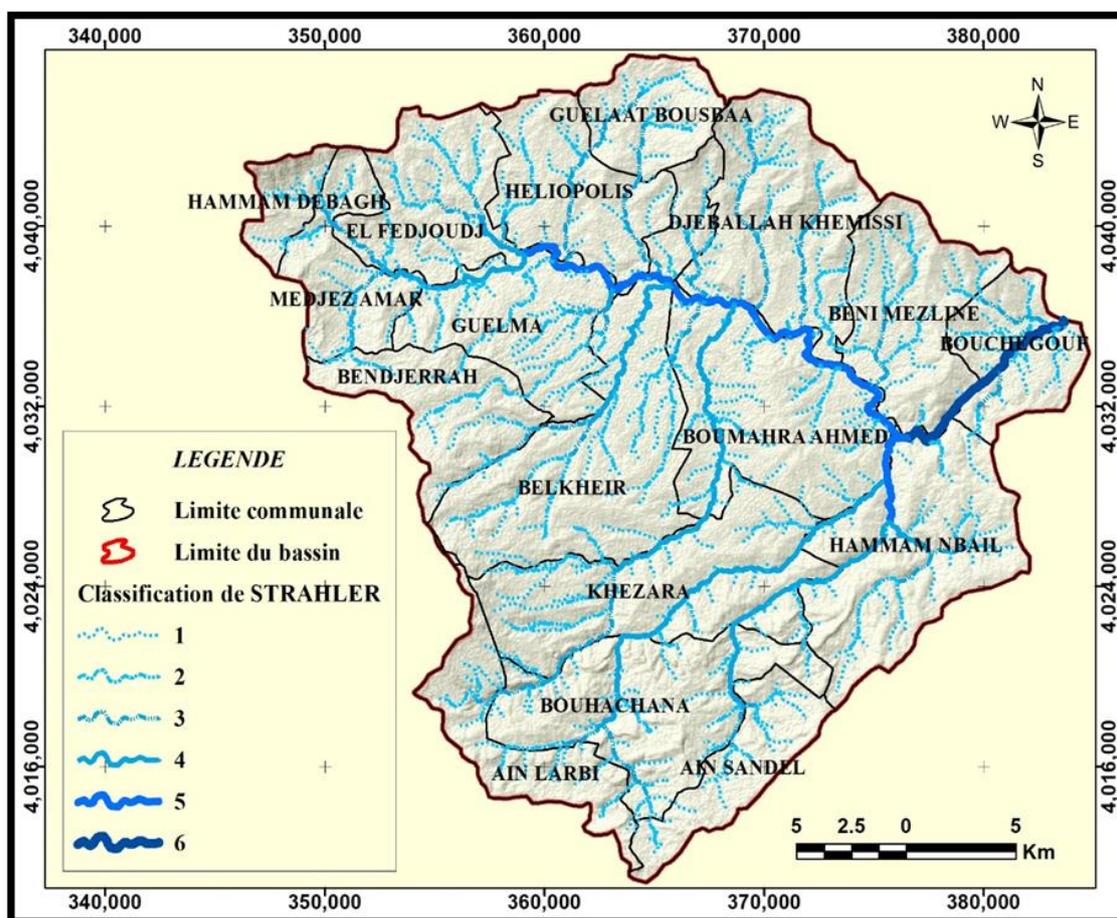


Figure 7: Carte du réseau hydrographique du bassin versant de la moyenne Seybouse (Boudjebieur, 2022)

Tableau 9: Hiérarchisation du réseau hydrographique du secteur d'étude

Ordre	Nombre	Longueur (km)	Longueur (m)
1	546	468.92	468 918.41
2	237	243.52	243 517.30
3	132	108.93	108 930.46
4	108	77.07	77 066.02
5	50	31.53	31 533.84
6	13	10.60	10 597.05
Total	1086	940.56	9403.08

### I.3.2. La Densité De Drainage Et La Densité Hydrographique

#### ↳ La densité de drainage

La densité de drainage d'un bassin versant est définie comme étant la longueur totale de tous les cours d'eau ramenée à l'unité de surface, elle est étroitement liée à la longueur de l'écoulement superficiel (HORTON 1932 et 1945).

Elle se définit par le rapport de la longueur totale des cours d'eau à la surface du bassin versant :

$$Dd = \frac{\sum Li}{A}$$

Avec :

Dd : densité de drainage en (km/km<sup>2</sup>),

Li : Somme des longueurs de tous les thalwegs y compris le thalweg principal,

A : superficie du bassin versant,

Dans le cas du bassin versant de la moyenne Seybouse : Li = 940.56Km et A = 820.30 Km<sup>2</sup>,

Dd = 1.15 Km/Km<sup>2</sup>.

#### ↳ La densité hydrographique

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface.

$$F = \frac{Ni}{A}$$

Où :

F : densité hydrographique [km<sup>-2</sup>] ;

Ni : nombre de cours d'eau ;

A : superficie du bassin [km<sup>2</sup>].

Pour le bassin versant de la moyenne Seybouse elle est de l'ordre de 1.32km<sup>-2</sup>.

La densité de drainage et la densité hydrographique obtenues indiquent que notre bassin versant est moyennement imperméable.

### I.3.3. Le Coefficient De Torrentialité

Le coefficient de torrentialité ( $C_t$ ) indique la nature de l'écoulement superficiel sur les versants du bassin (reflète la torrentialité des averses dans le bassin). Il est obtenu par la relation suivante :

$$C_t = F_1 \times D_d$$

Ou :

$C_t$  est le Coefficient de torrentialité

$F_1$  est la Fréquence des talwegs élémentaires [ $\text{km}^{-2}$ ] ;

$D_d$  est la Densité de drainage [ $\text{km}/\text{km}^2$ ] ;

Le coefficient de torrentialité de notre bassin versant est de l'ordre de (0.76).

### I.3.4. Le Temps De Concentration

Le temps de concentration ( $T_c$ ) est défini comme le temps nécessaire qu'une goutte d'eau le prend pour du point le plus éloigné du bassin versant pour aboutir à son exutoire

Il ne dépend pas des crues il est en fonction de la topographie du bassin versant.

Pour calculer ce paramètre, nous avons adopté la formule de GIONDOTTI, qui s'écrit :

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L_p}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Avec

$T_c$  : Temps de concentration ;

$L_p$  : Longueur du talweg principal (km).

$A$  : superficie du bassin  $\text{km}^2$  ;  $H_{moy}$  : Altitude moyen du bassin ;  $H_{min}$  : Altitude minimale.

Le temps de concentration dans notre bassin versant est d'environ (12.30) heures.

### I.3.5. Le Rapport De Confluence

C'est un nombre sans dimension exprimant le développement du réseau de drainage. Le rapport de confluence du bassin versant de la moyenne Seybouse est égal à 4.1.

Le rapport de confluence, appelé aussi rapport de bifurcation (8), il traduit le taux de bifurcation du bassin versant. Il s'exprime par le rapport du nombre de cours d'eau d'ordre (n) sur le nombre de cours d'eau d'ordre (n+1), (Tableau.10)

$$Rc = \frac{Nn}{Nn + 1}$$

Avec :

Rc : rapport de confluence des cours d'eau ("bifurcation ratio") ;

Nn : nombre des cours d'eau d'ordre n ;

Nn+1 : nombre des cours d'eau d'ordre suivant ;

Ce taux de bifurcation est lié au temps de concentration des sédiments dans le réseau de drainage, plus ce rapport est faible, moins il y aura de bifurcation au niveau de réseau de drainage et plus les évacuations des sédiments vers l'aval se feront rapidement [Gravelius H]. D'après Strahler (1957 et 1964), le rapport de confluence (Rc) varie de 3 à 5 pour une région où la géologie n'a aucune influence [Strahler 1957, Strahler 1964].

Dans la zone d'étude, Rc varie entre 1.22 et 3.85 (Tableau.10). On peut conclure que la géologie de la région a une grande influence sur l'écoulement des eaux superficielles.

Tableau 10: Rapport de confluence du bassin versant de la moyenne Seybouse

Bassin versant	Ordre	Nombre	Rc
<b>Moyenne Seybouse</b>	1	546	***
	2	237	2.30
	3	132	1.80
	4	108	1.22
	5	50	2.16
	6	13	3.85

#### I.4 LE COUVERT VÉGÉTAL

Le couvert végétal a une influence directe sur l'écoulement fluvial ainsi que les facteurs orographiques et climatiques. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plu dense. Dans le bassin d'étude, les aires agricoles sont localisées essentiellement dans la plaine alluviale. Les cultures pratiquées sont dominées par des cultures maraîchères et quelques vergers d'agrumes et d'arbres fruitiers. Les forêts, les maquis et les broussailles occupent pratiquement toute la bande des monts (tableau 12).

A partir de la carte d'occupation du sol (figure 8) nous pouvons déterminer la superficie occupée par chaque type de végétation ; les résultats sont représentés dans le tableau 11.

*Tableau 11: Répartition des types de végétation par classes de superficie*

Type d'occupation	Surface (km <sup>2</sup> )	Surface(%)
<b>Forêt</b>	175.40	21.38
<b>Broussaille</b>	98.50	12.01
<b>Parcours+Grande culture</b>	378.56	46.15
<b>Tissu urbain</b>	5.30	0.65
<b>Périmètre irrigué</b>	98.60	12.02
<b>Sable</b>	4.70	0.57
<b>Olive</b>	59.24	7.22
<b>Totale</b>	820.30	100

#### **I.4.1 Le Domaine Agricole**

Le domaine agricole est représenté par quatre types d'occupation :

#### **I.4.2. Le Périmètre D'irrigation**

Les cultures pratiquées dans le périmètre sont les cultures maraîchères, les cultures industrielles, les cultures fourragères et l'arboriculture, nous les trouvons surtout sur les terrains à pentes faible et moyenne. Elle occupe une superficie de 98.6 km<sup>2</sup>, soit 12.02 % de la superficie totale du secteur d'étude.

#### **I.4.3. Les Grandes Cultures**

Ce type de culture est prédominant. Il occupe une superficie de 378.56km<sup>2</sup>, soit 46.15% de la superficie totale du secteur d'étude. Les oliviers occupent une superficie réduite 59.24 km<sup>2</sup>, soit 7.22% de la superficie totale (DSA Guelma 2018)

La végétation naturelle, les forêts, les maquis et les broussailles. Les forêts et les maquis Ils jouent un rôle important dans la protection du sol, particulièrement contre l'érosion. Ils s'étendent sur une superficie de 175.40 km<sup>2</sup>, soit 21.38% de la superficie totale et se trouvent sur des terrains ayant des pentes assez fortes à fortes.

Les broussailles, occupent une superficie de 98.50km<sup>2</sup>, soit12.01% de la superficie totale.

Le tissu urbain, Il occupe 5.30 Km<sup>2</sup> soit 0.65% de la superficie totale.

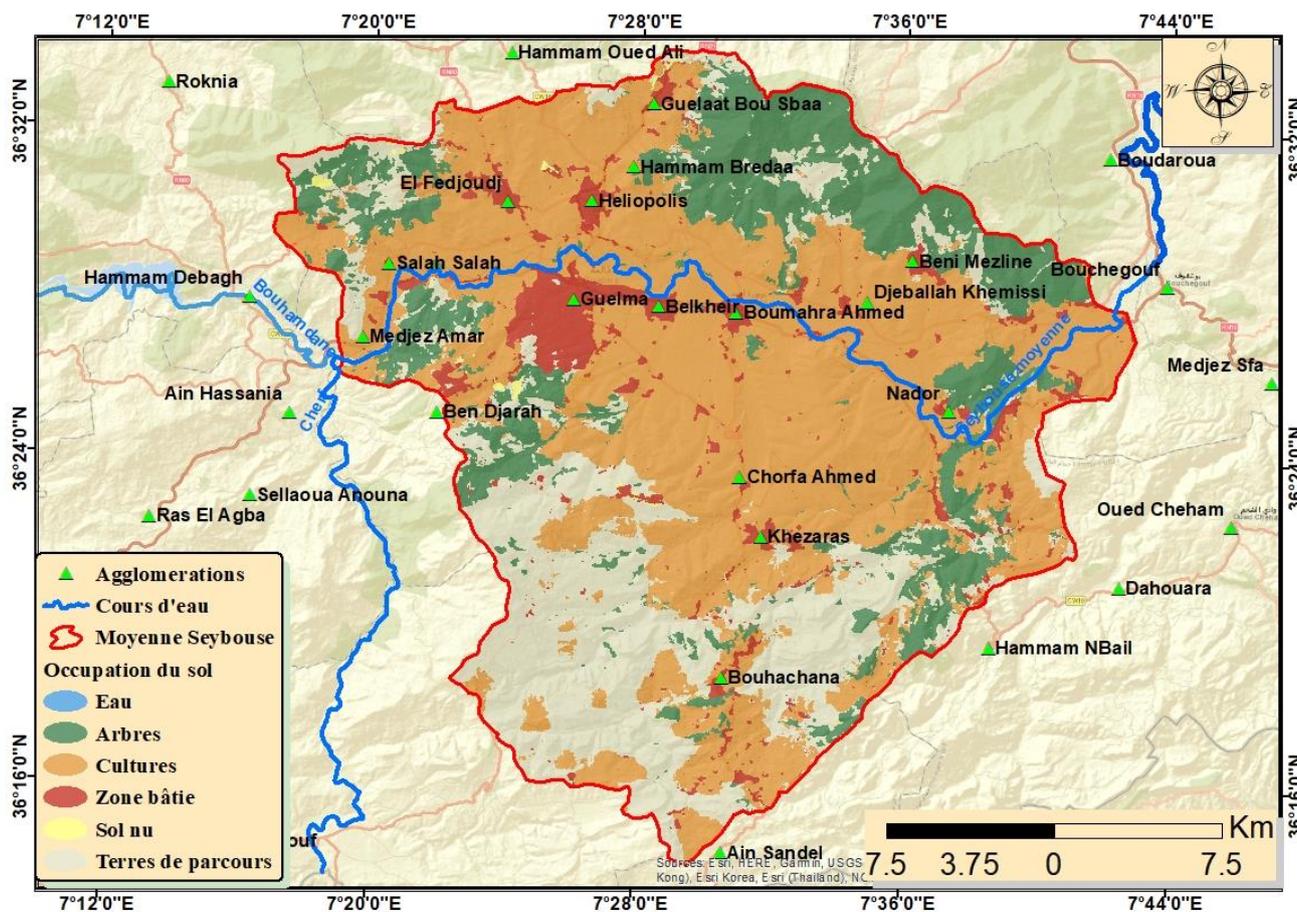


Figure 8: Carte de couverture végétale du bassin de la moyenne Seybouse Guelma(Boudjebieur.E. 2022)

### I.5 Récapitulation Des Caractéristiques Du bassin versant de la moyenne Seybouse

Toutes les caractéristiques physiques du bassin versant de la moyenne Seybouse sont reprises dans le tableau récapitulatif ci-dessous (Tab.12).

Tableau 12: Caractéristiques physiographiques (physiques) du bassin versant de la moyenne Seybouse

Paramètres	Symboles	Unités	Valeurs
<b>Morphologie du bassin versant</b>			
Superficie	A	Km <sup>2</sup>	820.30
Périmètre	P		138.78
Indice de Gravélius	Kc	/	1.37
Rectangle équivalent	Longueur	Leq	Km
	Largeur	Leq	Km

<b>Relief</b>			
<b>Altitude maximale</b>	Hmax	M	1404
<b>Altitude minimale</b>	Hmin	M	90
<b>Altitude moyenne m</b>	Hmoy	M	475.96
<b>Altitude médiane</b>	H50% ou Hmed	M	400
<b>Hauteur 5%</b>	H5%	M	985
<b>Hauteur 95%</b>	H95%	M	150
<b>Indice de pente de Roche</b>	Ip	/	0.138
<b>Indice de pente classique ou Indice de pente moyenne</b>	Ic ou Im	m/km ou %	23.89
<b>Dénivelée totale du bassin versant DT =Hmax - Hmin</b>	DT	M	1314
<b>Dénivelée globale D= H5% - H95%</b>	Dg	M	835
<b>Indice de pente global</b>	Ig	/	0.015
<b>Dénivelée spécifique</b>	Ds	M	434.85
<b>Longueur du talweg principal</b>	Lp	Km	52.52
<b>Densité de drainage</b>	Dd	Km/Km <sup>2</sup>	1.15
<b>Coefficient de torrentialité</b>	Ct	/	0.76
<b>Temps de concentration</b>	Tc	H	12.30

## I.6 LA GEOLOGIE LOCALE

La région de Guelma a suscité l'intérêt de beaucoup de chercheurs : J. Blayac, (1912) ; J.M. Vila et Magné, (1969) ; J.M. Vila, (1978, 1980) ; J.C. Lahondère, (1987) ; A. Chouabbi, (1987) ; Darest de la Chavane, (1910) ; L. Joleaud, (1912) ; J. Flandrin, (1948) ; M. Roubault, (1934) ; P. Deleau, (1952) et Bouilin, (1986). Les terrains rencontrés vont du Trias jusqu'au Quaternaire, on distingue de haut en bas : le Quaternaire, le Mio-Pliocène, la nappe numidienne, les nappes des flyschs, la nappe ultra-tellienne, la nappe tellienne, les écaillés des Sellaoua et enfin la nappe néritique constantinoise (figure 09).

La région d'études fait partie de l'ensemble géologique du tell algérien Nord oriental. Elle est constituée par des terrains sédimentaires dans l'ensemble sont d'âge crétacé, oligocène, Moipliocène et quaternaire. Le fond du bassin occupé par une plaine alluviale correspondant à un synclinal comblé par des argiles, des conglomérats, marno-calcaires, des grès numidiens et des calcaires lacustres. Au sud les formations numidiennes se développent largement en occupant la partie montagneuse jusqu'à Sadrata. Ce sont surtout les calcaires ypresiens qui dominent, puis viennent les grès numidiens du flanc de Mahouna et les séries marno-calcaires et argiles crétacé. Plusieurs réseaux de failles de direction NW-SE et NE-SW

affectant les massifs primaires et les massifs de la chaîne Numidique existant à l'échelle régionale, ainsi que de nombreux plis sont visibles au niveau de ces massifs.

### **I.6.1. Nappes Alluvionnaire De Guelma**

Elle est située dans la vallée de l'Oued Seybouse en grande partie sur sa rive droite. Elle est sillonnée par l'Oued Seybouse d'Ouest en Est, depuis Medjez Amar jusqu'à Nador. (Djabri L, 1996). Ces alluvions sont perméables et sont alimentés par les eaux d'infiltrations des pluies et des apports latéraux du bassin versant de Guelma. Elle est constituée de trois terrasses distinctes (basse, moyenne, et haute) (Mouassa .S (2006))

#### **↳ La basse terrasse :**

C'est la vallée dans laquelle coule l'actuel Oued Seybouse. Elle est formée de graviers, de sables et de galets. Son épaisseur croît vers l'Est, elle est de 8 m au Nord de la ville de Guelma et atteint 16 m au Nord-est de Boumahra, Le substratum est constitué de marnes à gypses et d'argiles du Miocène dans sa partie Ouest. A l'Est, il est constitué d'argiles et de grès numidiens (Mouassa .S (2006))

#### **↳ La moyenne terrasse :**

Elle est constituée d'un matériel détritique relativement fin en alternance avec des passées argileuses. Le substratum est toujours marneux à gypse. Son épaisseur est plus importante que celle de la basse terrasse (40 m environ) (Mouassa .S (2006))

#### **↳ La haute terrasse :**

Elle est située au Sud de la moyenne terrasse et elle est formée d'alluvions grossières Plio-quaternaires (galets, graviers, grès, sables et quelques passées argileuses) perméables. La couche superficielle montre une affinité argileuse nette. Le substratum est aussi constitué de marnes à gypses et d'argiles du Miocène jusqu'à l'Oued Boussora. Vers l'Est, il est constitué d'argiles Eocènes. L'épaisseur de cette partie de la nappe aquifère est plus importante que celles des deux premières et varie de 50 m à 150 m par endroits (H'Fais) entre Belkheir et Boumahra. La plus grande quantité en eau de la nappe est exploitée par le biais de forages de différentes profondeurs, de puits, et de captage de sources (Mouassa .S (2006))

## 1.6.2. Géologie Et Stratigraphie

### 1.6.2.1. Le Primaire

Les terrains primaires ne présentent pas beaucoup d'affleurements, ils sont réduits et on les trouve au Nord du massif de Nador N'Bails à l'entrée des gorges de l'Oued Seybouse.

Ces affleurements sont formés par des schistes satinés alternants avec des petits bancs de grés.

### 1.6.2.2. Le Trias

On le trouve uniquement à l'extrémité Est de la plaine alluviale. Il est formé d'argiles bariolées injectées de gypse, cargneules et de bancs disloqués de calcaires dolomitiques sombres.

### 1.6.2.3. Le Néritique

Caractérisé par un faciès jurassique – crétacé plus ou moins karstifié. Il est surmonté par plusieurs nappes de charriages et impliqué dans les grands accidents. Il apparaît aussi sous forme de fenêtre à Djebel Mahouna, Djebel Debagh, Nador et plus à l'Ouest à Djebel Taya.

#### ↳ Le Jurassique

Il est représenté par des dolomies noires avec des schistes calcaireuses de faibles épaisseurs dans la région de Djebel Debagh.

#### ↳ Le Crétacé

Le Crétacé inférieur est représenté par des calcaires massifs ou lissés et de dolomies à algues d'âge Aptien, on le rencontre à Hammam Bradaa et Djebel Debagh.

Les calcaires massifs à microbrèches, calcarinites avec des niveaux calcaires à chailles indiquent nettement le faciès néritique du Compagnien – Mæstrichtien (Vila 1972).

Le Crétacé supérieur est caractérisé par des niveaux calcaireux dolomitiques riches en orbitolines et des débris à Rudiste datant le Cénomaniens – Vraconien d'épaisseur limitée

#### 1.6.2.4. L'unité Tellienne

Elle appartient au domaine externe de la chaîne des Maghrébides dans le Nord – Est algérien. Cette unité correspond au domaine Tellien externe qui est constitué de formations paléogènes, où l'on distingue :

- un ensemble méridional à Nummulite et au Sud à Globigérines ;
- un ensemble médian à sédimentation profonde ;
- un ensemble septentrional à matériels Eocène.

La série débute par des marnes noires paléocènes et atteint le Lutécien inférieur avec une faune riche en Nummulite.

#### 1.6.2.5. L'unité Ultra – Tellienne

Le faciès dominant est celui des marnes et marno-calcaires avec des barres de micrites à microfaunes variées (Delga et al, 1968).

La stratigraphie est la suivante, dont on distingue de bas en haut :

- marnes à ammonites (barrémien – albien)
- marnes à micrites vertes (Campanien)
- marnes grises (Maestrichtien)

A Djeballa Khemissi, cette unité est caractérisée par des formations crétacées de faibles épaisseurs.

#### 1.6.2.6. Le Numidien

Il forme les principaux reliefs de la région de Guelma (Mahouna, Houara).

Il est caractérisé par un flysch gréseux constitué par les trois termes suivants :

- épaisseur d'argile verte et rouge d'âge Oligocène
- alternance d'argile et de gros blocs de grès souvent hétérométriques d'âge aquitaniien
- argile, silixites et marnes correspondants au Burdigalien inférieur.

A Hammam Debagh, le sommet est représenté par des grès grossiers à dragées de quartz (Lahondere, 1981).

#### **1.6.2.7. Le Post – nappe**

##### **↳ Le Mio-Pliocène**

Représenté au niveau du bassin de Guelma par des marnes à gypse, argiles et conglomérats rouges. Il est considéré comme une formation post – nappe, où on y voit succéder deux cycles -La molasse de Guelma visible sur la route Guelma Bensmih, composé de grès jaunes friables, intercalés avec des formations argilo – marneuses grises ou jaunes parfois gypseuses.

-Le second cycle formé par une succession d'argiles de conglomérats rouges, argiles grises à gypses et à soufre et des calcaires lacustres.

#### **1.6.2.8. Le Quaternaire**

Les formations du Quaternaire sont la base de cette étude puisque avec les formations pliocènes, constituent la roche réservoir de la nappe aquifère de Guelma.

Le Quaternaire occupe le centre du bassin et correspond au faciès de terrasses où l'on distingue :

##### **↳ Les Alluvions anciennes**

Ce sont des éboulis mélangés parfois à des argiles numidiennes. Elles sont localisées tout le long du versant Ouest du bassin.

Les terrasses d'alluvions anciennes dominant d'environ 55m à 60m le thalweg de la Seybouse, s'écartent pour former la grande plaine qui s'étend à l'Est de Guelma, et se rattache vers le Sud à la terrasse pliocène qui atteint une altitude d'environ 90m à 100m au-dessus de la Seybouse. Cette dernière comprend tantôt des limons avec cailloux roulés, tantôt des conglomérats intercalés de bancs marno – calcaires un peu travertineux.

##### **↳ Les Alluvions récentes**

Elles forment la majeure partie de la vallée principale actuelle de l'Oued Seybouse. Ce sont des cailloutis, galets et graviers calcaires parfois à ciment marneux (Mouassa S.2017)

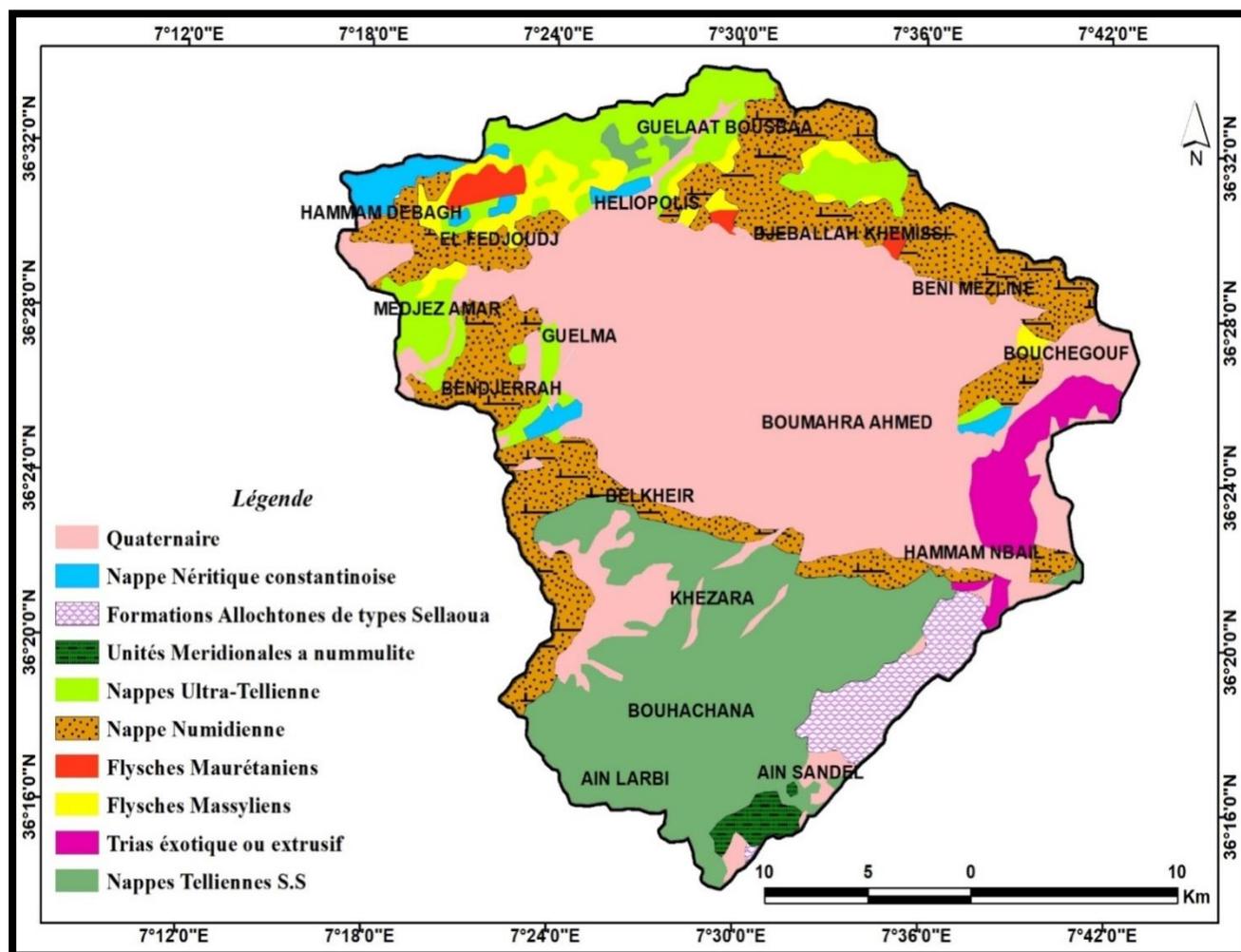


Figure 9: Carte géologique du bassin versant de la moyenne Seybouse  
(par vila1980, modifiée)

## 1.7. LA TECTONIQUE

La région de Guelma, située entre le littoral et les abords des Hauts plateaux, se caractérise par un dispositif structural assez complexe. C'est précisément dans cette zone que se sont manifestés successivement, à toutes les époques avec le plus d'intensité, les mouvements orogéniques qui ont affecté cette partie de l'Algérie. La région qui correspond à la chaîne de l'Atlas tellien et au Tell dont fait partie la chaîne numidique, se trouve extrêmement tourmentée et on y trouve représentés des exemples d'accidents tectoniques de tous genres. Les effets tectoniques dans la région de Guelma se sont manifestés surtout par des phénomènes de compression et de refoulement intense des plis qui sont en général déversés vers le Sud et le Sud-Est. Ces plis, souvent empilés les uns sur les autres, se chevauchent et se recouvrent à la façon d'écailles imbriquées. Ce phénomène de structure

écaillée est fréquent dans la chaîne atlasique. Dans ces plis déversés, les flancs inverses sont le plus souvent supprimés par compression et/ou par étirement.

Les formes synclinales s'observent par endroit, dans les zones plus ou moins épargnées par les effets tectoniques. Quant aux voûtes anticlinales, elles sont assez rares et quand elles existent, elles se trouvent plutôt à l'état de brachy-anticlinaux ou de dômes, structurés en horst et graben (Benmarce. K (2007)).

## **1.8. CONCLUSION**

La région d'étude fait partie de l'ensemble géologique du tell algérien Nord oriental. Elle est constituée par des terrains sédimentaires dans l'ensemble sont d'âge Crétacé, Oligocène, Mio-pliocène et Quaternaire, ces alluvions sont perméables constituées des nappes de terrasses qui ont un intérêt hydrogéologique, ces aquifères sont alimentés par les eaux d'infiltrations des pluies et les apports latéraux du bassin versant de l'Oued Seybouse.

# **CHAPITRE II**

## **Hydroclimatologie**

## II.1 INTRODUCTION

Toute étude hydrogéologique passe principalement par un traitement détaillé des mesures hydro climatique permettant d'établir le bilan hydrique et par conséquent de comprendre les mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux de surface et souterraines.

Ayant déterminé les caractéristiques du complexe physique du bassin versant de l'Oued Seybouse, nous allons essayer d'étudier les facteurs climatiques de cette région. De ce fait l'analyse des facteurs climatiques s'impose. Elle permet de mettre à jour les facteurs les plus importants qui régissent le climat et enfin d'établir le bilan d'eau.

### II.2 Analyse Des Paramètres Climatiques

Dans le cadre de cette étude, 33 années hydrologiques ont été choisies (1988- 2020), pour pouvoir utiliser le maximum des données plus récentes afin d'interpréter les paramètres climatiques mesurés au niveau de la station pluviométrique de Guelma (ONM) située à Belkheir. Choisie comme station de référence située à l'intérieur du Bassin (Tab. 13, Fig. 10).

*Tableau 13: Caractéristiques géographiques de la station pluviométrique de Guelma*

Station	Coordonnées		Altitude (m)	Période d'observations
	Longitude	Latitude		
Guelma	07°28'E	36°28'N	227	1988-2020

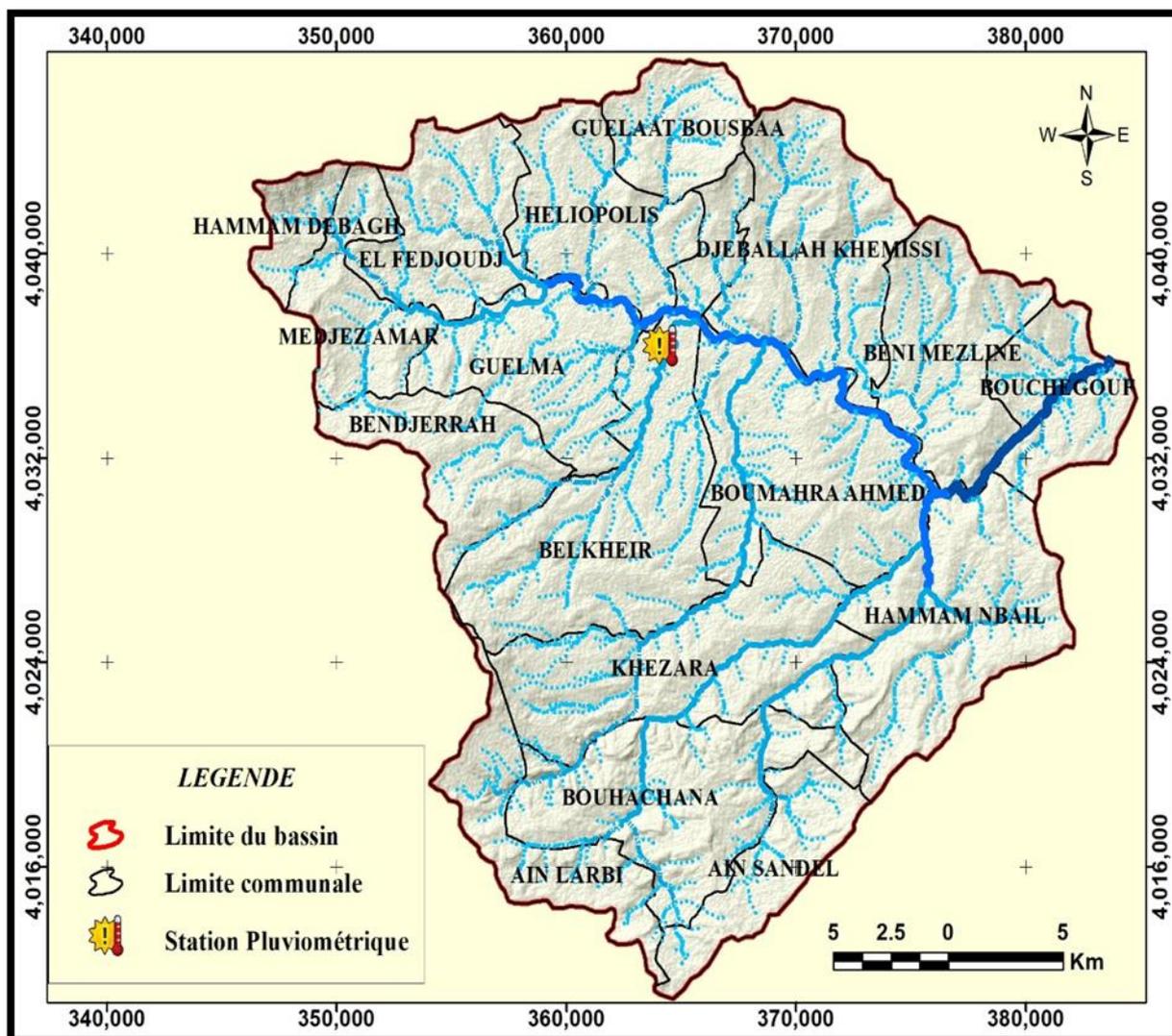


Figure 10: Localisation du poste pluviométrique de référence

### II.2.1 La Pluviométrie

La pluviométrie est un élément important du cycle de l'eau. Elle permet le renouvellement total ou partiel des aquifères au moyen d'infiltrations et conditionnent le débit saisonnier et le régime des cours d'eaux. En général, quatre aspects sont discutés ; il s'agit du coefficient pluviométrique et des répartitions saisonnières, mensuelles et annuelles.

### II.2.2 Coefficient Pluviométrique

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

Si :  $-CP > 1 \Rightarrow$  on a une année excédentaire.

-  $CP < 1 \Rightarrow$  on a une année déficitaire

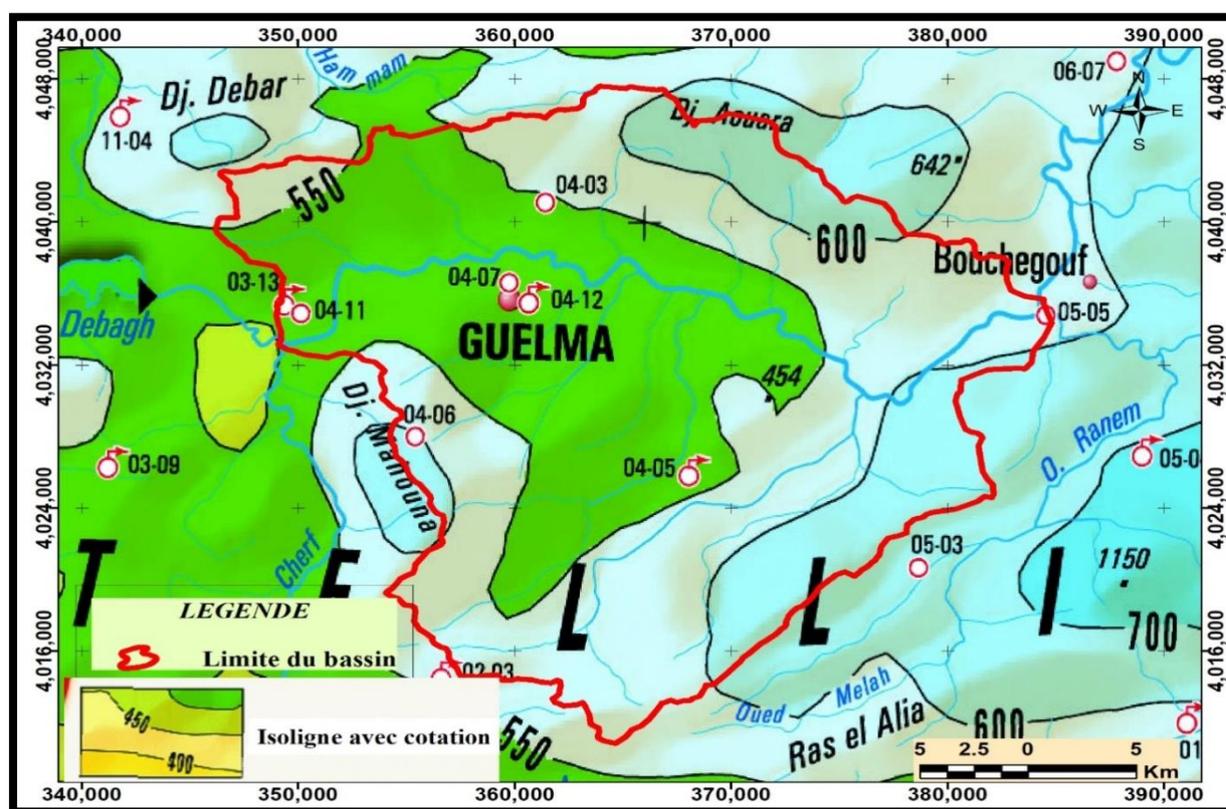


Figure 11 : Carte des précipitations annuelles du Nord-Est de l'Algérie – ANRH 2005 -

Le calcul du coefficient de variation durant la période d'observation (Tab. 14) met en évidence 19 années déficitaires et 14 autres excédentaires.

Tableau 14: Evolution du coefficient pluviométrique (1988/2020)

Année	P(mm)	CP	Type de l'année	Année	P(mm)	CP	Type de l'année
1988	455.50	0.75	D	2005	540.70	0.89	D
1989	459.80	0.76	D	2006	478.30	0.79	D
1990	633.90	1.05	E	2007	723.00	1.19	E
1991	564.80	0.93	D	2008	381.80	0.63	D
1992	982.50	1.62	E	2009	890.30	1.47	E
1993	519.10	0.86	D	2010	614.10	1.01	E
1994	457.00	0.76	D	2011	711.00	1.17	E
1995	579.20	0.96	D	2012	571.00	0.94	D
1996	734.80	1.21	E	2013	630.60	1.04	E
1997	620.40	1.03	E	2014	511.70	0.85	D
1998	691.60	1.14	E	2015	668.60	1.10	E
1999	596.50	0.99	D	2016	464.80	0.77	D
2000	405.30	0.67	D	2017	508.60	0.84	D
2001	487.00	0.80	D	2018	597.50	0.99	D
2002	503.80	0.83	D	2019	688.30	1.14	E

<b>2003</b>	938.50	1.55	E	2020	556.00	0.92	D
<b>2004</b>	804.80	1.33	E				

**E** : excédentaire, **D** : déficitaire

Avec : **P** : Pluviométrie de l'année considérée et  $\bar{P}$  : Pluviométrie moyenne pour la période d'étude, qui est donnée par l'équation :

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum P_i \rightarrow \bar{P} = 605.18 \text{ mm}$$

Où :  $i = 1$ , et  $N = 33$

La Figure 12 montre une évolution alternative entre année déficitaire et excédentaire avec un maximum et un minimum de l'ordre de 982.5 mm (1992) et 381.8 mm (2008) respectivement et une limite de 605.18 mm qui différencier les années déficitaires ( $P < 605.18$  mm) des années excédentaires ( $P > 605.18$  mm). Cette période d'observation présente 19 années déficitaires et 14 années excédentaires.

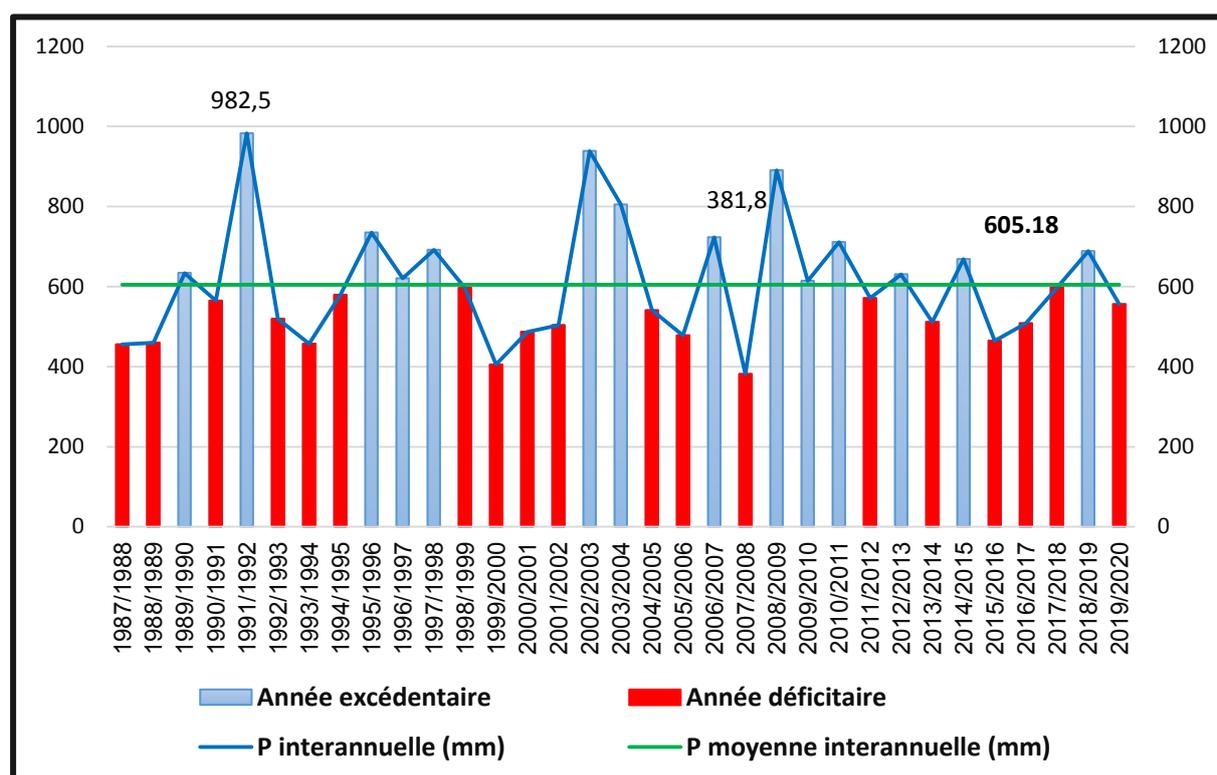


Figure 12: Variation annuelle des précipitations à la station de Guelma (1988-2020)

### II.2.3 Répartition Saisonnière Des Précipitations

Les précipitations sont réparties suivant les saisons agricoles [Automne (S,O,N), Hiver (D,J,F), Printemps (M,A,M) et Eté (J,J,A)].

Les pourcentages moyens des pluies tombées chaque saison pour la période (1988/2020) sont calculés par l'équation suivante :

$$P\% = \frac{\overline{P}_S}{P_T} \times 100 ; \quad \overline{P}_S = \frac{1}{N} \sum P_i$$

Avec P% : Pourcentage moyen des pluies tombé chaque saison.

$(P_S)^{-}$  : Pluviométrie moyenne pour chaque saison (mm).

$P_T$  : Pluviométrie totale de la période observé (mm).

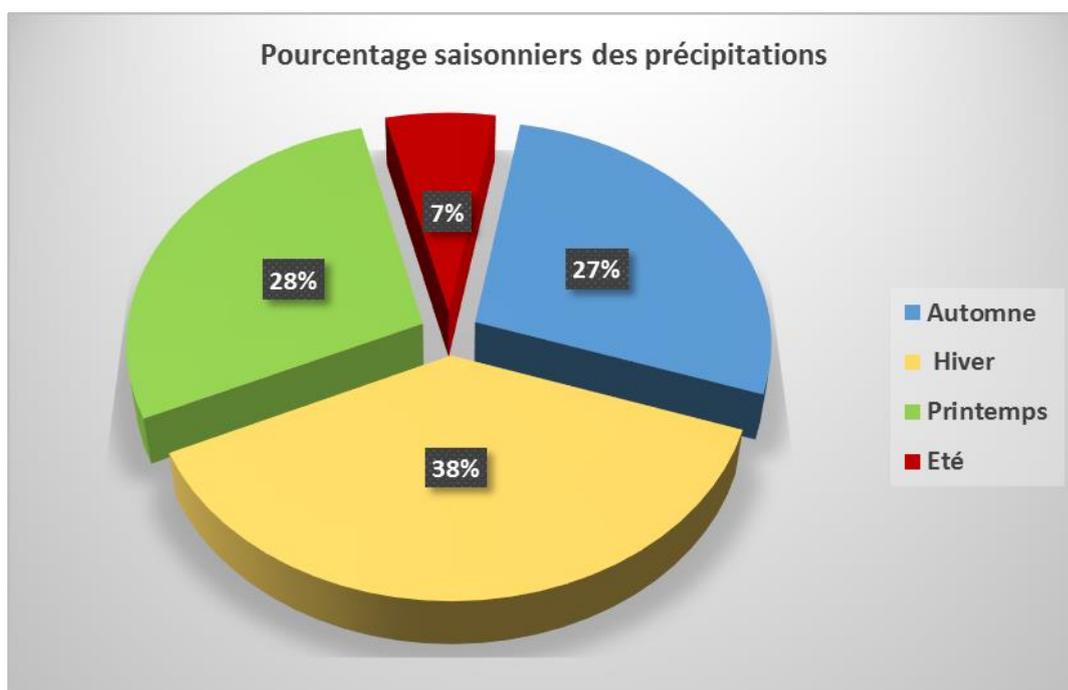


Figure 13: Pourcentage saisonniers des précipitations pour la période de 1988 à 2020

#### II.2.4 Répartition Moyennes Mensuelles Des Précipitations

Le tableau 14 et la figure 14 récapitule la répartition des moyennes mensuelles des relevés pluviométriques à la station de Guelma sur la période de 33 ans.

Tableau 15: Répartition des précipitations moyennes mensuelles à la station de Guelma

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>P moy (mm)</b>	41.3	48.6	76.1	78.1	86.8	64.2	67.0	57.9	45.2	17.0	5.34	17.2
	9	1	5	9	3	0	9	3	1	2		1

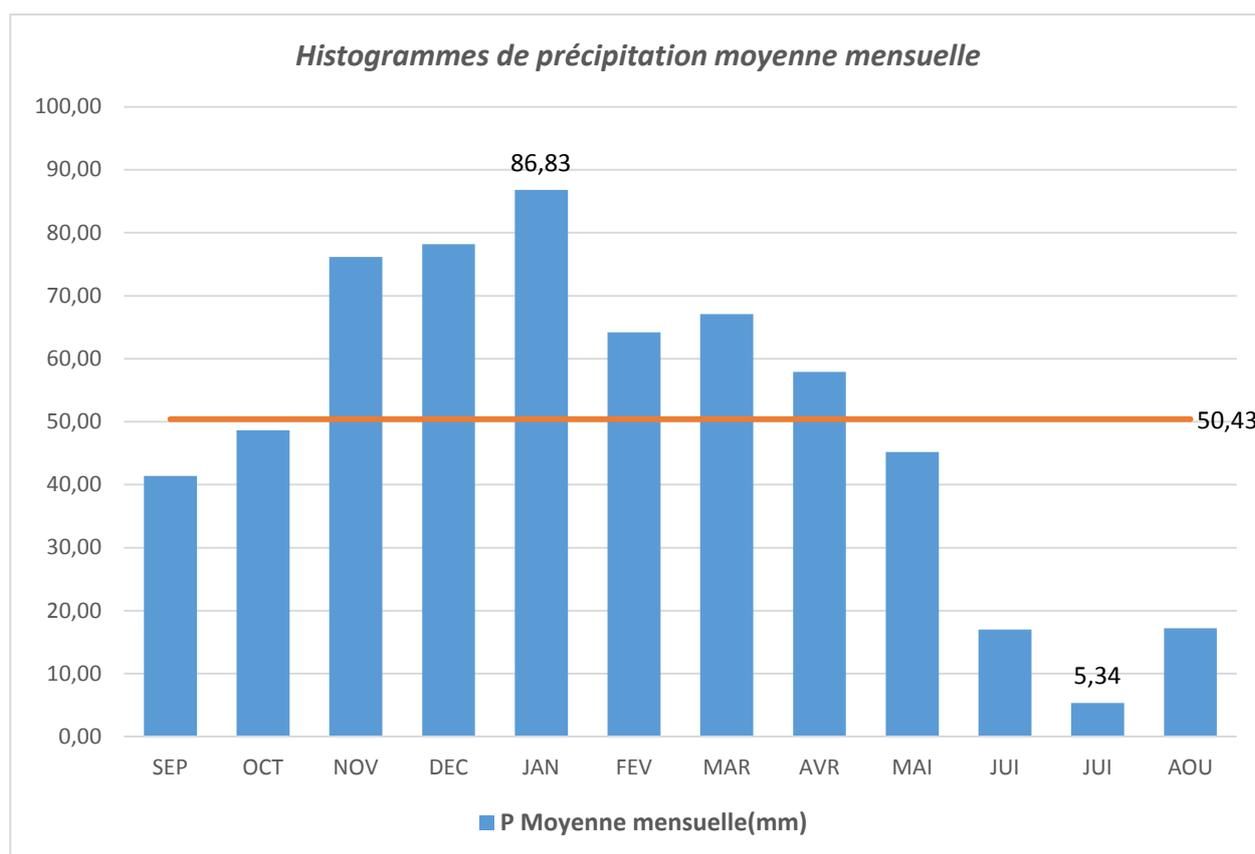


Figure 14: Répartition des précipitations moyennes mensuelles interannuelles à la station de Guelma (1988-2020)

Nous observons durant ces 33 ans, une grande irrégularité des précipitations moyennes mensuelles avec une précipitation moyenne annuelle de 50.43 mm, un minimum de l'ordre de 5.34 mm enregistré pendant le mois de juillet et un maximum de l'ordre de 86.83mm enregistré pendant le mois de janvier

### II.2.5 Répartition Moyennes Annuelles Des Pluies

Sur un cycle de 33 ans (1988-2020), Les précipitations observées à la station de Guelma sont très variables d'année en année. Ainsi, l'année la plus sèche est celle de (2007/2008) avec 381.8 mm/an et l'année la plus arrosée est celle de (1991-1992) avec 982.5 mm/an

Les résultats sont représentés dans le tableau 16 et la figure 15

Tableau 16: Les précipitations moyennes annuelles à la station de Guelma (1988-2020)

Années	P (mm)	Années	P (mm)
<b>1987/1988</b>	455.5	<b>2004/2005</b>	540.7
<b>1988/1989</b>	459.8	<b>2005/2006</b>	478.3
<b>1989/1990</b>	633.9	<b>2006/2007</b>	723
<b>1990/1991</b>	564.8	<b>2007/2008</b>	381.8

<b>1991/1992</b>	982.5	<b>2008/2009</b>	890.3
<b>1992/1993</b>	519.1	<b>2009/2010</b>	614.1
<b>1993/1994</b>	457	<b>2010/2011</b>	711
<b>1994/1995</b>	579.2	<b>2011/2012</b>	571
<b>1995/1996</b>	734.8	<b>2012/2013</b>	630.6
<b>1996/1997</b>	620.4	<b>2013/2014</b>	511.7
<b>1997/1998</b>	691.6	<b>2014/2015</b>	668.6
<b>1998/1999</b>	596.5	<b>2015/2016</b>	464.8
<b>1999/2000</b>	405.3	<b>2016/2017</b>	508.6
<b>2000/2001</b>	487	<b>2017/2018</b>	597.5
<b>2001/2002</b>	503.8	<b>2018/2019</b>	688.3
<b>2002/2003</b>	938.5	<b>2019/2020</b>	556
<b>2003/2004</b>	804.8		

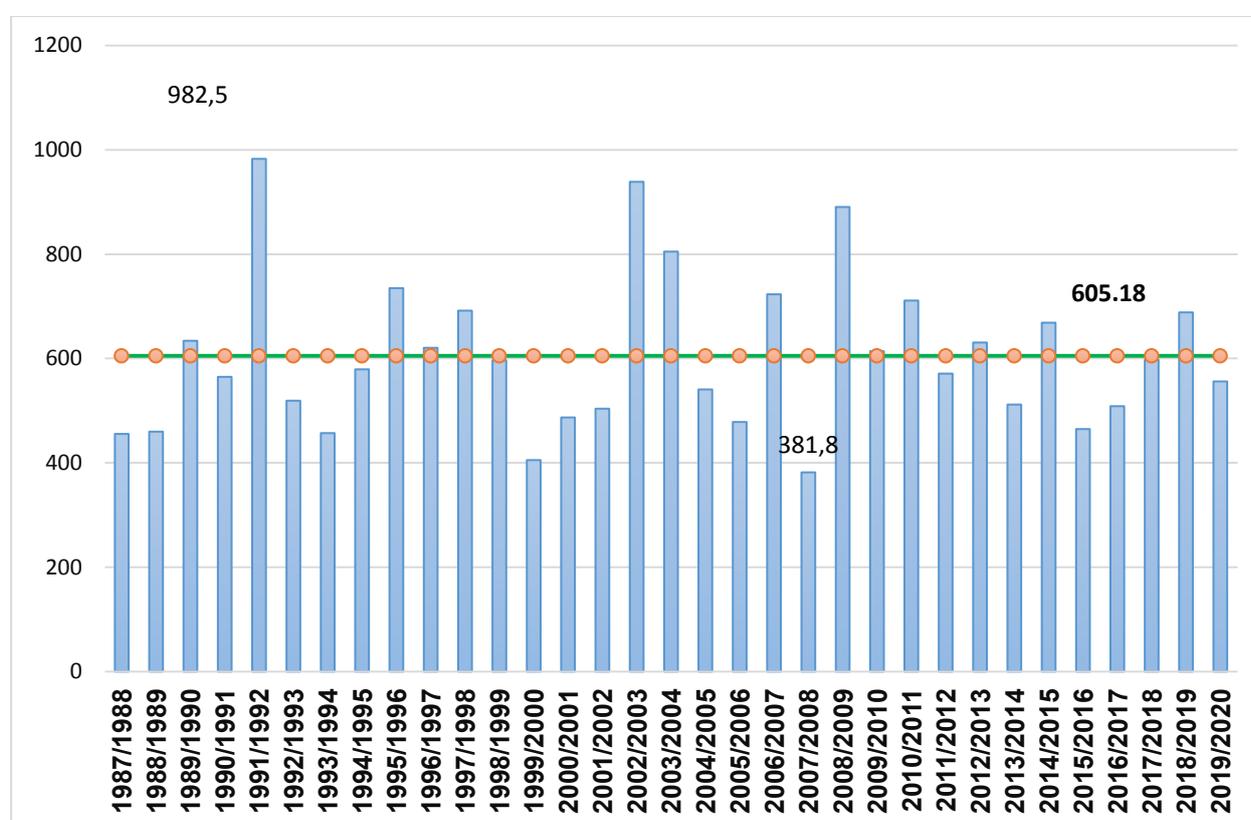


Figure 15: Précipitations moyennes annuelles à la station de Guelma (1988-2020)

L'analyse des données pluviométriques enregistrées à la station météorologique de Guelma sur la période allant de 1988 jusqu'au 2020 permet de dire que :

- La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 605.38 mm et elle est très variable à l'échelle annuelle.
- Le mois de janvier est le mois le plus arrosé avec une moyenne de 86.83mm.
- Le mois le moins pluvieux est le mois de juillet avec une moyenne de 5.34 mm.

- La saison hivernale est la plus pluvieuse avec un pourcentage de 38 % de pluie annuelle (une moyenne de 229.22 mm/mois).
- L'été est le plus sec avec un pourcentage de 7 % de la pluie annuelle (une moyenne de 39.58 mm/mois), le reste du pourcentage des pluies annuelles est répartie entre le Printemps et l'Automne.

### II.2.6 Évolution Des Températures

La température est un paramètre indispensable à la climatologie, vu de son pouvoir évaporateur qu'il exerce sur les surfaces mouillées, et qu'il est à l'origine du bon fonctionnement du cycle de l'eau, c'est facteur très important dans l'évolution du déficit d'écoulement qui entre dans l'estimation hydrogéologique,

La température est un facteur très important dans l'évolution du déficit d'écoulement qui entre dans l'estimation hydrogéologique, ce paramètre est indispensable à la climatologie, vu de son pouvoir évaporateur qu'il exerce sur les surfaces mouillées, et qu'il est à l'origine du bon fonctionnement du cycle de l'eau.

### II.2.7 Répartition Des Températures Moyennes Mensuelles Interannuelles

- La période qui s'étale du mois de novembre au mois d'avril correspond à la période froide avec un minimum durant le mois de janvier de (9.67 °C) alors que - la période chaude commence à partir du mois de mai et s'étale jusqu'au mois de septembre avec un maximum pendant le mois d'août (27.37°C).

- La moyenne annuelle est de l'ordre de 17.82 °C.

Le tableau 16 récapitule les températures moyennes mensuelles interannuelles, qui ont été reportées également dans la figure 16.

*Tableau 17: Moyennes mensuelles interannuelle de la température à la station de Guelma (1988-2020)*

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>T moy (°C)</b>	23.75	20.09	14.52	10.92	9.67	10.06	12.41	14.93	19.13	23.89	27.07	27.37

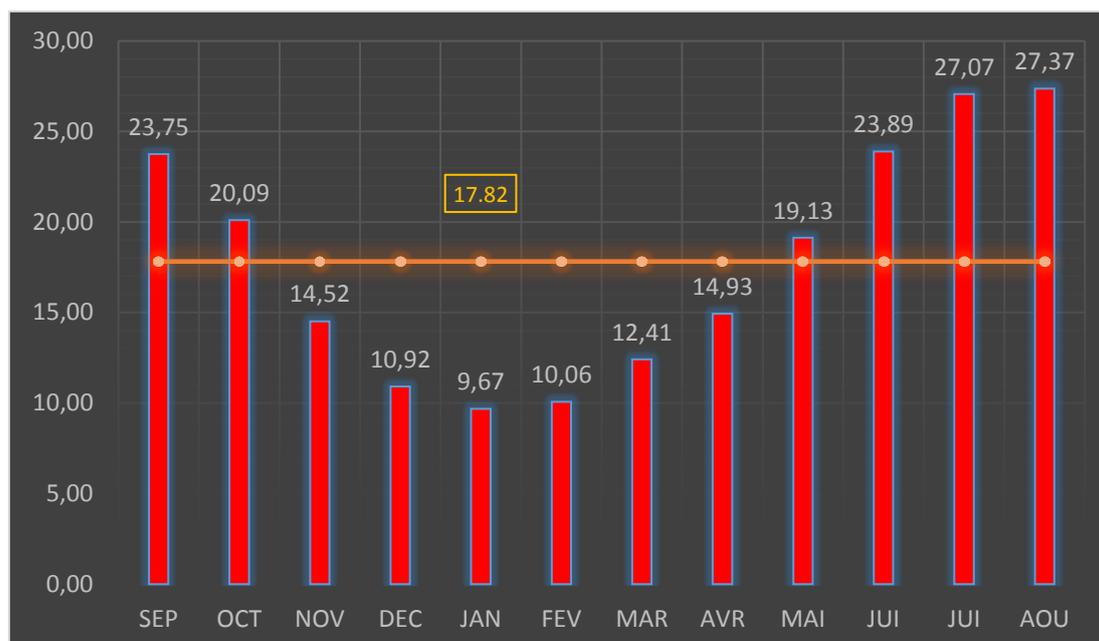


Figure 16: Répartition moyenne mensuelle interannuelle de la température à la station de Guelma (1988-2020)

### II.2.8 Répartition Des Températures Moyennes Annuelles (1988-2020)

Le tableau 17 et la figure 17 présentent la variation de la température moyenne annuelle sur une période de 33 ans (1988-2020).

On remarque bien l'irrégularité de ce paramètre : l'année la plus chaude est 1994 avec une température moyenne égale  $19.17^{\circ}\text{C}$ , tandis que l'année la plus froide est l'année 1992, avec une moyenne de température égale à  $16.52^{\circ}\text{C}$ .

Tableau 18: Moyenne annuelle des températures à la station de Guelma (1988-2020)

Années	T (°C)	Années	T (°C)	Années	T (°C)
1987/1988	17.83	1998/1999	18.43	2009/2010	17.84
1988/1989	17.58	1999/2000	17.98	2010/2011	17.77
1989/1990	17.82	2000/2001	18.13	2011/2012	18.21
1990/1991	16.53	2001/2002	18.14	2012/2013	17.65
1991/1992	16.52	2002/2003	18.44	2013/2014	18.48
1992/1993	17.07	2003/2004	17.45	2014/2015	18.11
1993/1994	19.17	2004/2005	17.41	2015/2016	18.27
1994/1995	17.50	2005/2006	18.38	2016/2017	18.31
1995/1996	17.31	2006/2007	17.48	2017/2018	17.69
1996/1997	18.09	2007/2008	17.66	2018/2019	17.88
1997/1998	17.26	2008/2009	17.75	2019/2020	17.89

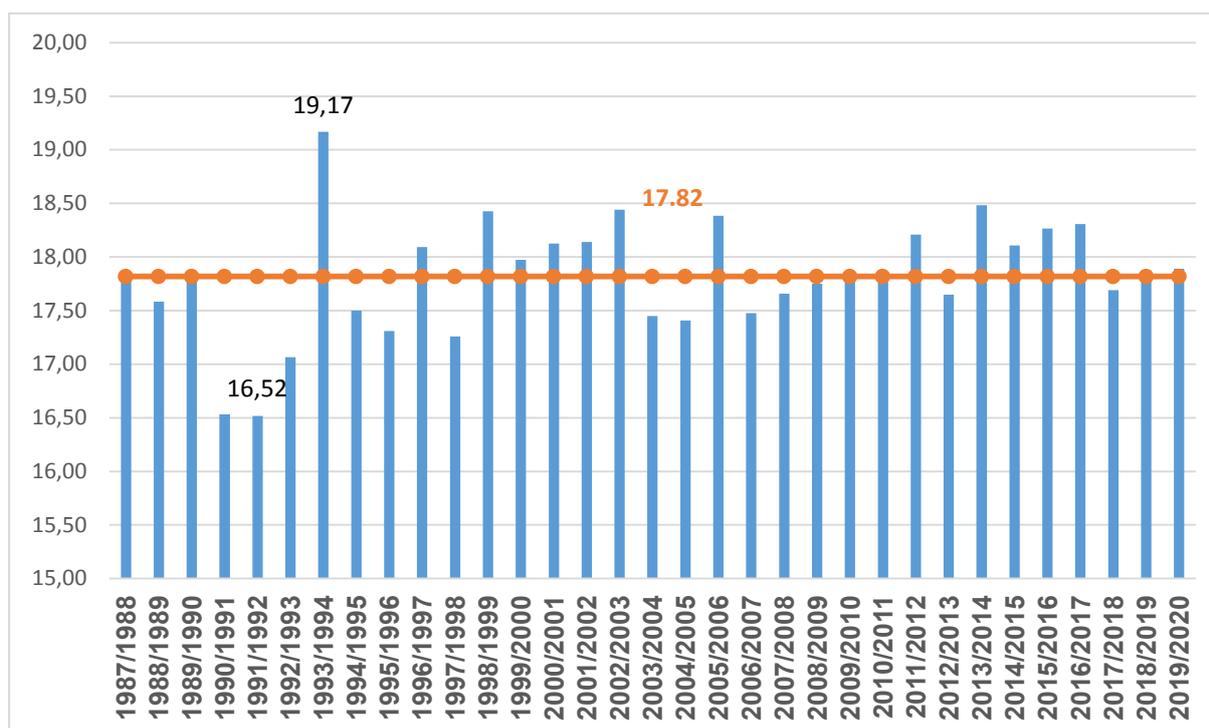


Figure 17: Variation de températures annuelles à la station de Guelma (1988-2020)

## II.3 INDICES CLIMATIQUES

Les indices climatiques donnent un aperçu sur les caractéristiques du climat de la région.

### II.3.1 Calcul De L'indice D'aridité De Martonne (1923)

La formule climatique de Martonne est appelée indice d'aridité, il est en fonction de la température et de la précipitation,

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

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle en (mm).

T : température moyenne annuelle en C°.

A : indice d'aridité annuelle.

Selon De Martonne :

- Si  $A < 5 \Rightarrow$  le climat est hyperaride.
- Si  $5 < A < 7.5 \Rightarrow$  le climat est désertique.
- Si  $7.5 < A < 10 \Rightarrow$  le climat est steppique.

- Si  $10 < A < 20 \Rightarrow$  le climat est semi-aride.
- Si  $20 < A < 30 \Rightarrow$  le climat est tempéré.
- Si  $A > 30 \Rightarrow$  l'écoulement est abondant (climat humide).

Tableau 19: Indice annuel d'aridité (A)

Stations	P (mm)	T (°C)	A	Observation
Guelma	605.18	17.82	21.75	Climat tempéré

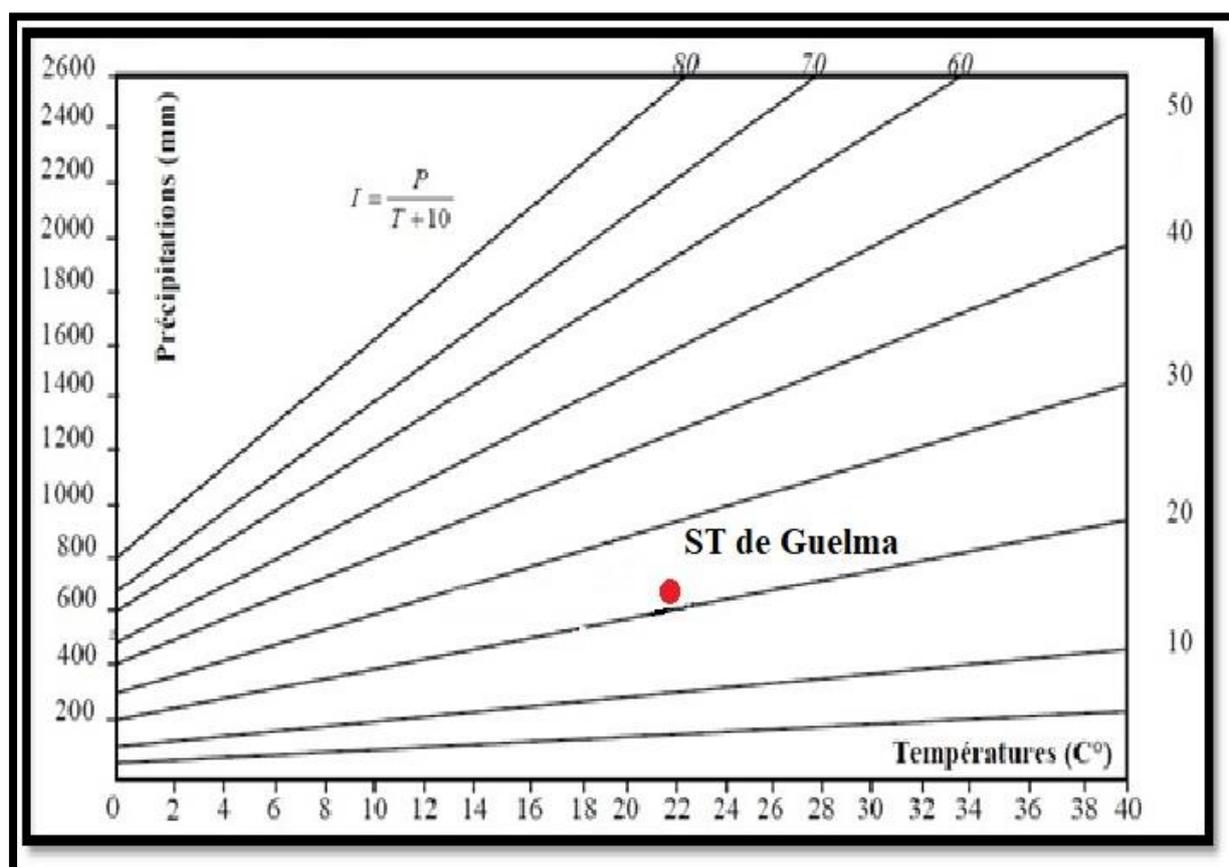


Figure 18 : Abaque de l'Indice d'aridité Annuel de DE Martone, 1923

### II.3.2 Diagramme Pluvio-Thermique De Gausсен

Le diagramme pluvio-thermique de GAUSSEN est la combinaison des températures et des précipitations mensuelles moyennes.

Le diagramme pluvio-thermique illustré dans la figure 19 fait ressortir deux saisons :

- Une saison sèche qui s'étend entre le mois de Mai jusqu'au mois de Septembre.

- Une saison humide et douce qui dure Sept mois donc du mois d'octobre jusqu'au mois de Avril.

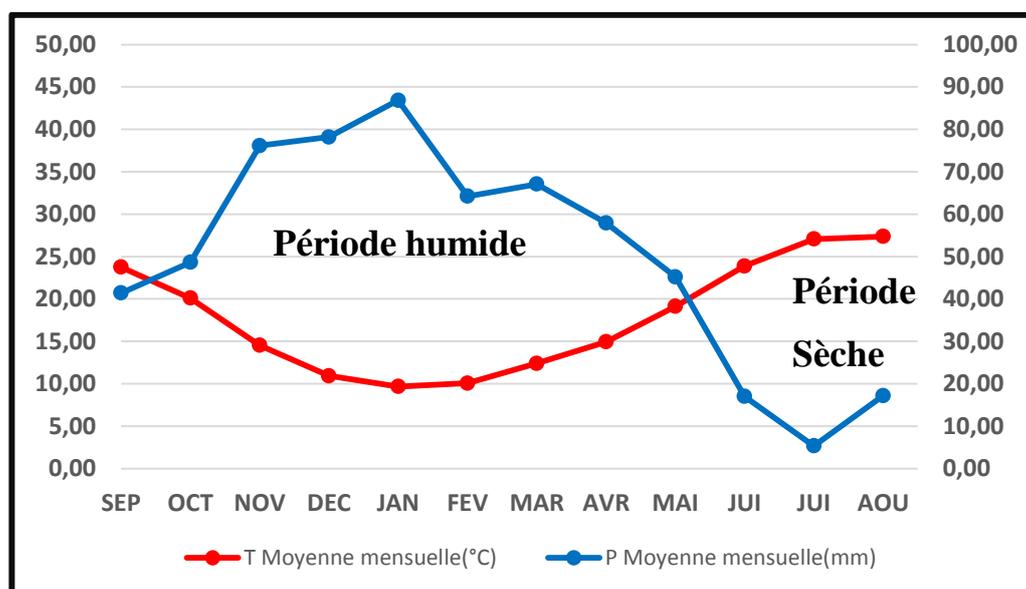


Figure 19: Diagramme Pluvio-thermique de GAUSSEN de la région de Guelma (1988-2020)

### II.3.3 Climagramme D'emberger

Le Climagramme d'EMBERGER permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée. Il est déterminé à partir de la formule :

$$Q = \frac{2000 * P}{T_{Max}^2 - T_{Min}^2}$$

Dont :

- **P** : précipitation moyenne annuelle (mm)
- $T_{Max}^2$  : La température maximale du mois le plus chaud en °C
- $T_{Min}^2$  : La température minimale du mois le plus froid en °C

En appliquant la formule suivante élaborée par STEWART (1968) pour l'Algérie et le Maroc, soit :

$$Q = 3.43P / (M-m)$$

Avec:

- Q : Quotient pluviométrique d'Emberger.
- P: Précipitation moyenne annuelle (mm).

- M: Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en (°C).
- m: Moyenne des températures minimales du mois le plus froid en (°C).

Pour notre cas:

Tableau 20: Paramètres climatique déterminant l'indice d'EMBERGER

P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q
605.18	27.37	9.67	<b>117.29</b>

La température minimale enregistrée pendant le mois de janvier au cours des 33 ans dans cette station est 9.95 °C, donc, la position de la station de Guelma sur le Climagramme se situe aux coordonnées suivantes (9.67 ; 117.29).

Selon le Climagramme d'Emberger, le climat auquel appartient la zone d'étude est de type Subhumide (Figure 20).

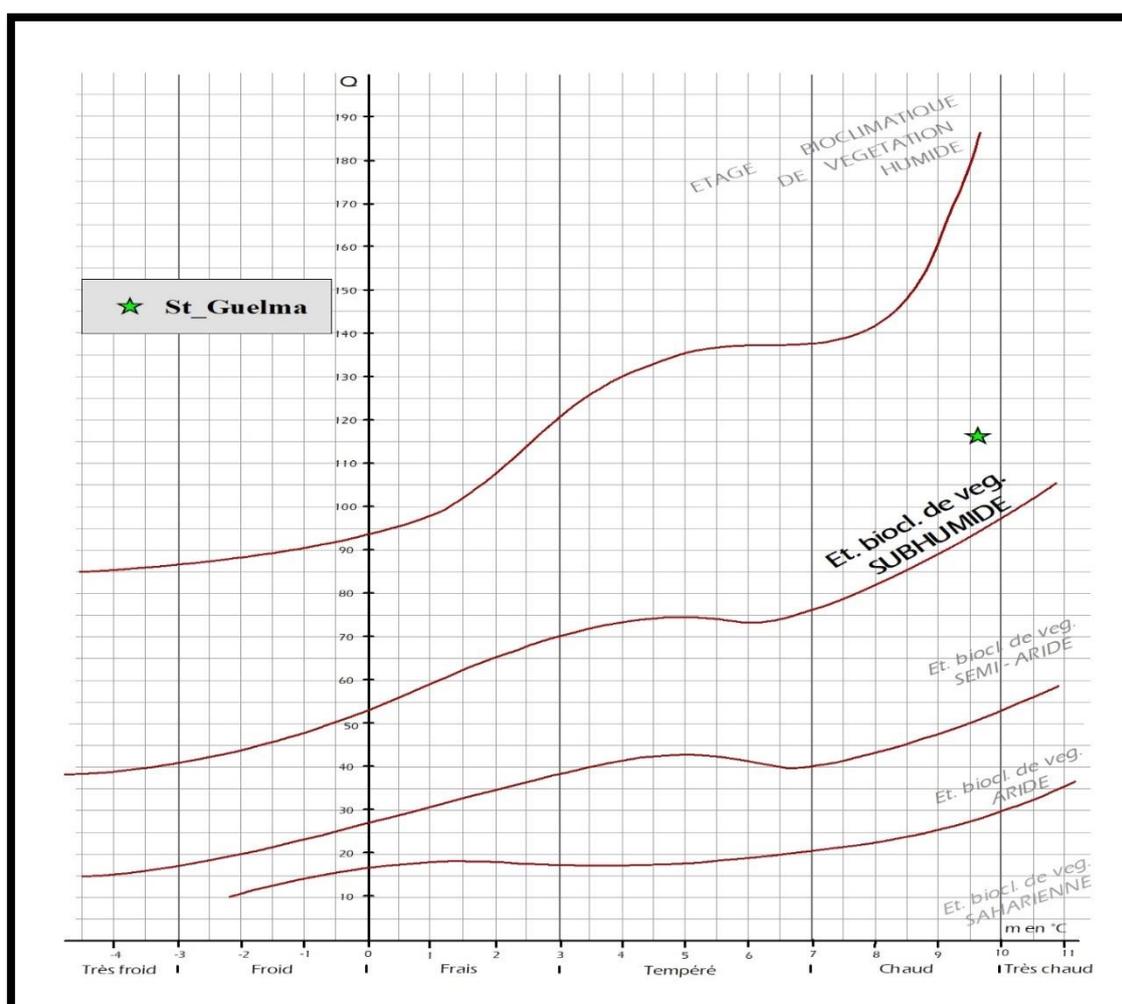


Figure 20: Position de la station de l'ONM: de Guelma sur le Climagramme d'EMBERGER

## II.4 Notion Du Bilan D'eau

Le bilan d'eau global correspondant à une équation d'équilibre entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Ainsi pour déterminer le bilan de la zone d'étude, il est indispensable d'évaluer ses composantes (infiltration, ruissellement et évapotranspiration). Pour cela, on va se baser sur les données de la station : de Guelma, qui possède une série d'observation homogène et continue de 33 ans (1988-2020).

### II.4.1 Étude De L'évapotranspiration

L'évaporation constitue l'élément le plus important du bilan hydrologique après les précipitations. Représenté par une quantité d'eau est restituée à l'atmosphère sous forme de vapeur, l'évapotranspiration englobe l'ensemble de 02 phénomènes :

- L'évaporation : c'est un phénomène physique de la transformation d'eau en vapeur d'eau, à partir d'une surface d'eau libre (mer, lac, marécage, cours d'eau,) et du sol.
- La transpiration : la transpiration est un phénomène biologique lié à la couverture végétale, à son stade de développement et à sa nature.

On distingue :

- a) L'évapotranspiration potentielle (ETP).
- b) L'évapotranspiration réelle (ETR).

#### II.4.1.1 Estimation De L'évapotranspiration Réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle s'identifie au déficit d'écoulement et peut se calculer à partir de nombreuses formules qui induisent l'utilisation de deux paramètres climatiques à savoir : la pluviométrie et la température. L'évapotranspiration réelle est en fonction de la quantité de pluie tombée dans le bassin de la réserve maximale en eau du sol.

#### ↳ Formule de Turc

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} : L = 300 + 25t + 0.05t^2$$

**Avec :**

**ETR :** Evapotranspiration réelle annuelle en mm.

**P :** Précipitation annuelle en mm.

**T :** Température moyenne annuelle en °C.

**L :** Pouvoir évaporant.

Les résultats sont portés dans le tableau ci-dessous.

*Tableau 21: L'ETR annuelle selon la méthode de Turc*

	<b>P (mm)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>L</b>	<b>ETR (mm/an)</b>
<b>Guelma</b>	<b>605.18</b>	<b>17.82</b>	<b>761.33</b>	<b>488.96</b>

↪ **Formule de Coutagne**

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

Cette formule n'est valable que si la quantité des précipitations en (m) répond à la condition suivante :

$$\frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda} \quad \text{pour } \lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$$

**A.N**

$$\lambda = 0.3 \rightarrow \frac{1}{8 * 0.3} < P < \frac{1}{2 * 0.3} \rightarrow 0.416 < P < 1.666$$

Ce qui nous amène à dire que la condition est vérifiée puisque la précipitation annuelle dans la région d'étude est de 605.18 mm → 0.605m

**Avec :**

**ETR:**L'évapotranspiration réelle.

**P:** Précipitation moyenne annuelle en m.

**T:** Température moyenne annuelle en °C

Ces valeurs permettent de déterminer les valeurs de l'ETR pour la station de Guelma pour lesquelles on a mis le tableau ci-dessous.

*Tableau 22: L'ETR selon la méthode de Coutagne*

	<b>P(m)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>λ</b>	<b>ETR (mm/an)</b>
<b>Guelma</b>	<b>0.605</b>	<b>17.82</b>	<b>0.3</b>	<b>494.01</b>

### ↳ Formule de Thornthwaite

Pour l'établissement du bilan hydrique on utilise l'évapotranspiration potentielle et réelle moyenne par la méthode de C.W. Thornthwaite.

Ce bilan repose sur l'hypothèse suivante :

- La satisfaction de l'ETR est prioritaire sur l'écoulement.
- Le calcul de l'ETR peut s'effectuer suivant deux cas :

**1<sup>er</sup> cas** :  $P > ETP \rightarrow ETR = ETP$  on a alors un excédent.

**2<sup>eme</sup> cas**:  $P < ETP \rightarrow ETR = P + RFU$ .

L'utilité de la comparaison réside dans les écarts décelés lors de l'application des trois méthodes (tableau n° 21) pour aboutir à une meilleure approche de l'ETR.

Ce qui par la suite fera ressortir la formule là mieux appropriée à notre région d'étude.

Etant donné, que les formules élaborées chacune en un lieu différent, il est clair que :

- La formule de Thornthwaite convient aux régions humides de la zone tempérée, contrairement à celle de Turc qui présente un caractère universel.
- ETR est surestimé pour tous les mois de l'année par ailleurs, Thornthwaite et Coutagne présentent des résultats assez convaincants (donnent des valeurs très proche de l'ETR)

Donc on peut dire que la méthode de Thornthwaite s'avère plus adaptée, en plus il y a similitude des conditions dans lesquelles elle a été émise avec celle qui règnent dans notre région d'étude, elle admet un coefficient de correction K.

Il apparaît que les valeurs de l'évapotranspiration réelle d'après Coutagne et Turc sont assez proches, alors que celles de Thornthwaite sont faibles par rapport aux valeurs de Turc et Coutagne, mais restent acceptables et n'excluent en rien la fiabilité de ces résultats.

*Tableau 23: Résultats du calcul de l'ETR selon Turc, Coutagne et Thornthwaite*

	<b>Thornthwaite</b>	<b>Coutagne</b>	<b>Turc</b>
<b>Guelma</b>	<b>449.26</b>	<b>494.01</b>	<b>488.96</b>

### II.4.1.2 Estimation De L'évapotranspiration 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 :

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.5}$$

$$I = \sum_i^{12} i, \quad a = \frac{1.6I}{100+0.5I}$$

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

ETP : Evapotranspiration potentielle du mois considéré en mm.

T : Température moyenne du mois considéré en °C.

K : Coefficient d'ajustement mensuel.

i : Indice thermique mensuel.

- Les résultats obtenus sont portés dans les tableaux n° 22.

Estimation des réserves facilement utilisables (RFU):

Elle présente la quantité d'eau emmagasinée dans le sol, son degré de saturation dépend de plusieurs facteurs :

- la nature, la lithologie et l'épaisseur de la couche superficielle.
- la profondeur du niveau piézoélectrique de la nappe aquifère.
- le climat de la région.
- le type de la couverture végétale.

La RFU pour la région d'étude, en tenant compte de tous ces facteurs varie entre 39.5 à 100mm

Tableau 24: Bilan Hydrique de Thornthwaite de la station de Guelma (1988-2020)

Mois	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RFU	ETR	Def	Exc
S	23.75	10.6	1.03	110.7	41.39	-69.3	-0.6	0.0	0.0	41.4	69.3	0.0
O	20.09	8.2	0.97	76.1	48.61	-27.5	-0.4	0.0	0.0	48.6	27.5	0.0
N	14.52	5.0	0.86	36.7	76.15	39.5	1.1	39.5	39.5	36.7	0.0	0.0
D	10.92	3.3	0.81	20.2	78.19	58.0	2.9	58.0	97.5	20.2	0.0	0.0
J	9.67	2.7	0.87	17.3	86.83	69.5	4.0	2.5	100.0	17.3	0.0	67.0
F	10.06	2.9	0.85	18.2	64.20	46.0	2.5	0.0	100.0	18.2	0.0	46.0
M	12.41	4.0	1.03	32.7	67.09	34.4	1.1	0.0	100.0	32.7	0.0	34.4
A	14.93	5.2	1.10	49.4	57.93	8.5	0.2	0.0	100.0	49.4	0.0	8.5
M	19.13	7.6	1.21	86.6	45.21	-41.4	-0.5	-41.4	58.6	86.6	0.0	0.0
J	23.89	10.7	1.22	132.6	17.02	-115.6	-0.9	-58.6	0.0	75.7	56.9	0.0
J	27.07	12.9	1.24	170.4	5.34	-165.0	-1.0	0.0	0.0	5.3	165.0	0.0
A	27.37	13.1	1.16	162.8	17.21	-145.6	-0.9	0.0	0.0	17.2	145.6	0.0
<b>Annuel</b>	<b>17.82</b>	<b>86.2</b>		<b>913.58</b>	<b>605.18</b>	<b>-308.4</b>				<b>449.26</b>	<b>464.31</b>	<b>155.91</b>

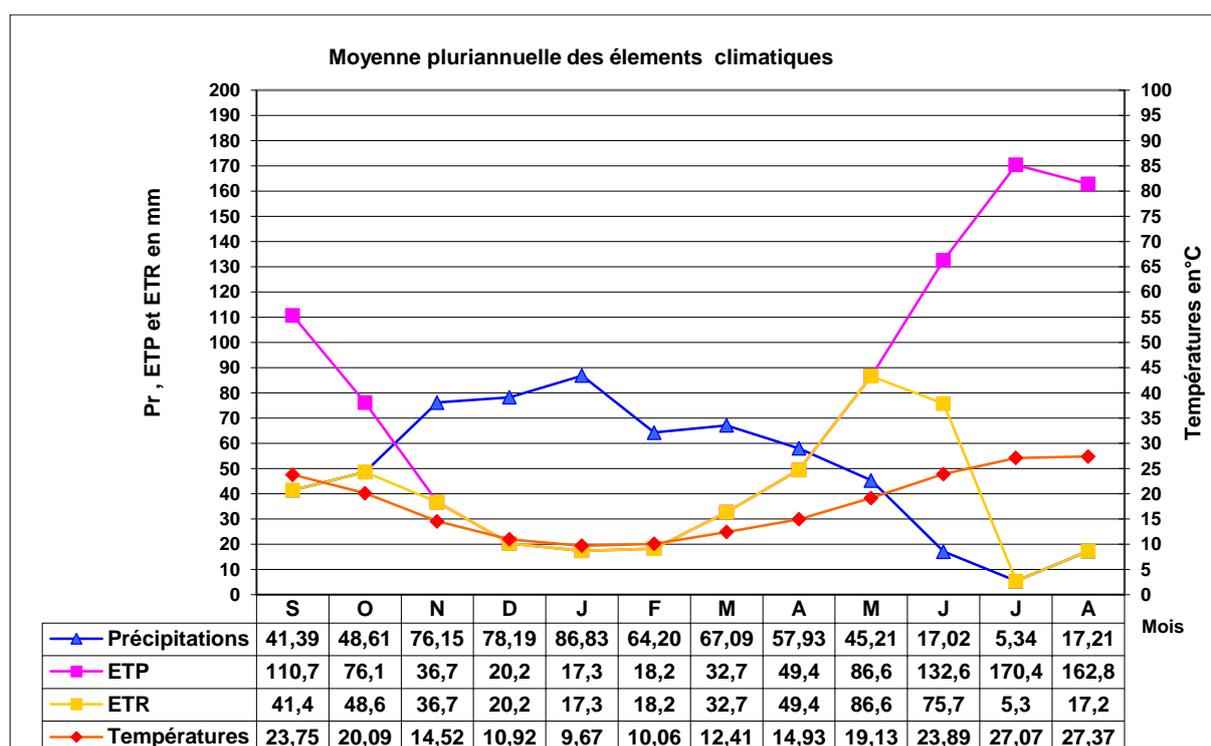


Figure 21: Représentation graphique du bilan de Thornthwaite Station de Guelma  
(1988-2020)

Avec :

**P** : Précipitation moyenne mensuelle en mm.

**T** : Température moyenne mensuelle en °C.

**ETP** : Evapotranspiration potentielle en mm.

**ETR** : Evapotranspiration réelle en mm.

**RFU** : Réserve facilement utilisable (RFU=100mm). Pour le calcul du Bilan la valeur de la RFU a été choisie en fonction de la nature du sol.

**EXC** : Excédent en mm.

**DA** : Déficit agricole en mm.

↳ **Formules de vérification :**

$$P = \sum ETR + \sum EX; ETP = \sum ETR + \sum DA$$

**A.N. : P= 449.26+155.91= 605.18mm.**

**ETP= 449.26+ 464.31=913.58 mm.**

Nous constatons que les résultats issus des bilans hydriques sont vérifiés.

#### **II.4.2 Interprétation Des Graphiques Du Bilan Hydrique**

D'après le graphique du bilan hydrique de la station de Guelma (Figures 21) calculés par la méthode de Thornthwaite, nous constatons que la RFU (réserve facilement utilisable) commence à se reconstituer à partir du mois de Novembre (39.5mm) pour atteindre son maximum (100 mm) à partir du mois de janvier jusqu'au mois d'avril, période pendant laquelle il y a un surplus d'eau se manifestant par un écoulement. Elle diminue à partir du mois d'avril jusqu'à ce qu'elle soit totalement épuisée au mois de Mai, où on observe l'apparition du déficit agricole (DA) à partir du mois de Juin (56.9mm) qui se poursuit jusqu'à Octobre.

#### **II.4.3 Estimation De La Lame D'eau Écoulée**

Pour déterminer le bilan hydrologique. Il est nécessaire d'évaluer le ruissellement dans le but d'apprécier l'importance de l'érosion mécanique et chimique qui affecte la surface de la terre.

Le ruissellement (R) peut être calculé par la formule Tixeront Berkallof :

$$R = \frac{P^3}{3 * ETP^2}$$

Avec :

**P** : Précipitation moyenne en m.

**R** : Ruissellement en m.

**ETP** : Evapotranspiration potentielle en m.

La lame d'eau ruisselée des précipitations de la station est reportée sur le tableau qui suit :

*Tableau 25 : Ruissellement selon la formule de Tixiront-Berkaloff*

Station	P(m)	ETP(m)	R (m)
Guelma	0.605	0.914	0.089

↳ A l'issue de cette étude climatologique, on peut établir le bilan hydrologique à partir des différents facteurs calculés.

$$P = ETR + R + Ie$$

Avec :

**P** : Précipitation moyenne annuelle en mm/an.

**ETR** : Evapotranspiration réelle en mm/an.

**Ie** : Infiltration efficace en mm/an.

#### II.4.4 Infiltration Efficace

La disponibilité des différents facteurs régissant l'équation du bilan hydrologique nous permet de déterminer l'infiltration efficace (Ie) qui s'écrit comme suit :

$$Ie = P - ETR - R$$

*Tableau 26: Les valeurs de l'infiltration efficace*

Station	P		ETR		R		Ie	
	(mm/an)	%	(mm/an)	%	(mm/an)	%	(mm/an)	%
Guelma	605.18	100	449.26	74.24	88.52	14.63	67.4	11.14

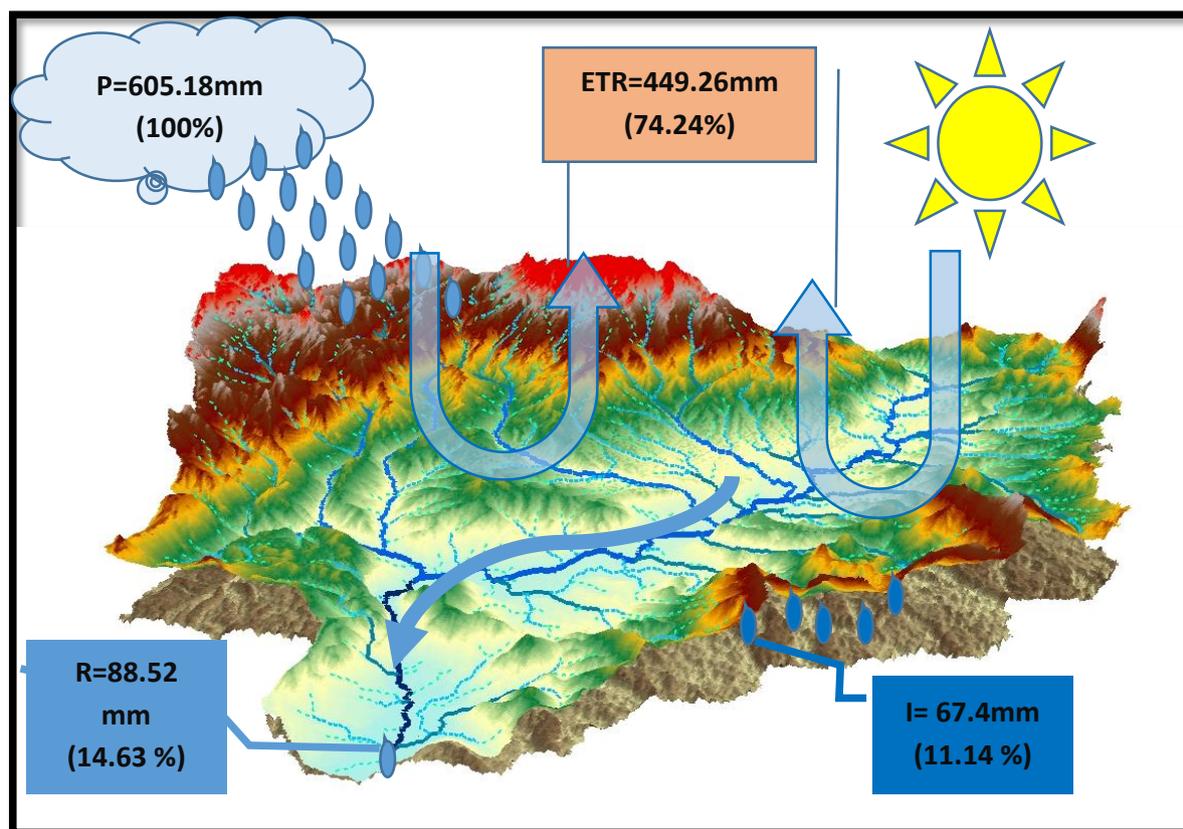


Figure 22: représentation des paramètres du bilan hydrique sur la vue 3D du Bassin Versant de la moyenne Seybouse

## II.5 CONCLUSION

La synthèse des données climatiques nous permet de constater 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 dans la région d'étude est de l'ordre de 17.82°C, et la moyenne annuelle des précipitations est de 605.18 mm.

L'étude du climat en utilisant l'indice d'aridité de Martonne a montré que notre secteur d'étude est en zone tempérée, il est marqué par une évapotranspiration réelle (ETR) de 74.24% des précipitations, alors que la lame d'eau ruisselée constitue 14.63 % de la lame d'eau précipitée.

L'infiltration efficace représente 11.14 % des précipitations, qui pourra jouer un rôle important dans la recharge des nappes d'eau souterraines.

# **CHAPITRE III**

## **HYDROCHIMIE**

### III.1 INTRODUCTION

Les travaux réalisés (Mouassa.S. 2017, Guettaf.M. 2015) montrent que les eaux de la plaine de Guelma et surtout celles de l'Oued Seybouse indiquent une dégradation de leur qualité. Cette dégradation est provoquée par les différents apports issus des rejets (industriels, domestiques et agricoles), le retour des eaux d'irrigation constitue également une source de pollution avérée. En effet, les engrais utilisés vont percoler vers la nappe suite aux irrigations et vont revenir dans les eaux et accentuer le risque de pollution.

### III.2 Paramètres Physico-chimiques Et Identification Des Facies

#### III.2.1 Échantillonnage

Lors de la campagne effectuée, (Déc. 2018), les échantillons d'eau prélevés des forages ont été destinés aux analyses nécessaires. Les 33 points d'eau ciblés ont été présélectionnés pour qu'ils soient les mieux représentatifs et captent les différents aquifères existants dans tout le bassin (Fig. 23). Les analyses physico-chimique (T, pH, CE, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) des échantillons prélevés ont été effectuées aux services du laboratoire de l'algérienne des eaux Guelma (ADE).

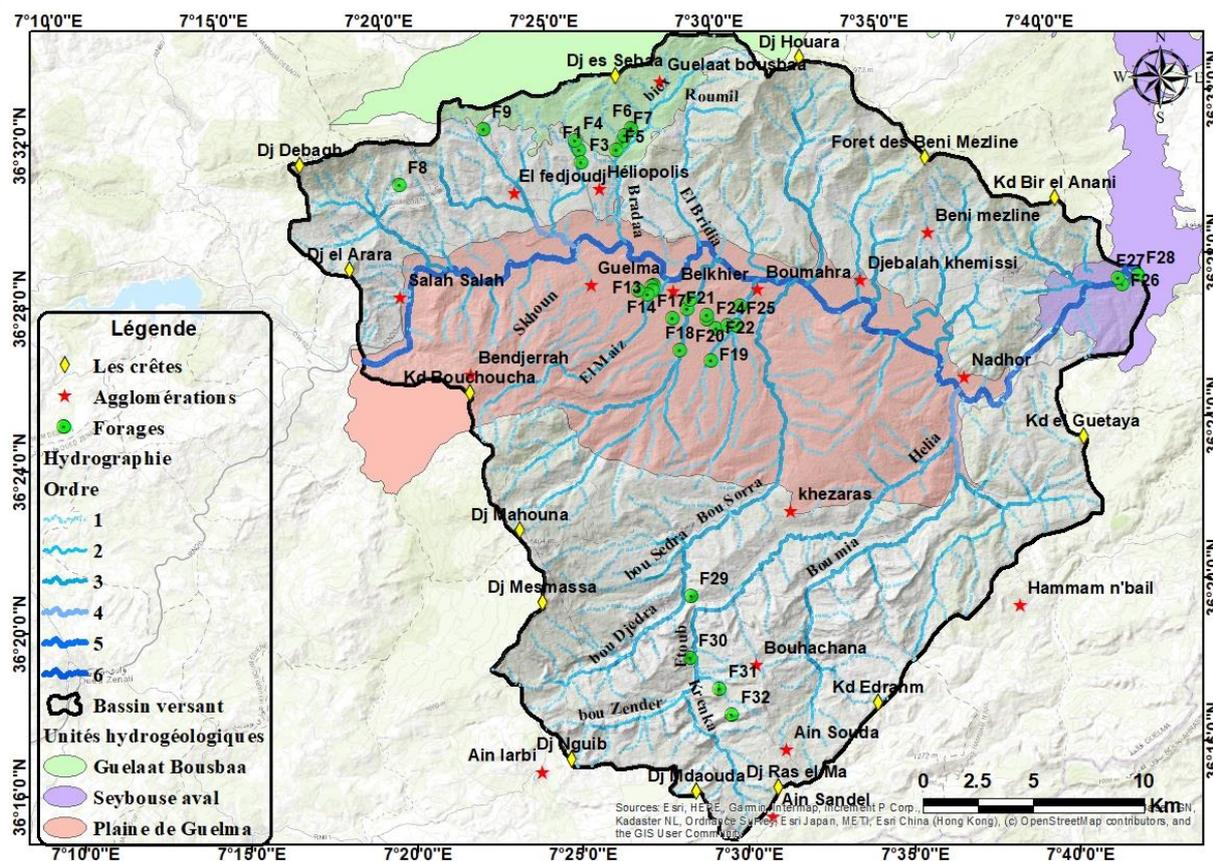


Figure 23: Carte des points d'eau prélevés dans Le bassin versant de la moyenne Seybouse–

### III.2.2 Les Paramètres Physiques

Les trois paramètres physiques (pH, conductivité électrique, T°). Leurs mesures ont été effectuées, en même temps que les prélèvements (in situ), à l'aide d'une valise multi-paramètre de terrain.

#### III.2.2.1 La Température

C'est un paramètre qui régit la sur solubilité des sels et des gaz et permet de distinguer les eaux de surface de celles souterraines (Fig. 24). Il est en fonction soit du climat et donc de la température de l'air (eau de surface) ou de la profondeur (gradient géothermique, réactions chimiques pour l'eau profonde). Les valeurs obtenues montrent que les eaux souterraines de la moyenne Seybouse ont une température allant de 10.5 à 24°C.



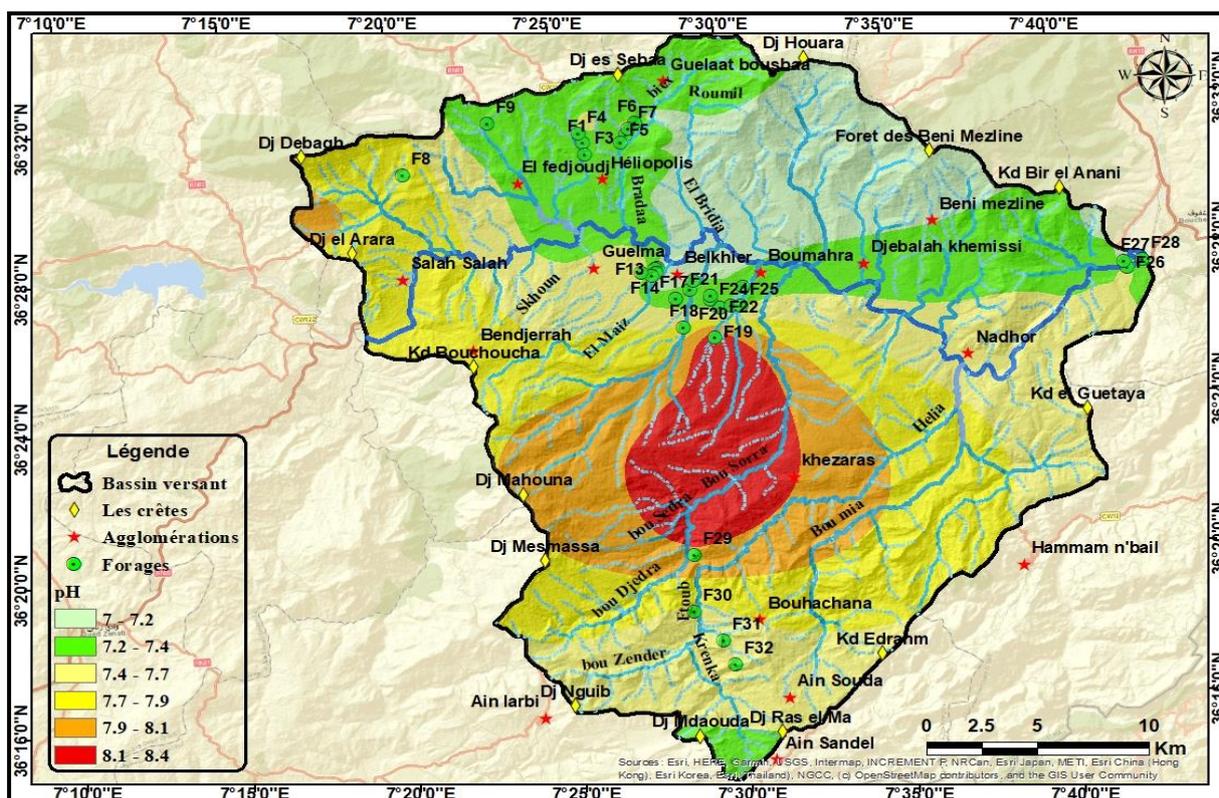


Figure 25: Carte de répartition du pH. -Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-

Ceci est conforme aux normes :

- Algériennes qui fixent des valeurs de pH entre 6.5 et 8.5 ;
- L'OMS qui fixe des valeurs de pH entre 7.0-8.5.

L'OMS précise qu'un faible pH peut poser des problèmes de corrosion et un pH élevé peut entraîner des problèmes de goût et de consommation accrue de savon ; elle recommande un pH inférieur à 8 pour une bonne désinfection par le chlore. (Rodier, 2009)

### III.2.2.3 La Conductivité Électrique

C'est l'aptitude d'une eau à laisser circuler (plus ou moins vite) un courant électrique. La connaissance de ce paramètre, (ou de son inverse la résistivité), permet de suspecter une quelconque modification des différents horizons aquifères, et d'y palper la minéralisation.

Elle est directement proportionnelle à la teneur en sels dissous d'une eau (Fig. 26). Une fois mesurées, ces valeurs sont ramenées à 25°C, et exprimées en  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , à l'aide de la relation suivante :

$$CE_{25} = CE_{T_{mes}} * \frac{1}{(1 - 0.022)(25 - T_{mes})} \quad \text{Avec}$$

Tmes : Température de mesure, CE25 : Conductivité électrique (µS.cm-1) corrigée à 25°C.

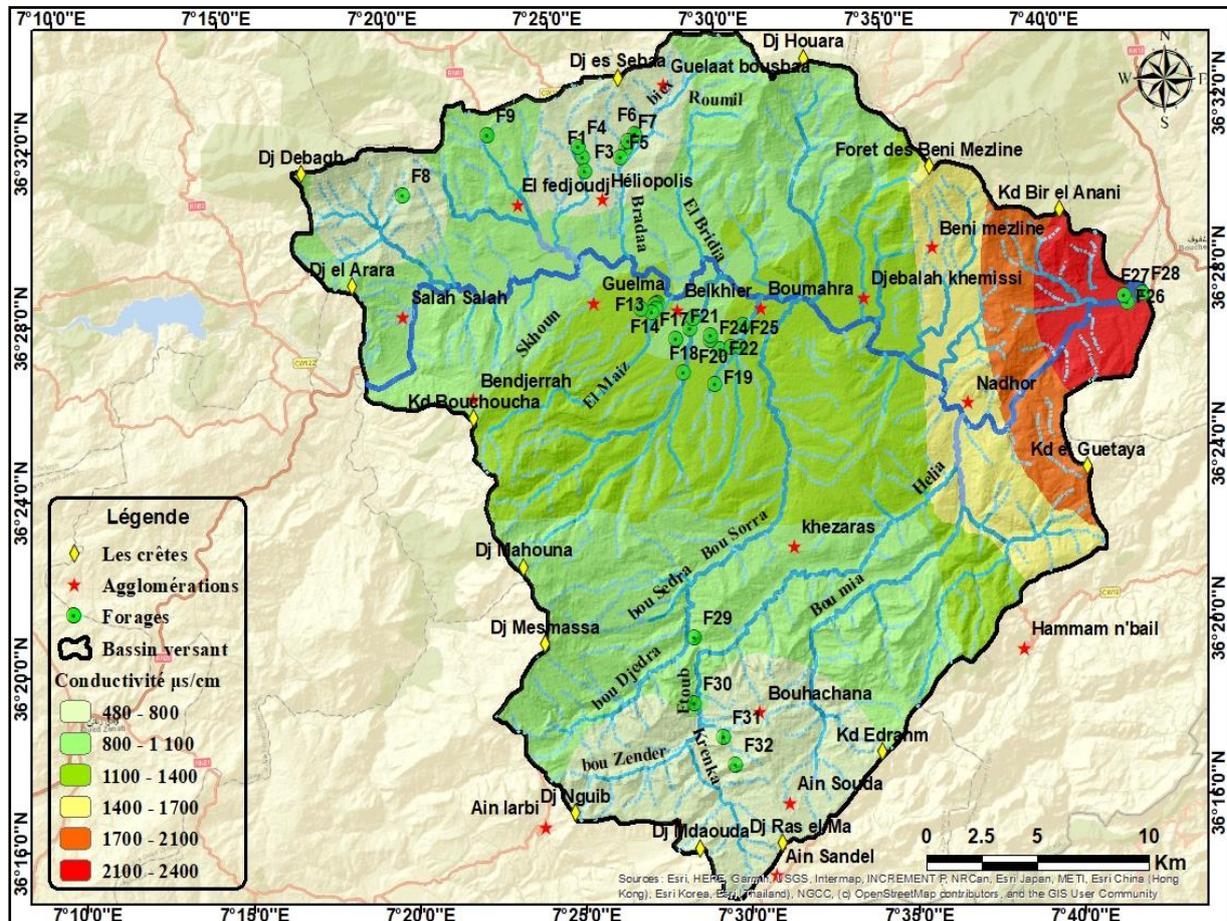


Figure 26: Carte de répartition de la conductivité.- Bassin versant de la moyenne Seybouse-

Les valeurs enregistrées de Conductivité, à l'échelle de notre bassin comprises entre 480 et 2380 µS/cm en fonction de la température et qui restent conformes à la norme algérienne (JORA n°18, 2011) et celle du comité européen (CE), dont la concentration minimale admissible (CMA) est de 2800 µS/cm (CE, 1998). Nous remarquons que les plus fortes valeurs sont enregistrées du côté de Nadhor et au niveau des zones de l'exutoire du bassin (2260 à 2380 µS/cm), ceci est probablement due aux formations évaporitiques du Trias à l'Est du bassin.

### III.2.3 Les Paramètres Chimiques

#### III.2.3.1 Les Cations

Les différentes méthodes d'analyse utilisées visent beaucoup plus de déceler, les

éléments chimiques majeurs dont :

Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> comme cations ;

Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> comme anions.

Elles avaient pour objectif la détermination des caractéristiques physico-chimiques des eaux du bassin versant de la moyenne Seybouse.

### ↳ Le calcium Ca<sup>++</sup>

L'ion Ca<sup>++</sup>, a deux origines naturelles probables, la dissolution des formations carbonatées et/ou des formations gypsifères.

La concentration moyenne atteint les 131.45mg/l. Les teneurs élevées sont enregistrées au niveau de forage F7 (199.44 mg/l) au Nord de l'agglomération d'EL Fedjoudj, et F27 (160.2 mg/l) à l'Est du bassin.

D'après les normes Algériennes de potabilité pour le calcium fixée à 200 mg/l, les eaux de tous les échantillons étudiés ne dépassent pas cette valeur (Fig. 27).

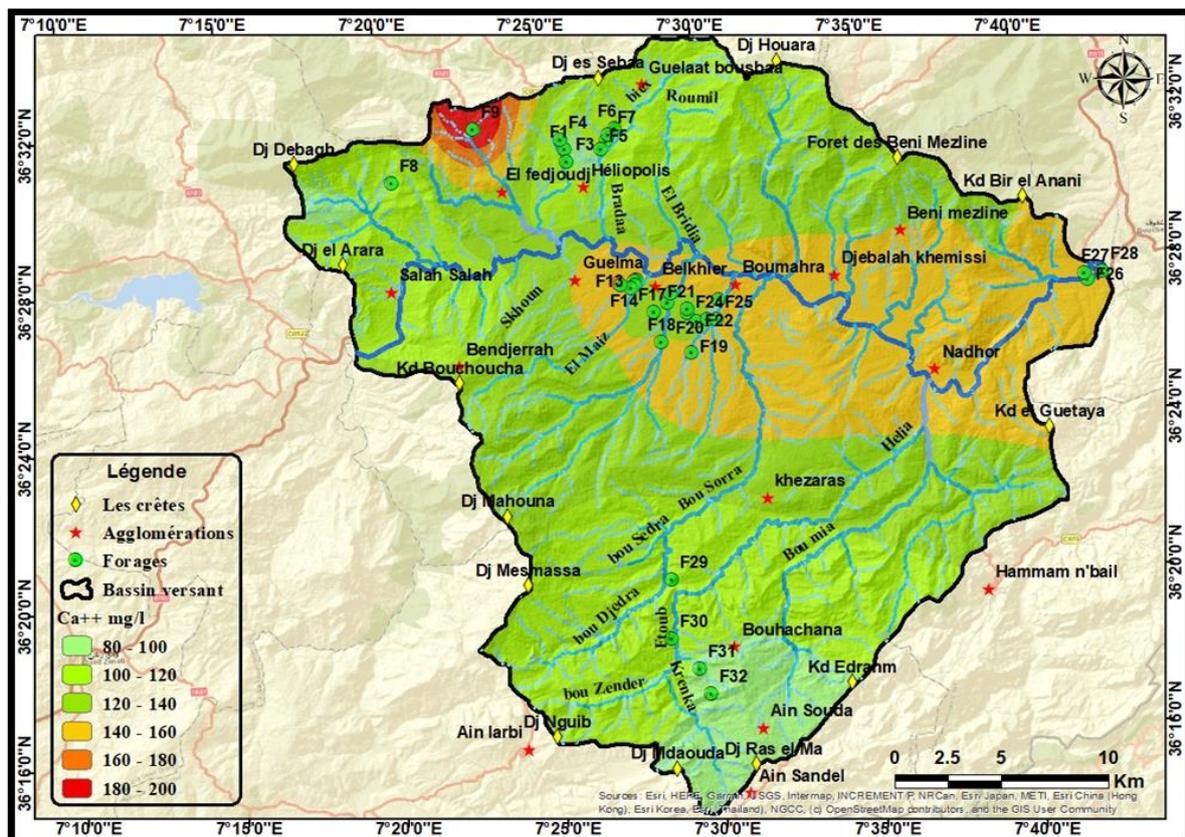


Figure 27: Carte de répartition des concentrations en Ca<sup>++</sup>. -Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-

### ↳ Le Magnésium $Mg^{++}$

Autour des 29.80 mg/l tourne la moyenne de la concentration en  $Mg^{++}$ , ce qui laisse dire que toutes les eaux de forages ne dépassant pas la norme recommandée (50 mg/l) ; sauf le forage F7 qui représente une valeur (58.85mg/l) qui dépasse la norme (Fig. 28).

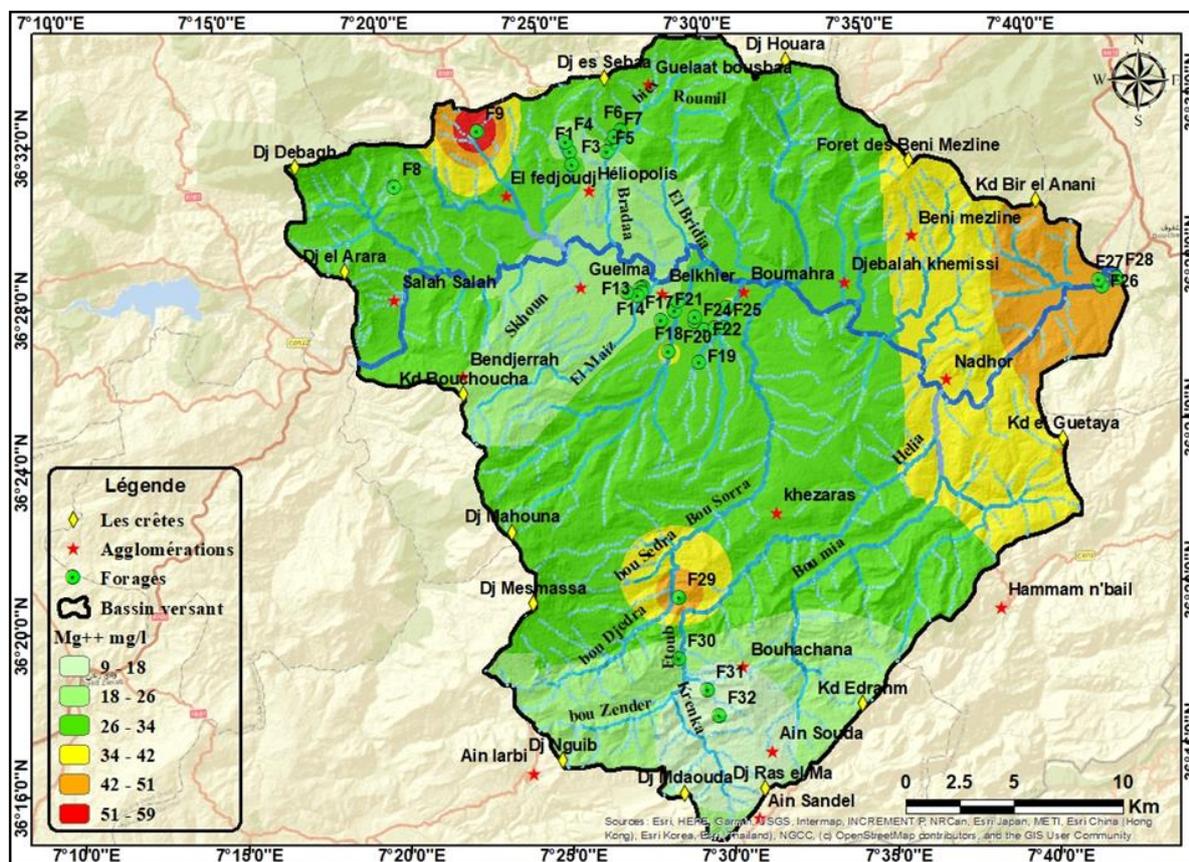


Figure 28: Carte de répartition des concentrations en  $Mg^{++}$ . -Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-

### ↳ Le sodium $Na^+$

Le sodium se rencontre toujours associé à d'autres éléments chimiques (chlorures, sulfates...) et il est donc rare qu'il soit isolé.

Il trouve son origine, soit des eaux marines (obtenu par l'évaporation progressive des marais salants), du sel gemme (chlorure de sodium), des formations marneuses et gypsifères (la décomposition de sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium) ou tout simplement d'un usage industriel (Fig. 29).

La moyenne de la concentration en sodium est d'environ 30.01mg/l et par conséquent toutes les eaux de forages ont des teneurs inférieures à la norme (150mg/l).

Les plus élevées d'entre elles caractérisent les forages situés à l'extrême Est (F27=94.1, F28=95.7 et F26=96.3mg/l) zone d'exutoire du bassin (caractérisé par les formations triasiques).

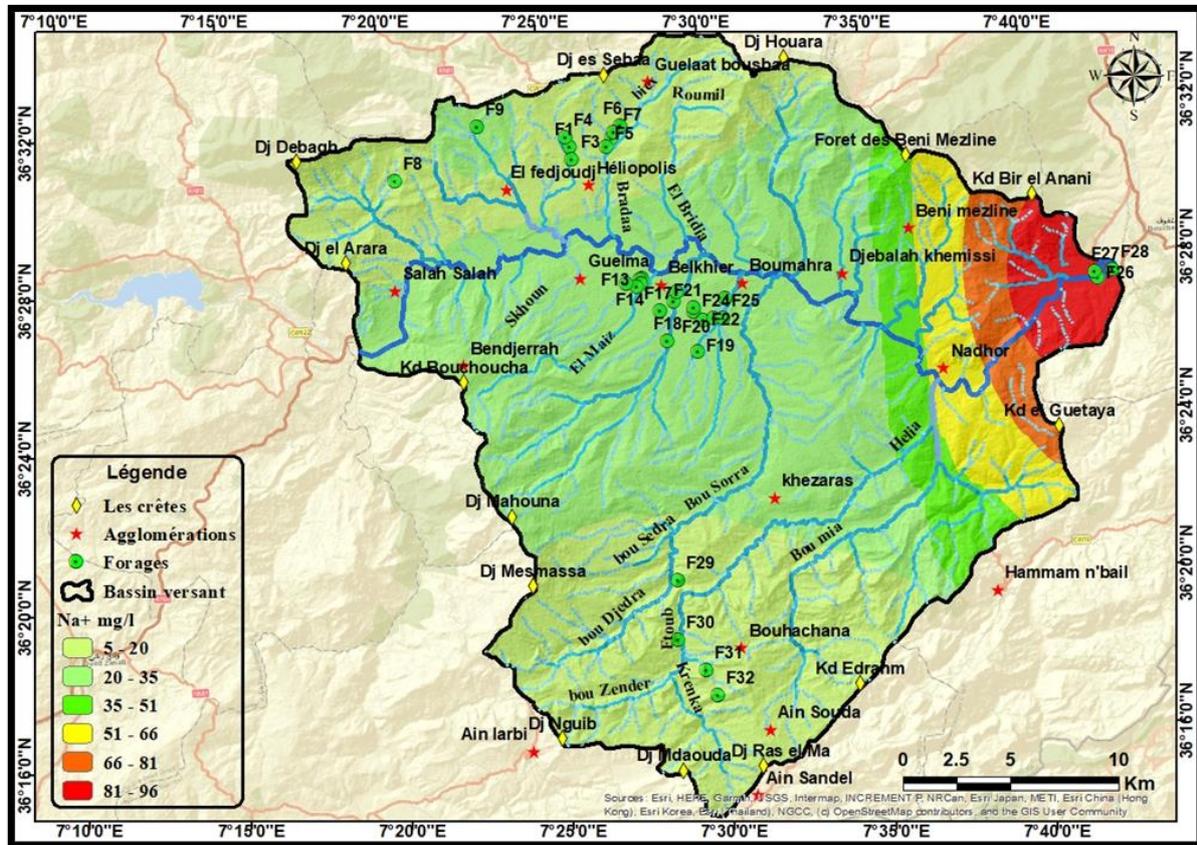


Figure 29: Carte de répartition des concentrations en  $Na^{++}$ . -Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-

On note que ces concentrations diminuent tout en allant vers l'amont du bassin (avec des valeurs de F32=5 mg/l et F30, F31=10mg/l),

### III.2.3.2 Les Anions

#### ↳ Les chlorures $Cl^{-}$

Les chlorures sont caractérisés par leur grande mobilité et ont la particularité de ne pas se combiner facilement aux autres éléments, comme ils ne sont pas adsorbés par les formations géologiques (Fig. 30).

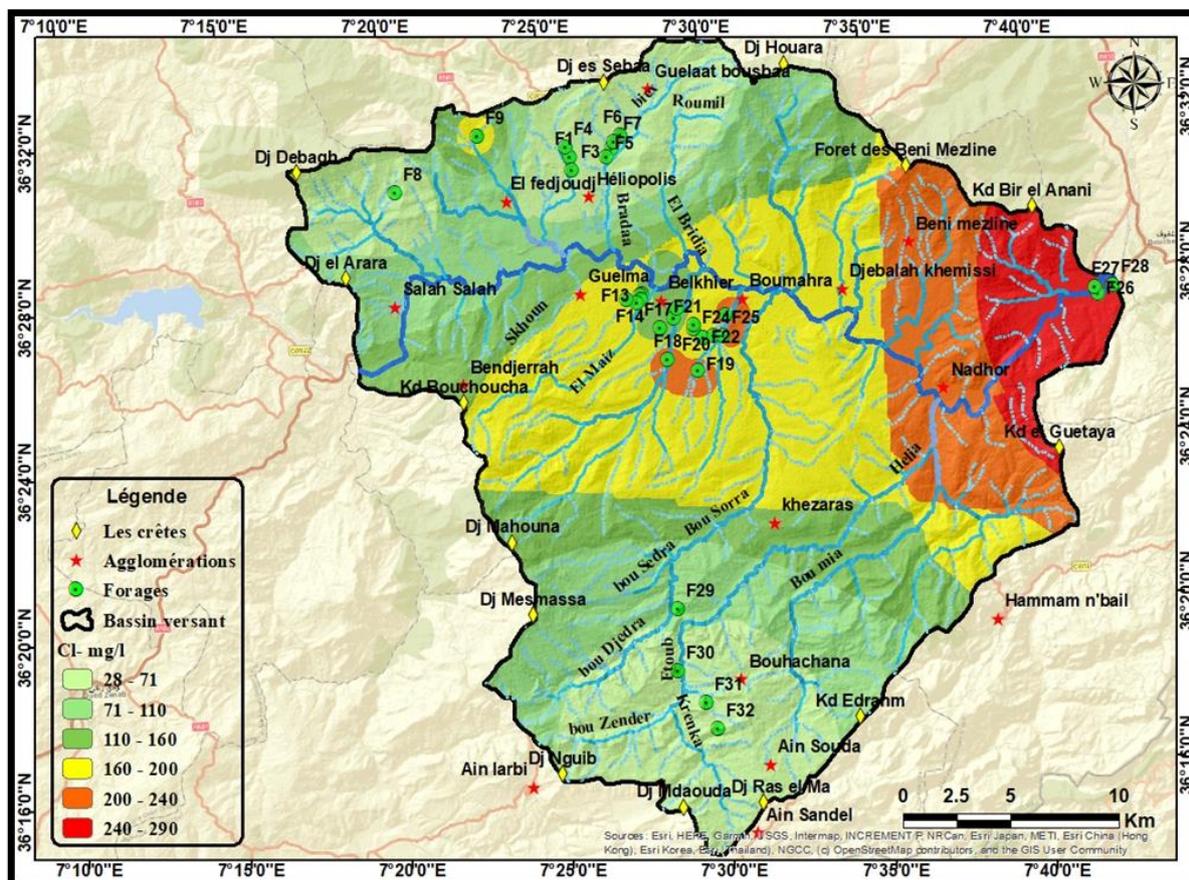


Figure 30: Carte de répartition des concentrations en Cl<sup>-</sup>.-Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-

Quatre forages (F18, F26, F27 et F28) ont donné des teneurs en Cl<sup>-</sup> qui dépassent la norme (fixée par l'OMS à 250 mg/l).

La région de Nador se caractérise par des teneurs élevées (275.49mg/l au F26, 279mg/l au F27 et 286 mg/l au F28), suite à la dissolution des formations évaporitiques du trias.

Au centre du bassin on rencontre encore une concentration importante (253.13 mg/l au F18).

La partie amont du bassin (Nord, Nord-Ouest et Sud) se caractérise par des concentrations relativement faibles.

#### ↳ Les sulfates SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

La présence des sulfates dans l'eau est générée par la dissolution des formations gypsifères conformément au processus suivant :



À l'échelle de notre bassin, les concentrations élevées en sulfates se trouvent dans la région Nord-Ouest et Sud-Ouest du bassin. Ces teneurs sont la conséquence de dissolution des formations gypsifères (Fig. 31).

D'après les normes Algériennes et de l'OMS de potabilité pour les sulfates fixée à 400 et 250 mg/l, les eaux de tous les échantillons étudiés ne dépassent pas ces valeurs.

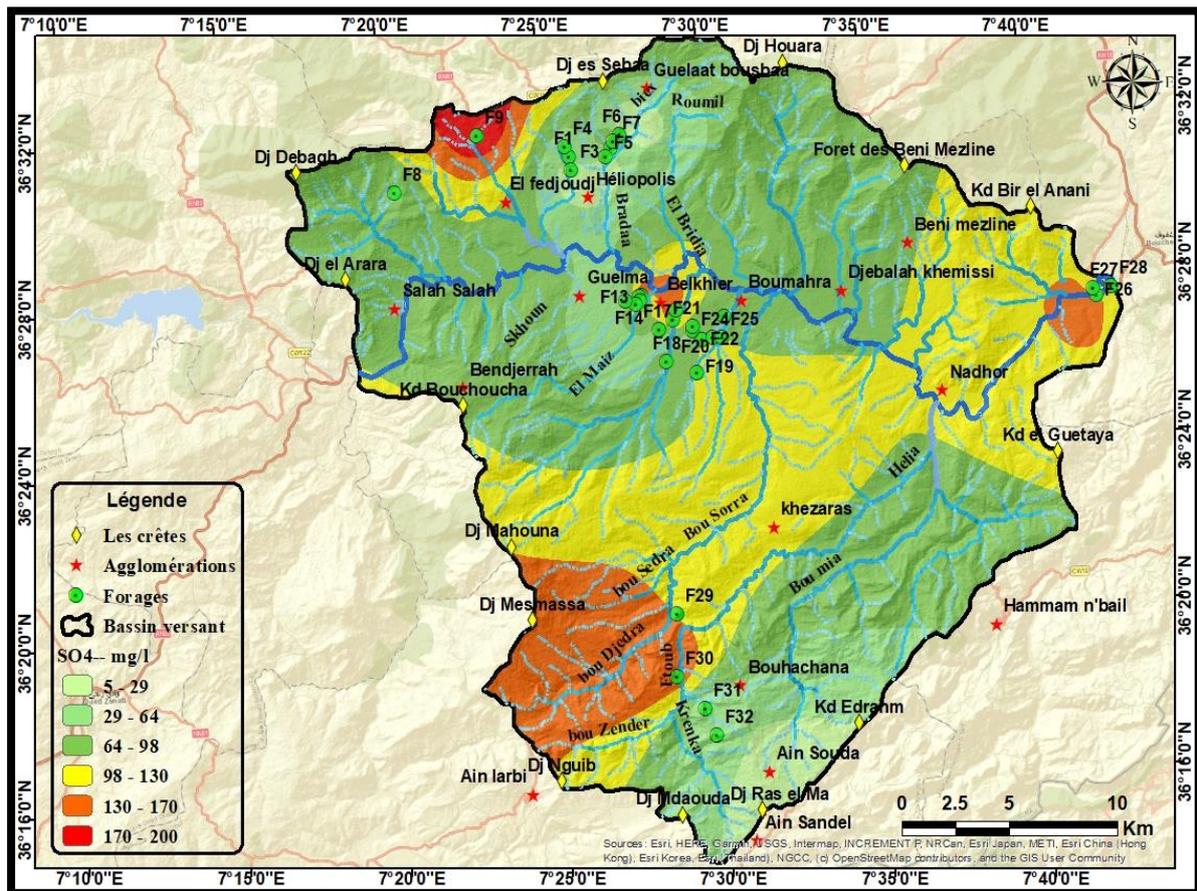


Figure 31: Carte de répartition des concentrations en  $SO_4^{2-}$ . -Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-

### ↳ Les Bicarbonates $HCO_3^-$

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées selon la réaction suivante (Fig. 32):



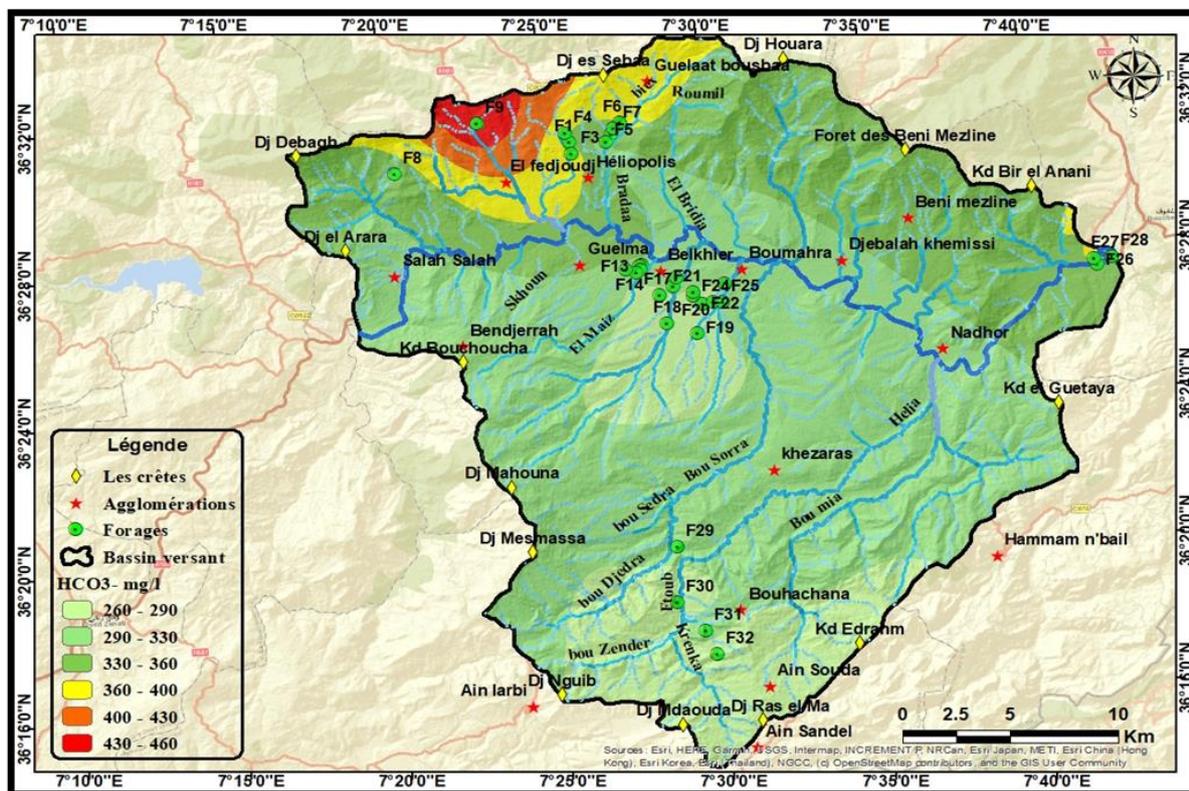


Figure 32: Carte de répartition des concentrations en  $\text{HCO}_3^-$  -Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-

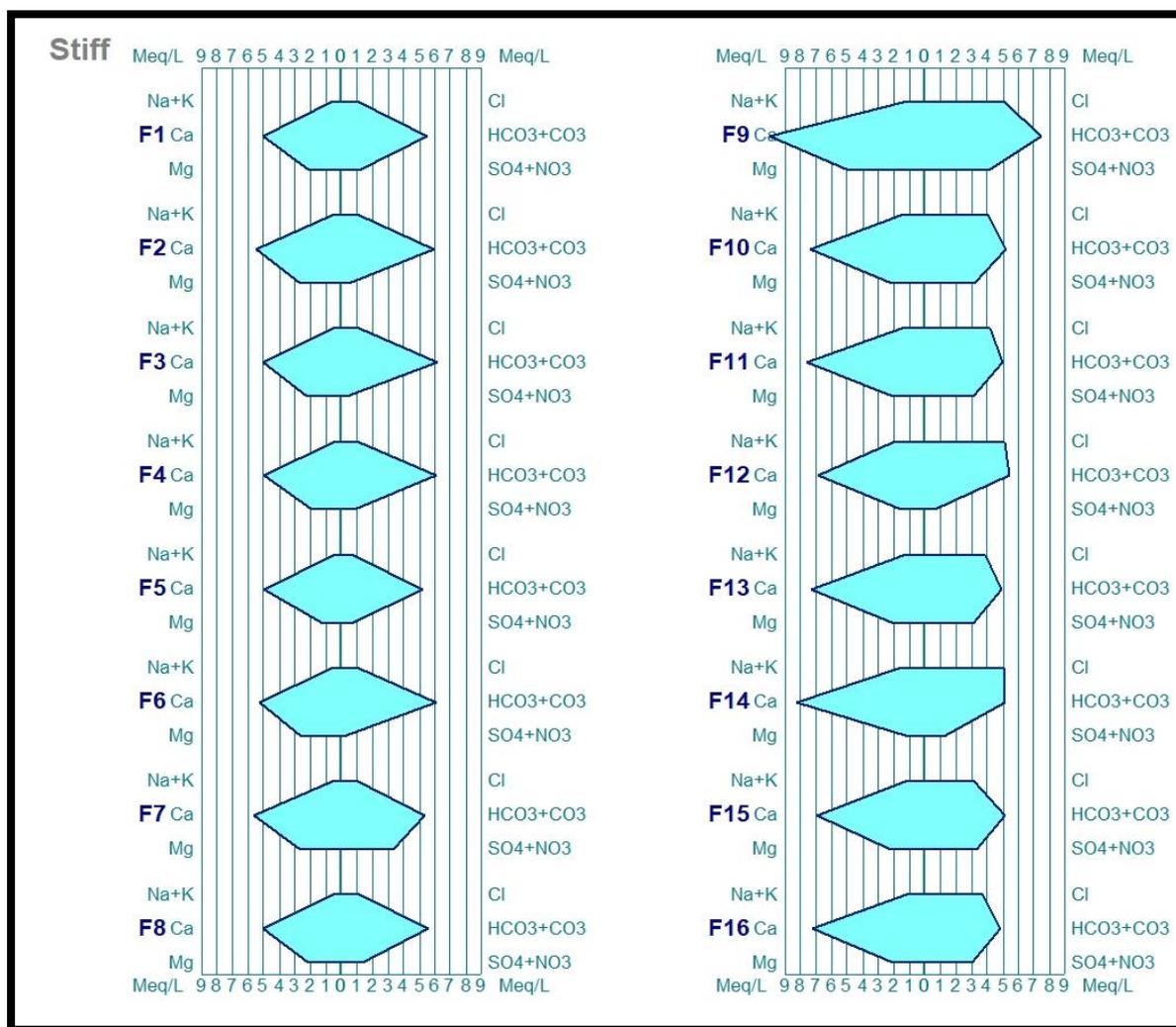
Les fortes teneurs sont enregistrées au Nord du bassin avec un maximum de 457.50mg/l enregistré dans le forage F9, suite à la dissolution des formations carbonatées de la nappe de néritique constantinoise.

### II.2.4 Représentations Graphiques Et Identification Des Principaux Faciès

Les faciès chimiques donnent un aperçu sur la qualité des eaux et les éléments dominant dans l'eau. Pour déterminer les faciès chimiques des eaux, il existe plusieurs méthodes, cependant des précautions devaient être prises avant tout traitement. Les résultats d'analyses ont été représentés, selon le diagramme suscité, comme suit :

#### ↳ Utilisation du diagramme de Stiff

Le diagramme de Stiff, détermine les faciès chimiques des eaux. Le dépouillement des diagrammes, nous permet de déterminer les faciès des eaux analysées (Fig. 33).



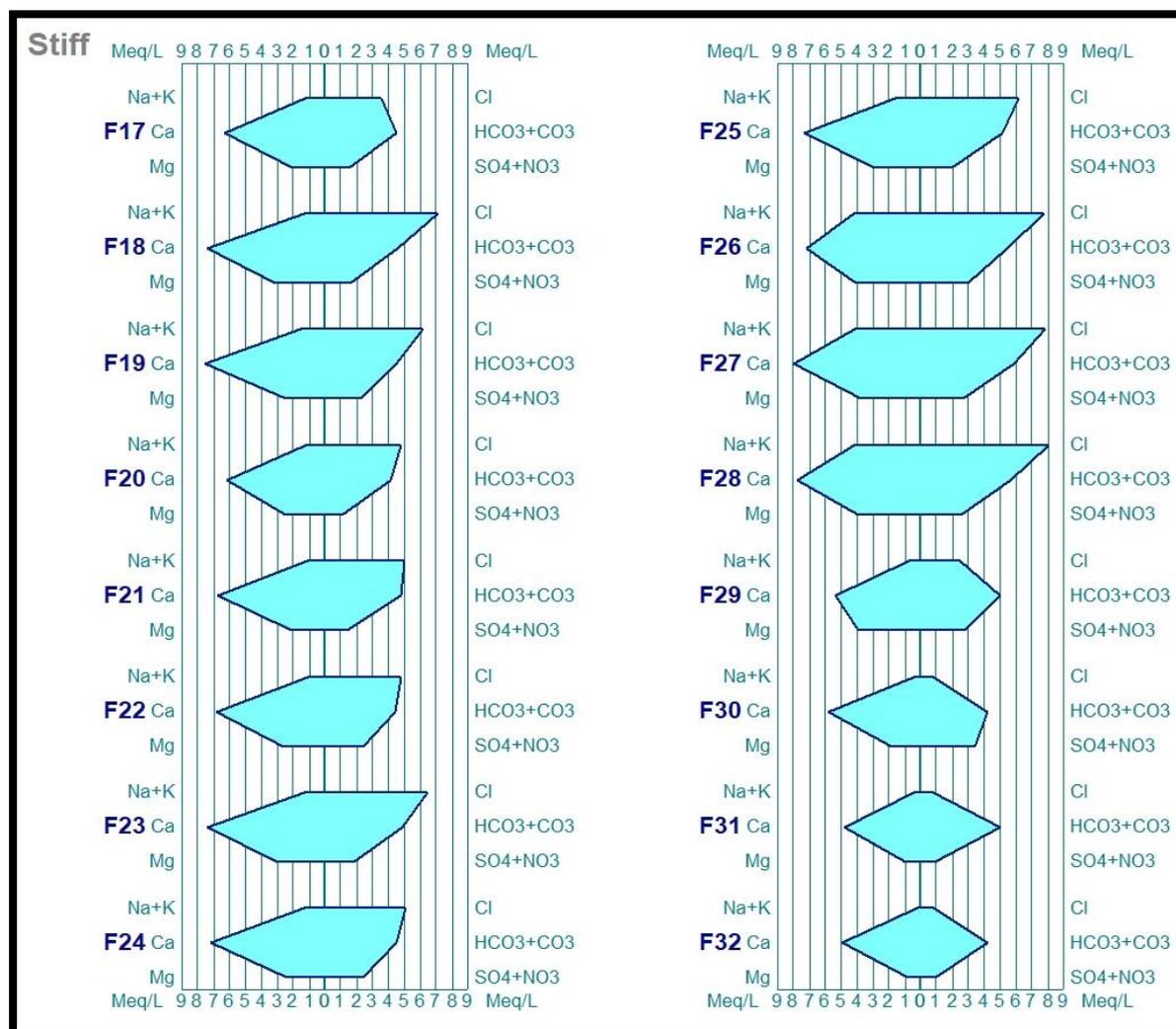


Figure 33: Représentation des analyses chimiques des eaux de forages selon le diagramme de Stiff. -Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc. 2018)-

L'observation des diagrammes de Stiff, montre la présence de deux faciès chimiques dominant.

Le premier est le faciès Bicarbonaté calcique et concerne les points suivants : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 29, 30, 31 et 32. Soit 19 points.

Le second faciès est chloruré calcique, c'est le cas des points 12, 14, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 et 28. Soit 13 points.

On remarque la présence du calcium au niveau de tous les points. En ce qui concerne les anions, on note une domination des bicarbonates (premiers) soit une présence des chlorures au niveau d'autres points. Cette répartition serait liée aux interactions de l'eau avec les formations géologiques traversées.

### III.2.5 Cartographie Hydrochimique

Suite aux diverses formules caractéristiques et les représentations graphiques, les faciès dominants des eaux souterraines de notre région sont, le Bicarbonatée-calcique et le Chlorurée-calcique (Fig. 34).

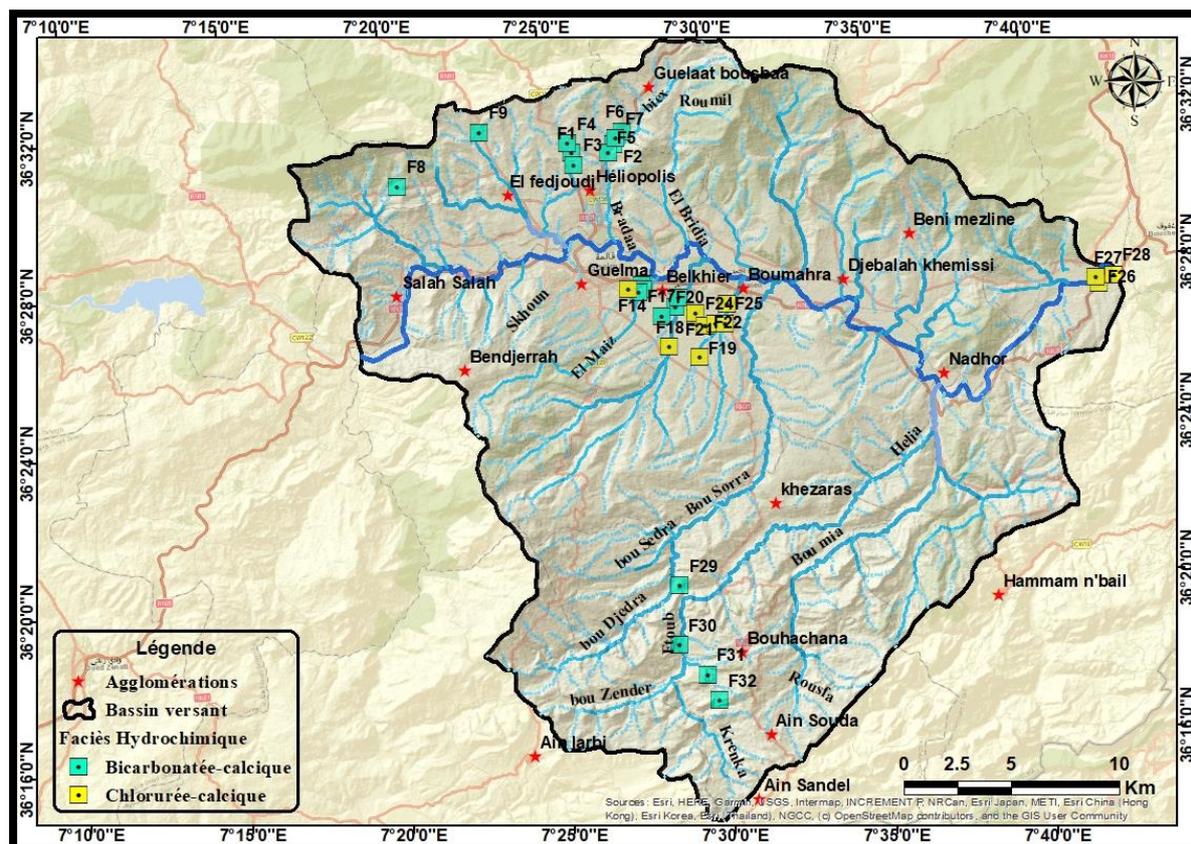


Figure 34: Représentation cartographique des faciès chimiques des eaux de forages. -Bassin versant de la moyenne Seybouse (Déc 2018)-

## III.3 QUALITE DES EAUX DE SURFACE DE LA MOYENNE SEYBOUSE

### III.3.1 L'irrigation À Partir Des Eaux De Surface

Irriguer des cultures ou des espaces verts qui utilisent toute sorte d'eau n'est pas une opération négligeable. En effet, l'eau peut transporter une pollution qui peut engendrer tant de problèmes, notamment des menaces pour la santé publique, la conservation des sols, la protection de l'environnement et des écosystèmes, qu'il ne faut pas les sous-estimer ni exagérer.

La wilaya de Guelma connaît une renaissance agricole, ce qui implique d'utiliser des systèmes de fertilisation et de traitements phytosanitaires, et plus d'eau. Dans ce but, il est impératif d'étudier leur comportement par rapport à leur emploi agricole, à travers différentes méthodes.

### III.3.1.1 Les Facteurs Déterminant L'usage Agricole De L'eau

Pour classer l'eau destinée à l'irrigation, il faut combiner les éléments chimiques présents dans l'eau avec la conductivité. Nous allons donner un aperçu sur ces méthodes. Nous présenterons un aperçu de ces méthodes, en commençant par :

#### III.3.1.1.1 Le Rapport D'adsorption Du Sodium (Sar)

Paramètre chimique important pour estimer la suffisance de l'eau pour l'irrigation à titre de teneur en sodium ou de risque alcalin pour les cultures, qui est exprimé en taux d'adsorption de sodium (SAR). Les ions calcium et magnésium sont importants étant donné qu'ils ont tendance à contrer l'effet du sodium.

Une concentration plus élevée de SAR entraîne une dégradation de la structure physique du sol. Le sodium est adsorbé et s'attache aux particules de sol. Le sol devient alors dur et compact lorsqu'il est sec et imperméable à la pénétration de l'eau (Wilcox, L.V, 1948).

Le SAR est calculé à partir du rapport sodium sur calcium et magnésium, il est défini par la relation suivante :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$$

Tableau 27: Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation

Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation		
	SAR	Notes
<b>Nul</b>	<b>&lt; 3.0</b>	Pas de restriction sur l'utilisation d'eau
<b>Léger à modéré</b>	<b>3.0 - 9.0</b>	Entre 3 et 6, une attention particulière doit être portée sur les récoltes sensibles. Entre 6 et 8 du gypse doit être utilisé. Récoltes non sensibles. Des échantillons de sol doivent être prélevés et examinés tous les 1 ou 2 jours pour déterminer S'il y a une augmentation des teneurs en Sodium.
<b>Elevé</b>	<b>&gt; 9.0</b>	Domage sévère.

Les résultats du SAR calculés, sont récapitulés dans le tableau de classification de la qualité des eaux en fonction de son aptitude à l'irrigation (Tab.29), 50 % des échantillons d'eau de SAR sont comprises de 0 à 3, avec aucune restriction sur l'utilisation d'eau, les autres échantillons d'eau ont des valeurs comprises entre 3 et 9 (Fig. 35), qui nécessite une attention particulière doit être portée sur les récoltes sensibles.

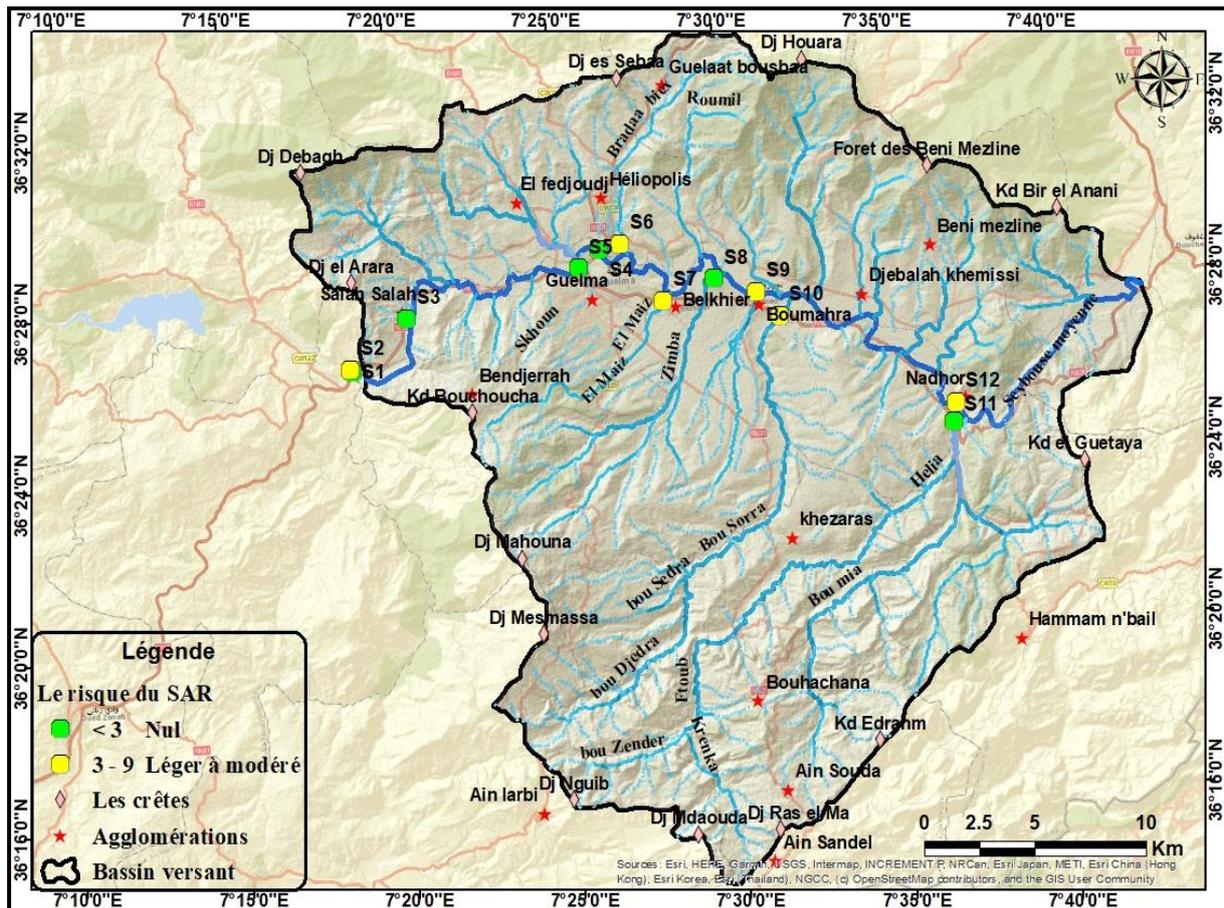


Figure 35: Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation de l'Oued Seybouse

### III.3.1.1.2 Pourcentage De Sodium (Na %)

Le pourcentage de sodium (% Na) est aussi largement utilisé pour évaluer la qualité de l'eau à des fins d'irrigation. L'excès de sodium dans les eaux souterraines entraîne des effets indésirables, car le pourcentage de  $\text{Na}^+$  réagit avec le sol pour réduire sa perméabilité et favorise une croissance faible voire nulle de la plante. Le pourcentage Na est calculé en respectant les proportions relatives des cations présents dans l'eau, où les concentrations d'ions sont exprimées en méq/l

$$\text{Na \%} = \frac{\text{Na}^+ + \text{K}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+} (\text{en m\acute{e}q/l})$$

Les valeurs calculées de Na% vont de 23.22 % minimum à 61.27 % au maximum, avec une moyenne de 48.37%. D'une manière générale, le % de Na ne devrait pas dépasser 60% dans les eaux d'irrigation.

### III.3.1.1.3 L'alcalinité Résiduelle (Rsc)

L'alcalinité résiduelle n'est qu'autre que le concept proposé par Eaton, (1950), et Richards, (1954), nommée « Résiduel Sodium Carbonates (RSC) », elle est définie comme étant la part de l'alcalinité qui n'est pas neutralisée par les cations divalents. Elle est souvent considérée à la précipitation de la calcite et de la sépiolite.

Le RSC est un paramètre important pour évaluer l'adéquation de l'eau d'irrigation, se calcule grâce à l'équation suivante :

$$\text{RSC} = (\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$$

C'est un autre moyen de calculer la teneur en sodium grâce au  $\text{Mg}^{2+}$  et au  $\text{Ca}^{2+}$ . Cette valeur peu apparaitre dans certains rapports d'analyse d'eau.

Tableau 28: Niveaux du risque dû au carbonate de sodium résiduel

Niveau du risqué	Nul	Léger à modéré	Sévère
RSC (m\acute{e}q/l)	<1,25	1,25-2,5	>2,5

Les classifications des eaux de l'Oued Seybouse à des fins d'irrigation selon les valeurs RSC indiquent que la totalité des échantillons très inférieure à 1,25 m\acute{e}q/l (Tab.30 et

Fig.41), ce qui indique que les catégories de qualité sans danger pour l'irrigation.

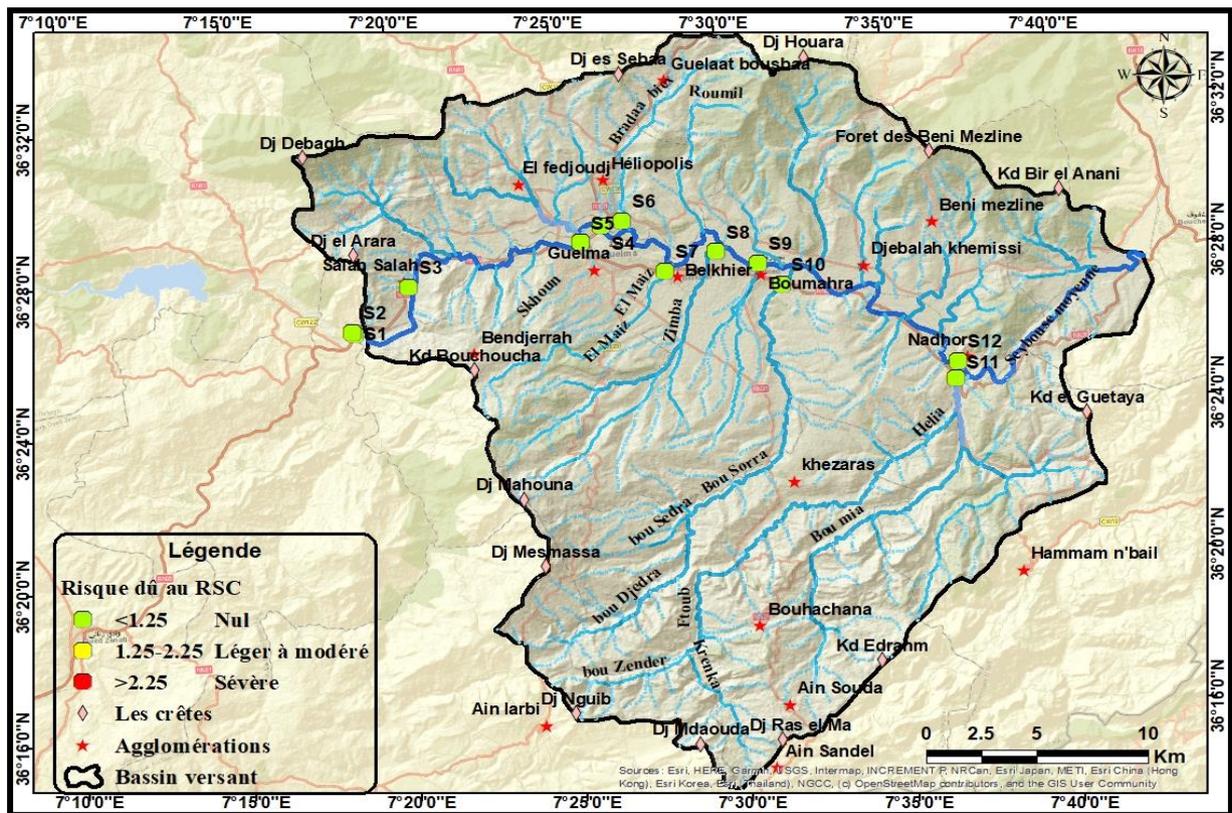


Figure 36: Le risque dû au RSC dans l'eau d'irrigation de l'Oued Seybouse

### III.3.1.1.4 Indice De Perméabilité (Ip)

La perméabilité du sol est affectée par l'utilisation à long terme de l'eau d'irrigation et est influencée par le contenu de sodium, de calcium, de magnésium et de bicarbonate dans le sol.

Doneen (1964), à classé les eaux d'irrigation en se basant sur l'indice de perméabilité il est défini par la relation suivante :

$$IP \% = \frac{(Na^{+} + \sqrt{HCO_{3}^{-}}) * 100}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{2+})}$$

Avec  $Na^{+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  et  $HCO_{3}^{-}$  en méq/l

- Si  $PI > 75\%$  : l'eau est excellente pour l'irrigation ;
- Si  $25\% < PI < 75\%$  : l'eau est de bonne qualité pour l'irrigation ;
- Si  $PI < 25\%$  : l'eau est de mauvaise qualité

Les valeurs de l'IP calculée de la classe excellente représentent 25 % des échantillons des points d'eau (S6, S7 et S12), et de 75% pour la classe de bonne qualité, il s'agit des eaux des stations (1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10,11) (Tab.30 et Fig.42).

A travers cette classification, les eaux de la région, étant qualifiés d'excellente à bonne qualité, et par conséquent elles peuvent être utilisés pour l'irrigation sans aucun souci.

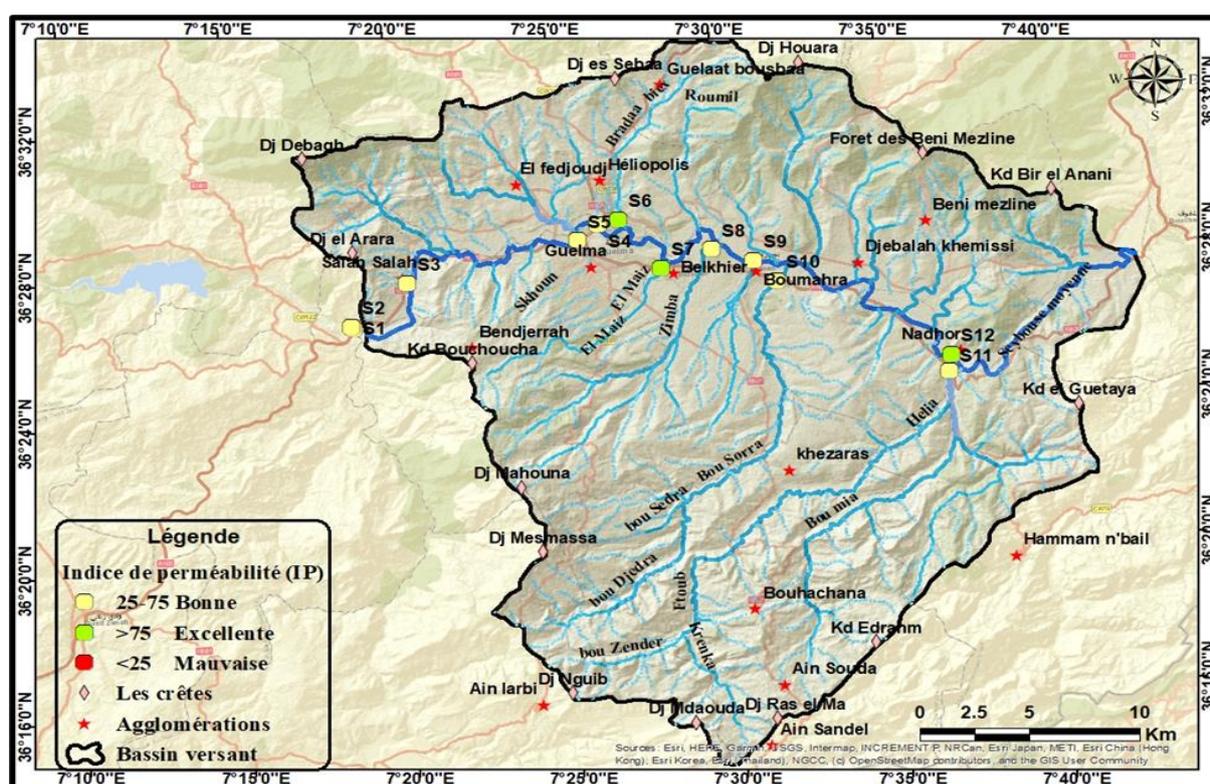


Figure 37 : Indice de perméabilité (IP) pour l'eau d'irrigation de l'Oued Seybouse

### III.3.1.2 Calculs Des Paramètres

Pour faciliter l'opération de classification, l'ensemble des données des paramètres liés à l'aptitude des eaux à l'irrigation, qui sont calculés par les méthodes précédemment citées sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau 29: Classification de la qualité des eaux de surfaces en fonction de son aptitude à l'irrigation

Nom des échantillons	SAR	Na%	RSC	IP%	CE $\mu\text{S}/\text{cm}$
S1 Oued Cherf	1.45	23.22	-9.40	32.89	303
S2 Oued Bouhamdane	3.08	53.79	-1.14	73.93	698
S3 O.Seyb(Bentabouche)	2.81	46.29	-3.39	60.23	805
S4 O.Seyb (Pont Heliopolis)	2.68	45.05	-3.50	58.96	863

<b>S5 Oued Sekhoune</b>	2.59	43.46	-2.78	60.24	850
<b>S6 Oued Bradaa</b>	4.94	61.27	-0.29	78.16	1075
<b>S7 Oued El Maiz</b>	5.59	60.51	1.12	76.91	1742
<b>S8 Oued Zimba</b>	2.93	40.72	-2.69	57.03	1394
<b>S9 O.Seyb (Boumahra)</b>	4.46	56.54	-0.47	73.59	1048
<b>S10 Oued Boussora</b>	4.82	54.57	-1.67	68.70	1523
<b>S11 Oued Helia</b>	2.44	34.24	-7.23	45.77	1435
<b>S12 O.Seyb (Nadhor)</b>	5.49	60.71	-0.62	75.43	1408
<b>Max.</b>	5.59	61.27	1.12	78.16	1742.00
<b>Min.</b>	1.45	23.22	-9.40	32.89	303.00
<b>Moy.</b>	3.61	48.37	-2.67	63.49	1095.33
<b>Ecart Type</b>	1.37	11.80	3.01	13.85	414.53

### III.3.1.3 Aptitude Des Eaux À L'irrigation

Deux méthodes ont été adoptées pour la classification des eaux de surface du bassin versant de la moyenne Seybouse, cités ci-dessous

1. La méthode de RICHARDS, il met en évidence différentes classes d'eau qui a été définies sur la base du taux d'absorption de sodium (S.A.R) et sur la concentration de l'eau sous la forme de la conductivité électrique.
2. La classification de Wilcox fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau exprimée en pourcentage.

### III.3.1.4 Classification Des Eaux Par La Méthode De Richards (Riverside)

Les valeurs obtenues à partir des échantillons analysés ont été reportés sur le diagramme de Richards (Fig. 43).

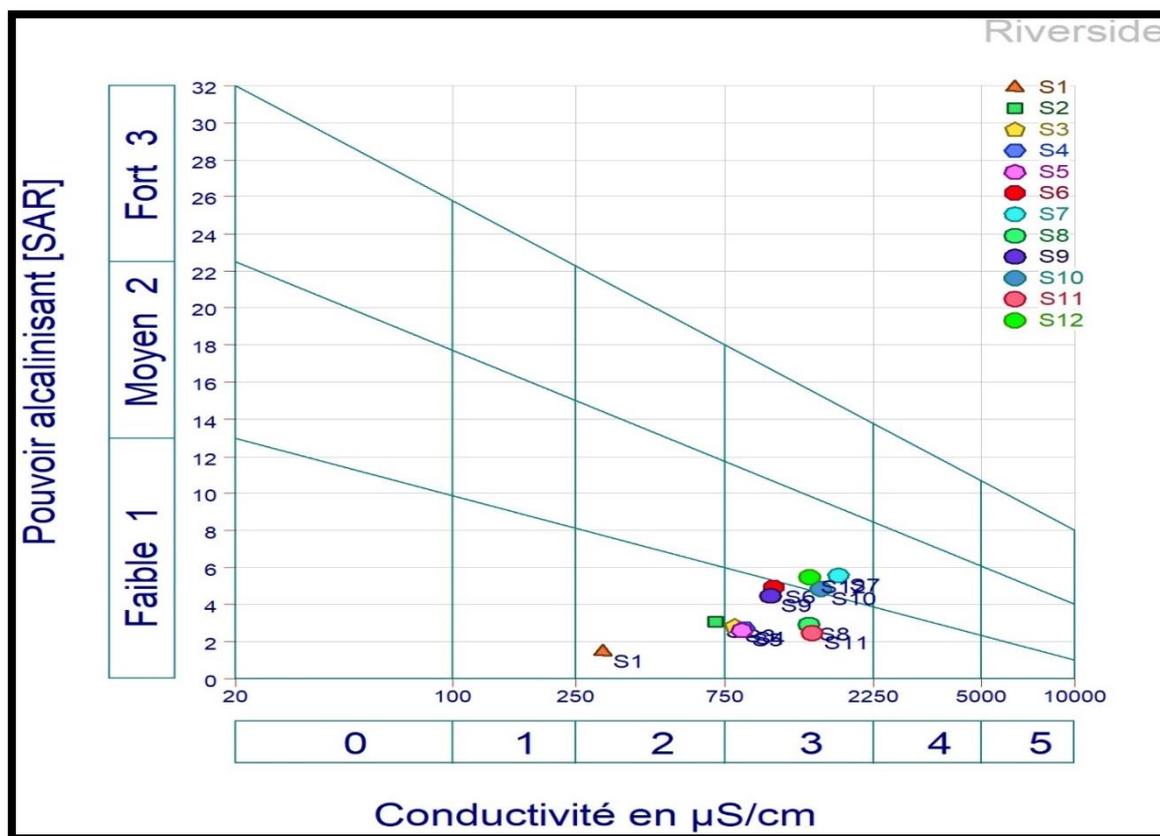


Figure 38: Classification des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Richards)

À partir de la conductivité électrique et la valeur du SAR, on a pu dégager la présence des trois classes suivantes :

**C2S1 (Moyenne à bonne) :** Eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles, représentée par les points d'eau suivants : S1, S2

**C3S1 (moyenne à médiocre) :** Qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse. Dans notre cas les points d'eau sont : S3, S4, S5, S6, S8, S9, S11.

**C3S2 (médiocre à mauvaise) :** Eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse, représentée par les points d'eau suivants : S7, S10, S12

### III.3.1.5 Classification Des Eaux Par La Méthode De Wilcox

Le diagramme de Wilcox est basé sur la formule dite pourcentage de Na<sup>+</sup>, elle s'écrit :

$$\text{Na \%} = \frac{\text{Na}^+ + \text{K}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^{2+} + \text{K}^+} * 100$$

La classification de Wilcox est fondée sur la combinaison de la teneur en sodium dans l'eau et la conductivité électrique, généralement connu en %, cette classification définie cinq classes : excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise.

Le diagramme selon la classification de Wilcox (Fig. 44), montre que les eaux de l'Oued Seybouse appartiennent aux quatre classes suivantes : Excellent, Bonne et Admissible.

**La classe Excellente** : représentée par les eaux des stations S1, S2

**La classe Bonne** : regroupe les points d'eau suivants : S3, S4, S5, S8, S9, S11

**La classe Admissible** : représentée par : S6, S7, S10, S12

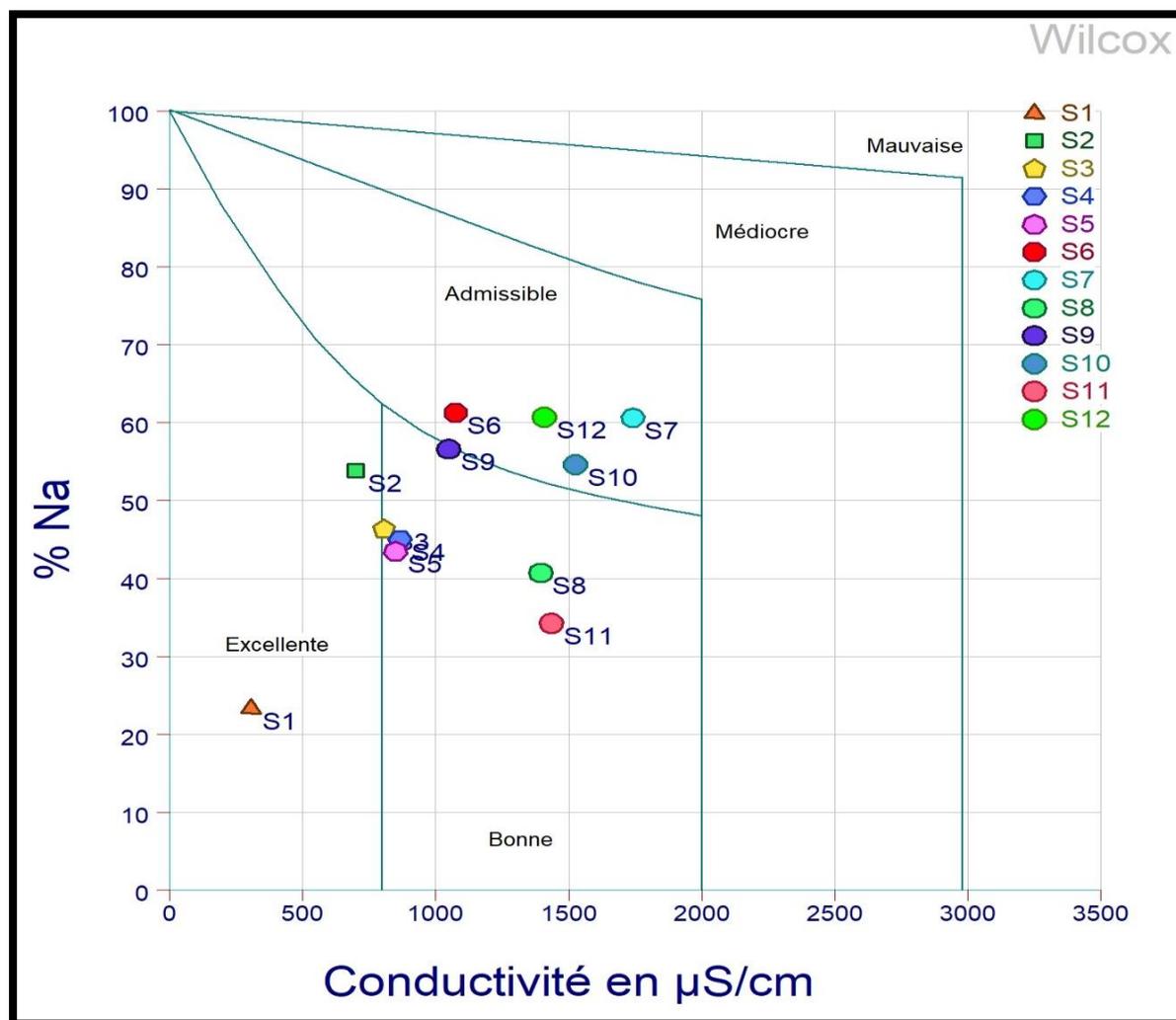


Figure 39: Classifications des eaux destinées à l'irrigation (diagramme de Wilcox)

### III.4 INDICES DE LA QUALITE DE L'EAU

L'un des moyens les plus efficaces à décrire la qualité de l'eau est l'indice de qualité de l'eau (IQE), qui fournit un nombre unique qui exprime la qualité globale de l'eau à un certain endroit et à un moment donné en fonction de plusieurs paramètres de qualité physiques, chimiques et biologiques de l'eau qui sont difficile à évaluer à partir d'un grand nombre d'échantillons, chacun contenant des concentrations pour de nombreux paramètres.

L'objectif de l'IQE de réduire une masse de données complexes sur la qualité de l'eau en une seule valeur pour exprimer les données sous une forme simplifiée et logique.

### III.4.1 Historique Des Indices De La Qualité De L'eau

Les indices de qualité de l'eau visent à donner une valeur unique à la qualité d'une source sur la base de l'un ou l'autre système qui se traduit par la liste des constituants et leurs concentrations présentes dans un échantillon dans une seule valeur de l'eau. On peut alors comparer les différentes qualités des échantillons sur la base de la valeur d'indice de chaque échantillon.

Dans un premier temps, IQE a été développé par Horton (1965) (Horton 1965) en Etats-Unis en sélectionnant les 10 variables de qualité de l'eau plus couramment utilisées comme l'oxygène dissous (DO), le pH, Coliformes, conductance spécifique, alcalinité et etc. chlorure et a été largement appliquée et acceptée dans les pays européens, africains et asiatiques. Le poids affecté reflète la signification d'un paramètre pour une utilisation particulière et a un impact considérable sur l'indice. En outre, une nouvelle IQE semblable à l'indice de Horton a également été mis au point par le groupe de Brown en 1970 (Brown et al. 1970), qui était basée sur des poids à des paramètres individuels. Récemment, de nombreuses modifications ont été envisagées pour le concept de IQE par divers scientifiques et experts (Bhargava & Saxena 1990 ; Dwivedi et al. 1997).

Une approche IQE générale (Fernández et al. 2004) est fondée sur des facteurs les plus courants qui sont décrits dans les trois étapes suivantes :

1. Sélection des paramètres : Ceci est réalisé par un jugement d'experts professionnels, des organismes ou des institutions gouvernementales qui est déterminé dans le domaine législatif.

La sélection des variables des 5 classes à savoir au niveau de l'oxygène, l'eutrophisation, les aspects de la santé, les caractéristiques physiques et les substances dissoutes, qui ont l'impact considérable sur la qualité de l'eau, il est recommandé (Dunnette 1979).

2. Détermination de la fonction de la qualité (courbe) pour chaque paramètre considéré comme sous-indice : Les sous-indices de transformation des valeurs d'échelle non dimensionnelles à partir des variables de ses différentes unités (ppm, pourcentage de saturation, le nombre / volume, etc.).

3. L'agrégation sous-indices de l'expression mathématique : Ceci est fréquemment utilisé par les moyennes arithmétiques ou géométriques.

Cependant, un grand nombre d'indices de qualité de l'eau à savoir :

L'indice de qualité de l'eau arithmétique pondérée, la National Sanitation Foundation Indice de la qualité des Eaux (NSFIQE), Conseil canadien des ministres de l'Environnement Indice de la qualité de l'eau (CCMEIQE), Oregon eau Indice de qualité (OIQE), etc. ont été formulées par plusieurs nationaux et internationaux organisations. Ces IQE ont été appliquées pour l'évaluation de la qualité de l'eau dans une zone particulière (Lumb et al. 2002 ; Chaturvedi & Bassin 2010). De plus, ces indices sont souvent basés sur le nombre et les types différents de paramètres de qualité de l'eau par rapport aux normes respectives d'une région particulière. Les indices de qualité de l'eau sont accrédités pour démontrer les cycles annuels, les variations spatiales et temporelles de la qualité de l'eau et les tendances de la qualité de l'eau, même à des concentrations faibles d'une manière efficace et rapide.

### III.4.2 L'indice De Qualité De L'eau Arithmétique Pondérée

Dans le but de voir l'aptitude dans le domaine d'alimentation en eau potable des eaux du barrage Bouhamdane ; on a utilisé l'indice de qualité de l'eau arithmétique pondérée selon (Brown et al. 1972)

#### III.4.2.1 Collecte Des Données

La collecte de données, y compris l'échantillonnage de la qualité de l'eau brut, a été collectée au niveau du barrage de Bouhamdane chaque mois de 2010 à 2019, ce qui signifie des données sur 10 ans et a été utilisée pour analyser 20 paramètres de qualité de l'eau. Le tableau ci-dessous présentant les paramètres de qualité de l'eau, ses unités et les limites admissibles selon (World Health Organization (WHO), 1993 & 2011), (Environnemental Quality Standards Of Surface Water (EQSSW), 2002), (ICMR, 1975), (BIS , 2012).

Tableau 30: Paramètres de qualité de l'eau, ses unités et limites admissibles

Paramètres	Unités	Limites Autorisées
Potentiel Hydrogène (pH)	-	8.5
Turbidité (Turb)	[NTU]	5
Conductivité électrique (CE)	[ $\mu$ S/cm]	2500
Oxygène dissous (OD)	[mg/l]	5
Demande biochimique en oxygène (DBO)	[mg/l]	3

Demande chimique en oxygène (DCO)	[mg/l]	10
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	[mg/l]	0.5
Phosphate (PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	[mg/l]	0.3
Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	[mg/l]	50
Nitrite (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	[mg/l]	3
Matière organique (MO)	[mg/l]	5
Total Alcalinité (TA)	[mg/l]	200
Dureté totale (TH)	[mg/l]	500
Total Solides dissous (TDS)	[mg/l]	600
Calcium (Ca <sup>++</sup> )	[mg/l]	75
Magnésium (Mg <sup>+2</sup> )	[mg/l]	30
Sodium (Na <sup>+</sup> )	[mg/l]	200
Potassium (K <sup>+</sup> )	[mg/l]	10
Chlorure (Cl <sup>-</sup> )	[mg/l]	250
Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	[mg/l]	150

### III.4.2.2 Méthodologie

Dans notre étude, les différentes composantes de la qualité de l'eau sont multipliées par un facteur de pondération et sont ensuite agrégés en utilisant moyenne arithmétique simple. La méthode de l'indice de qualité de l'eau arithmétique pondérée classe la qualité de l'eau en fonction du degré de pureté en utilisant des variables de qualité de l'eau les plus couramment mesurés. La méthode a été largement utilisée par les différents scientifiques (Chauhan & Singh 2010 ; Rao et al. 2010 ; Abbasi & Abbasi 2012 ; Balan et al. 2012 ; Chowdhury et al. 2012) et le calcul de l'IQE a été fait (Brown et al. 1972) en utilisant l'équation suivante :

$$IQE = \frac{\sum Qi Wi}{\sum Wi}$$

$Qi$  = Cote de qualité pour le ième paramètre de qualité de l'eau

$Wi$  = poids unitaire pour le ième paramètre

- **Calcul du sous-indice de la cote de qualité ( $Qi$ )**

Soit  $i$  des paramètres de qualité de l'eau où la cote de qualité ou le sous-indice ( $Qi$ ) correspondant aux paramètres de l'eau polluée par rapport à sa valeur standard admissible, donc cette valeur  $Qi$  peut être calculée en utilisant cette expression :

$$Qi = 100 [(Vi - Vo) / Si - Vo]$$

$Vi$  = Valeur estimée du ième paramètre à une station d'échantillonnage d'eau donnée (valeur mesurée à la station)

$S_i$  = valeur standard admissible du ième paramètre

$V_0$  = Valeur idéale du ième paramètre dans l'eau pure (normalement 0 pour tous les autres paramètres à l'exception des paramètres pH et oxygène dissous qui sont respectivement de 7 et 14,6 mg/l.

Le poids unitaire peut être calculé par une valeur inversement proportionnelle à la valeur standard recommandée  $S_i$  du paramètre correspondant

$$W_i = K S_i$$

Où = Constante de proportionnalité, qui peut être calculée à l'aide de l'équation

$$K = 1 / \sum \left( \frac{1}{S_i} \right)$$

Le Tableau 31 représente les cinq (05) classes de qualité de l'eau basée sur la méthode IQE Arithmétique Pondéré ou la valeur maximale admissible pour l'eau potable a été prise comme 100 points.

Tableau 31: Evolution de la qualité de l'eau selon L'indice de qualité de l'eau arithmétique pondérée

Valeur IQE	Evaluation de la qualité de l'eau
<= 25	Excellente qualité de l'eau
26-50	Bonne qualité de l'eau
51-75	Mauvaise qualité de l'eau
76-100	Très mauvaise qualité de l'eau
> 100	Inadaptée à des fins de consommation

Le tableau ci-dessous (Tab. 32) montre un exemple de calcul de l'indice de la qualité de l'eau arithmétique pondéré en utilisant les normes de potabilité OMS.

Tableau 32: Exemple de calcul de l'indice de qualité de l'eau

Paramètre	$S_i$	$1/S_i$	$\sum(1/S_i)$	$K = \frac{1}{\sum(1/S_i)}$	$W_i = \frac{K}{S_i}$	$V_0$	$V_i$	$Q_i$	$W_i \cdot Q_i$ *
Ph	8.5	0.118	7.009	0.143	0.017	7	8.2	80.000	1.343
Turb	5	0.200	7.009	0.143	0.029	0	21.5	430.000	12.270
EC	250	0.004	7.009	0.143	0.000	0	377	15.080	0.001

DO	5	0.20 0	7.009	0.143	0.029	14. 6	11.0 5	36.979	1.055
DBO	3	0.33 3	7.009	0.143	0.048	0	3	100.000	4.756
DCO	10	0.10 0	7.009	0.143	0.014	0	32	320.000	4.566
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.5	2.00 0	7.009	0.143	0.285	0	0.10 3	20.600	5.878
PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>	0.3	3.33 3	7.009	0.143	0.476	0	0.10 9	36.333	17.279
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	50	0.02 0	7.009	0.143	0.003	0	3.68	7.360	0.021
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	3	0.33 3	7.009	0.143	0.048	0	0.02	0.667	0.032
OM	5	0.20 0	7.009	0.143	0.029	0	6.4	128.000	3.652
TA	200	0.00 5	7.009	0.143	0.001	0	0	0.000	0.000
TH	500	0.00 2	7.009	0.143	0.000	0	21.8	4.360	0.001
TDS	600	0.00 2	7.009	0.143	0.000	0	254	42.333	0.010
Ca <sup>++</sup>	75	0.01 3	7.009	0.143	0.002	0	58.8 7	78.493	0.149
Mg <sup>++</sup>	30	0.03 3	7.009	0.143	0.005	0	18.4 7	61.567	0.293
Na <sup>+</sup>	200	0.00 5	7.009	0.143	0.001	0	29	14.500	0.010
K <sup>+</sup>	10	0.10 0	7.009	0.143	0.014	0	4.3	43.000	0.613
Cl <sup>-</sup>	250	0.00 4	7.009	0.143	0.001	0	79	31.600	0.018
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	150	0.00 7	7.009	0.143	0.001	0	78	52.000	0.049
		7.00 9			1			<b>WA-IQE</b> =	<b>52.00</b>

Dans notre étude de cas de la qualité de l'eau du Barrage Bouhamdane, pour une vingtaine de paramètres physico-chimiques à savoir pH, Turb, EC, DO, DBO, DCO, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, OM, TA, TH, TDS, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub>, ont été calculés et ses résultats indiqués sur le tableau 31 ci-dessus, les mêmes procédures ont été suivies pour calculer toutes les données de 10 ans.

### ➤ III.4.2.3 Interprétation Des Résultats

Les résultats analytiques obtenus à partir des différents paramètres de l'étude et à l'aide l'application de l'équation de l'indice de qualité de l'eau arithmétique pondérée avec moins de paramètres est plus utile et pratique qu'une équation compliquée.

#### ↳ **pH :**

Dans les eaux de surface la détermination du pH est importante car il considéré comme l'un des éléments indicateurs les plus essentiels de la pollution de l'eau, car sa variation influe sur l'augmentation importante des polluants. Dans notre étude les valeurs du pH sont comprises entre 6.9 et 8,7, selon les normes de l'OMS La limite admissible de la valeur du pH est spécifiée entre 6,5 et 8,5, cela valide que la nature de l'eau du barrage Bouhamdane varie de neutre à légèrement alcalin.

#### ↳ **Chlorure :**

La norme d'eau potable des chlorures dissous pour les eaux de surface est de 250 mg/l, ils apparaissent dans les eaux de surface à partir des formations géologiques. Le chlorure est un bon composant conventionnel à utiliser pour l'assurance qualité dans un modèle de bilan massique, car aucun processus biologique ou chimique naturel n'élimine ou n'ajoute de chlorure à l'eau de surface. Par conséquent, la masse de chlorure dissous reste constante dans l'eau de surface, sauf qu'il y a un rejet ou un retrait de la masse d'eau, dans la présente étude, le chlorure varie de 70 mg/l à 120 mg/l.

#### ↳ **Turbidité :**

La plage de lecture de la turbidité de notre étude est de 0,4 à 25 NTU avec une moyenne de 4,73 NTU et la valeur maximale de turbidité a été enregistrée le 16/04/2007, ce qui est supérieur aux normes de l'OMS de 5 NTU. La turbidité peut également affecter la température des eaux de surface, où les températures au fond sont plus basses dans les eaux troubles que dans les eaux claires.

#### ↳ **Conductivité électrique :**

La conductivité est un moyen indirect de détecter les sels dissous totaux, dans notre étude elle varie entre 400 et 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ce qui est inférieur aux normes de l'OMS qui de l'ordre de 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Une conductivité élevée peut provenir de l'altération naturelle de

certaines roches sédimentaires ou d'autres sources anthropiques, par ex. effluents industriels et d'égouts (OMS, 2004).

#### ↳ **Calcium et magnésium :**

La concentration en calcium est comprise entre 10,3 et 104 mg/l avec une moyenne de 65,67 mg/l et la valeur maximale a été enregistrée le 16/11/2006 qui est supérieure aux normes de l'OMS de 75 mg/l. La concentration de magnésium varie de 3 à 52 mg/l avec une moyenne de 18,39 mg/l et la valeur maximale a été enregistrée le 04/04/2011 qui est supérieure aux normes de l'OMS de 30 mg/l.

#### ↳ **Oxygène dissous :**

Les valeurs de l'oxygène dissous dans notre étude varie entre de 7 à 10 mg/l, ce qui signifie que toutes les valeurs observées sont supérieures à 5 mg/l des normes de l'OMS auxquelles cette valeur n'est pas censée être inférieure.

#### ↳ **Nitrate :**

Les nitrates peuvent être trouvés dans les eaux de surface à la suite de rejets d'eaux usées, de ruissellement résultant d'une application excessive d'engrais et d'eaux souterraines polluées par les engrais. Selon (WHO, 1993). Dans notre étude les valeurs des nitrates varie entre 0 et 7 mg/l (La plage de tolérance est de 50 mg/l).

#### ↳ **Dureté totale (TH) :**

Les valeurs des analyses ayant une dureté inférieure à 500 mg/l sont considérées comme eau potables (OMS), dans notre étude les valeurs varient entre 200 et 325,6 mg/l.

#### ↳ **Phosphate ( $\text{PO}_4^{-3}$ ) :**

Les valeurs des analyses Varié entre 0 et 0,6 mg/l elles sont presque toutes trouvées dans la limite de la plage de tolérance qui est de 0,3

#### ↳ **Demande biochimique en oxygène (DBO) :**

Les valeurs des analyses varie de 1 à 5 mg/l, la plupart des analyses étaient dans les normes acceptées (La limite admissible est de 3 mg/l).

**↳ Magnésium ( $Mg^{++}$ ) :**

La limite acceptée de magnésium est de 30 mg/l, Dans notre étude, le magnésium variait de 12 à 31 mg/l la plupart des analyses pour ce paramètre se situaient dans la plage de la norme acceptée.

**↳ Matière organique (MO):**

La concentration de matière organique dans notre étude variait de 6 à 53 mg/l, la plupart des données ont été trouvées dans la limite acceptée.

Le graphe suivant (fig. 40), montrant l'évolution temporelle de l'indice de qualité des eaux, ce dernier est comparé aux épisodes pluvieuses , montre que l'indice de qualité oscille entre les classes bonne, mauvaise et très mauvaise. On remarque que les précipitations même avec un léger retard atténuent l'indice de la qualité des eaux. On remarque également que les précipitations enregistrées durant les années 2010, 2011, et 2012, font IQE appartenir à la classe bonne entre le 2013 et 2014 les précipitations entraînant une dégradation de l'IQE de ce fait le IQE, se dégrade et atteint des pics dépassant le seuil de très mauvaise qualité et ceci en corolaire avec les précipitations enregistrées. La tendance observée montre que les eaux du barrage sont très vulnérables et peuvent passer d'un état de bonne qualité vers un état de très mauvaise qualité. Cette situation indique qu'il faut faire des contrôles continus de la qualité des eaux du barrage.

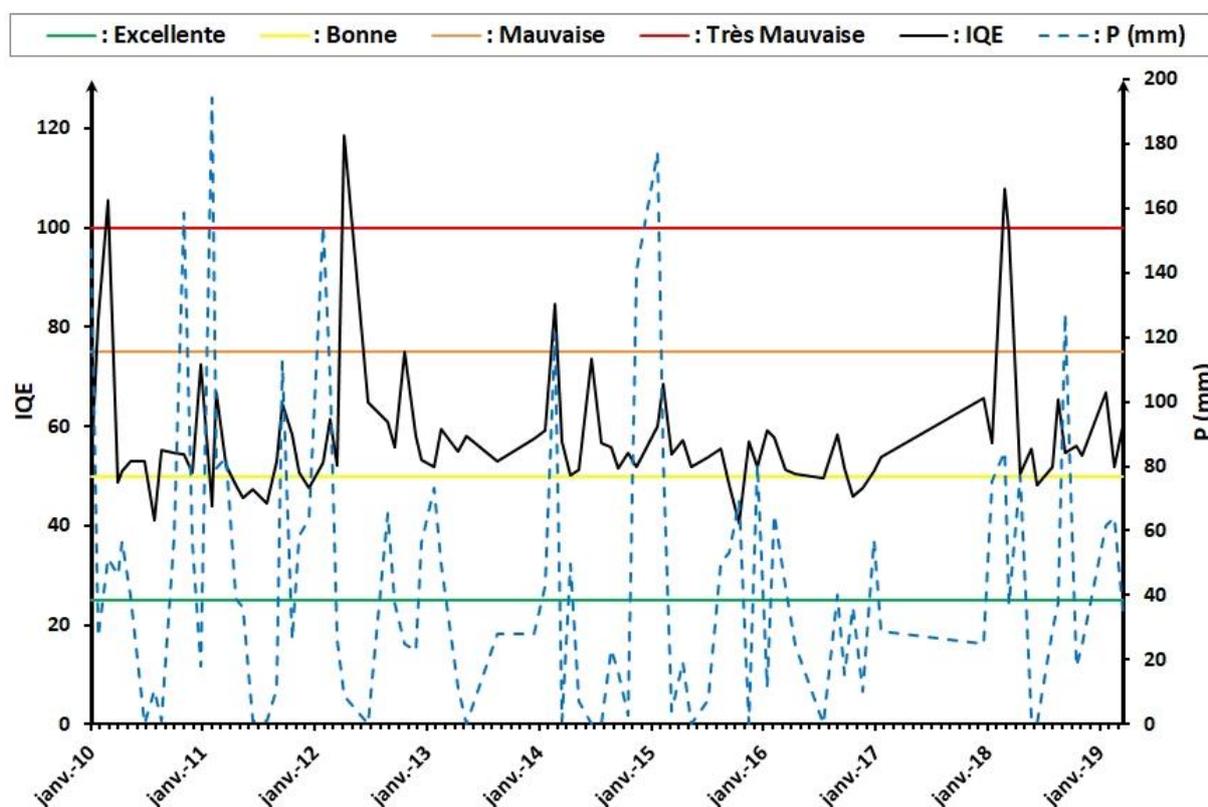


Figure 40: Variation des précipitations en fonction des résultats de l'IQE

### III.4.3 L'indice De Qualité De L'eau D'irrigation (IQEI)

C'est un index simple qui utilise les paramètres les plus importants qui évaluent la qualité de l'eau d'irrigation (Yogendra et Puttaiah, 2008). Horton (1965) est le premier qui a étudié les indices de dégradation de la qualité de l'eau. Par la suite, plusieurs études ont été menées pour la mesure de l'eau indice de qualité à l'image de Rokbani et al. (2011).

Le modèle IQEI a été développé par Meireles et al. (2010) en deux étapes. Dans un premier temps, les paramètres pertinents pour la qualité de l'eau d'irrigation est identifiée. Dans une seconde étape, la définition des valeurs de qualité ( $q_i$ ) et l'agrégation poids ( $w_i$ ) sont établis. Les Valeurs de  $q_i$  ont été estimés selon la valeur de chaque paramètre (**tableau 33**), selon les paramètres de qualité de l'eau d'irrigation proposés par l'université du comité des consultants de Californie(UCCC) et selon aux critères établis par Ayers et Westcot (1999).

Tableau 33: Valeurs limites pour la mesure de la qualité ( $q_i$ ) (AYERS et WESTCOT, 1999)

$q_i$	EC <sup>a</sup> (dS·m <sup>-1</sup> )	SAR <sup>b</sup> (meq·L <sup>-1</sup> ) <sup>0.5</sup>	Na <sup>+</sup> (meq·L <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> (meq·L <sup>-1</sup> )	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq·L <sup>-1</sup> )
85-100	$0.20 \leq EC < 0.50$	$SAR < 3$	$2 \leq Na < 3$	$Cl < 4$	$1.00 \leq HCO_3^- < 1.5$
60-85	$0.75 \leq EC < 1.50$	$3 \leq SAR < 6$	$3 \leq Na < 6$	$4 \leq Cl < 7$	$1.50 \leq HCO_3^- < 4.0$
35-60	$1.50 \leq EC < 3.00$	$6 \leq SAR < 12$	$6 \leq Na < 9$	$7 \leq Cl < 10$	$4.50 \leq HCO_3^- < 8.0$
0-35	$EC < 0.20$ or $EC \geq 3$	$SAR \geq 12$	$Na < 2$ or $Na \geq 9$	$Cl \geq 10$	$HHCO_3^- < 1.00$ or $HCO_3^- \geq 8,50$

a : Conductivité électrique (CE)

b : Taux d'adsorption de sodium (SAR)

les valeurs de  $q_i$  sont déterminés par la formule suivante :

$$q_i = q_{i\max} - \left\{ \frac{(X_{ij} - X_{inf}) q_{iamp}}{X_{amp}} \right\}$$

où  $q_{i\max}$  : la valeur maximale de  $q_i$  pour la classe ;

$x_{ij}$ : la valeur observée du paramètre ;

$x_{inf}$  : la limite inférieure du paramètre classe ;

$q_{iamp}$  : l'amplitude de la classe du  $q_i$

$x_{amp}$  : l'amplitude de la classe du paramètre.

Les valeurs du  $q_i$  sont représentées par des valeurs non dimensionnelles. Plus la valeur est élevée, plus la qualité de l'eau est meilleure. Afin d'évaluer  $x_{amp}$  de la dernière classe de chaque paramètre, la limite supérieure a été considérée comme la valeur la plus élevée déterminée dans l'analyse physico-chimique des échantillons d'eau. Chaque paramètre de poids ( $w_i$ ) utilisé dans l'IQEI a été obtenu par MEIRELES et al. (2010) (tableau 33).

L'indice de qualité de l'eau d'irrigation est la somme de chaque eau valeur de qualité ( $q_i$ ) multiplié par son poids correspondant est déterminé par la formule :

$$IQEI = \sum_{i=1}^n (q_i w_i)$$

de 0 à 100, est subdivisé en classes basées sur le risque de problème de salinité, la réduction de l'infiltration d'eau dans le sol et de la toxicité pour les plantes (Tableau 33).

Tableau 34 : Poids des paramètres de l'indice de la qualité de l'eau d'irrigation

Paramètre	Masse ( $w_i$ )
Conductivité électrique (CE)	0.211
Na <sup>+</sup>	0.204
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.202
Cl <sup>-</sup>	0.194
Taux d'adsorption de sodium (Sodium adsorption ratio) (SAR)	0.189
Total	1.000

Tableau 35: Caractéristiques des classes de l'indice de la qualité de l'eau d'irrigation selon (Meireles et al 2010)

IQEI	Restriction d'utilisation de l'eau	Recommandation de sol	Recommandation de plantes
85-100	Aucune restriction (NR)  (No restriction (NR))	Peut être utilisé pour la majorité des sols à faible probabilité de causant des problèmes de salinité et de sodicité, étant recommandé lessivage dans les pratiques d'irrigation, sauf dans les sols avec perméabilité extrêmement faible.	Aucun risque de toxicité pour la plupart des plantes
70-85	Faible restriction (LR)  (Low restriction (LR))	Recommandé pour une utilisation dans les sols irrigués à texture légère ou perméabilité modérée, étant recommandée la lixiviation du sel. Sol la sodicité dans les sols à texture lourde peut se produire, étant recommandé pour éviter son utilisation dans des sols à forte teneur en argile.	Évitez les plantes sensibles au sel.
55-70	Restriction modérée  (Moderate restriction (MR))	Peut être utilisé dans des sols avec des valeurs de perméabilité modérées à élevées, étant suggéré un lessivage modéré des sels.	Plantes avec une tolérance modérée aux sels peuvent être cultivés.
40-55	Haute restriction (HR)  (High restriction (HR))	Peut être utilisé dans des sols à haute perméabilité sans couches compact. Un calendrier d'irrigation à haute fréquence doit être adopté pour une eau dont la conductivité électrique (CE) est supérieur à 2 000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ et un taux d'adsorption de sodium (SAR) supérieur à 7,0.	Doit être utilisé pour l'irrigation des plantes à modérée à élevée aux sels avec des pratiques de contrôle de la salinité, sauf à faible teneur en $\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$ et Valeurs $\text{HCO}_3^-$ .
0-40	Restriction sévère (SR)	Doit être évité son utilisation pour l'irrigation dans des conditions	Seules les plantes à haute teneur en sel

	(Severe restriction (SR))	<p>normales</p> <p>Dans des cas particuliers, peut être utilisé occasionnellement. Eau avec de faibles niveaux de sel et un SAR élevé nécessitent l'application de gypse.</p> <p>Dans les eaux à haute teneur en sel, les sols doivent avoir une perméabilité élevée, et un excès d'eau doit être appliqué pour éviter l'accumulation de sel.</p>	tolérance, sauf pour les eaux avec valeurs extrêmement faibles de $\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^+$ et $\text{HCO}_3^-$ .
--	---------------------------	---	---

#### III.4.3.1 Interprétation Des Résultats Obtenus

Dans le but de voir l'aptitude dans le domaine d'irrigation des eaux de l'Oued Seybouse ; on a utilisé l'indice de qualité de l'eau d'irrigation selon (Meireles et al 2010). La collecte de données, y compris l'échantillonnage de la qualité de l'eau, a été prélevé est analysé par Guettaf Mohamed au niveau de l'Oued Seybouse dans 12 stations sur 4 périodes avril et aout 2010, janvier et avril 2011 .Le résultat de l'utilisation de l'indice IQEI (figure 42), pour toutes stations des prélèvements des eaux de l'Oued Seybouse, ont révélé une classe principale : une classe de Restriction modérée (Moderate restriction (MR)). L'indice a révélé que le Les eaux de l'Oued Seybouse Peuvent être utilisé dans des sols avec des valeurs de perméabilité modérées à élevées, étant suggéré un lessivage modéré des sels.

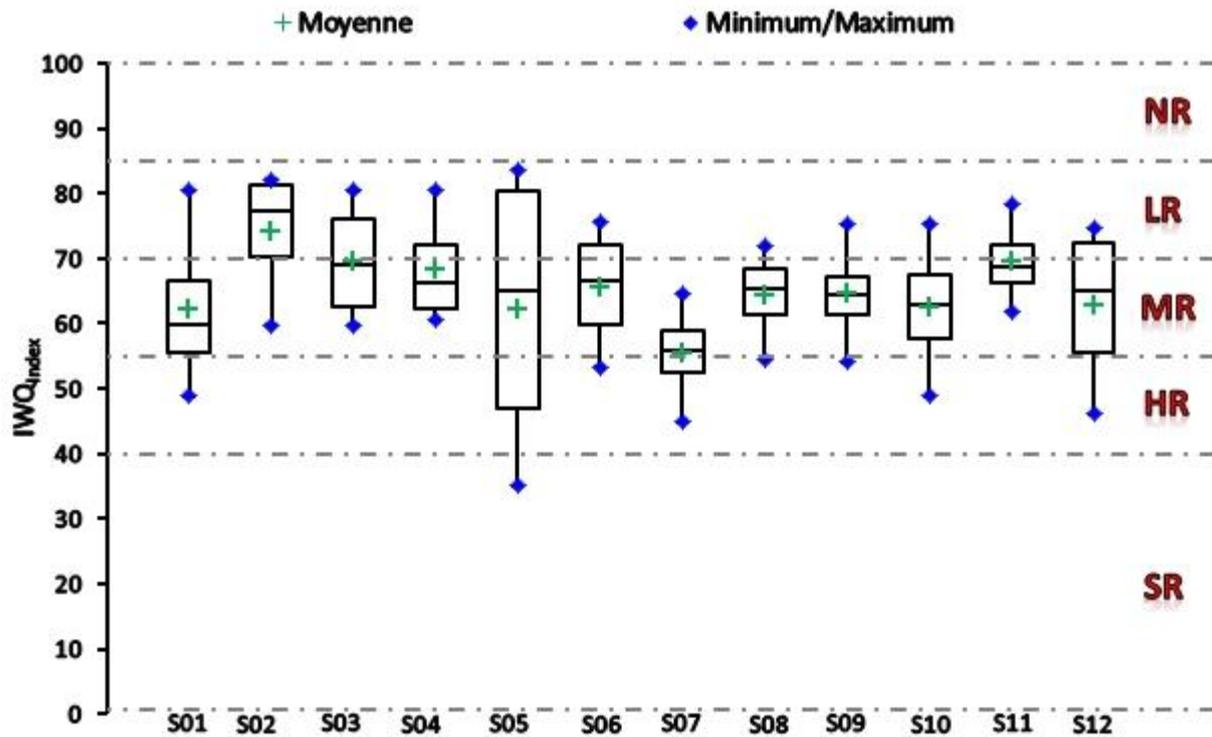


Figure 41: Classes de l'indice de la qualité de l'eau d'irrigation dans les 12 stations

### III.5 ESSAI DE MODÉLISATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU DU BARRAGE DE BOUAMDANE PAR L'UTILISATION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

#### III.5.1 Aperçu Des Techniques D'apprentissage Automatique

L'apprentissage automatique est un sous-domaine de l'intelligence artificielle qui peut être défini comme la capacité d'une machine à imiter le comportement intelligent d'un être humain. Les systèmes d'intelligence artificielle sont utilisés pour exécuter des tâches complexes d'une manière similaire à la façon dont les humains résolvent les problèmes. Selon (Lanka et al. 2020), l'objectif de l'intelligence artificielle est de créer des modèles informatiques qui démontrent des « comportements intelligents » identiques à ceux des humains. L'apprentissage automatique est une autre façon d'utiliser l'intelligence artificielle. Comme l'a déclaré dans les années 1950 l'innovateur en intelligence artificielle Arthur Samuel « le domaine d'étude qui donne aux ordinateurs la capacité d'apprendre sans être explicitement programmé ».

Il existe trois sous-catégories de Machine Learning :

- 1- Les modèles d'apprentissage automatique supervisé sont entraînés avec un lot de données marqué, ce qui permet aux modèles d'apprendre et de se développer plus

précisément au fil du temps. Par exemple, un algorithme serait entraîné avec des photos de chats et d'autres choses, toutes marquées par des êtres humains, et la machine apprendrait des moyens de distinguer les photos de chats sur elle-même. L'apprentissage automatique supervisé est le type de masse le plus couramment utilisé de nos jours (Tse et al. 2017).

- 2- Dans l'apprentissage automatique non supervisé, un modèle entraîné recherche des modèles dans des données non étiquetées. L'apprentissage automatique non supervisé peut détecter des modèles ou des tendances auxquels les gens ne s'attendent pas vraiment (Tse et al.2017).
- 3- L'apprentissage automatique par renforcement entraîne les machines par essais et erreurs pour assurer le meilleur accomplissement en démontrant un système de récompense (Mitchell, 1997)

#### ↳ **Algorithme d'apprentissage AdaBoost (Adaptive Boosting) :**

C'est un algorithme de classification (introduit par **Schapire** et **Freund** ,1997) qui consiste à associer de nombreux classificateurs de base (exemple : arbre de décision) pour construire un ensemble classificateur plus performant. Chaque fois qu'un classificateur de base est entraîné, les données mal classées précédemment seront reprennes avec une pondération plus élevée, dans le but que dans les itérations futures, le nouveau modèle rectifie les erreurs du précédent modèle, ce qui permettra d'améliorer les performances globales. L'idée est que les classificateurs devront se concentrer sur les données difficilement classables correctement (**Freund, et al., 1997**).

#### ↳ **Arbre de décision (Decision Tree) :**

Est une technique d'apprentissage supervisé qui peut être utilisée à la fois pour les problèmes de classification et de régression, mais elle est surtout utilisée pour résoudre les problèmes de classification grâce à sa simplicité algorithmique d'une part et de la facilité d'expliquer et interpréter les résultats d'autre part. Il s'agit d'un classificateur structuré en arbre, où les nœuds internes représentent les attribues, les branches représentent les règles de décision et chaque feuille représente le résultat.

### III.5.2 Application Sur La Qualité Des Eaux Du Barrage Bouhamdane

Dans notre étude, des modèles d'apprentissage automatique supervisés ont été entraînés et utilisés pour prédire 6 classes de qualité de l'eau.

La prédiction de la classe de qualité de l'eau a été effectuée en utilisant principalement de deux algorithmes d'apprentissage automatique, à savoir : l'algorithme d'apprentissage automatique (arbre de décision DT) et un algorithme de méthode d'ensemble (Adaboost)

Dans la classification, une variable catégorielle est prédite, c'est-à-dire que les données d'entrée peuvent être classées en fonction des étiquettes. Par exemple, reconnaître la classification IQE de l'eau si elle est excellente ou mauvaise et c'est un problème de classification de notre étude. En résumé, la technique de régression doit être utilisée lorsque des données prévisibles sont quantifiées, et la technique de classification doit être utilisée lorsque les données prévisibles concernent la prédiction d'une étiquette.

#### III.5.2.1 Développement De Modèles

Nous avons formé un ensemble d'algorithmes de classification d'apprentissage automatique : l'arbre de décision et L'algorithme AdaBoost (Adaptive Boosting). Les deux algorithmes ont été obtenus en suivant les étapes suivantes :

- La première étape du développement d'algorithmes d'apprentissage automatique est la préparation de l'ensemble de données. À ce stade, l'ensemble de données collectées doit être divisé en deux groupes, l'apprentissage (training) et les tests. Dans cette recherche, l'ensemble de données sélectionné a été divisé au hasard en deux parties, 80 % ont été utilisés pour la formation ou l'étalonnage du modèle et les 20 % restants ont été utilisés pour la validation et le test du modèle. Selon (Ahmed et al., 2021) déclare que les données d'apprentissage sont l'ensemble de données qui est responsable de la construction des algorithmes d'apprentissage automatique, les données fractionnées sont transmises aux données d'entrée de l'algorithme qui correspondent à une sortie attendue, puis le modèle évalue les données sur et plus afin d'en savoir plus sur le comportement des données et de s'ajuster afin de servir leur objectif.

D'autre part, les données de test sont après la construction du modèle, testant à nouveau les données afin de les valider afin qu'elles puissent faire des prédictions précises. Si les données d'entraînement et de validation incluent des étiquettes pour surveiller les mesures de performance du modèle, les données de test ne doivent pas être étiquetées. Les données de test fournissent un ensemble de données final invisible dans le monde réel pour confirmer si l'ensemble de données d'apprentissage automatique a été formé efficacement.

- Après avoir divisé les données, l'étape suivante consistait à entraîner le modèle avec les 80 % de l'ensemble de données, puis à valider et tester le modèle avec les 20 % de l'ensemble de données qui restaient.

### III.5.2.2 Sélection Des Entrées

La combinaison d'entrées dans cette étude a été choisie parmi 20 paramètres sur la base d'une analyse de sensibilité des 20 paramètres utilisés dans le calcul de l'IQE.

À partir de la figure ci-dessous, 6 paramètres ayant la plus haute importance dans la modélisation de l'IQE ont été choisis pour différentes combinaisons d'entrées, comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

*Tableau 36: Combinaisons d'entrée des paramètres physico-chimiques basées sur l'analyse de sensibilité*

No.	Combinaison
01	$\text{NH}_4^+$
02	$\text{NH}_4^+$ et $\text{PO}_4^{3-}$
03	$\text{NH}_4^+$ , $\text{PO}_4^{3-}$ et $\text{Cl}^-$
04	$\text{NH}_4^+$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{Cl}^-$ et TDS
05	$\text{NH}_4^+$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{Cl}^-$ , TDS et $\text{SO}_4^{2-}$
06	$\text{NH}_4^+$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{Cl}^-$ , TDS, $\text{SO}_4^{2-}$ et $\text{NO}_2$
07	Tous les paramètres

### III.5.2.3 Sélection De L'évaluation Du Modèle

Une matrice de confusion de taille  $n * n$  corrélée à un classificateur révèle la classification prédite et réelle, où  $n$  est le nombre de classes différentes (Visa et al., 2011). Par exemple une matrice de confusion pour  $n = 2$ , dont les entrées ont les significations suivantes :

- A : est le nombre de prédictions négatives correctes

- B : est le nombre de prédictions positives incorrectes
- C : est le nombre de prédictions négatives incorrectes
- D : est le nombre de prédictions positives correctes

Tableau 37: Exemple de matrice de confusion pour  $n = 2$ . Source : VISA et al., (2011)

	Prédit négatif	Prédit positif
Réel négatif	A	B
Positif réel	C	D

L'exactitude de la prédiction, la précision, le rappel, le score F1 et l'erreur de classification peuvent être calculés à partir de cette matrice comme suit :

**Précision** : nous donne la précision globale du modèle, c'est-à-dire la fraction du total des échantillons qui ont été correctement classés par le classificateur (VISA et al., 2011). Pour calculer la précision, utilisez la formule suivante :

$$\text{Accuracy} = \frac{a + d}{a + b + c + d}$$

$$\text{Error} = \frac{b + c}{a + b + c + d}$$

**Précision** : vous indique quelle fraction des prédictions en tant que classe positive étaient réellement positives (VISA et al., 2011). Pour calculer la précision, utilisez la formule suivante :

$$\text{Precision} = \frac{a}{a + b}$$

**Rappel** : vous indique quelles fractions de tous les échantillons positifs ont été correctement prédites comme positives par le classificateur. Il est également connu sous le nom de taux positif correct, sensibilité, probabilité de détection (VISA et al., 2011). Pour calculer le rappel, utilisez la formule suivante :

$$\text{Recall} = \frac{a}{a + c}$$

F1-Score : Il combine précision et rappel en une seule mesure. Mathématiquement, c'est la moyenne harmonique de précision et de rappel (VISA et al., 2011). Il peut être calculé comme suit :

$$\text{F1score} = 2 * \frac{\text{Precision} * \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} = \frac{2ad}{2d + c + 2a}$$

Dans un monde parfait, nous aimerions un modèle qui a une précision de 1 et un rappel de 1. Cela signifie un score F1 de 1, c'est-à-dire une précision de 100%, ce qui n'est souvent pas le cas pour un modèle d'apprentissage automatique. Donc ce que nous devrions viser est d'obtenir une précision plus élevée avec une valeur de rappel plus élevée (VISA et al., 2011).

### III.5.2.4 Classification De Performance

La classification est obtenue on se basant sur 4 classes de performance proposé par (Sajedi-Hosseini, et al., 2018)

Tableau 38: Classification de la performance avec les valeurs de AUC Source : (Sajedi-Hosseini, et al., 2018)

Valeur AUC	Performance de modèle
0.5 -0.6	Incompétent
0.6-0.7	Peu performant
0.7-0.8	Performance modérée
>0.8	Très performant

### III.5.2.5 Discussion

Sur la base de l'analyse de sensibilité des 20 paramètres utilisés dans le calcul de l'indice de qualité de l'eau présenté dans cette recherche, différentes combinaisons d'entrées ont été sélectionnées pour classer la qualité de l'eau dans le Barrage de Bouhamdane (tableau 38)

Tableau 39: Résultats obtenus par les deux modèles utilisés (DT & ADA) des différentes combinaisons

N°	Combinaison	Modèle de performance Précision %	
		DT	ADA
<b>01</b>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	56	67
<b>02</b>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> et PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	<b>89</b>	<b>93</b>
<b>03</b>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> et Cl <sup>-</sup>	85	85
<b>04</b>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , Cl <sup>-</sup> et TDS	81	85
<b>05</b>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , Cl <sup>-</sup> , TDS et SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	81	89
<b>06</b>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , Cl <sup>-</sup> , TDS, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> et NO <sub>2</sub>	74	85
<b>07</b>	Tous les paramètres	74	81

Le tableau ci-dessus contient les résultats de la combinaison d'entrée utilisée la première combinaison d'entrée ML01 montre des résultats (incompétents) en utilisant

l'algorithme d'arbre de décision tandis que l'utilisation de l'algorithme d'apprentissage (ADABOOST) a montré des résultats (peu performants).

La deuxième combinaison sur l'algorithme (ML02) a montré une grande performance entre  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{PO}_4^+$  avec un pourcentage de 89 % et 93 % pour les algorithmes d'arbre de Décision Trois et ADABOOST respectivement.

Les combinaisons d'entrée ML03, ML04 et ML05 ont montré des résultats (performants) en utilisant les deux l'algorithme d'apprentissage avec une supériorité pour le modèle ADABOOST.

En général, l'utilisation de deux combinaisons d'entrée ( $\text{NH}_4^+$  et  $\text{PO}_4^+$ ) pour prédire les classes IQE a montré une très bonne précision.

L'utilisation d'algorithmes d'apprentissage automatique pourrait être utile pour fournir une estimation réelle de l'indice de classe à prendre en compte pour le dimensionnement des méthodes et des techniques de traitement lorsque des mesures directes ne sont pas disponibles. En effet durant l'année 2012, un problème d'eutrophisation surgit au niveau du barrage de Hammam Debagh (Photos ci-dessous) avec une prolifération importante d'algues, une étude de la qualité des eaux on se basant sur la modélisation prédictive aurait pu permettre aux décideurs de prendre leurs dispositions pour protéger l'ouvrage.





Figure 42: Cuvette du Barrage Bouhamdane 2012 Eutrophisation

### III.6 CONCLUSION

Dans notre étude l'utilisation de l'indice IQEI a montré une classe principale : la classe de Restriction modérée (Moderate restriction (MR)). L'IQE est prédit dans le barrage de Bouhamdane, avec l'utilisation des techniques d'apprentissage automatique (arbre de décision et AdaBoost (Adaptive Boosting)). Pour atteindre l'objectif, un ensemble de données intensif a été collecté pour 20 paramètres de qualité de l'eau pendant une période de 10 ans de 2010 à 2019. Une Analyse de sensibilité a été réalisée en utilisant Adaptive boosting algorithme afin de simplifier le calcul de l'IQE et de comprendre la relation entre les paramètres et l'IQE. Sur les 20 variables collectées, six variables significatives à savoir,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , TDS et  $\text{NO}_2^-$  ont été choisis pour prédire l'IQE avec différents Combinaison d'entrée des paramètres de qualité de l'eau. Les résultats indiquent que la technique de AdaBoost est capable de prédire avec succès IQE a montré une très grande précision de 93%.

Selon l'IQE, la qualité de l'eau des eaux de barrage de Bouhamdane variait entre la qualité bonne et mauvaise. Ceci est dû à l'urbanisation croissante et de la pollution intense causée par les déchets urbains de l'Oued d'Oued Zenati un des grands affluents de Bouhamdane, les mesures nécessaires doivent être prises pour réduire les coûts futurs de la contamination résultant, la réalisation d'une STEP au niveau de l'amont du barrage de Bouhamdane est indispensable.

# **CHAPITRE IV**

## **RESSOURCES EN EAU**

## IV.1 INTRODUCTION

La mise en place des bases d'une gestion rationnelle et intégrée des ressources en eau consiste à une analyse des données des différents utilisateurs de l'eau, une gestion durable dépend du l'évaluation des données quantitatifs et qualitatifs des ressources en eau superficielles et souterraines et la présentation des inventaires des aménagements hydrauliques importants ainsi que des activités consommatrices d'eau (alimentation en eau potable en priorité, irrigation et l'industrie). Dans ce chapitre nous allons procédés au traitement des aspects quantitatifs et qualitatifs des ressources en eau superficielles (barrages, retenues collinaires et Oued s) et souterraines (forages, puits et sources), et leurs usagers dans Le bassin versant de la moyenne Seybouse, sur une période d'une année de référence (2017).

## IV.2 Diagnostique Quantitatif De La Ressource En Eau Dans Le bassin versant de la moyenne Seybouse

### IV.2.1 Les Eaux Conventionnelles

#### IV.2.1.1 Eaux Souterraines

##### IV.2.1.1.1 Les Forages

Les eaux souterraines sont exploitées par 41 forages, qui sont destinés que ce soit en AEP et à AEI, ou à irrigation. Ces forages sont répartis dans différentes nappes, on cite :

#### ↳ **La nappe alluvionnaire de Guelma**

La nappe alluvionnaire de Guelma d'âge mio-plio-quadernaire, s'étend le long de l'Oued Seybouse. Centrée sur la ville de Guelma et les villages de Belkheir et Boumahra Ahmed, la plaine s'élargit au Sud pour englober les localités des Oueds Maiz et Zimba, ainsi que les chaabets de Meklouka et Maa'moura. Elle est limitée à l'Ouest par la route de Constantine à hauteur de Haouch Mihoub Mohammed et à l'Est par le resserrement de la vallée près de la station ferroviaire de Nador.

Cette nappe est actuellement exploitée par 25 forages mobilisant un débit de 432 l/s et un débit d'exploitation réel pour la population est de 165 l/s, La profondeur de la nappe varie d'un endroit à l'autre, pour la nappe de la vallée actuelle les niveaux se situent entre plus que 30 et 40 m sous le sol, pour la nappe des hautes terrasses et des alluvions.(DRE 2018)

Tableau 40 : Forages de la nappe alluvionnaire de Guelma (DRE 2018)

N°	Commune	Nom	GESTION et Destination	Profond (m)	Q.Mob (l/s)	Q. Exp (l/s)	Q.Exp. Pop (l/s)
1	Guelma	Oued MaizOM1(puits)	ADE (AEP Guelma)	45	10	4	4
2		Oued Maiz(Eucalyptus)	ADE (AEP Guelma)	65	10	9	5
3		Oued MaiztarhaDaoura)	ADE (AEP Guelma)		30	22	7
4		Oued MaizOM2(rail)	ADE (AEP Guelma)	60	10	9	5
5		ExSogedia G6Bis	ADE(AEP)	48	15	10	4
6		Jerodon N, O /MAIZ	ADE (AEP Guelma)	162	16	7	7
7		Sonacome F1	AEI	66.5	10	8	8
8		F - SNIC-	AEI	117	10	10	10
9	Belkheir	SNTR- G2 (Oued Zimba)	ADE (AEP Belkheir)	140	12	11	7
10		BK1	ADE (AEP Guelma)	90	28	28	10
11		BK2 Nouveau (MATAR)	ADE (AEP Belkheir)	140	18	10	7
12		Guelma G5 Bis	ADE (AEP Belkheir)	140	7	5	4
13		BA2	ADE (AEP Salah Soufi+chihaoui)	100	15	11	7
14		BA3	ADE (AEP Boumahra)	100	18	8	8
15		Capra	Ferme pilote (IRR)	140	20	0	0
16		Sogedia G4	AEI (IND SOGEDIA)	114	35	10	10
17		BC1	ADE (AEP Belkheir)	95	25	12	7
18		BC2	ADE (AEP TRANS BOUCHEG)	95	25	12	7
19		Zone industrielle	AEI (IND zone industrielle)	120	8	8	0
20		Rihana	ADE (AEP Bouchegouf)	130	14	10	0
21	Boumahra	Sogedia	AEI (IND SUCRERIE)	84	20	15	15
22		BA1 Ter	ADE (AEP BOUMAHRA)	182	12	4	3
23		BA5 (Dardar)	ADE (AEP BOUMAHRA)	90	25	25	17
24		Zitouna	ADE (AEP Bouchegouf)	120	14	10	0
25		BA4 ORAVIE	ADE (AEP Boumahra)	80	25	20	13
Total				--	432	278	165

### ↪ La nappe des calcaires néritiques sénoniens de Hammam Bradaaa

Les calcaires néritiques font partie de l'ensemble nord oriental des séries néritiques constantinois Les affleurements calcaires néritiques sont isolés et de tailles variables.

Le néritique affleure, en mamelons depuis le Djebel Débagh jusqu' à Hammam Bredaa, Héliopolis, au Sud-Ouest de Guelma et à l'Ouest de Nador. Les limites en profondeur de la nappe sont inconnues, compte tenu de sa couverture par les nappes telliennes et ultra telliennes. La nappe est exploitée à ce jour par Sept forages mobilisant un débit de 336 l/s, et un débit d'exploitation réel pour la population est de 145 l/s.(DRE 2018)

Tableau 41: Forages dans l'aquifère des calcaires néritiques de Hammam Bredaa (DRE 2018)

N°	Commune	Nom	et GESTION Destination	Profondeur (m)	Q Mob (l/s)	Q Exp (l/s)	QExp Pop (l/s)
1	Héliopolis	Bouzitoune	ADE(AEP Héliopolis)	242	28	22	16
2		Ham bradaa HB4	ADE(AEP Guelma)	177	45	35	24
3		Bouzitoune 1	ADE (AEP Héliopolis)	202	60	40	31
4		Bouzitoune 2	ADE (AEPGuelma)	400	60	40	25
5		MaachouN2 HB3	ADE (AEP GuelaatBsbaa) ADE (AEP Nechmaya)	410	60	30	26
6	El Fedjoudj	El Fedjoudj F1	APC (AEP El fedjoudj)	180	10	10	0
7		El Fedjoudj F2	ADE (AEP El fedjoudj et Bouati Mahmoud)	226	73	35	23
Total					336	212	145

### ↪ La nappe des calcaires du bassin de Oued Helia

Dans la nappe des calcaires du bassin Oued Helia, les Neufs forages (09) exploités qui mobilisent un débit de 155l/s et un débit d'exploitation réel pour la population est de 65 l/s.

Les formations calcaires affleurent par endroits notamment sur la rive droite d'Oued Halia (Bouhachana), où les trois forages OH1, OH3 et OH6 sont localisés. La zone fissurée et karstifiée se situe entre 70 et 100m en moyenne. Dans cette zone du Sud de Guelma, le thermalisme est marqué par la ligne de sources des Hammam Guerfa et Belhachani entre Ain Makhoul à l'Est et Ain Larbi à l'Ouest d'une part et les Hammam Assasla et Hammam N'Bails respectivement au Nord à l'Est de Bouhachana.(DRE 2018)

Tableau 42: Forages au niveau de la nappe calcaire du bassin de l'Oued Halia(DRE 2018)

N°	Commune	Nom	GESTION et Destination	Profondeur (m)	Q Mob (l/s)	Q Exp l/s)	QExp Pop (l/s)
1	Khezaras	K1	ADE(AEP Khezaras)	108	20	14	8
2		K2	ADE(AEP Khezaras)	100	7	7	0
3		Herga Abdel Hak	Agric(IRR)		2	2	0
4		Ajabi Mohamed	Agric(IRR)	80	3	3	2
5	Bouhachana	OH1	ADE(AEP Guelma)	100	80	50	25
6		OH3	ADE(AEP Guelma)	116	20	17	11
7		Bazina	ADE(AEP BOUHACHANA)	120	5	5	5
8		Dafri limonaderie	Privé		2	2	0
9	Ain Sandel	Maarouf	APC(AEP H. N BAIL)	255	16	14	14
Total					155	114	65

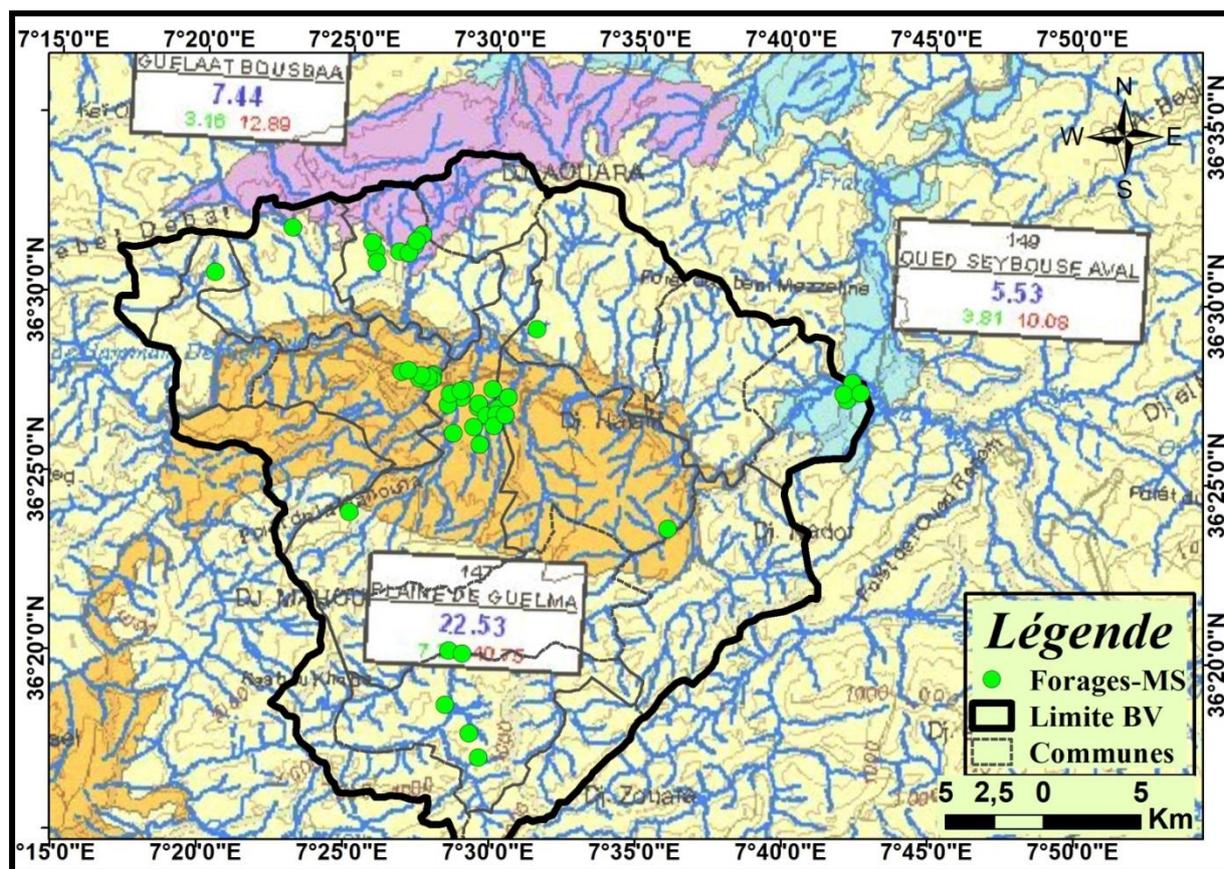


Figure 43: Carte de la répartition des forages dans la moyenne Seybouse

Tableau 43: Débits exploitables par l’AEP, l’irrigation et l’industrie (DRE 2018)

FORAGES	NOMBRE	DEBIT MOBILISE (l/s)	NOMBRE	DEBIT EXPLOITE (l/s)	NOMBRE	DEBIT EXPLOITE POP (l/s)
FOARAGES AEP	32	813	32	546	32	330
FORAGES IRRIGATION	3	25	3	5	3	2
FORAGES INDUSTRIE	6	85	6	53	6	43

#### IV.2.1.1.2 Les Sources

Dans notre zone d’études on a 02 grandes sources qui sont destinée pour l’AEP avec un débit total égale à 23 l/s et 387 sources (aménages et non aménagé) réparties dans tout le bassin versant destinée à l’AEP des mechtas et à usage privé avec un débit total égale à 222.73l/s.(DRE 2018)

Tableau 44: Liste des Sources exploitées dans la moyenne Seybouse (DRE Guelma 2018)

Commune	NOM et Nombre de Source	DEBIT l/s
Hammam N'Bail	Source Guelta Zargua	18
	Source Ain Djemel	05
Les sources (aménagé et non aménagé)	387	222,73
<b>TOTAL</b>	<b>389</b>	<b>245,73</b>

#### IV.2.1.1.3 Les Puits

Dans notre zone d'études on a 06 puits qui sont destinée pour l'AEP avec un débit total égale à **15 l/s** et **161** puits à usage agricole reparties dans tout le bassin versant avec un débit total égale à **230,05 l/s** (tableau 44).(DRE 2018)

Tableau 45: Statistique des puits existants dans le bassin versant de la Seybouse (DRE 2018)

Commune	Nombre des puits	DEBIT (l/s)	USAGE PUIT
<b>Beni Mezline</b>	03	09	<b>AEP</b>
<b>Djebala Khemissi</b>	03	06	
<b>Guelma</b>	04	9	<b>IRR</b>
<b>Bendjerrah</b>	02	03	
<b>Boumahra</b>	14	14.5	
<b>GBS</b>	05	7	
<b>Beni Mezline</b>	18	38	
<b>Djebala Khemissi</b>	21	30	
<b>Belkheir</b>	12	18.5	
<b>Bouhachana</b>	03	4	
<b>Ain Sandel</b>	18	17	
<b>Khezara</b>	08	9.8	
<b>El Fedjoudj</b>	20	37	
<b>Héliopolis</b>	19	23.75	
<b>Hammam N'bail</b>	11	18.5	
<b>TOTAL</b>	<b>161</b>	<b>245.05</b>	

Le bassin versant de la moyenne Seybouse est composé de plusieurs aquifères, ces nappes sont exploitées par de nombreux forages (41) forages qui puisent une moyenne de 11.83 hm<sup>3</sup>/an par an destinés à l'AEP, irrigation et industrie (DRE 2018), Aussi nous relevons

d'autres sources hydriques à usage divers à partir de 161 puits traditionnels qui puisent un volume de (7.72 hm<sup>3</sup>/an) et 389 sources d'eau en milieu rural (7.72 hm<sup>3</sup>/an). L'ensemble des eaux souterraines totalisant une capacité près de 43.96hm<sup>3</sup>/an (forages, puits et sources) soit environ 36.63% de la ressource souterraine reconnue (120 hm<sup>3</sup> /an ANRH 2018) (Fig.46).

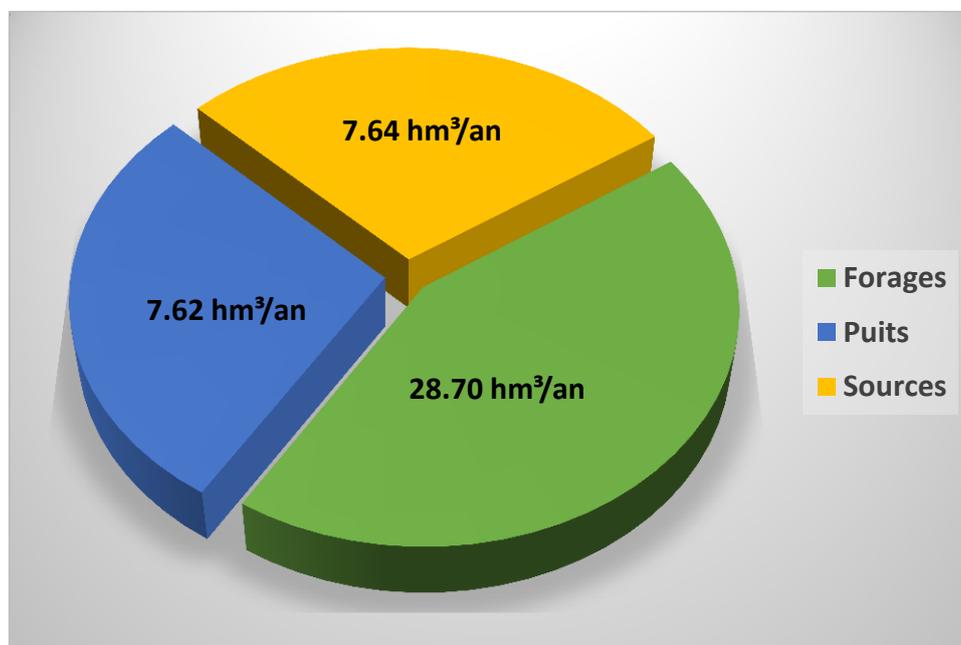


Figure 44: Capacité des ressources hydrique exploitées dans Le bassin versant de la moyenne Seybouse

#### IV.2.1.2. Les Eaux Superficielles

##### IV.2.1.2.1.L'apport De L'Oued Seybouse

La ressource en eau de surface provient essentiellement de l'Oued Seybouse et ces principaux affluents, qui sont alimentés principalement par les eaux pluviales. L'apport hydrique annuel est estimé à 203.15 Hm<sup>3</sup> (Djabri L. 1996).

##### IV.2.1.2.2.Les Ouvrages De Stockage Des Eaux Superficielles

Les infrastructures de stockage dans le bassin versant de la moyenne Seybouse mobilisant les eaux superficielles qui sont destinés à l'AEP et l'irrigation sont de l'ordre de 184 ,43 millions m<sup>3</sup>, se répartissant comme suit : Barrage et Retenues collinaires.

### ↳ Barrage de Hammam Debagh

Est implanté à 3 Km en amont de la localité de Hammam Debagh et à 20 km à l'ouest de la ville de Guelma, sur l'Oued Bouhamdane dont tiré son nom. Le bassin versant du barrage s'étale sur une superficie de 1070 Km<sup>2</sup>. Il représente une importante source d'alimentation en eau de la wilaya de Guelma. Il fournit à cette dernière l'essentiel de la desserte en eau, tant pour les besoins de la population que pour le secteur agricole.

- ✓ La capacité totale est de l'ordre de 184 hm<sup>3</sup>, et le volume régularisable est de 55 hm<sup>3</sup>/an à 66 hm<sup>3</sup>/an dont :
  - 18 a 21 millions m<sup>3</sup>/an sont affectés aux besoins de l'alimentation en eau potable du chef-lieu de wilaya et des centres de Guelma, Roknia, Hammam Debagh, Houari Boumediene, Medjez Amar, Salah Salah, Serfani et Bendjerah et de toutes les agglomérations situées sur les systèmes de transfert, et bientôt pour l'alimentation en eau potable des villes de Oued Zenati, Bordj Sabat, Ras Layoune et Aïn Reguada.
  - 35 à 47 millions m<sup>3</sup>/an sont destinés principalement à l'irrigation du périmètre de Guelma - Bouchegouf de 13 000 ha



Figure 45 : Evacuateur de crue et digue du barrage de Bouhamdane

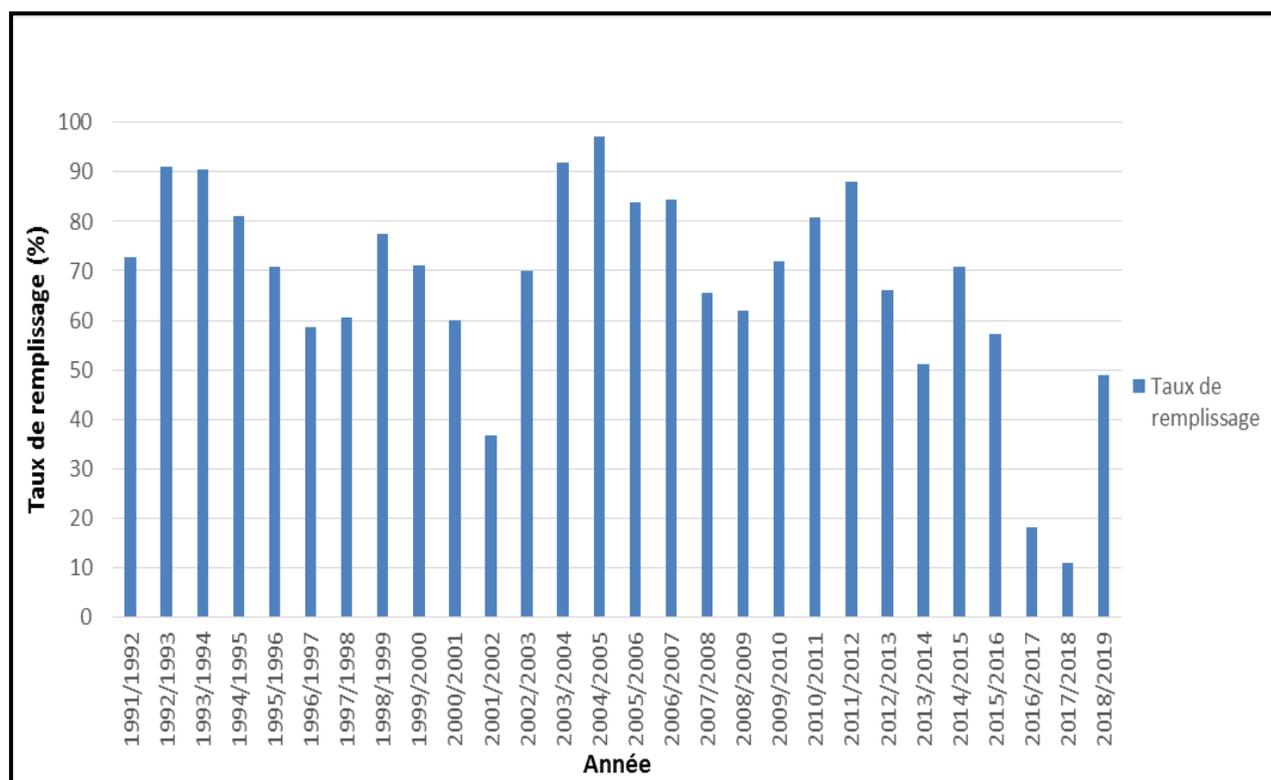


Figure 46: Evolution annuelle du taux de remplissage du barrage de Bouhamdane en % (1991/92 - 2018/19)

Le taux moyen de remplissage du barrage de Bouhamdane est d'environ 67 % sur la période d'étude (1991/1992-2018/2019). Le taux le plus élevé (environ 97 %) du remplissage est marquée durant l'année hydrologique (2004/2005). Cette année-là, le barrage c'est presque totalement rempli et a déversé son trop-plein (par des lâchers d'eau) à fin d'éviter d'éventuelles inondations.

Le reste du temps, son niveau de remplissage était honorable, avec une valeur minimale d'à peine 11 % observée en (2017/2018). En dehors de cette année défavorable, heureusement, les fortes précipitations ont contribué à un apport d'eau important au barrage, portant à environ 48 millions de m<sup>3</sup> de réserves à la fin de 2018, ce qui permet de répondre aux besoins de la population. Depuis, des précipitations supplémentaires ont été enregistrées, ce qui aurait dû augmenter considérablement le taux de remplissage.

- **Aspect quantitatif (volumes produits par le barrage) :**

L'évolution de l'ensemble des volumes alloués à l'AEP et irrigation à partir du barrage de BOUHEMDANE depuis l'année 1990 jusqu'à l'année 2019, est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 46: Volumes alloués à l'AEP et irrigation par le barrage de BOUHAMDANE

Année	AEP (Hm <sup>3</sup> )	IRR (Hm <sup>3</sup> )	Année	AEP (Hm <sup>3</sup> )	IRR (Hm <sup>3</sup> )
<b>1990-1991</b>	0.000	0.000	<b>2004-2005</b>	14.307	29.786
<b>1999-1991</b>	0.000	0.000	<b>2005-2006</b>	14.345	30.287
<b>1991-1992</b>	0.000	0.000	<b>2006-2007</b>	14.103	31.969
<b>1992-1993</b>	0.195	0.000	<b>2007-2008</b>	16.048	35.492
<b>1993-1994</b>	1.261	0.000	<b>2008-2009</b>	16,303	28,274
<b>1994-1995</b>	1.439	0.000	<b>2009-2010</b>	16,461	31,301
<b>1995-1996</b>	1.448	9.299	<b>2010-2011</b>	16,382	32,076
<b>1996-1997</b>	1.460	8.674	<b>2011-2012</b>	16,490	33,480
<b>1997-1998</b>	1.460	14.362	<b>2012-2013</b>	18,001	35,054
<b>1998-1999</b>	1.460	20.557	<b>2013-2014</b>	18,076	40,124
<b>1999-2000</b>	1.460	28.810	<b>2014-2015</b>	18,675	39,803
<b>2000-2001</b>	1.460	31.739	<b>2015-2016</b>	18,948	47,007
<b>2001-2002</b>	4.987	25.722	<b>2016-2017</b>	18,769	2,002
<b>2002-2003</b>	10.342	30.363	<b>2017-2018</b>	18,835	0,000
<b>2003-2004</b>	14.251	9.750	<b>2018-2019</b>	21,686	25,182

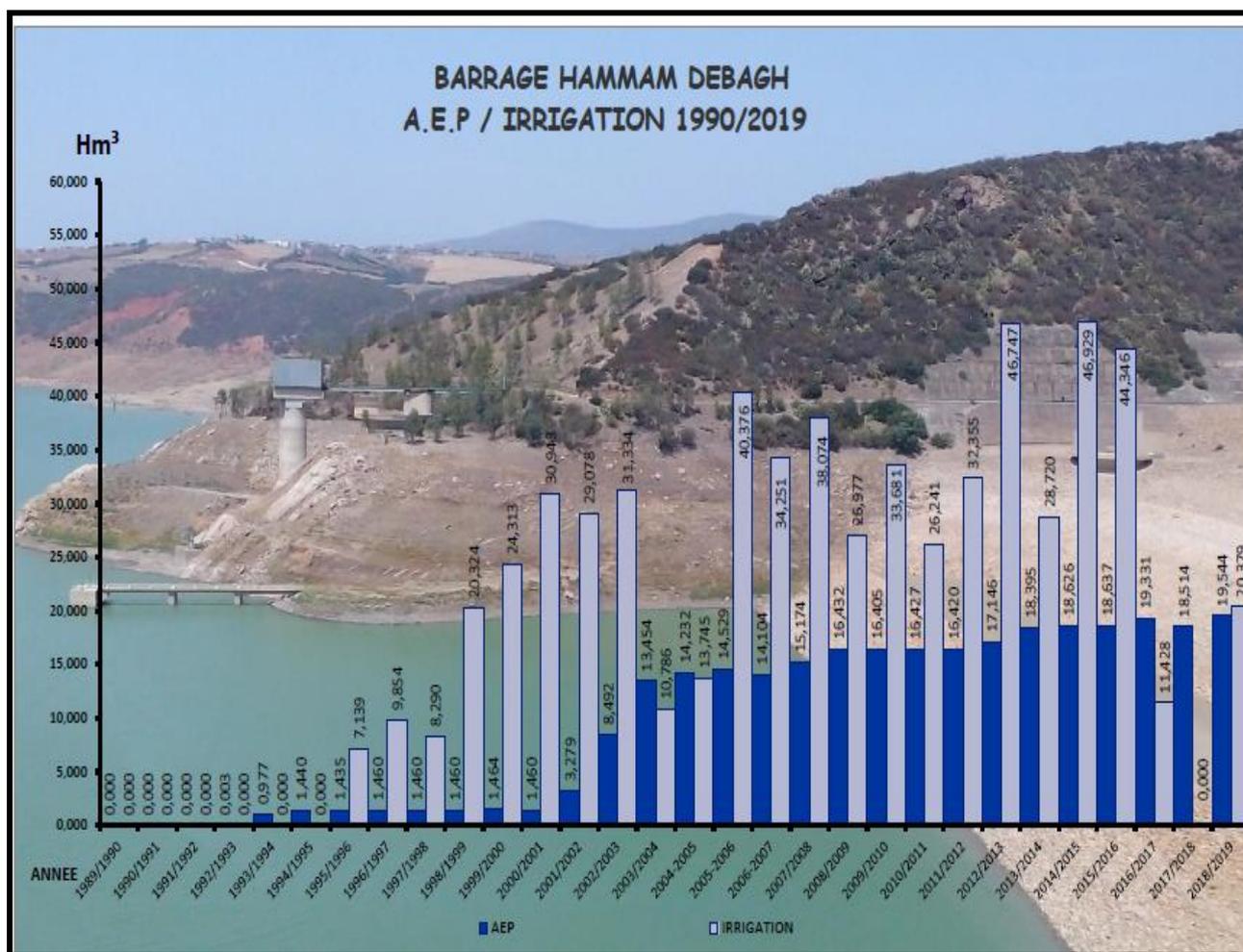


Figure 47: Les volumes annuels produits du barrage Bouhamdane pour l'AEP et l'irrigation

Le graphique (fig. 47) montre qu'il y a eu une augmentation progressive de la production ces 16 dernières années, en particulier entre 2004 et 2020. Cela est dû à la hausse progressive du nombre d'abonnés.

Les volumes d'eau alloués à l'irrigation et à l'AEP du barrage de Bouhamdane sont variables d'année en année (tableau 46). On note que durant l'année 2014/2015, on a le plus grand volume d'eau d'irrigation (46,929 hm<sup>3</sup>), alors que les plus importants volumes d'eau pour l'AEP correspondent à l'année 2018/2019 (19,544 hm<sup>3</sup>). Dans l'ensemble, le volume d'eau utilisé pour l'AEP augmente pendant la période concernée (il passe d'environ 14 hm<sup>3</sup> en 2004/2005 à environ 20 hm<sup>3</sup> en 2018/2019), tandis que la quantité destinée à l'irrigation est caractérisée par une plus grande variabilité (par exemple, l'année 2017/2018, particulièrement sèche, n'a pas fourni d'eau pour l'irrigation).

### ↳ Les retenues collinaires

Le bassin versant de la moyenne Seybouse compte trois retenues collinaires qui mobilisent un volume global de 0.085 hm<sup>3</sup> d'eau destinée à l'irrigation, le tableau (Tab 47) résume les caractéristiques de ces retenues.

Tableau 47: Retenues collinaires dans Le bassin de la moyenne Seybouse (DRE)

Commune	Nom de L'ouvrage	Capacité Actuelle (Hm <sup>3</sup> )	Superficie Irriguée (Ha)	Volume Utilisé (Hm <sup>3</sup> )	Utilisation irrig/ Abre	Année de réalisation	Hauteur de la digue (m)
<b>Belkheir</b>	Besbessa	0.03	15	0.025	Irrigation	1985	6
	Moudraou	0.025	0	0	Irrigation	1985	7
<b>Héliopolis</b>	El Goutrat	0.03	20	0.02	Irrigation + Abreuvement	1992	7.5
<b>Total</b>	03	<b>0.085</b>	<b>35</b>	<b>0.045</b>			

## IV.2.2. Les Eaux Non Conventionnelles

### IV.2.2.1. La Station D'épuration

La STEP de Guelma est située à 1 km environ au Nord de la ville de Guelma sur le flanc droit de la vallée développée par l'Oued Seybouse et sur la route nationale N° 21 menant à Annaba à proximité du pont Guelma- Héliopolis. Elle est fonctionnelle depuis le 18 février 2008 et implantée sur un terrain agricole de 7.8 Hectares, à raison d'un traitement d'eaux usées de la ville d'environ 32000 m<sup>3</sup>/jour au temps sec et 43000 m<sup>3</sup>/jour au temps de pluie. Les eaux usées domestiques de la ville de Guelma sont collectées par l'écoulement gravitaire, ce qui a engendré la réalisation de deux stations de relevages SR1 se trouve au niveau de la cité frère Rahabi (zone industrielle), point de rejet de l'Oued El Maïz avec un débit de 1575 m<sup>3</sup> /h et la station de relevage SR2 se trouve au niveau du point de rejet de l'Oued Skhoun avec un débit est de 1125 m<sup>3</sup>/h . Refoulant les eaux usées vers la STEP. Elle utilise le procédé de culture libre (boue activée) comme procédé d'épuration (ONA GUELMA).



Figure 48: Situation géographique de STEP de Guelma

Tableau 48: Volume des eaux épurées STEP Guelma 2017

Mois	Volume eau brute (m <sup>3</sup> )	Volume eau épurée (m <sup>3</sup> )
Janvier	417973	367815
Février	368340	324139
Mars	405635	356959
Avril	397560	349853
Mai	395994	348475
Juin	375840	330739
Juillet	395529	348066
Aout	388895	342228
Septembre	364800	321024
Octobre	372961	328206
Novembre	312821	275282
Décembre	303831	267371
<b>Cumul année m<sup>3</sup></b>	4500179	3960157
<b>Cumul année en hm<sup>3</sup></b>	4.500179	3.960157
Rendement =88%		

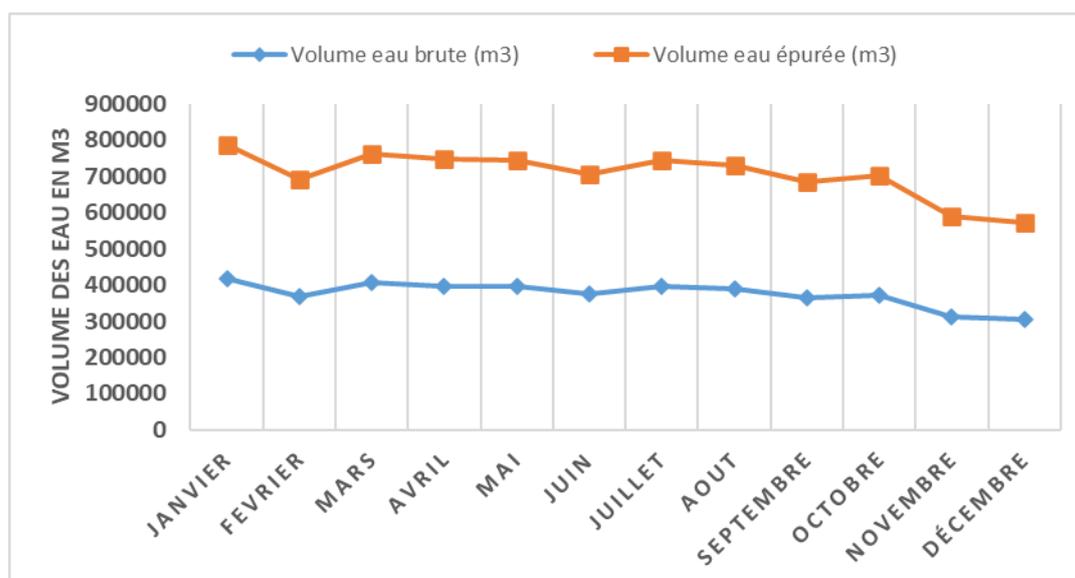


Figure 49: Evolution mensuelle des volumes d'eaux brutes et épurées à la STEP de Guelma (2018)

### IV.3. Dynamique Démographique

La connaissance et la maîtrise de la donnée démographique sont fondamentales dans la prise en charge des besoins sociaux et dans la recherche de l'équilibre régional. Pour ce faire, le poids démographique, son rythme de croissance, ainsi que toutes les sous populations qui découlent de la structure par âge, à savoir les populations scolaires, en âge de travailler et les personnes âgées représentent les ingrédients vitaux. L'analyse de la situation démographique passée et présente est nécessaire pour appréhender la situation future. Les caractéristiques sociodémographiques et culturelles de la population ont été déterminantes dans la baisse continue du niveau de fécondité qui est passé au niveau national de 7,9 enfants par femme en 1970 à 2,66 en 1998. Les résultats encourageants, ont été le fruit de plusieurs éléments socio- démographiques (PAW 2012) :

- La baisse du taux d'analphabétisme,
- La participation de la femme à l'activité économique,
- Le retard à l'âge au mariage et l'amélioration de la couverture sanitaire (planification familiale).

L'évolution de la population a été appréhendée à travers les résultats exhaustifs des trois derniers recensements (1987-1998 - 2008). Le déséquilibre de la répartition spatiale de la population traduit d'une part les retards en matière de développement dans certaines zones,

notamment celles d'Est (Medjez Sfa), Ouest (Roknia, Bouhamdane, Bordj Sabat) Sud et Sud-Est (Ain Larbi, Bou Hachana, Ain Sandel, Dahoura.). Il est également révélateur de grandes disparités au niveau de ressources et moyens auprès des populations concernées (en matière de couverture sanitaire, scolarisation, emploi.) ; d'autre part le non-achèvement de la transition démographique dans certaines Zones. Or, la finalité des politiques d'aménagement du territoire et de la population est de réaliser l'équilibre entre les ressources humaines, économiques en préservant l'environnement. (PAW 2012)

### IV.3.1. Les Dynamiques Démographiques

La wilaya de Guelma avait un taux d'accroissement moyen inférieur à la région Nord Est et de l'Algérie durant la période 1987 – 1998 (1.80 % contre respectivement 1.98 % pour la région de Nord Est et 2.15 pour la moyenne nationale). Ce constat demeure d'actualité durant la période 1998 – 2008. Il est à noter la tendance générale à la baisse du taux d'accroissement moyen constatée entre 1987 – 1998 ; cette tendance à la baisse s'est poursuivie durant la période 1998 – 2008. (PAW 2012)

*Tableau 49: Taux D'accroissement : La Wilaya De Guelma Dans sa Région (Source : Les 03 RGP1987, 1998, 2008)*

	<b>1997/1998</b>	<b>1998/2008</b>
<b>Guelma</b>	<b>1.80</b>	<b>1.2</b>
<b>Zone Nord Est</b>	1.98	1.39
<b>Algérie</b>	<b>2.15</b>	<b>1.6</b>

La population de la Wilaya de Guelma, représente moins de 1.5% de la population totale de l'Algérie, et plus de 9.30% de la population totale de la zone Nord- Est.

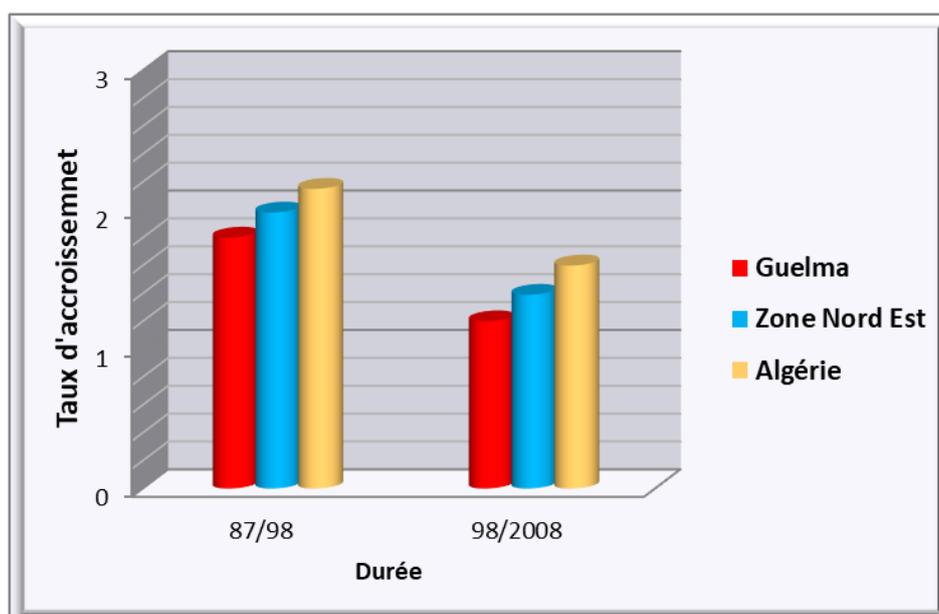


Figure 50: Taux D'accroissement, Wilaya De Guelma Dans sa Région (PAW 2012)

Tableau 50: Évolution de la population par commune

Communes	Population		TAGMA <sup>1</sup>	SM <sup>2</sup>	Pop	TAGMA <sup>1</sup>	SM <sup>3</sup>	POP 2017
	1987	1998	1987-1998		2008	1998-2008		
<b>Guelma</b>	85209	110461	<b>2.4</b>	<b>0.35</b>	120847	<b>0,9</b>	<b>-0.7</b>	<b>136157</b>
<b>Ain Sandel</b>	4760	5083	<b>0.6</b>	<b>-1.55</b>	4760	<b>-0,7</b>	<b>-2.3</b>	<b>5363</b>
<b>Belkhier</b>	11270	14979	<b>2.6</b>	<b>0.45</b>	17649	<b>1,7</b>	<b>0.1</b>	<b>19885</b>
<b>Bendjarah</b>	3144	4202	<b>2.7</b>	<b>0.55</b>	6553	<b>4,6</b>	<b>3</b>	<b>7383</b>
<b>Khezaras</b>	6810	8154	<b>1.7</b>	<b>-0.45</b>	10382	<b>2,5</b>	<b>0.9</b>	<b>11697</b>
<b>Beni Mezline</b>	3728	4491	<b>1.7</b>	<b>-0.45</b>	4883	<b>0,9</b>	<b>-0.7</b>	<b>5502</b>
<b>Bouhachana</b>	5202	5575	<b>0.6</b>	<b>-1.55</b>	5596	<b>0,0</b>	<b>-1.6</b>	<b>6305</b>
<b>Guelaat Bou Sbaa</b>	3745	4874	<b>2.4</b>	<b>0.25</b>	5635	<b>1,5</b>	<b>-0.1</b>	<b>6349</b>
<b>El Fedjoudj</b>	5802	7473	<b>2.3</b>	<b>0.15</b>	9122	<b>2,1</b>	<b>0.5</b>	<b>10278</b>
<b>Hammam N'bail</b>	14754	15854	<b>0.7</b>	<b>1.45</b>	16199	<b>0,2</b>	<b>-1.4</b>	<b>18251</b>
<b>Medjez Amar</b>	5802	6426	<b>0.9</b>	<b>-1.25</b>	7703	<b>1,9</b>	<b>0.3</b>	<b>8679</b>
<b>Heliopolis</b>	17287	22605	<b>2.5</b>	<b>0.35</b>	26328	<b>1,6</b>	<b>0.0</b>	<b>29664</b>
<b>Boumahra Ahmed</b>	12355	15273	<b>1.9</b>	<b>-0.25</b>	17834	<b>1,6</b>	<b>0.0</b>	<b>20093</b>
<b>DjebalaKhemissi</b>	3347	3870	<b>1.3</b>	<b>-0.85</b>	4487	<b>1,5</b>	<b>-0.1</b>	<b>5055</b>
<b>Total</b>	<b>183215</b>	<b>229320</b>	<b>1.8</b>	<b>-0.35</b>	<b>257978</b>	<b>1,2</b>	<b>-0.4</b>	<b>290661</b>

<sup>1</sup> TAGMA : Taux d'accroissement global moyen annuel<sup>2</sup> SM : Le taux d'accroissement naturel à l'échelle nationale est estimé entre 1987 et 1998 à 2.15 % par an selon l'ONS

<sup>3</sup> SM : Le taux d'accroissement naturel à l'échelle nationale est estimé entre 1998 et 2008 à 1.6 % par an selon l'ONS

L'accroissement de la population est représenté par un taux global moyen annuel calculé sur la base de la formule suivante :

$$T = \sqrt[n]{\frac{P1}{Po}} - 1$$

Où : TAGMA 1998-2008

T : est le taux global moyen annuel

Po : est la population de départ (dans le cas du tableau ci-dessus la population de 1987 ou pour l'actualisation de la population actuelle la population de 1998)

P1 : est la population d'arrivée (soit la population de 1998 ou dans le cas de l'actualisation de la population actuelle celle de 2008)

n : est le nombre d'années écoulées entre Po et P1 soit 11 années pour le taux d'accroissement concernant la période 1987-1998 et 10 années entre 1998 et 2008.

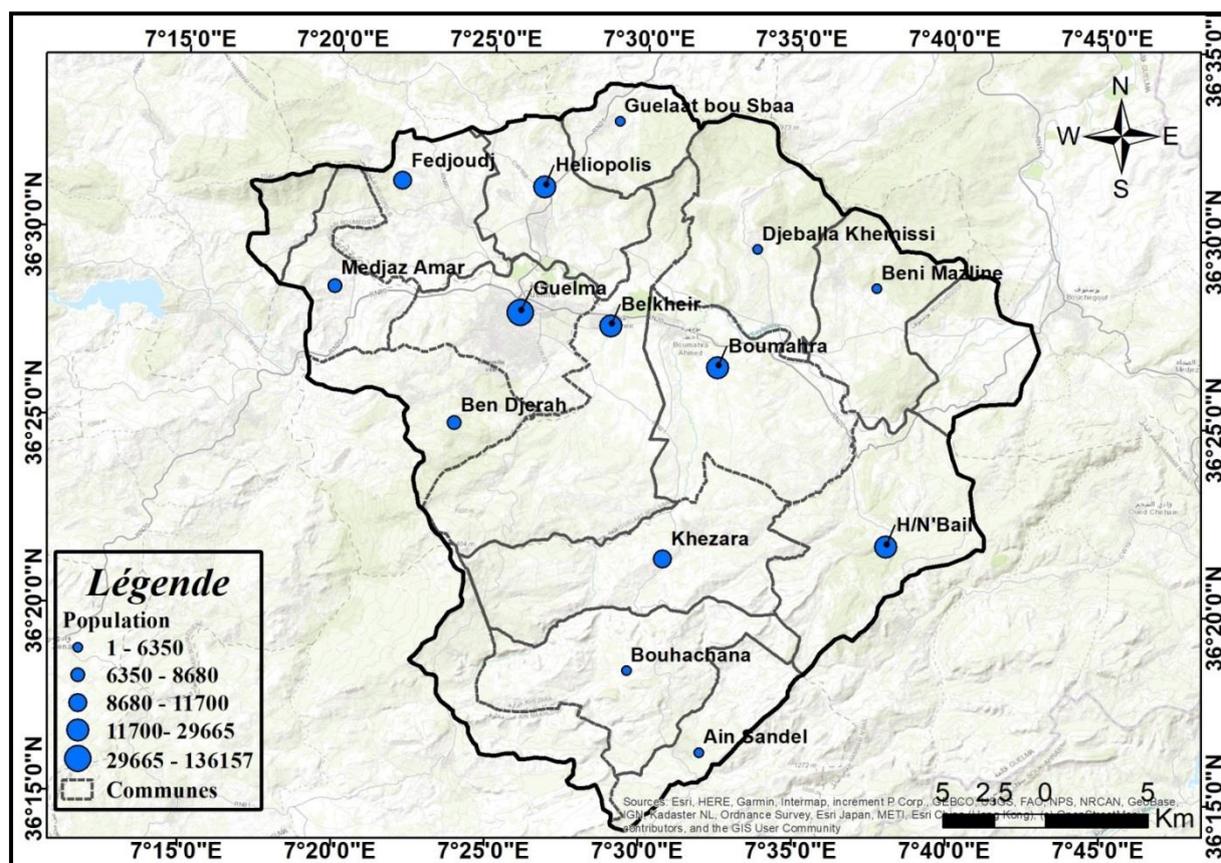


Figure 51: densité de population par commune dans le bassin versant de la moyenne Seybouse

La population totale de la wilaya de Guelma a connu un accroissement notable (36,54%) au cours des deux dernières périodes intercensitaires (1987/98 et 1998/2008). Celui-ci est moins important durant la dernière décennie par rapport à la période précédente. En effet, la population est donc passée de 353309 habitants au recensement de 1987 à 430000 habitants au RGPH1998 pour atteindre 482 430 habitants d'après le RGPH2008. L'augmentation relative est respectivement de 21,7% et 14,84%. La population selon les estimations de 2011 à atteint 506 007 habitants (PAW 2012)

La population du chef-lieu de wilaya a connu un taux d'accroissement, supérieur aux taux nationaux (2.15%) depuis 1987 à 1998 soit 2.4%, du fait de la concentration des services et équipements primordiaux. Puis elle a connu un ralentissement durant la dernière période intercensitaire (1998-2008) et ce, à travers l'ensemble du territoire de la wilaya. Cette baisse importante de 0.9 %, soit de presque le tiers de celle enregistrée entre 1987-1998 est due à l'atténuation des flux massifs d'immigrés vers ce centre de wilaya ainsi qu'à la baisse progressive de la fécondité.(PAW 2012)

Les plus importantes communes de la wilaya ont continué à enregistrer un taux d'accroissement important supérieur à la moyenne de la wilaya sont :

- La commune de Bendjarah: le taux d'accroissement est de 4.6% avec un solde migratoire de 3%, du fait de son attractivité essentiellement depuis sa promotion au rang de chef-lieu de commune lors du découpage administratif de 1984 (issue de la commune de Ain.Hassania) et avec un exode massif de la population rurale(PAW 2012)
- Les communes Khezaras, El Fedjoudj, enregistrent un taux d'accroissement inférieur à 3% et supérieur au taux national (1.6%) respectivement 2.5%, 2.0%, avec un solde migratoire positive. (PAW 2012)

En revanche le reste des communes de la wilaya ont enregistré des taux inférieures à (1.4%, 1.2, %) la moyenne nationale et wilaya le, ce sont des communes répulsives. Les petites communes rurales ont marqué des taux négatifs Ain Sandel (-0.7%).(PAW 2012)

### IV.3.2. Les Besoin En Eaux Pour AEP

Le volume prévisionnel pour l'année 2017 est de l'ordre de 13.70 Hm<sup>3</sup>, sur la base d'une dotation journalière de 150 l/hab/j. On note un déficit en eau d'AEP de l'ordre de 2.21 Hm<sup>3</sup>/an (Tab 51).

Tableau 51: Rapport entre besoin et distribution en eau potable (DRE 2018)

Commune	Population 2017	Besoins AEP(m <sup>3</sup> /an)	Distribution en AEP(m <sup>3</sup> /an)	Déficit	Production en AEP(m <sup>3</sup> /an)
				m <sup>3</sup> /an	
Guelma	136 157	7 454 596	10 270 663	2 816 067	13 950 310
Ben Djerah	7 383	404 219	181 189	-223 030	241 939
Belkheir	19 885	1088703.75	530 967	-557 737	671 170
Khezara	11 697	640410.75	229 393	-411 018	310 096
Bouhachana	6 305	345198.75	128 479	-216 720	206 461
Guelaat bou Sbaa	6 349	347 608	238 489	-109 119	312 655
Fedjoudj	10 278	562 721	230 297	-332 424	307 375
Medjaz Amar	8 679	475 175	303 834	-171 341	388 566
Heliopolis	29 664	1624104	771 651	-852 453	1 107 915
Boumahra	20 093	1100091.75	521 836	-578 256	714 844
Djeballa Khemissi	5 055	276761.25	105 529	-171 232	144 946
Beni Mazline	5 502	301234.5	137 225	-164 010	190 502
Ain Sandel	5 363	293624.25	33 022	-260 602	89 965
H/N'Bail	18 251	999242.25	19 788	-979 454	57 693
<b>Total</b>	<b>290 661</b>	<b>15 913 690</b>	<b>13 702 362</b>	<b>-2 211 328</b>	<b>18 694 437</b>

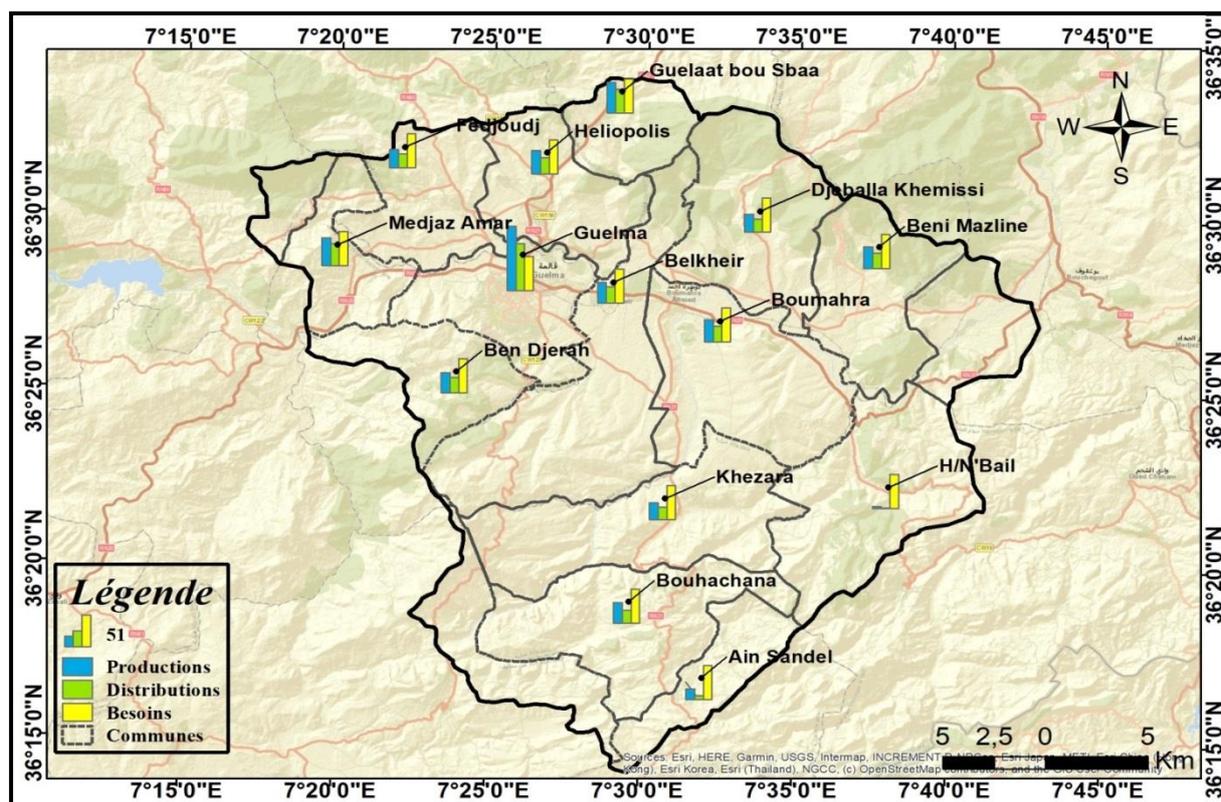


Figure 52: La distribution de l'eau potable dans les communes du BV-MS(Boudjebieur.E)

Dans la moyenne Seybouse ,la population est alimentée en eau potable, d'irrigation et industrielle à partir des eaux souterraines extraites des différentes nappes (d'Héliopolis, d'l'Oued Helia, et la plaine de Guelma ),avec un volume estimé à  $17 \text{ hm}^3/\text{an}$ , ainsi que les eaux traitées du barrage de Bouhamdane avec un volume de plus de  $63 \text{ hm}^3/\text{an}$ , dont  $18 \text{ hm}^3/\text{an}$  pour l'alimentation en eau potable (quatre communes sur dix-sept), et plus de  $45 \text{ hm}^3/\text{an}$  pour le grand périmètre irrigué (Guelma-Boucheouf) (DRE, 2018).

La distribution de l'eau potable dans notre région d'étude rencontre des difficultés qui rendent difficile la gestion de ces ressources. (Fig. 52)

On peut citer :

- les plages horaires de distribution sont insuffisantes par rapport au volume distribué
- les canalisations de refoulement sont très anciennes et génèrent une perte de plus de 30% par rapport au volume produit et distribué
- La dotation est faible par rapport à la norme algérienne

Le périmètre irrigué, couvrant une superficie de 9 250 ha, a également rencontré plusieurs problèmes, principalement dus au réseau de distribution mixte, qui joue le double rôle de refoulement et de distribution. La panne et la vétusté de ce réseau ainsi que les fréquentes

coupures d'électricité aux stations de pompage ont réduit le volume alloué à l'irrigation à plus de 35%. La campagne d'irrigation de la saison 2017 au niveau du périmètre Guelma-Boucheouf s'est déroulée dans des conditions exceptionnelles, compte tenu de la baisse du niveau d'eau du barrage de Hammam Debagh, principale source d'énergie pour le périmètre.

### IV.3.3. Les Usagers Agricoles

Les principaux facteurs déterminant la consommation d'eau agricole sont ; la superficie irriguée, le type de culture, les conditions climatiques et les techniques d'irrigation employées.

Les dotations en eau d'irrigation sont assez variables, pour les zones sub telliennes (Guelma) la dotation est de **5000 m<sup>3</sup>/ha/an**. Le bassin versant de la moyenne Seybouse est à vocation agricole. Le potentiel irrigable est estimé actuellement à 11709 ha, ce qui représente 11.99% de la superficie agricole utile et 6.88% de la surface agricole totale. 8.31 % de cette surface sont gérés par la petite et moyenne hydraulique, alors que le reste par la grande hydraulique. Le potentiel irrigable reste relativement limité au regard de la superficie agricole totale et au rôle que doit jouer ce secteur dans le développement socio-économique du bassin. Le volume total nécessaire pour répondre au besoin de l'irrigation pour l'ensemble des terres irriguées dans le bassin est estimé pour l'année 2017 à 52.69 hm<sup>3</sup> /ans.

### IV.3.4. Bilan D'irrigation 2017

Superficie totale irriguée 11709 ha, dont 3070 ha culture maraichère, 2691 ha arboriculture, 1251 ha céréale, 4481 ha culture industrielle, et 215 ha de fourrage.

GPI ; Superficie totale irriguée 3281 ha.

Le périmètre irrigué de Guelma-Boucheouf occupe une superficie totale de 9940 Ha, dont 9250 Ha irriguée (tableau 52).

Tableau 52 : Les cinq secteurs du périmètre irrigué

Secteur	Superficie (ha)	
	Equipée	Irriguée
Guelma-Centre	3.500	3.255
Boumahra	2.600	2.420
Cherf	605	565
Boucheouf	880	820
El-Fedjoug	2.355	2.190
<b>TOTAL</b>	<b>9.940</b>	<b>9.250</b>

Suivi du déroulement de la campagne d'irrigation au niveau du grand périmètre de Guelma-Boucheouf :

#### ↳ L'évaluation de la campagne saison 2017 fait ressortir

Le volume total d'eau alloué est de 25 hm<sup>3</sup> dont 22 hm<sup>3</sup> à partir du barrage d'Oued Cherf (wilaya de Souk Ahras), 02 hm<sup>3</sup> à partir du barrage de Hammam Debagh et 01 hm<sup>3</sup> à partir du barrage de Medjez B'ggar. Une superficie totale de 3281 ha a été irriguée avec une prédominance des cultures industrielles (76,85%), maraichères (2,46%), céréales (12,19%), et arboriculture (8,50 %).

#### ↳ Les contraintes

Déficit pluviométrique enregistré au niveau de la wilaya, 11% du taux de remplissage au niveau du barrage de Hammam Debagh source principale d'approvisionnement en eau du périmètre.

- Mauvaise répartition des précipitations dans l'espace et dans le temps.

### IV.3.5. L'industrie

Dans notre zone d'étude, les besoins en eau industrielle sont extrêmement variables et dépendent évidemment du type d'industrie, ils sont moins importants par rapport à l'autre usager

Sa consommation annuelle est de 0.47 hm<sup>3</sup>/an, les principales unités industrielles opérant dans la zone d'étude sont :

Tableau 53: Besoins en eau industrielle dans le bassin versant de la moyenne Seybouse

NOM	Activité	Communes	Volume m <sup>3</sup> /mois
SARL BRIQUETERIE ET PRODUITS ROUGES ERRIADH	BRIQUETERIE	Bendjerah	320.00
SNC LA GUELMOISE DES CARREAUX	Fabrication de carreaux	Boumahra Ahmed	356.00
EURL SOMASK / UNITE MARBRERIE GUELMA / MARMIG	TRANSFORMATION DU MARBRE	Boumahra Ahmed	183.00
CONSERVERIE AMOR BEN AMOR – CAB	Conserverie	El Fedjoudj	4 152.00

SARL BORDJIBA	Fabrication Matières De Construction En Béton	El Fedjoudj	35.33
SARL BORDJIBA	Fabrication Matières De Construction En Béton	El Fedjoudj	185.00
SARL / LES MOULINS AMOR BEN AMOR	AGRO ALIMENTAIRE - PRODUCTION DE SEMOULE	El Fedjoudj	110.00
EURL / LAITERIE BENI FOGHEL	LAIT ET SES DERIVEES	El Fedjoudj	1 139.67
SNC BOUSSELBA	PRODUCTION DES AGREGATS	El Fedjoudj	32.00
SARL / LES MOULINS AMOR BEN AMOR	AGRO ALIMENTAIRE - PRODUCTION DE SEMOULE	El Fedjoudj	110.00
SARL / LES MOULINS AMOR BEN AMOR	AGRO ALIMENTAIRE - PRODUCTION DE SEMOULE	El Fedjoudj	110.00
ABATTOIR BOUSSELBA YAZID	ABATTOIR	Guelat Bou Sbaa	240.00
SPA / EPE COMPLEXE CYCLES ET MOTOCYCLES	FABRICATION DE CYCLES ET MOTOCYCLES	Guelma	15 138.67
SORASUCRE - SOCIETE DE RAFFINAGE DE SUCRE	RAFFINAGE DU SUCRE	Guelma	3 494.33
SORASUCRE - SOCIETE DE RAFFINAGE DE SUCRE	RAFFINAGE DU SUCRE	Guelma	3 179.00
SNC BOUKABOU FRERES	LIMONADERIE	Guelma	473.00
COMPLEXE THERMAL BOUCHAHRINE	Complexe de tourisme	Heliopolis	5 000.00
COMPLEXE THERMAL EL BARAKA	Complexe de tourisme	Heliopolis	5 000.00
<b>Tot</b>			<b>39 258.00</b>

#### IV.4. CONCLUSION

Les eaux exploitées dans le bassin versant de la moyenne Seybouse sont estimées chaque année à près de 91.81 millions de m<sup>3</sup> qui sont, 68,62 % des prélèvements sont réalisés dans les eaux superficielles et 31,38 % dans les eaux souterraines

Les prélèvements au niveau du barrage de hammam Debagh sont à 63hm<sup>3</sup>/an soit 18 hm<sup>3</sup>/an pour l'AEP et 45hm<sup>3</sup>/an pour l'irrigation, étant donné que la wilaya de Guelma à vocation agricole en remarque que l'eau superficielle est surtout utilisée pour irrigation de 71.4 % des prélèvements totaux des prélèvements du barrage, et l'alimentation en eau potable de 28,6%.

L'eau souterraine est surtout utilisée pour l'alimentation en eau potable de 74,83% des prélèvements totaux du bassin, 19,37% des prélèvements pour l'irrigation et 5,80% des prélèvements pour l'industrie.

En termes de ressources, l'eau superficielle est surtout utilisée pour l'alimentation en eau potable de 43,09 % des prélèvements totaux du bassin, et l'irrigation de 55,09 %, tandis que L'industrie n'utilise que 1,82%.

**CHAPITRE V**  
**GESTION DES RESSOURCES**  
**EN EAU**

## V.1 INTRODUCTION

Une planification réussie nécessite des modèles efficaces de gestion des ressources en eau (GIRE) qui peuvent résoudre des problèmes complexes. Exécution de WEAP nécessite l'injection d'une grande base de données pour chaque élément dans le réseau. La structure des données et le niveau de détail peuvent être facilement personnalisés pour répondre aux exigences d'une analyse particulière et pour tenir compte des limites imposées lorsque les données sont limitées (Yates et al., 2005). La configuration du modèle a été faite par pas de temps mensuels dont la simulation hydrologique est compatible avec les données existantes dans un cadre mensuel.

Le WEAP a été déjà utilisé en Algérie, des exemples d'applications incluent des études sur l'évaluation des impacts du changement climatique prévus sur la disponibilité de l'eau et la production agricole (Hamlat et al., 2012) et l'évaluation de l'effet des différents scénarios d'offre et de demande ainsi que l'évaluation des options actuelles et futures en matière de ressources en eau (Ouled zaoui et al., 2010).

Une des principales raisons de modéliser les ressources en eau est de cerner les processus en jeu pour une gestion durable et d'avoir une répartition spatiale sur l'état des différentes variables explicatives en rapport avec la ressource sur une étendue importante (Droogers, 2002).

La modélisation permet d'analyser des scénarios de gestion et de mesurer des tendances éventuelles (croissance démographique, changement climatique, etc.) (Droogers, 2005).

L'interprétation des scénarios fournis aux décideurs une base de données sur l'évaluation et la planification des ressources en eau.

## V.2. Acquisition Du Logiciel

Le logiciel WEAP est téléchargeable sur site : <http://www.weap21.org>. Une licence du logiciel d'une durée d'une année est attribuée au demandeur par L'SEI (Stockholm Environment Institute).

Certaines conditions doivent être remplies pour acquérir le logiciel :

- La licence gratuite est appliquée uniquement pour les employés ou étudiants d'organisations gouvernementales, académiques ou non lucratives, basées dans les pays en voie de développement ;
- les organisations gouvernementales à profit ne sont pas qualifiées pour cette licence. Chaque licence est pour une période de 1 à 2 ans, et pour un seul utilisateur ou plusieurs utilisateurs au même site ;
- Aucune copie du logiciel ou des informations requises pour déverrouiller le logiciel ne doivent être distribués à tout autre individu ou organisation ;
- Tous les utilisateurs de WEAP doivent accepter la déclaration de garantie.

WEAP: Water Evaluation And Planning System



Miss ESSIA BOUDJEBIEUR  
Deconnexion

SEI

English Deutsch Español Ελληνικά Français Indonesian Italiano Lietuvių Malagasy Myanmar  
Nederlands Português русский Română Shqip Svenska Tiếng Việt Türkçe 汉语 አማርኛ العربية বাংলা  
فارسی हिन्दी नेपाली ខ្មែរ

### Soumission pour une licence gratuite de WEAP

**Vous disposez déjà une licence WEAP valide.**

Pour activer totalement votre copie de WEAP, entrer les informations suivantes dans l'écran d'enregistrement de WEAP.

- **Nom de l'utilisateur :** ESSIA BOUDJEBIEUR, universite badji mokhtar annaba, Algeria
- **Code d'enregistrement :** 977-817-180-905-50

Votre licence expirera le 1/29/2019  
Après cette date, l'enregistrement des données dans WEAP sera désactivé.

**Merci !** Votre demande a été soumise. Vous recevrez un e-mail une fois que la demande a été traitée.

Prière d'imprimer cette page pour votre documentation personnelle.

---

**Nom:** Miss ESSIA BOUDJEBIEUR  
**Organisation:** universite badji mokhtar annaba  
**User Type:** student  
**email:** essia.boudjebieur@univ-annaba.org  
**Adresse:** cite 800logement bloc 19 N°371, Guelma, algerie, Algeria  
**Téléphone :** 213671390008

**Description du projet pour lequel vous allez utiliser WEAP.:**  
Face à la complexité d'application de la notion de GIRE, des initiatives ont été entreprises pour le développement d'outils logiciels pour aides les gestionnaires et les décideurs à collecter les informations, modéliser les processus et à prendre les meilleures décisions (WEAP.....).la présente étude a pour objectif le développement d'un outil d'aide à la décision pour la gestion des ressources en eau dans la région de GUELMA ( moyenne Seybouse).

---

**Termes et Conditions**

Cette licence est appliquée uniquement pour les employés ou étudiants d'organisations gouvernementales, académiques ou non lucratives, basées dans les pays en voie de développement. \* Les organisation gouvernementales à profit ne sont pas qualifiées pour cette licence. Chaque licence est pour une période de 1-2 années, et pour un seul utilisateur ou plusieurs utilisateurs au même site. Pour les utilisateurs ayant une licence gratuite, le support technique est disponible via le forum de discussion dans le site web de WEAP.

Aucune copie du logiciel ou des informations requises pour déverrouiller le logiciel ne doivent être distribués à tout autre individu ou organisation

WEAP est la propriété 1990-2018 de "Stockholm Environment Institute.

---

**Avertissement**

Tous les utilisateurs de WEAP doivent accepter cette déclaration de garantie. WEAP est fourni comme tel. The authors disclaim all warranties, expressed or implied, including, without limitation, the warranties of merchantability and of fitness for any purpose. The authors assume no liability for damages, direct or consequential, which may result from the use of WEAP. Pas de communication orale ou écrite de, ou information fournie par SEI pourrait être une garantie. Under no circumstances shall SEI be liable for direct, indirect, special, incidental, or consequential damages resulting from the use, misuse, or inability to use this software.

\* Nous définissant pays en voie de développement ceux qui ne sont pas dans la liste de la banque mondiale de SEI-US est un 501 (c) (3) l'organisation sans but lucratif enregistré. Tout l'argent que nous recueillons des droits de licence de WEAP (des utilisateurs dans :: pays à revenu élevé) va au soutien des pays en développement les utilisateurs ou développer le logiciel et la documentation.

Figure 53: Demande de la licence du logiciel WEAP

### **V.3. Historique**

WEAP a été créé en 1988 comme un outil de gestion et de planification des ressources en eau dans le but d'évaluer la durabilité des schémas actuels d'approvisionnement et d'envisager d'autres scénarios à long terme. La première application importante de WEAP était dans la région de la mer d'Aral en 1989 avec le parrainage de Stockholm Environment Institute. SEI a continué à soutenir le développement de WEAP par son centre de Boston (SEI-Boston), qui a été créé en 1989. Au fil des années, WEAP a été appliquée dans de nombreux pays et des bassins fluviaux.

### **V.4. Structure Du Modèle**

WEAP présente cinq principales modes d'affichage : cartographie, données, résultats, schémas synoptiques et notes.

#### **V.4.1 Cartographie**

Cet affichage contient des outils basés sur les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) pour une configuration facile du système. Les objets (tels que les nœuds de demande, les retenues) peuvent être créés et placés dans le système par les opérations : sélectionner, glisser et coller des articles à partir d'un menu. Des fichiers image (raster) ou vecteurs obtenus par ArcView ou d'autres outils SIG standard peuvent être ajoutés au schéma comme arrière-plan. On peut accéder rapidement aux données et aux résultats de n'importe quel nœud en cliquant sur l'objet concerné.

#### **V.4.2 Données**

L'affichage des données nous permet de créer des variables et des relations, et de saisir des hypothèses ou des projections au moyen d'expressions mathématiques et des relations dynamiques avec Excel. C'est à partir de cette fenêtre que nous pouvons entrer toutes les données que nous voulons simuler.

#### **V.4.3 Résultats**

La visualisation des résultats permet de présenter de façon détaillée et souple les résultats du modèle sous forme de graphiques, de tableaux ou de diagrammes. On peut sélectionner les

types de résultats qu'on veut voir comme : la demande ou besoins en eau, les exigences de débit, etc... Tout en choisissant l'année, les scénarios, et les branches qu'on veut présenter.

#### V.4.4. Schéma Synoptique

Dans cet affichage, il est possible de mettre en relief les principaux indicateurs du système pour une visualisation rapide. Nous aurons un aperçu de tous les résultats que nous voulons obtenir simultanément.

#### V.4.5. Notes

L'affichage « Note » permet de consigner les données et les hypothèses. Nous pouvons noter les informations utiles concernant les différentes branches que nous avons présentées.

La fenêtre présentant les 5 affichages est donnée par la figure ci-dessous (fig. 54).

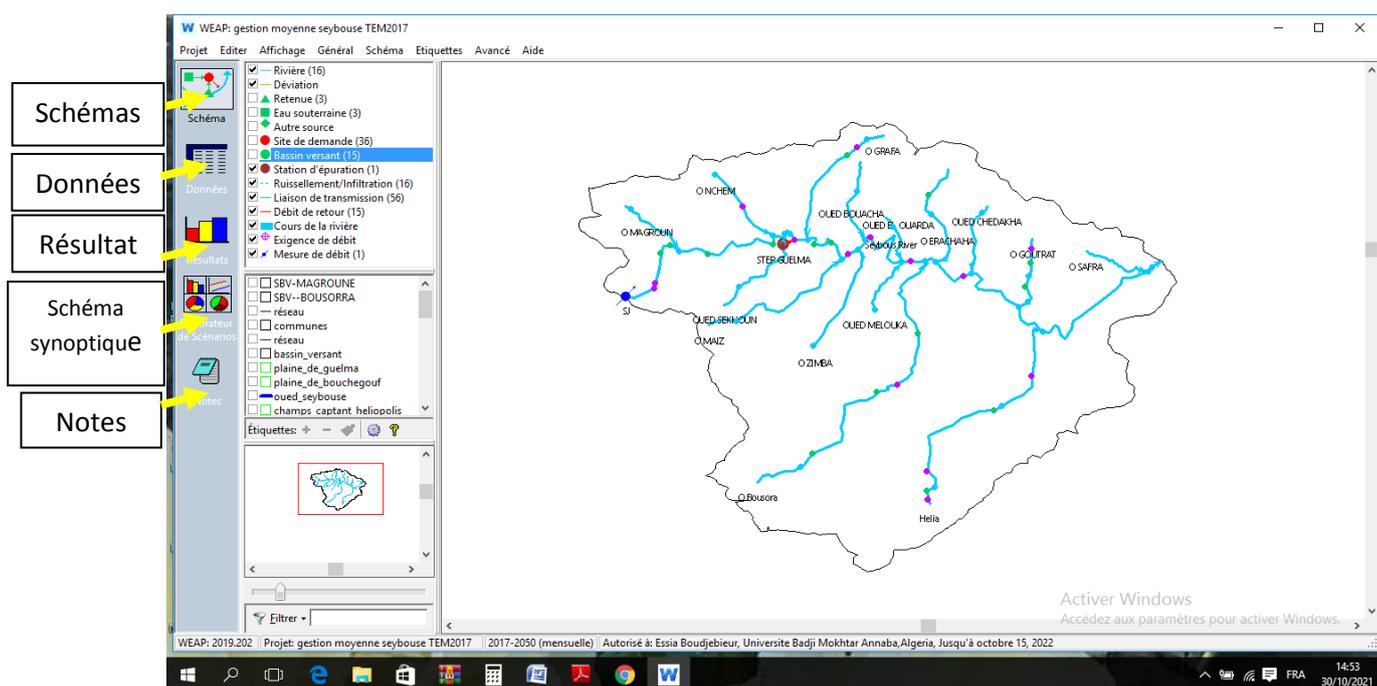


Figure 54: Fenêtre montrant les cinq affichages possibles du modèle

### V.5. Principe De Fonctionnement

Pour rendre le modèle WEAP plus facile à comprendre, il est fourni avec un tutorial qui guide l'utilisateur dans la large gamme d'application qui peut être couverte par WEAP. Les applications de WEAP comprennent généralement plusieurs étapes. Etant donné que la

fonction modélisation est celle qui nous intéresse, nous allons montrer ici les étapes à suivre à cet effet.

### **V.5.1. Création D'un Nouveau Projet D'étude**

La création d'un nouveau projet constitue la première étape de la modélisation par WEAP21. Puis, on choisit la limite de la région à représenter pendant le projet. Une carte SIG image ou vecteur peut être ajoutée à la zone du projet. Cette carte peut servir à l'orientation et à la construction du système et au raffinement des limites du projet. Elle va aussi servir comme fond des dessins des éléments nécessaires pour pouvoir effectuer la simulation.

### **V.5.2. Définition Des Paramètres Généraux**

Il est nécessaire de déterminer les paramètres généraux de la modélisation dont les années (début et fin de la modélisation), les pas de temps, les unités et la période pour laquelle les scénarios vont être générés. L'année de début correspond à l'état actuel du projet. On la choisit comme année de référence pour le modèle et de tous les systèmes d'information.

### **V.5.3. Création Des Hypothèses Clés**

Les principales hypothèses sont les données prêtes à l'emploi définies par l'utilisateur qui constituent les principales conditions d'analyse comme l'utilisation d'eau domestique, les besoins en eau pour les sites de demande, le pourcentage mensuel d'utilisation d'eau, le taux de croissance de la population, etc. Son utilisation est spécialement valable lorsque le modèle a un grand nombre d'éléments semblables. Elles sont créées dans l'affichage « Données ».

Son avantage est qu'on peut créer des scénarios pour faire varier cette consommation sans avoir besoin d'éditer chacun des sites de demande mais simplement par le changement de la valeur de l'hypothèse clé. Par exemple, il est facile affecter à tous les sites de demande la même consommation domestique unitaire.

### **V.5.4. Introduction Des Éléments Dans La Cartographie**

C'est à ce stade que nous dessinons les éléments articulateurs de la modélisation tels que : la rivière, les sites de demande, connexion du site avec une alimentation (rivière ou eau

souterraine), liaison de débit de retour etc... Pour ce faire, il faut aller dans l'affichage schématique et cliquer sur l'élément que l'on veut ajouter, tout en glissant dans le schéma.

### V.5.5. Entrée Ou Saisie Des Données De Chaque Élément

Pour entrer les données concernant les éléments, on peut soit :

- Cliquer sur le bouton droit de la souris sur l'élément et choisir l'option « Editer les données » ou toute autre action dans le menu contextuel ;
- Passer à l'affichage « Données » en cliquant sur le symbole « Données » et sélectionner l'élément dans l'arborescence des données et entrer les données.

### V.5.6. Exécution Du Modèle Et Affichage Des Résultats

Pour visualiser les résultats, lancer le modèle et pour démarrer les calculs, aller à la fenêtre « Résultats ». Ceci permettra de calculer le modèle pour le scénario généré en utilisant les données à l'état courant pour la période spécifiée du projet. On peut consulter plusieurs résultats tels que la demande en eau, l'eau distribuée, le recouvrement, la demande non satisfaite, et , Tout en choisissant, l'année, la référence ou le scénario que l'on veut montrer. On peut également configurer l'affichage des graphiques WEAP ainsi que des impressions en mémoire à l'aide de la boîte à outils à droite du graphique.

La fenêtre d'affichage des résultats est présentée dans la figure ci-dessous (fig. 55).

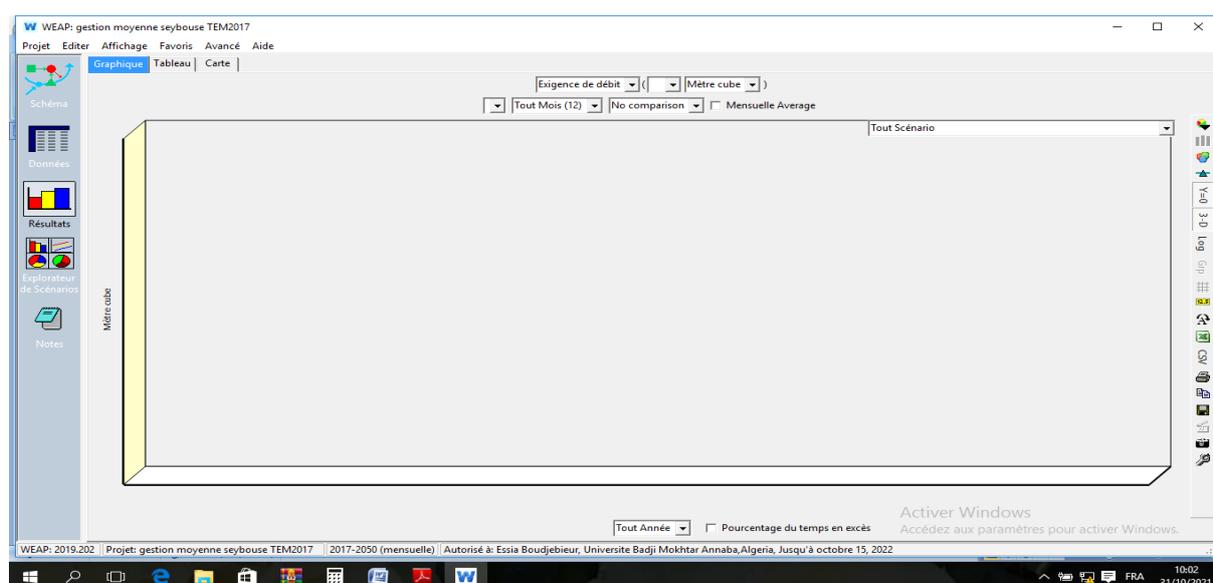


Figure 55: Fenêtre d'affichage des résultats du modèle

## **V.6. Application Du Modèle « Weap21 » Au bassin versant de la moyenne Seybouse**

Avant d'entamer la modélisation proprement dite, il est nécessaire de paramétrer le modèle selon l'objectif que l'on veut atteindre.

### **V.6.1. Phases Schématiques**

Sur la page d'accueil du WEAP, une interface schématique nous a permis placer le suivant :

#### **V.6.1.1. Sites De Ressources D'eau**

D'abord il faut Tracer le réseau hydrographique de l'Oued Seybouse et de placer également :

- Le site des eaux superficielles par le Barrage BOUHAMDANE et les retenues collinaires.
- Le site des eaux souterraines, dans notre étude on a 3 nappes (la nappe de Guelma, de Héliopolis et de Helia).
- La STEP la station de traitement des eaux usée.

#### **V.6.1.2. Sites De Demande**

On a créé trois (3) sites de demande. Ce sont :

- Toutes les agglomérations existantes dans le bassin
- Site agricole pour chaque commune existante dans le bassin
- Site industrielle qui se situe dans le bassin

#### **V.6.1.3. Liens De Transmission**

Les liaisons de transport fournissent de l'eau de surface (nœuds de réservoir et nœuds de prélèvement), des eaux souterraines et d'autres approvisionnements pour satisfaire la demande finale sur les sites de demande.

#### **V.6.1.4. Liens De Retour**

Le débit de retour est créé pour modéliser l'eau usée venant des sites de demande. Ces eaux usées sont directement acheminées vers l'Oued. Cependant, il faut noter que ce n'est pas la

totalité de l'eau entrant dans les sites qui sont retournée vers l'Oued, une part est consommée, et une autre s'infiltré dans le sol ou s'évapore.

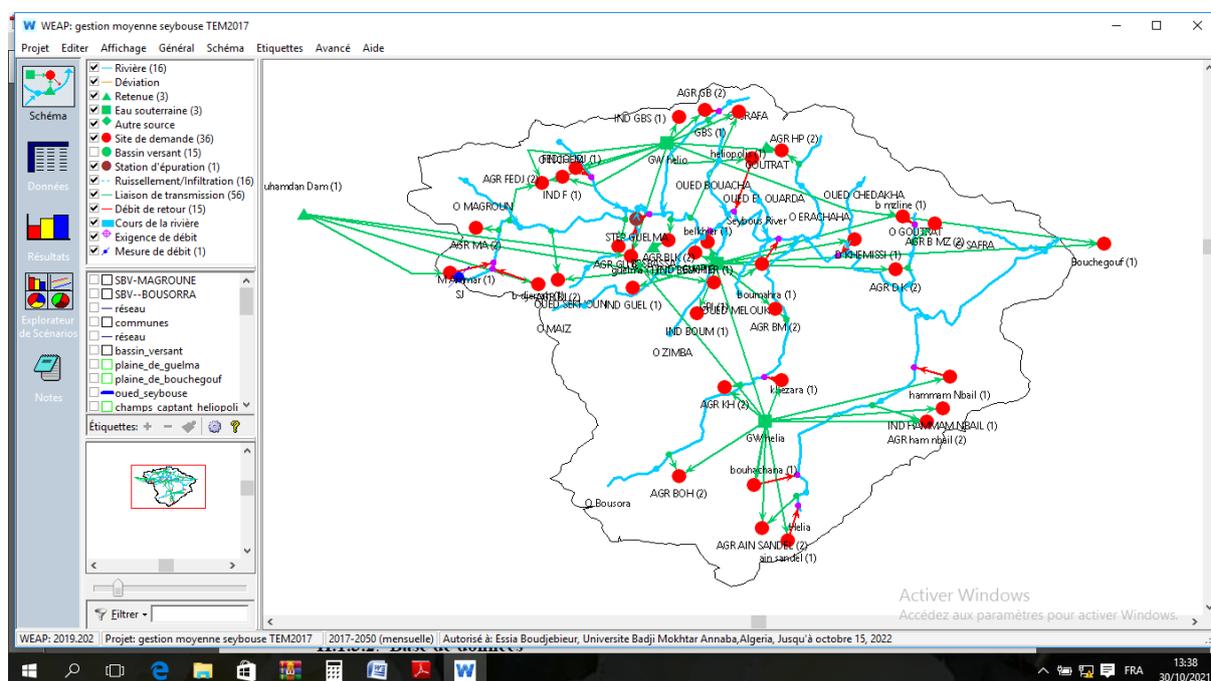


Figure 56: Schématisation des sites de demandes et des ressources en eau sur WEAP

### V.6.1.5 Compte Actuel «Current account»

L'année de l'état actuel (année de référence) est choisie pour servir comme année de base du modèle et tout le système d'information. Les données de la demande et de la distribution de l'eau sont introduites dans l'état actuel. L'année 2017 va servir comme compte d'état actuel <current account>, à partir duquel les scénarios sont construits. Les scénarios envisagent les changements possibles du système au cours des prochaines années suivant l'année de l'état actuel.

### V.6.1.6. Niveau D'activité Annuelle

Il détermine la demande tel que le nombre d'utilisateurs de l'eau pour l'AEP, l'irrigation et pour l'industrie (niveau de consommation d'eau par unité d'activité). La demande annuelle représente la quantité d'eau exigée par chaque demande. La consommation d'eau est calculée en multipliant le niveau de l'activité annuelle par un taux d'usage. Les niveaux de l'activité sont utilisés dans l'analyse de la demande en eau de WEAP comme une mesure d'activité sociale et économique (Bourouga, M. (2018).

Le nombre d'habitant actuel représente les sites de demande domestique. (Fig. 60). Sur la base d'une dotation moyenne de (54.75 m<sup>3</sup>/an/hab.) on a estimé la demande mensuelle en eau domestique.

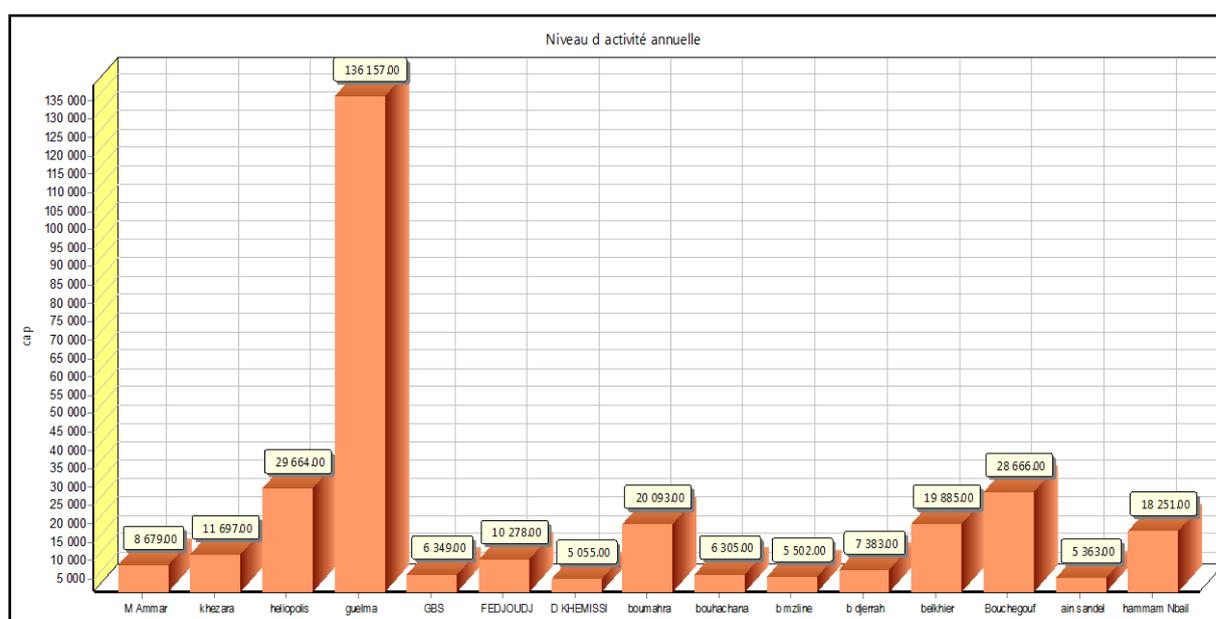


Figure 57: Population de chaque site de demande (niveau d'activité annuelle par personne).  
Compte d'état actuel, 2017

### V.6.1.7 Demande En Eau Pour L'irrigation

Les superficies des terres agricoles irriguées ainsi que la superficie du périmètre irrigué existant dans notre zone d'étude exprimé en hectares ont été introduite comme niveau d'activité annuel.

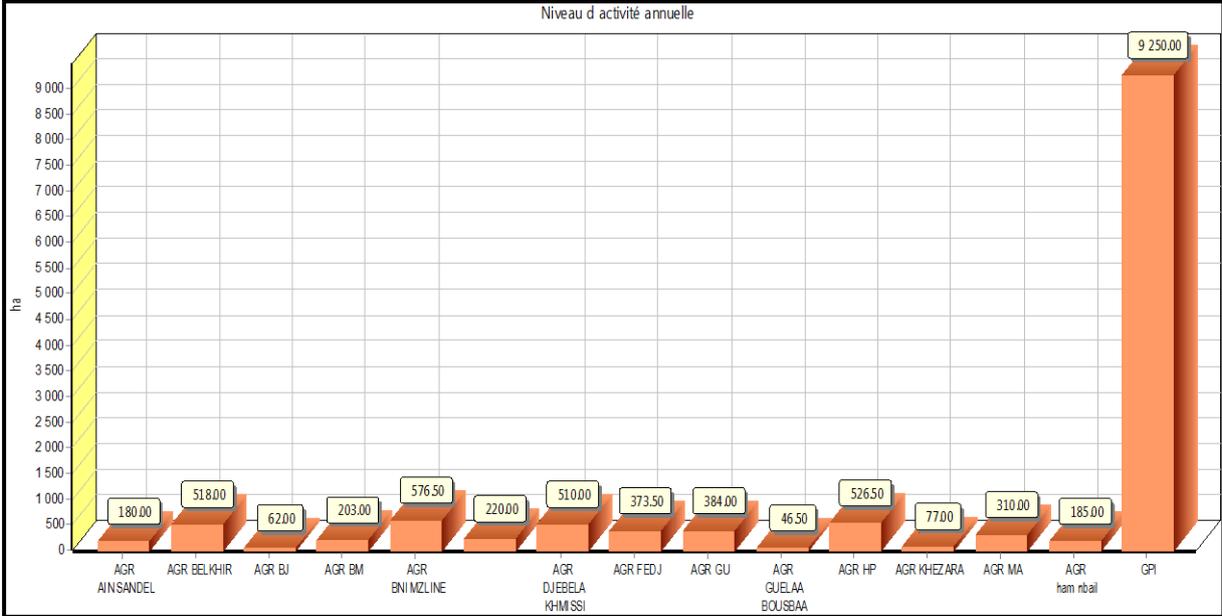


Figure 58: Surface agricole de chaque site de demande (niveau d'activité annuelle par Ha).  
Compte d'état actuel, 2017

Afin de permettre au logiciel la simulation des demandes en eau agricole, il a été adapté la dotation de l'Algérie, avec une dose de 5000 m<sup>3</sup> par hectare (Zella, 2006).

### V.6.1.8 Demandes En Eau Pour L'industrie

Les unités industrielles existantes dans notre bassin sont alimentées à partir des eaux souterraines totalisent un volume de consommation annuel de 1.43 hm<sup>3</sup>. C'est à partir de ces unités que la demande en eau industrielle est renseignée.

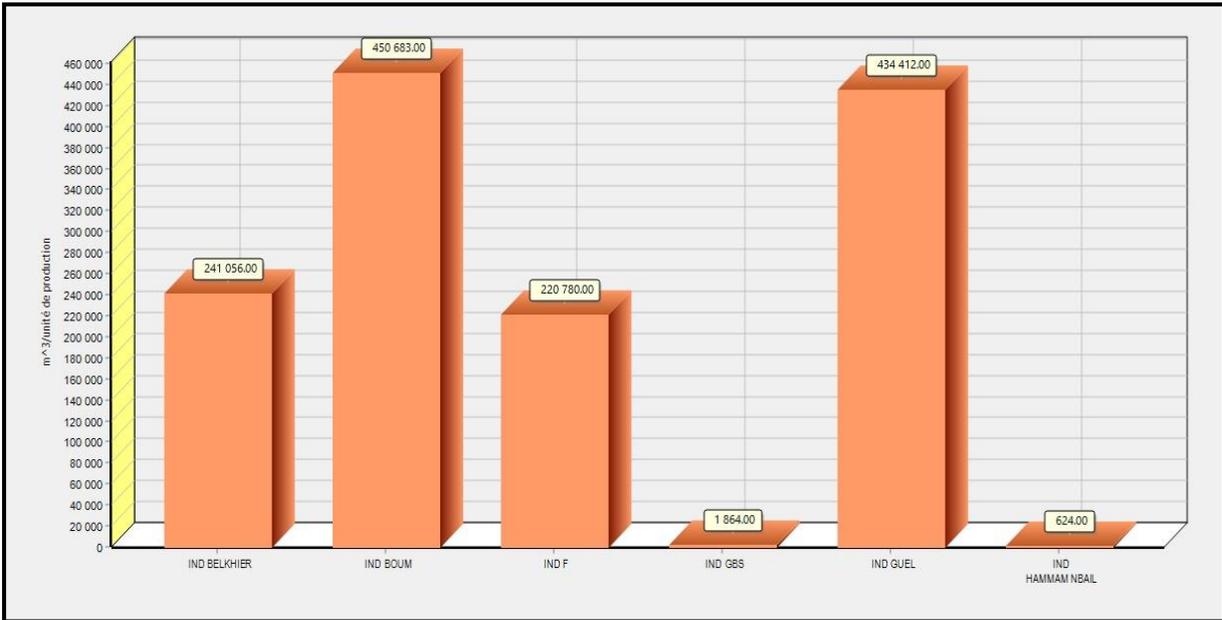


Figure 59: Répartition de la demande en eau industrielle par unité de production

### V.6.1.9. Distribution Des Ressources

La section des approvisionnements et des ressources détermine les quantités, la disponibilité et l'affectation des approvisionnements, simule les flux mensuels des cours d'eau, y compris les interactions entre eaux de surface et souterraines, la production hydroélectrique et le stockage des réservoirs et des eaux souterraines (Daifallah, T. (2017)).

### V.6.2. Simulation Des Ressources En Eau

Il existe quatre méthodes de simulation des ressources en eau, au choix, pour simuler des processus de captage comme l'évapotranspiration, le ruissellement, l'infiltration et les demandes d'irrigation. Ces méthodes comprennent : (1) le ruissellement des précipitations (the Rainfall Runoff), (2) les versions des demandes d'irrigation seulement de l'approche du coefficient simplifié (Simplified Coefficient Approach), (3) la méthode de l'humidité du sol (Soil Moisture Method) et (4) la méthode MABIA (MABIA Method) (Daifallah, T. (2017)). Dans notre étude, nous avons choisi la méthode de l'humidité du sol en raison de disponibilité de données. Les différentes équations utilisées dans le modèle d'humidité du sol, sont représenté dans Le diagramme suivant (fig. 63).

Le modèle humidité du sol à deux compartiments (réservoirs) superficiel et profond, est basé sur des fonctions empiriques qui décrivent l'évapotranspiration, le ruissellement superficiel, l'écoulement dans sous-sol (c'est-à-dire le débordement) et la percolation profonde d'une unité de bassin versant, cette méthode permet de caractériser les impacts de l'utilisation du sol et / ou du type de sol sur ces processus, Avec comme entrée les apports pluviaux et les apports arrivés de l'irrigation, et comme apports sortants l'évaporation, l'écoulement de surface (Surface Runoff), l'écoulement hypodermique (interflows) et l'écoulement souterrain (Base flow), les différent types d'écoulement dépendent du facteur de résistance du sol et du sous-sol .(Daifallah, T. (2017)).

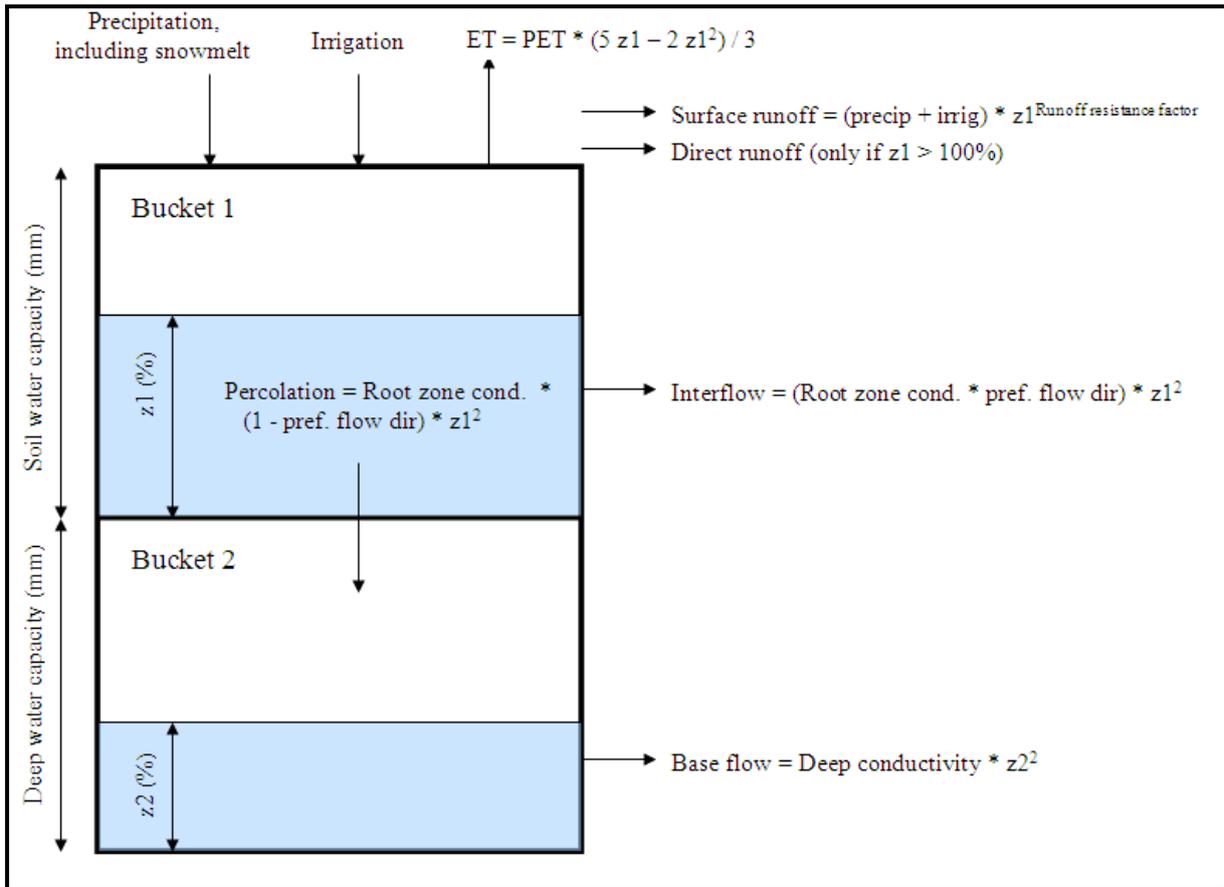


Figure 60: Diagramme conceptuel et équations incorporées dans le modèle d'humidité du sol

### V.6.3. Données Nécessaires Pour La Méthode De L'humidité Du Sol

#### V.6.3.1. Occupation Du Sol

Des données concernant la superficie drainée par chaque cours d'eau ainsi que les caractéristiques du sol et de sous-sol sont indispensables pour que le logiciel puisse simuler le débit de ruissellement et d'infiltration vers les nappes souterraines. A part les superficies des bassins versants, tous les autres paramètres restent par défaut (Daifallah, T. (2017)). les données utilisées dans notre étude sont représenté dans le tableau (54).

Tableau 54: Caractéristiques des sous-bassins introduits pour le modèle

Sous bassin versant	El Goutrat	Bouacha	ouarda	Melouka	Sekhoun	Chedakha	Safra	Nchem	Rechaha	Bousora	Grafa	Mallah	Zimba	Maiz	Magroun
Surface (km <sup>2</sup> )	33.1	25.6	14.3	22.2	10.2	16.4 7	19.2 8	60.2 6	27.5 6	124.5 5	28.8 2	278.0 0	60.9 1	28.1 4	69.2 5

Kc	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Conductivité de surface	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Conductivité profonde	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Capacité de la couche supérieur	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Capacité de la couche profonde	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Z1 initiale	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Z2 initiale	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Direction prévélogé d'écoulement	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Indice foliaire	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

### V.6.3.2 Climat

Les données climatiques utilisées dans notre étude, à savoir les précipitations mensuelles, la température et les vents ont été remplis à partir de la station météorologique de Belkhier. Le logiciel simule l'évapotranspiration, l'écoulement de surface et l'infiltration par la méthode d'humidité, les algorithmes utilisés sont les suivants : Une unité de bassin versant peut-être divisée en N zones fractionnaires représentant différentes utilisations de la terre / types de sols et un bilan hydrique est calculé pour chaque zone fractionnaire,  $j$  de N (Daifallah, T. (2017)). Pour chaque sous bassin, le climat est supposé uniforme sur et le bilan hydrique est donné comme suit :

$$Rd_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{c,j}(t) \left( \frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - P_e(t)z_{1,j}^{RRFj} - f_j k_{z,j} z_{1,j}^2 - (1 - f_j) k_{z,j} z_{1,j}^2$$

$Rd_j$ : Stockage efficace de la zone racinaire en (mm)

$P_e$ : précipitation efficace en (mm)

$PET$ : évapotranspiration potentielle (mm)

Où  $z_1, j = [1,0]$  est le stockage relatif donné en tant que fraction du stockage effectif total de la zone racinaire, (mm) pour la fraction de couvert végétal,  $j$ .

La précipitation effective,  $Pe$ , comprend la fonte des neiges provenant du cumul accumulé dans le sous bassin versant,

$$RT(t) = \sum_{j=1}^N A_j (P_6(t)z_{l,j}^{RRFj} + f_j k_{z,j} z_{l,j}^2)$$

Le paramètre  $k_{z,j}$  est une estimation de la conductivité saturée de la zone racinaire (mm / temps) et  $f_j$  est un coefficient de partage lié au sol, au type de couvert végétal et à la topographie qui divise partiellement l'eau à la fois horizontalement et verticalement.

Ainsi, la surface totale et  $RT$  le ruissellement inter-flux de chaque sous bassin versant à l'instant.

### V.6.3.3 Ressources En Eau De Surface Débit Des Cours D'eau

Sur la base des données climatiques, le logiciel calcule les débits des cours d'eau sont. En fonction de la méthode de l'humidité du sol le WEAP on peut simuler, le débit de base (afflux d'eau souterraine), les quantités de ruissellement et d'humidité du sol.

**Station hydrométrique :** Afin de calibrer le logiciel on a introduit les valeurs de débit moyen mensuel enregistré dans la station de Medjez Ammar entre 1971 et 2000 (ANRH) qui sont comparées avec celles calculées par le logiciel .

**Barrage Bouhamdane :** La capacité initiale de stockage du barrage Bouhamdane est (200 millions de  $m^3$ ). Le stockage des réservoirs est divisé en quatre zones ou bassins. Il s'agit, de haut en bas, de la zone de contrôle des inondations, de la zone de conservation, de la zone tampon et de la zone inactive. Les bassins de conservation et de tampons, ensemble, constituent le stockage actif du réservoir. WEAP veillera à ce que la zone de contrôle des inondations soit toujours vide, c'est-à-dire que le volume d'eau dans le réservoir ne peut dépasser le sommet du bassin de conservation (Daifallah, T. (2017)).

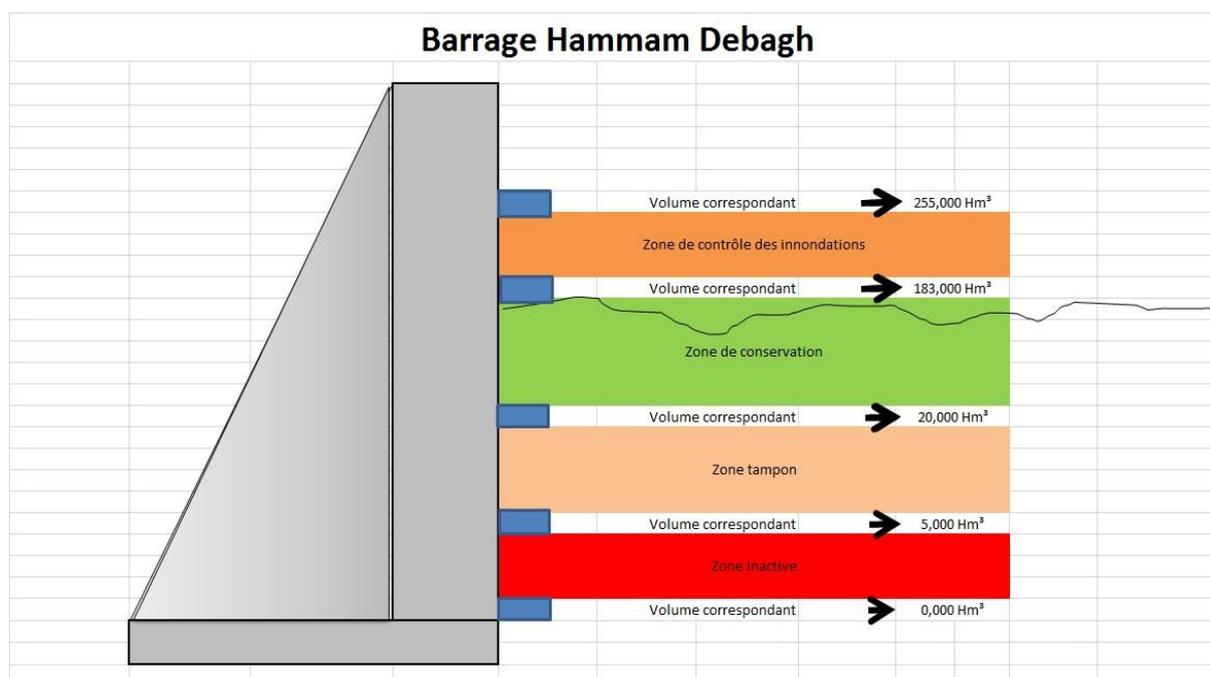


Figure 61: Schéma conceptuel du barrage Bouhamdane (BOUDJEBIEUR, 2022)

#### V.6.3.4 Ressources En Eau Souterraine

La capacité de stockage représente la capacité maximum théoriquement accessible de l'aquifère, tandis que le stockage initial est la quantité d'eau initialement stockée au début du premier mois de l'année des comptes courants. Entre autres facteurs, ces données dépendront des profondeurs de la pompe. Laissez la capacité de stockage vide pour modéliser une capacité illimitée. WEAP maintient un bilan massique des entrées et sorties mensuelles afin de suivre le volume mensuel de stockage des eaux souterraines (Daifallah, T. (2017)). WEAP n'autorise pas le volume de stockage à dépasser la capacité de stockage (tout excès débordera et sera perdu du système). WEAP ne permet pas que le volume de stockage tombe en dessous de zéro (le pompage sera restreint ou arrêté), à moins que l'on ne lie WEAP à MODFLOW, auquel cas le volume de stockage peut être négatif (Daifallah, T. (2017)). Dans le bassin versant de la moyenne Seybouse, trois principales nappes ont été identifiées, dont les données sont représentées dans le tableau.

Tableau 55: Caractéristiques des nappes d'eau souterraines

	Nappe alluvionnaire Guelma	Nappe de Héliopolis	Nappe de Helia
Capacité de stockage	22.53 hm <sup>3</sup>	8.97 hm <sup>3</sup>	7.25 hm <sup>3</sup>
Stockage initial	22.53 hm <sup>3</sup>	8.97 hm <sup>3</sup>	7.25 hm <sup>3</sup>

Prélèvement max/mois	1.1hm <sup>3</sup>	0.60hm <sup>3</sup>	0.401hm <sup>3</sup>
----------------------	--------------------	---------------------	----------------------

#### V.6.4 Création Des Hypothèses Clés

Le WEAP permis de créer de nouvelles variables hypothèses pour la modélisation des scénarios, interprété par trois étapes, le premier, une année choisie pour servir comme année de base pour le modèle « Comptes Actuels », ensuite un scénario de référence « Référence » est établi à partir des Comptes actuels pour simuler la même évolution du système sans intervention, et en fin des scénarios « Quoi si » peuvent être créés pour changer le scénario « Référence » et évaluer les effets des changements des politiques, climatique ou autres (Bourouga, M. (2018) .

#### V.6.5 Changement D'horizon De Temps Du Secteur

On a choisi l'année 2017 comme compte courant pour notre étude et l'année 2050 comme fin des scénarios (Fig. 62).

Années et pas de temps

Horizon temporel

Année des Comptes Actuels: 2017

Fin des scénarios: 2050

Pas de temps par an

12

Ajouter les jours bissextiles?

Longueur du pas de temps

Basé sur le mois calendaire

Tous les pas de temps sont de même

Définir la longueur du pas de temps

Début de l'année hydrologique

Janvier

#	Titre	Abbrev.	Longueur	Begins	Ends
1	Janvier	Jan	31	1 Jan	31 Jan
2	Février	Fév	28	1 Fév	28 Fév
3	Mars	Mars	31	1 Mars	31 Mar
4	Avril	Avr	30	1 Avr	30 Avr
5	Mai	Mai	31	1 Mai	31 Mai
6	Juin	Juin	30	1 Juin	30 Juin
7	Juillet	Juil	31	1 Juil	31 Juil
8	Août	Août	31	1 Août	31 Août
9	Septembre	Sept	30	1 Sept	30 Sept

Time Step Name Format: Octobre / Oct

La période d'étude courra de Janvier, 2017 à Décembre, 2050.

Aide Fermer

Figure 62: Horizon de calcul pour le scénario

### V.6.6 Calibration Du Model

Dans le but d'étalonner notre logiciel, on a exploité les débits moyens mensuels enregistrés dans la station de Medjez Ammar et observés durant une période de 29 ans (1971-2000). La figure (Fig. 63) montre la comparaison entre le débit observé et le débit simulé par WEAP.

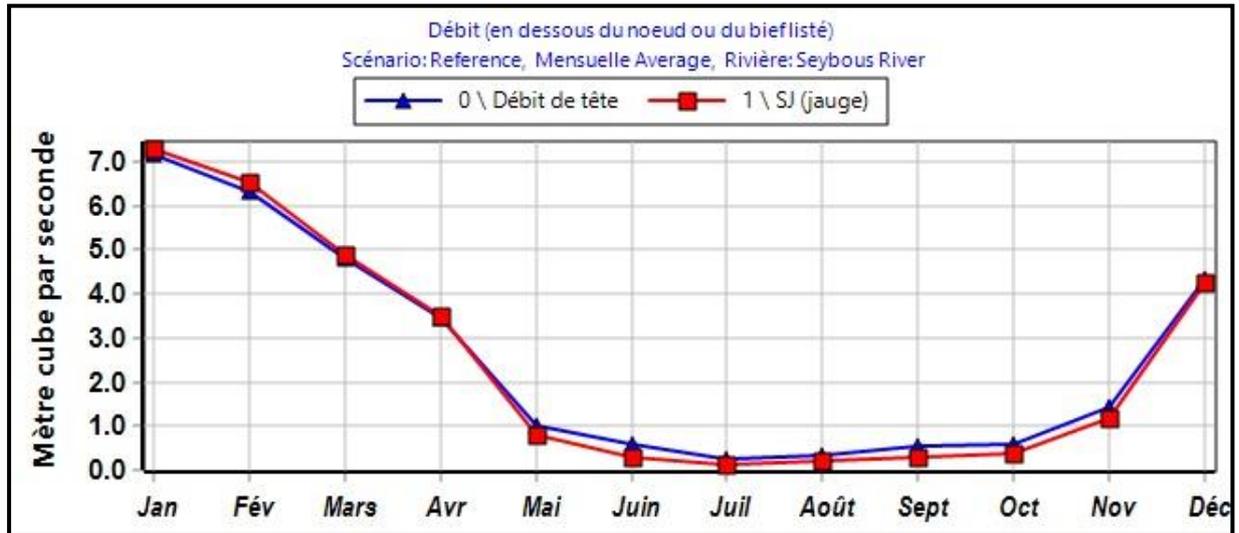


Figure 63: Débit observé / débit simulé

Pour juger la performance de la simulation WEAP, le coefficient de Nash-Sutcliffe (NSE) est utilisé. Il s'agit d'une statistique normalisée qui détermine l'importance relative de la variance résiduelle (« bruit ») par rapport à la variance des données mesurées (« information ») (Nash & Sutcliffe, 1970). NSE est calculé comme indiqué dans l'équation suivante :

$$NSE = 1 - \frac{\sum_t^T = 1(Q_0^t - Q_m^t)^2}{\sum_t^T = 1(Q_0^t - \overline{Q_0})^2}$$

Ou  $Q_0^t$  est le débit mensuel mesuré (observé),  $Q_m^t$  est le débit moyen mensuel simulé,  $\overline{Q_0}$  est la moyenne des débits mesurés sur la période d'observation. Cette expression tend vers 1 lorsque le débit calculé tend vers le débit mesuré, le calcul abouti à une valeur de 90%, la simulation est significative (Daifallah, T. (2017).

## V.6.7 Création Des Scénarios

### V.6.7.1. Scénario De « Référence »

Il est nécessaire d'avoir une année de référence pour servir de modèle. Toutes les données à utiliser doivent être comprises entre cette année ou période dans notre étude 2017 est l'année de référence. Le scénario de référence est généré une fois que l'utilisateur a ajouté un élément dans l'affichage de « schéma ». Cependant, il faut changer ses données et sa description pour refléter son rôle réel. Dans notre étude, la référence est comptée à partir de l'année 2017 (l'année après le compte actuel) jusqu'en 2050 (fin du scénario). Le scénario de référence (SR) est un scénario hérité du compte courant. Il faut changer sa description pour refléter son rôle réel (Fig. 64).

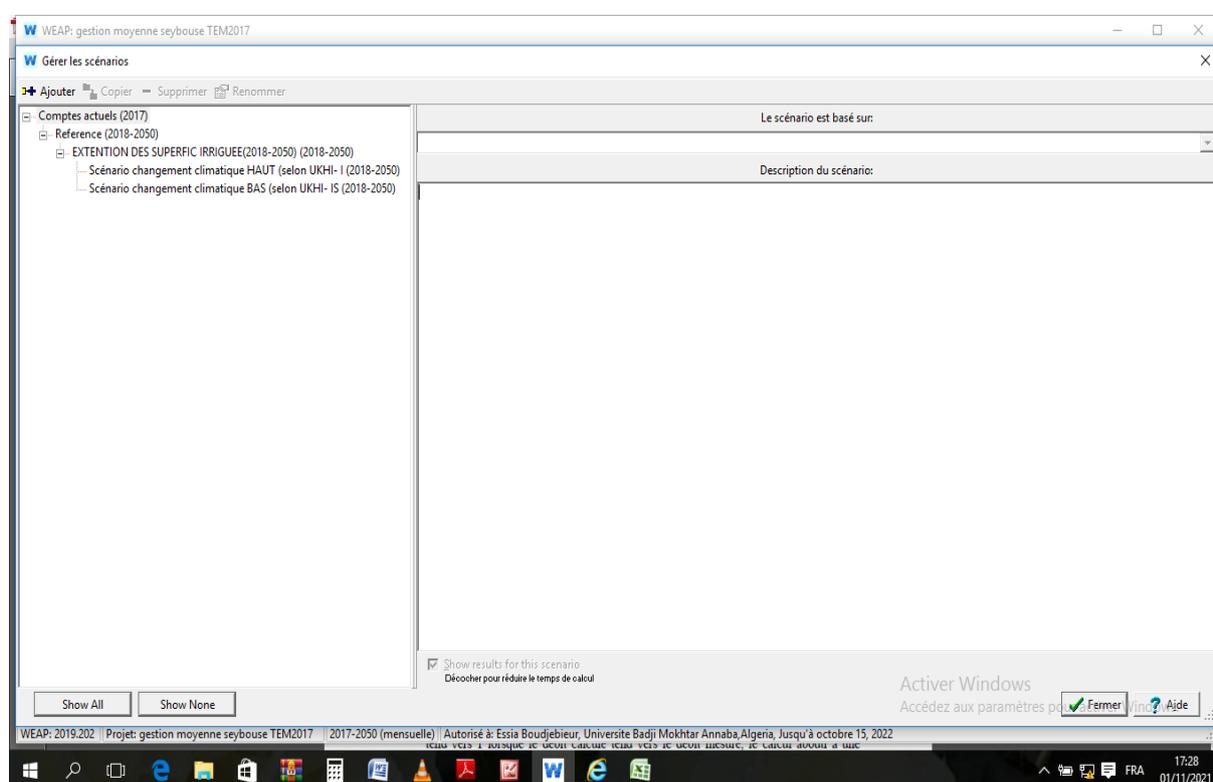


Figure 64: Scénario de référence

La barre d'outils située en haut à gauche du Gestionnaire de scénarios (Manage scenarios) nous permet d'ajouter, de copier, de supprimer et de renommer des scénarios. La situation actuelle (2017) est étendue à l'avenir vers (2018 à 2050) (Daifallah, T. (2017).

Les scénarios choisis pour notre étude, se concentre sur :

1. Les scénarios du changement climatique, en appuyant sur les projections climatiques à l'horizon 2020- 2050 pour l'Algérie, obtenu par le modèle UKHI issu du Global Water

Partnership, du modèle IS92a sur deux hypothèses haut et bas.

2. l'augmentation des terres irriguées, conséquence à leur faible exploitation par rapport à la surface agricole utile disponible dans la zone d'étude.

### V.6.7.2. Scenario De Changement Climatique (SCC)

Selon les résultats du projet national ALG / 98 / G31 (Élaboration de la stratégie nationale et du plan d'action pour le changement climatique), le Nord-Est de l'Algérie est soumis aux conséquences du réchauffement climatique avec réduction des apports et augmentation de la température (Abdelguerfi, 2003).

Dans notre étude on a opté le scénario « IS92a » du GIEC selon le modèle UKHI (United Kingdom Meteorological Office High Resolution) avec les deux hypothèses haut et bas.

Tableau 56: Résultats du projet national ALG / 98 / G31 pour les quatre saisons

Saison	Paramètres Climatique	2020		2050	
		Bas	Haut	Bas	Haut
Automne	T° ☉ (+)	0.8	1.1	1.2	2.2
	P % (-)	6	8	10	15
Hiver	T° ☉ (+)	0.65	0.8	0.95	1.6
	P % (-)	10	10	16	16
Printemps	T° ☉ (+)	0.85	0.95	1.25	1.9
	P % (-)	5	9	10	20
Eté	T° ☉ (+)	0.85	1.05	1.25	2.1
	P % (-)	8	13	15	22

De ce fait on aura deux scénarios pour le changement climatique :

1. Scénario changement climatique (selon UKHI- IS92a\_ bas)
2. Scénario changement climatique (selon UKHI- IS92a \_ haut)

### V.6.7.3 Scenario D'extension De Terres Irriguées (SETI)

Nous avons précisé dans ce scénario, une augmentation du taux des surfaces des terres irriguées de 50% chaque 10 ans, ce taux inspiré de l'objectif du service hydro agricole de la wilaya de Guelma dans le projet quinquennale 2014-2019 (PMH, 2017).

## V.6.8. Résultats

### V.6.8.1. Ressources En Eau

Les variations de la demande d'eau sont directement liées à l'augmentation du nombre d'utilisateurs et à l'extension des superficies irriguées (désignées par le niveau d'activité annuel).

#### V.6.8.1.1. Evolution De Nombre D'habitants Pour Scénarios Tendanciels (3 Scénarios)

La population dans les quinze (15) communes existantes dans le bassin versant, et dans les trois scénarios passe de 319 327 en 2017 à 632 307 habitants en 2050 (Fig. 65).

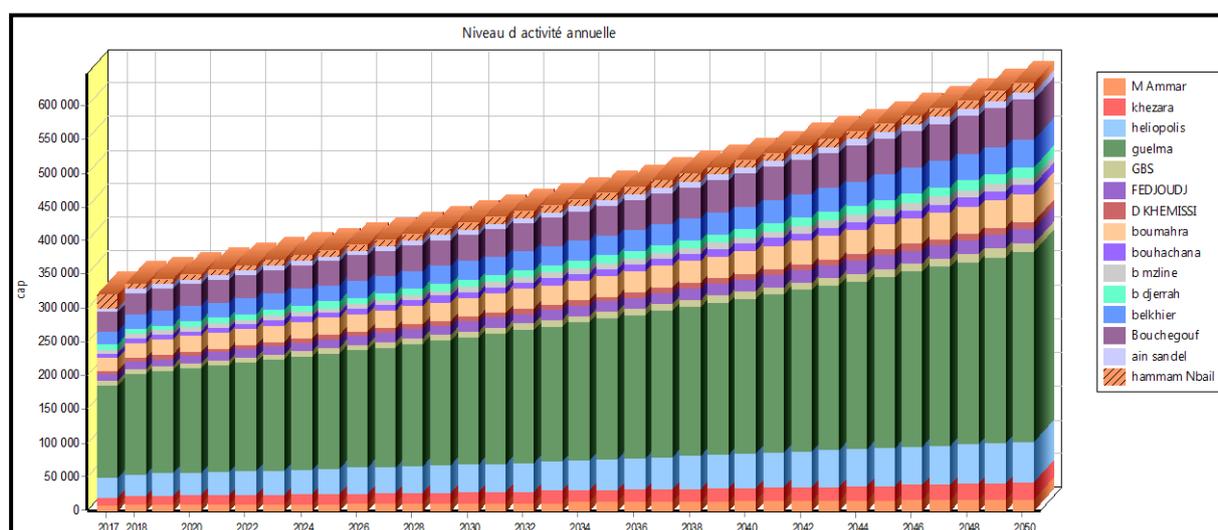


Figure 65 : Evolution de nombre d'habitant pour tous les scénarios

#### V.6.8.1.2. Évolution Des Superficies De Terres Irriguées (3 Scénarios)

Les superficies des terres irriguées à travers les quinze (15) communes existantes dans le bassin versant, et pour les trois scénarios passe de 13 422 ha (soit 18.65% de la SAU) en 2017 à 32 823.30 ha, soit (48.54% de SAU) en 2050 est remarqué (Fig. 66).

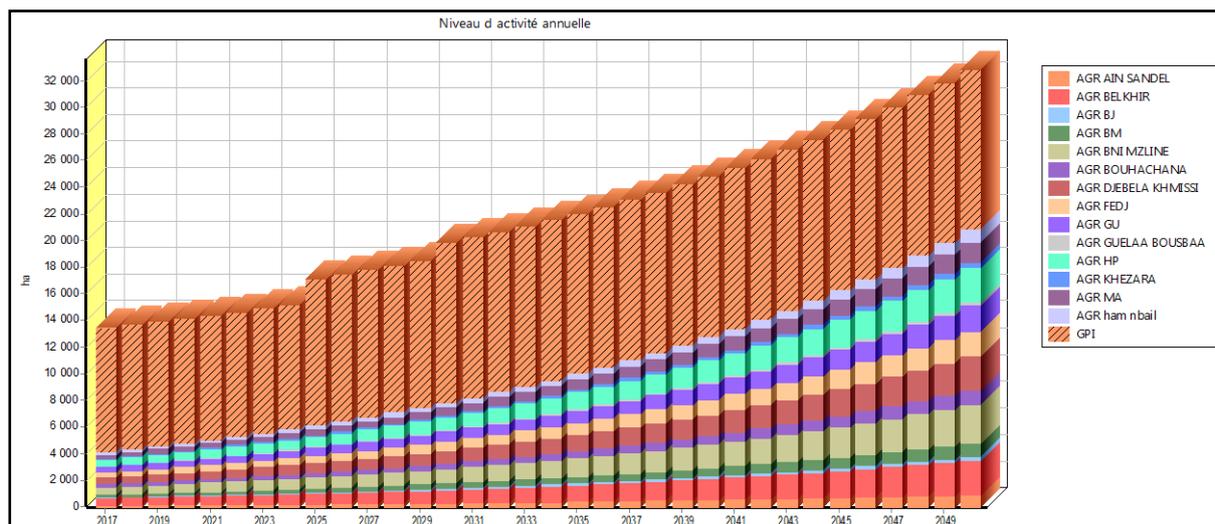


Figure 66: Evolution des superficies irriguées dans le bassin versant pour tous scénarios

### V.6.8.1.3 Évolution Des Demandes En Eau (Supply Requirement)

La demande totale en eau (y compris les pertes) dans la zone d'étude est marquée par une augmentation considérable dans tous les scénarios retenus (SCC et SETI), passant d'un volume de 94,98 hm<sup>3</sup> en 2017 à 203.96 hm<sup>3</sup> en 2050. Pour le scénario de référence (SR), l'augmentation de la demande est faible durant la période de simulation, allant de 94.18 hm<sup>3</sup> en 2017 à 122.76 hm<sup>3</sup> en 2050 (Fig. 67).

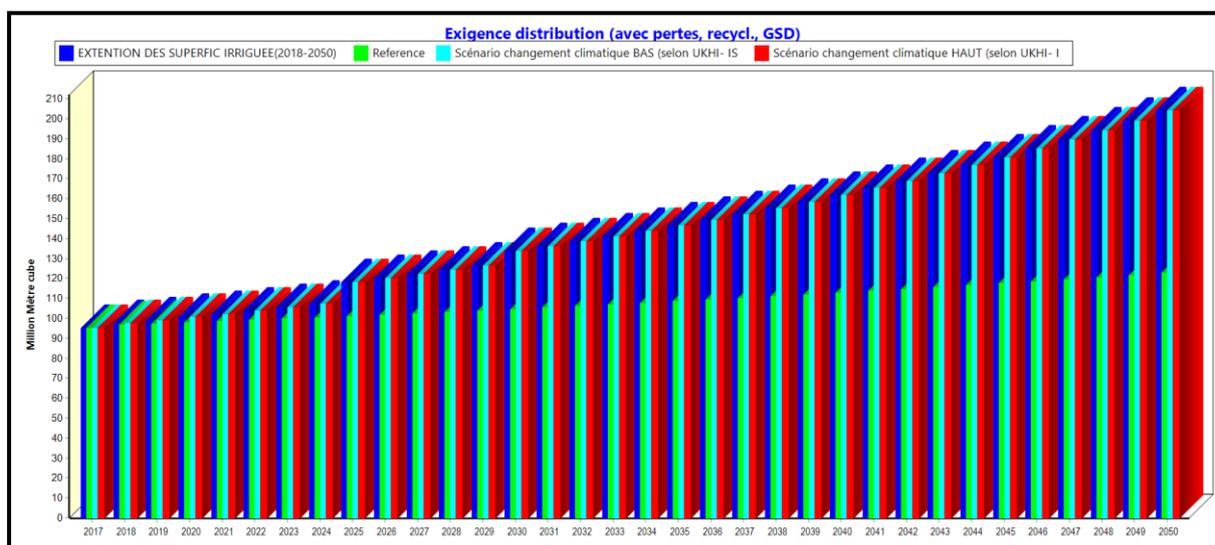


Figure 67: Evolution de demandes totales en eau par scénario (2017-2050)

### V.6.8.1.4 Evolution Des Besoins Totaux En Eau (Water Demand) Par Scénario

Pour les besoins en eau, on constate une nette augmentation d'un volume de  $75.31 \text{ hm}^3$  à plus de  $173.22 \text{ hm}^3$  dans tous les scénarios retenus, principalement liée à l'extension des superficies irriguées. Pour le scénario de référence, une légère augmentation des besoins en eau est enregistrée, variant de  $75.31 \text{ hm}^3$  en 2017 à  $94.82 \text{ hm}^3$  en 2050, suite à une augmentation modérée de la population (Fig. 68).

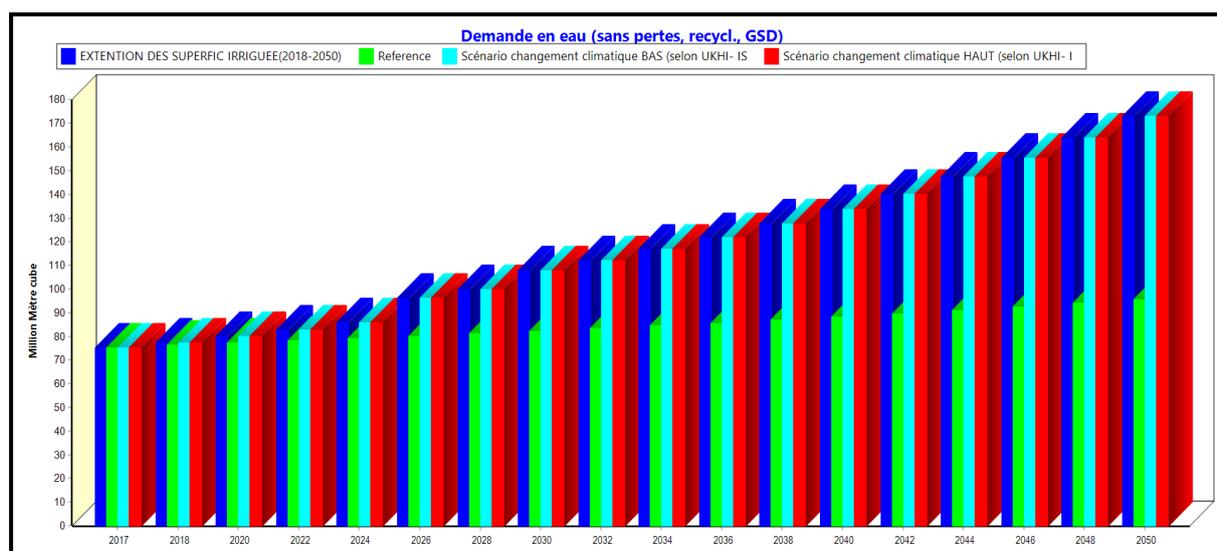


Figure 68: Evolution des besoins totaux en eau (Water demand) par scénario

### V.6.8.2 Eau Distribuée

Eau distribuée Au cours de 2017 et pour tous les scénarios retenus, le volume d'eau distribué est d'environ  $40,41 \text{ hm}^3$ . Ce volume passe à  $89,08 \text{ hm}^3$  en 2025, ce qui peut s'expliquer par la prévision d'atteindre un périmètre d'irrigation de 1700 ha dans la commune de Khezaras en 2050 ce même volume augmente pour atteindre  $109,79 \text{ hm}^3$  (Fig. 69). Pour le scénario de référence on enregistre une faible augmentation de la distribution pour le scénario de référence, due à la faible augmentation de la population, allant de  $40.41 \text{ hm}^3$  en 2017 à  $74.53 \text{ hm}^3$  en 2050.

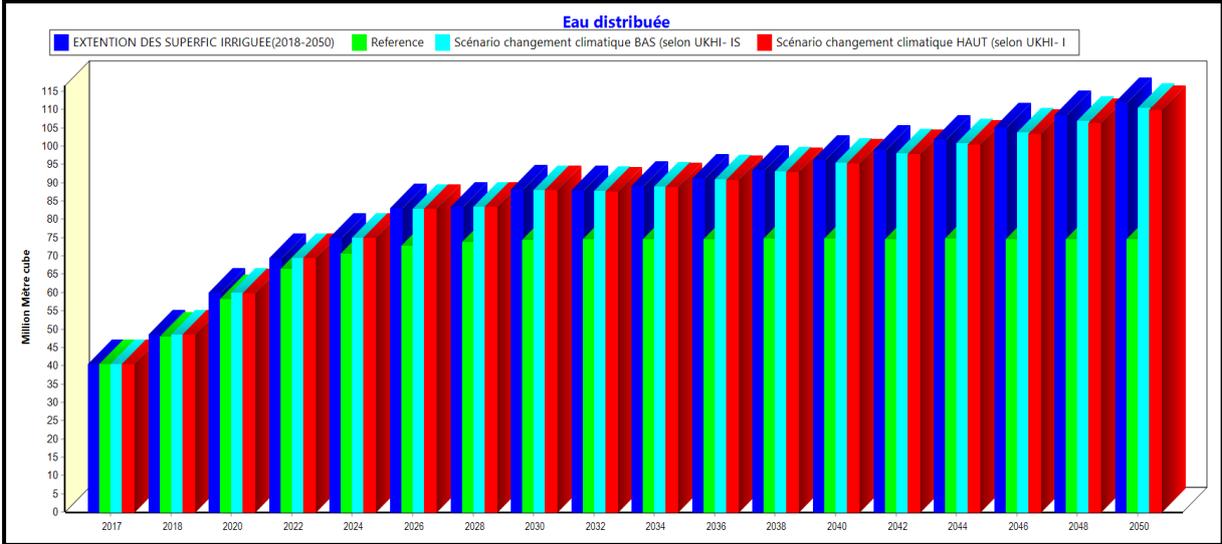


Figure 69 : Volume en eau distribué pour tous les usagers par scénario (2017-2050)

### V.6.8.3.Demandes En Eau Non Satisfaites Par Scénario

D'après la figure ci-dessous, on constate un besoin en eau non satisfait estimé à un volume de 50,5 hm<sup>3</sup> au cours de l'année de référence 2017 (Fig. 70). Ce déficit se répartit entre l'eau d'irrigation (environ 45 hm<sup>3</sup>/an) et les rabattements des nappes sont principalement dus au manque de précipitations durant cette année. A partir de l'année 2025 s'amorce un changement se traduisant par une augmentation du déficit interprétée par un manque de 104,20hm<sup>3</sup> à la fin de la période de simulation (2050).

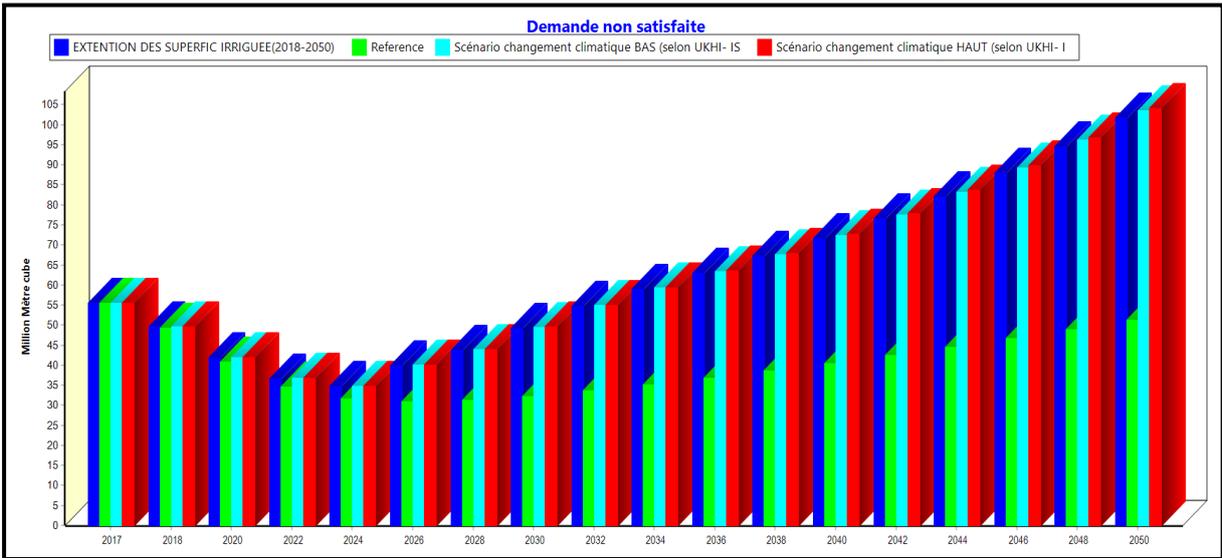


Figure 70 : Volume de demande en eau non satisfaite par scénario

## V.7 Conclusion

Développement économique que connaît la région a eu son impact sur les ressources en eau de notre région. Dans cette étude nous avons choisi le logiciel WEAP qui nous a donné l'opportunité d'utiliser nos données sur les ressources en eau pour simuler leur évolution et leurs utilisateurs à l'horizon 2050. Les résultats obtenus ont montré que le bassin de la moyenne Seybouse est déjà en stress hydrique, il souffre de rareté de l'eau et sensible aux conditions de sécheresse.

La demande en eau a doublé voire tripler pour les divers secteurs utilisateurs de l'eau (*AEP, AEI, AEA*). La quantité de demande non satisfaite en eau est supérieure à l'eau fournie ; les ressources disponibles telles que les précipitations et les infrastructures de collecte et de stockage de l'eau sortante, y compris les réservoirs d'eau souterraine naturels, n'ont pas réussi à répondre aux besoins actuel et futur dans le bassin versant moyen de la Seybouse.

Les scénarios de changement climatique et d'extension des périmètres irrigués retenus pour cette étude, montrent qu'un déficit hydrique dès l'année de référence 2017 avec un déficit de  $50,5 \text{ hm}^3$  et ce dernier passera à  $104,20 \text{ hm}^3$  en 2050. Le bassin versant de la moyenne Seybouse présente un manque criant à la fin des scénarios.

Une capacité de stockage accrue est nécessaire pour faire face au manque d'eau dans la région, de minimiser les pertes et explorer d'autres réservoirs beaucoup plus rentables, il faut la mobilisation de nouvelles ressources, qui donne des possibilités d'amélioration par rapport à la situation actuelle telle que :

- ✓ Utilisation des eaux usées épurées dans l'agriculture avec un traitement tertiaire
- ✓ Exploitation des eaux usées épurées dans l'industrie
- ✓ La compensation du déficit de l'eau par le dessalement de l'eau de mer;
- ✓ Réalisation de nouveaux barrages

## Conclusion Générale

Notre zone d'étude est située à l'extrême Nord Est Algérien, elle est drainée par l'Oued Seybouse. Se trouve limitée par les latitudes 36°14' et 36°35' Nord et longitudes 7°16' et 7°44' Est, la surface de cette zone est de 820.30 km<sup>2</sup>.

Du point de vue géologique, le bassin de Guelma fait partie de la zone tellienne de la chaîne alpine. Cette dépression est remplie de formations de miocène moyen et le miocène supérieur représentés par des sédiments lagunaires, lacustres et fluviaux. Ces formations sont constituées essentiellement d'alluvions (graviers, limons, conglomérats, travertins,...), perméables, et offre par conséquent un intérêt hydrogéologique.

Soumise à un climat méditerranéen avec un hiver pluvieux à précipitations relativement élevées (précipitations moyennes annuelle de l'ordre de 605.18 mm) et un été chaud et sec (La température moyenne annuelle est de l'ordre de 17.82°C). L'étude du climat en utilisant l'indice d'aridité de Martonne a montré que notre secteur d'étude est en zone tempéré, il est marqué par une évapotranspiration réelle (ETR) de 74.24% des précipitations, alors que la lame d'eau ruisselée constitue 14.63 % de la lame d'eau précipitée. L'infiltration efficace représente 11.14 % des précipitations, qui pourra jouer un rôle important dans la recharge des nappes d'eau souterraines.

Pour l'étude hydrochimique on a utilisé deux méthodes la première est la méthode de l'indice de qualité de l'eau arithmétique pondérée pour voir l'aptitude des eaux de barrage de Bouhamdane dans le domaine de l'alimentation en eau potable qui a montré que la qualité de l'eau du barrage variait entre bonne à mauvaise. Ceci est dû à l'urbanisation croissante et à la pollution intense causée par les déchets urbains de l'Oued Oued Zenati un des grands affluents de Bouhamdane. Les mesures nécessaires doivent être prises pour réduire les coûts futurs de la contamination. Et la deuxième méthode pour voir l'aptitude des eaux de l'Oued Seybouse à l'irrigation on a utilisé l'indice de qualité de l'eau d'irrigation selon (Meireles et al 2010) l'indice à révéler que les eaux de l'Oued Seybouse peuvent être utilisés dans des sols ayant une perméabilité modérées à élevées. La modélisation de la qualité des eaux du barrage Bouhamdane par l'utilisation de l'intelligence artificielle (Algorithme AdaBoost (Adaptive Boosting) et Arbre de décision (Decision Tree)) on combinat les 20 variables on a obtenu une grande performance entre le NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et PO<sub>4</sub><sup>+3</sup> avec un pourcentage de 89 à 93% pour les deux

algorithmes, cette combinaison d'entrée ( $\text{NH}_4^+$  et  $\text{PO}_4^{+3}$ ) donne une bonne précision pour la prédiction du IQE.

Pour la modalisation des ressources en eau de notre bassin on a utilisé le logiciel WEAP (Water Evaluation And Planning System) qui nous a donné l'opportunité d'utiliser nos données sur les ressources en eau pour simuler leurs évolutions et leurs usagers à l'horizon 2050.

Les résultats obtenus ont montrés que le bassin de la moyen Seybouse est déjà sous un stress hydrique, il souffre de pénurie d'eau et il est sensible aux conditions de sécheresse. Le nombre d'habitants passe de 346 342 en 2017 à 688 091 habitants en 2050, et la superficie des terres irriguées passe de 14 302,5 ha en 2017 à 37 228,61 ha en 2050. La quantité de demande en eau non satisfaite est supérieure à l'eau fournie ; les ressources disponibles telles que les précipitations moyennes et les infrastructures de collecte et de stockage de l'eau sortante, y compris les réservoirs naturels d'eau souterraine, n'ont pas réussi à répondre aux besoins actuels et au futur dans le bassin versant moyen de Seybouse.

Les scénarios de changement climatique et d'extension des terres irriguées retenues pour cette étude, montrent un déficit hydrique à partir de l'année de référence 2017 avec un déficit de  $50,5 \text{ hm}^3$  qui augmentera à  $104,20 \text{ hm}^3$  en 2050. Le bassin versant de la moyenne Seybouse présente une pénurie à la fin des scénarios.

## Recommandations

- ❖ Il est urgent que les responsables de l'eau participent sérieusement à la résolution de ce problème en utilisant d'autres ressources, à savoir les eaux non conventionnelle, le dessalement et l'exploitation des eaux de surface à travers l'étude et la réalisation des barrages.
- ❖ introduire de nouvelles techniques d'irrigations (irrigation par le système goutte à goutte) pour limite le gaspillage des eaux et l'emploi des eaux usées épurées afin d'augmenter la productivité de l'eau dans l'agriculture.
- ❖ Réhabilitation des réseaux de distribution pour éliminer les pertes les plus élevées.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbasi, S. A., Khan, F. I., Sentilvelan, K., &Shabudeen, A. (2002):** Modelling of Buckingham Canal water quality. *Indian Journal of Environmental Health*, 44(4), 290–297.
- Abdelguerfi, A. (2003):** Needs assessment in terms of capacity building necessary for the assessment and reduction of risks threatening the elements of biological diversity in Algeria Report number: Synthesis Report (Volume 5) Affiliation: Consultation Report within the framework of the UNDP Project-FEM-MATE, ALG97 / G31 " Action Plan and National Strategy on Biodiversity.
- ADE. (2018) :** Algérienne des eaux. Guelma
- Agarwal, S., Patil, J.P., Goyal, V.C. et al. (2019) :**Assessment of Water Supply–Demand Using Water Evaluation and Planning (WEAP) Model for Ur River Watershed, Madhya Pradesh, India. *J. Inst. Eng. India Ser. A* 100, 21–32, <https://doi.org/10.1007/s40030-018-0329-0>
- Ahmed, T., Carty, M. A., Wenric, S., Dry, J. R., Salahudeen, A. A., Khan, A. A., Lefkofsky, E., Stumpe, M. C., &Pelosof, R. (2021):** Privacy Preserving RNA-Model Validation Across Laboratories. *bioRxiv*.
- Akter, T., Jhohura, F. T., Akter, F., Chowdhury, T. R., Mistry, S. K., Dey, D., Barua, M. K., Islam, M. A., & Rahman, M. (2016):** Water Quality Index for measuring drinking water quality in rural Bangladesh: a cross-sectional study. *Journal of Health, Population, and Nutrition*, 35, 4. <https://doi.org/10.1186/s41043-016-0041-5>
- Alemu, Z.A., Dioha, M.O. (2018):**Modelling scenarios for sustainable water supply and demand in Addis Ababa city, Ethiopia. *Environ Syst Res* 9, 7 (2020). <https://doi.org/10.1186/s40068-020-00168-3>
- Algerian national statistics office (2018):** Unpublished report.
- Almeida, C. A., Quintar, S., González, P., &Mallea, M. A. (2007):** Influence of urbanization and tourist activities on the water quality of the Potrero de los Funes River (San Luis– Argentina). *Environmental Monitoring and Assessment*, 133(1), 459–465.
- Al-Shutayri, A.S., Al-Juaidi, A.E.M. (2019):** Assessment of future urban water resources supply and demand for Jeddah City based on the WEAP model. *Arab J Geosci* 12, 431, <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4594-7>

- Aoun Sebaiti, B. (2010) :** Gestion optimisée des ressources en eau d'une nappe cotière, Application à la plaine Annaba (Nord-est Algérie). Thèse de Doctorat. Université de Lille.
- Bakan, G., Özkoç, H. B., Tülek, S., & CüceIT, H. (2010):**Integrated environmental quality assessment of the Kızılırmak River and its coastal environment. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 10(4).
- Bartram, J., &Ballance, R. (1996):** Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes. CRC Press.
- Bouhy, D. (2007) :** Modulation expérimentale des populations cellulaires endogènes améliorant la régénération du système nerveux central après lésion médullaire.
- Bourouga, M. (2018) :** Le Modèle Weap Pour Une Gestion Intégrée Des Ressources En Eau Du Bassin Versant Transfrontalier De La Medjerda (Nord-Est Algérie) .Thèse de Doctorat en Hydrogéologie. Université Badji Mokhtar-Annaba, 167p.
- Bouslah, S. (2018) :** Etude De La Qualité Des Eaux Stockées A L'amont Et Les Eaux D'infiltration A L'aval Des Barrages En Remblai En Algérie. Thèse de Doctorat en Hydraulique. Université Badji Mokhtar-Annaba, 221p.
- Bouznad, IE. (2017) :** Ressources en eau et gestion intégrée dans la vallée d'Oued Righ (Sahara septentrional algérienne).Thèse de Doctorat en Hydrogéologie Université Badji Mokhtar-Annaba-,202p.
- Brahmia,N.(2016) :**Evaluation et gestion intégrée des ressources en eau dans Le bassin versant de la moyenne Seybouse, Nord-Est, Algérien. ) Thèse de Doctorat en Hydrogéologie. Université Badji Mokhtar-Annaba, 133 p.
- Breiman, L. (1999):** Prediction games and arcing algorithms. Neural computation, 11(7), 1493–1517.
- Brown, R. M., McClelland, N. I., Deininger, R. A., & O'Connor, M. F. (1972):** A waterquality index—crashing the psychological barrier. Yn Indicators of environmental quality (tt. 173–182). Springer.
- Burger, P., Giry, E., Kikudji, E., & Touache, N. (2002) :** Gestion de la demande en Eau en Méditerranée : réflexions sur la dimension communication. Forum PNUE/PAM/Plan Bleu (pp. 1-64). Fiuggi / Rome : Antenne Méditerranée du programme Solidarité Eau.
- Castany, G. (1998) :** HYDROGEOLOGIE. Principes et méthodes. Ed. DUNOD.

- Chauhan, K., Jani, S., Thakkar, D., Dave, R., Bhatia, J., Tanwar, S., & Obaidat, M. S. (2020):** Automated machine learning: The new wave of machine learning. 2020 2nd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA), 205–212.
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016).** Xgboost: A scalable tree boosting system. Proceedings of the 22nd acmsigkdd international conference on knowledge discovery and data mining, 785–794.
- Daifallah, T. (2017) :** Ressources en eau et leurs utilisations dans le bassin versant de l'Oued Kébir Ouest (Nord Est algérien), Thèse de Doctorat en Hydrogéologie., Badji Mokhtar-Annaba, 170p.
- Dali, N. (2018) :** Contribution à l'actualisation et gestion durable des ressources en eau des bassins des hauts plateaux constantinois, Thèse de Doctorat, Université Badji-Mokhtar, Annaba, Algérie 193p.
- Djabri, L. (1996) :** Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse. Origines géologiques, industrielles, agricoles et urbaines. Thèse de Doctorat, université Badji Mokhtar, Annaba. 261 p.
- DSA. (2018) :** Direction de service agricole, Guelma, Algérie.
- Dubreuil, P. (1966) :** Les caractéristiques physiques et morphologiques des bassins versants, leur détermination avec une précision acceptable. Cahiers ORSTOM, série hydrologie. Vol. 3. Iss. 5. 31 p.
- Dubreuil, P., Guiscafre, J. (1971) :** La planification du réseau hydrométrique minimal. Cahiers ORSTOM, série hydrologie. Vol. 8. Iss. 2. p. 3-37.
- Dubreuil, P., Morell, M., Sechet P. (1975) :** Comportement et interaction des paramètres physiques de petits bassins versants semi-arides et intertropicaux. Cahiers ORSTOM, série hydrologie. Vol. 12. Iss. 1. p. 13-36.
- Fard, M., D., Sarjoughian, H., S. (2021):** A restful framework design for componentizing the water evaluation and planning (WEAP) system, Simulation Modelling Practice and Theory, 106, 102199, ISSN 1569- 190X, <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102199>
- Fukuda, H. (1976):** Irrigation in the world. Comparative developments. Irrigation in the world. Comparative developments.
- Gaud, F. (1974):** Hydrogeological study of the alluvial aquifer of Guelma unpublished report.
- Gleick, P. H. (2000):** Water the potential consequences of climate variability and change for the water resources of the United States. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security.

- Górska, M. (2020):** Optimizing the water allocation system in the Dutch region by adopting the WEAP model.
- Gorine, M. Benkhelifa, M. Gacem, F. et Bellague D (2019) :** Evaluation of the quality of Ground water used for irrigation in the Mina plain, Algeria Evaluation de la qualité Des eaux souterraines utilisées pour l'irrigation dans la plaine de la Mina, Algérie Revue des Sciences de l'Eau Journal of Water Science Volume 32, numéro 3, 2019, p. 223–234,<https://doi.org/10.7202/1067306ar>
- Guettaf ,M.(2015) :**Caractérisation hydrochimique et évaluation des indicateurs de pollution dans l'environnement : cas de l'Oued Seybouse et ses affluents dans le sous bassin de Guelma (Nord-Est Algérien)Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques Université 8 mai 45 Guelma 196p.
- Hadded, R., Nouiri, I., Alshihabi, O., Maßmann, J., Huber, M., Laghouane, A., Yahiaoui, H. & Tarhouni, J., (2013):**“A Decision Support System to Manage the Groundwater of the ZeussKoutine Aquifer Using the WEAP-MODFLOW,” Framework. Arab J Geosci (2013) 6:2225–2236
- Hamlat, A., Errih, M. & Guidoum, A. (2013):** Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model. Arab J Geosci 6, 2225–2236, <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0539->
- Han, X., Zhao, Y., Gao, X., Jiang, S., Lin, L., & An, T. (2021):** Virtual water output intensifies the water scarcity in Northwest China: Current situation, problem analysis and countermeasures. The Science of the Total Environment, 765, 144276.<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144276>
- Holdgate, M. W., Kassas, M., & White, G. F. (1982):** The world environment 1972-1982. United Nations Environment Programme Nairobi.
- Höllermann, B., Giertz, S. & Diekkrüger, B. Benin (2010):**2025—Balancing Future Water Availability and Demand Using the WEAP ‘Water Evaluation and Planning’ System. Water Resources Management, 24, 3591–3613 <https://doi.org/10.1007/s11269-010-9622-z>
- Horton, R.E. (1932):** Drainage basin characteristics. Eos Transactions American Geophysical Union. Vol. 13. Iss. 1. p. 350-361.
- Horton, R.E. (1945):** Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America. Vol. 56. Iss. 3. p. 275-370.
- Hülya, B. H. B. (d.d.):** Environmental Determinants of Surface Water Quality Based on Environmetric Methods.

- Husain ,S.A., Rhyme N.H.M. (2021):** Decision Support Method for Agricultural Irrigation Scenarios Performance Using WEAP Model. In: Abdul Karim S.A. (eds) Theoretical, Modelling and Numerical Simulations Toward Industry 4.0. Studies in Systems, Decision and Control, 319.Springer, Singapore.<https://doi.org/10.1007/978-981-15-8987-4>
- Jagadeeswari, P. B., & Ramesh, K. (2012):** Water quality index for assessment of water quality in South Chennai coastal aquifer, Tamil Nadu, India. International Journal of Chem Tech Research, 4(4), 1582–1588.
- Kachi ,N.(2015) :**Impact Du Perimetre Irrigue Sur La Qualite Des Eaux Souterraines Dans Le Bassin Versant De La Seybouse.Thèse de Doctorat Hydrogéologie, Université Badji Mokhtar-Annaba, 189 p.
- Kahlerras, M., Meddi, M., Benabdelmalek, M. et al. (2018):** Modeling water supply and demand for effective water management allocation in Mazafran basin (north of Algeria). Arab J Geosci 11, (547), <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3869-8>
- Kannel, P. R., Lee, S., Lee, Y.-S., Kanel, S. R., & Khan, S. P. (2007):** Application of water quality indices and dissolved oxygen as indicators for river water classification and urban impact assessment. Environmental monitoring and assessment, 132(1), 93–110.
- Khan, F., Husain, T., &Lumb, A. (2003):** Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada. Environmental Monitoring and assessment, 88(1), 221–248.
- Kiniouar ,H. (2018) :**Analyse multicritère et caractérisation du modèle de gestion intégrée des ressources en eau de la vallée du Rhumel. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba, 164p.
- Kiniouar, H., Hani, A., Kapelan, Z. (2017):** Water Demand Assessment of the Upper Semi-arid Sub-catchment of a Mediterranean Basin. Energy Procedia, 119, 870-882, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.140>
- Klose, S., Reichert B., Lahmouri A. (2008):**Management Options for a Sustainable Groundwater Use in the Middle Drâa Oases under the Pressure of Climatic Changes. In: Zereini F., Hötzl H. (eds) Climatic Changes and Water Resources in the Middle East and North Africa. Environmental Science and Engineering.Springer, Berlin, Heidelberg.[https://doi.org/10.1007/978-3-540-85047-2\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-540-85047-2_14).
- Laborde, J.P. (2013) :** Eléments d’hydrologie de surface. Ecole polytechnique de l’université de Nice - Sophia Antipolis, Biot – France. 215 p.
- Lanka, P., Rangaprakash, D., Dretsch, M. N., Katz, J. S., Denney, T. S., & Deshpande, G. (2020):**Supervised machine learning for diagnostic classification from large-scale neuroimaging datasets. Brain imaging and behavior, 14(6), 2378–2416.

- Lévite,H., Hilmy ,S., Julien,C. (2003):** Testing water demand management scenarios in a water-stressed basin in South Africa: application of the WEAP model,Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C,Volume 28, Issues 20–27,2003,Pages 779-786, ISSN 1474-7065, <https://doi.org/10.1016/j.pce.2003.08.025>
- Mansouri, S. (2018) :** Analyse et planification des ressources en eau Inter-Région en utilisant Le modèle WEAP. Seybouse (Annaba) et Côtiers Constantinois Est (El-Tarf) Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba, p.
- Mate (2011, Mars) :** Projet national ALG/98/G31. Elaboration de la stratégie et du plan d'action national des changements climatiques. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Algérie.
- Milano, M. (2002) :** Changements globaux en méditerranée : impact sur le stress hydrique et la capacité à satisfaire les demandes en eau. Thèse de Doctorat, Université Montpellier 2, France, 258p.
- Mitchell, T. M. (1997) :**Machine learning.
- Mostafa ,D. Fard, Hessam, S. Sarjoughian (2021):**A restful framework design for componentizing the water evaluation and planning (WEAP) system, Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 106, 2021, 102199, ISSN 1569-190X, <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102199>
- Musy,A. (2005) :** Cours d'hydrologie générale. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne. En ligne:<http://echo2.epfl.ch/e-drologie/>
- Nouiri ,I. (2016) :** Outils d'aide à la décision pour la gestion optimale des ressources en eau, Revue bibliographique, méthodologie et cas d'études en Tunisie, Institut National Agronomique de Tunis, p 65.
- Omar, M., Moussa, M.A., (2016):**Water management in Egypt for facing the future challenges. Journal of Advanced Research, 7 (3), 403-412, ISSN 2090-1232, <https://doi.org/10.1016/j.jare.2016.02.005>
- Othman, F., Alaaeldin, M. E., Seyam, M., Ahmed, A. N., Teo, F. Y., Ming Fai, C., Afan, H. A., Sherif, M., Sefelnasr, A., & El-Shafie, A. (2020):** Efficient river water quality index prediction considering minimal number of inputs variables. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 14(1), 751–763.<https://doi.org/10.1080/19942060.2020.1760942>
- Phadatare, S. S. (2016):** Review Paper on Development of Water Quality Index. 5(05), 765–767.
- Pham, Q. B., Mohammadpour, R., Linh, N. T. T., Mohajane, M., Pourjasem, A., Sammen, S. S., Anh, D. T., & Nam, V. T. (2021):** Application of soft computing to

- predict water quality in wetland. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 185–200. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10344-8>
- Pimentel, D., Berger, B., Filiberto, D., Newton, M., Wolfe, B., Clark, S., Poon, E., Abbett, E., & Nandagopal, S. (2014):** *Water Resources: Agricultural and Environmental Issues*. 3568(October 2004). [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054)
- Prashant, G. (2017):** *Decision Trees in Machine Learning*.
- Prüss-Üstün, A., Wolf, J., Corvalán, C., Bos, R., & Neira, M. (2016):** Preventing disease through healthy environments: a global assessment of the burden of disease from environmental risks. World Health Organization.
- Quinlan, J. R., & Rivest, R. L. (1989):** Inferring decision trees using the minimum description length principle. *Information and computation*, 80(3), 227–248.
- Rakotondrabe, F.(2006) :** Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques, modélisation par le logiciel WEAP 21 : cas du bassin versant de Morondava (Sud-ouest de Madagascar).Mémoire De Recherches Université D'Antananarivo Ecole Supérieure Polytechnique D'Antananarivo 113p.
- Ratnayaka, D. D., Brandt, M. J., & Johnson, M. (2009):** *Water supply*. Butter worth Heinemann.
- Roche, M. (1963):**Hydrologie de surface. ORSTOM et Gauthier-Villars, Paris - France. 431 p.
- Rodier, J., Legube, B., Merlet N. and Brunet ,R. (2009).**L'analyse de l'eau-9e éd.: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod
- Rogers, P. (2006):** Water governance, water security and water sustainability. *Water crisis:myth or reality*, 3–36.
- Roopshah, P. (2016):**Physico-chemical characteristics of groundwater of GohparuTahsil, Shahdol District (MP) India. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 4(1), 93–97.
- Saadoun, A., Ali, M.F., AbdRahman, N.F., Khalid, K. (2014):**An Assessment of Water Demand in Malaysia Using Water Evaluation and Planning System. In: Hassan R., Yusoff M., Ismail Z., Amin N., Fadzil M. (eds) In CIEC 2013. Springer, Singapore.[https://doi.org/10.1007/978-981-4585-02-6\\_64](https://doi.org/10.1007/978-981-4585-02-6_64)
- SEI (2008):**WEAP (Water Evaluation and Planning): User Guide for WEAP-21. Stockholm Environment Institute, Boston.Soc. Civ. Eng. 81, 695–721.
- Seiber, J., Swartz, C., & Huber-Lee, A. (2005):**User guide for WEAP21, Stockholm Environment Institute Tellus Institute, 176 p.

- Semenov, M. A. Brooks R. J. Barrow E. M. Richardson C. W. (1998):** Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates.
- Shahraki & al. (2016):** An application of WEAP model in water resources management considering the environmental scenarios and economic assessment case study: Hirmand Catchment. *Modern Applied Science* 10 (5): 49-56. *Research* 10 (2): 95–107. <https://doi.org/10.3354/cr010095>
- Shiklomanov, I. A., & Rodda J. C. (2003):** World water resources at the beginning of the twenty-first century. Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Shiklomanov, I. A., & Rodda, J. C. (2004):** World water resources at the beginning of the twenty-first century. Cambridge University Press.
- Shivayogimath, C. B., Kalburgi, P. B., Deshannavar, U. B., & Virupakshaiah, D. B. M. (2012):** Water quality evaluation of river Ghataprabha, India. *Research Journal of Environment Sciences*, 1(1), 12–18.
- Somlyódy, L., & Varis, O. (2006):** Freshwater under pressure. *International Review for Environmental Strategies*, 6(2), 181–204.
- Singh, A. (2014):** Conjunctive use of water resources for sustainable irrigated agriculture. *Journal of Hydrology*, 519, 1688–1697.
- Sulis, A., & Sechi, G. M. (2013):** Comparison of generic simulation models for water resource systems. *Environmental Modelling and Software*, 40, 214–225.
- Teutschbein, C, Seibert, J. (2012):** Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: review and evaluation of different methods. *J. Hydrol.* 456–457:12–29. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.052>
- TH, Y. T. (1983):** Relationship between natural water quality and health. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris.
- Tiri, A., Lahbari, N., & Boudoukha, A. (2016):** Hydrochemical characterization of surface water in the Timgad watershed, East Algeria. *Desalination and Water Treatment*, 57(2), 562–571.
- Tucci, C. E. M. (2008):** Mitigating of Water Related natural Disasters in Developing Countries'. *Water and Urban Development Paradigms: Towards and Integration of Engineering, Design and Management Approaches (Proceedings of International Conference, 15-17 September 2008, Leuven)* London: CRC Press, Taylor & Francis Group, 227–236.

- Tundisi, J. G., Matsumura-Tundisi, T., & Tundisi, J. E. M. (2008):** Reservoirs and human well being: new challenges for evaluating impacts and benefits in the neotropics. *Brazilian Journal of Biology*, 68(4), 1133–1135.
- UKHI:(United Kingdom Meterological Office High Resolution)** The Met Office is the UK's national weather service. We provide essential weather services and leading climate science around the world. <https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/maps-and-data/regional-climates/index>
- Venkatesharaju, K., Somashekar, R. K., & Prakash, K. L. (2010):** Study of seasonal and spatial variation in surface water quality of Cauvery river stretch in Karnataka. *Journal of ecology and the natural environment*, 2(1), 1–9.
- Vila, J. M. (1980):** The Alpine chain of eastern Algeria and the Algerian-Tunisian borders, 3rd cycle thesis, 663 pp, Univ. Paris VI, Orsay water resources department (2018) data on the quantities of water distributed.
- Visa, S., Ramsay, B., Ralescu, A. L., & Van Der Knaap, E. (2011):** Confusion Matrix-based Feature Selection. *MAICS*, 710, 120–127.
- WEAP 21:** <http://www.weap21.org/>
- Who, J., Who, J., & Organization, W. H. (1991):** Joint WHO/FAO/UNEP Panel of Experts on Environmental Management for Vector Control (PEEM: report of the ninth meeting, Geneva, 11-15 September 1989, report of the tenth meeting, Rome, 3-7 September 1990. World Health Organization.
- Xue Li, Yue Zhao, Chunli Shi, JianSha, Zhong-Liang Wang, Yuqiu Wang (2015):** Application of Water Evaluation and Planning (WEAP) model for water resources management strategy estimation in coastal Binhai New Area, China. *Ocean & Coastal Management*, 106, 97-109, ISSN 0964-5691, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.01.016>
- Yates, D., Purkey, J., Seiber, A., Huber-Lee, A., Galbraith, H., West, J., Herrod-Julius, S. (2005):** A physically-based, water resource planning model of the Sacramento Basin, California USA. *Am. Soc. Civ. Eng.* 81, 695–721.
- Yazdanpanah, T., Khodashenas, S. R., Davari, K., & Ghahraman, B. (2008):** Water resources management in a Watershed with WEAP model (A case study of Azghad watershed). *Journal of Agriculture Science and Technology*, 22(1), 213–221.
- Zerkaoui, L., Benslimane, M., Hamimed, A. (2018):** Planning and systematic management of water resources by the WEAP model, case of the Mabtouh watershed (northwestern Algeria). *Arabian Journal of Geosciences* 11 (24): 1-17.