

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE KASDI MERBAH
OUARGLA



FACULTE DESHYDROCARBURES,
DES ENERGIES RENOUVELABLES ET DES SCIENCES DE LA TERRE ET
DE L'UNIVERS

Département des Sciences de la Terre et de l'Univers.

Mémoire de Master Académique

THEME

**Cartographie Du Bilan Hydrique Dans Le
Bassin Versant D'Oued Seybouse**

Présenté par

SEDDIKI MEFTAH

Devant le jury

Président : MEDJANI FETHI

Pr. Univ. Ouargla

Promoteur : FIFATI AMRIA

MA.B Univ. Ouargla

Co-Promoteur : DJIDEL MOHAMED

Pr. Univ. Ouargla

Examineur : REMITA ABD RAOUF

MCB Univ. Ouargla

Année Universitaire 2023/2024

إهداء

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على أشرف المرسلين، سيدنا محمد وعلى آله وصحبه
أجمعين.

أهدي هذا العمل المتواضع

إلى والدي العزيز، حفظه الله ورعاه، الذي لم يبخل عليّ بدعوته الصادقة ودعمه المتواصل، فكان
نعم السند والملاذ في مشواري العلمي والحياتي.

إلى روح والدتي الشهيذة الطيبة الغالية، رحمها الله وأسكنها فسيح جناته.

إلى عائلتي الكريمة، قرة عيني ومنيع سعادي، الذين كانوا خير سند ومعين لي في رحلتي
العلمية، فكانوا لي الدافع والمحفز للتقدم والنجاح.

إلى أساتذتي الأفاضل، الذين غرسوا في نفسي حب العلم والمعرفة، وخصوصاً الأستاذ جيدل محمد
والأستاذة فيفاطي عمرية، اللذين أشرفا على هذه المذكرة بتوجيهاتهما القيمة وإرشاداتهما
السديدة، فكانوا لي خير موجه ومرشد في هذا العمل.

إلى رئيس لجنة المناقشة البروفيسور " مجاني فتحي " والأستاذ المناقش " رميته عبد الرؤوف ".

إلى أصدقائي وأحبائي، الذين كانوا معي في السراء والضراء، وساندوني بدعواتهم الصادقة
وتشجيعهم المستمر، فكانوا لي خير رفيق ومؤازر في مسيرتي العلمية والحياتية.

شكر وعرفان

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الحمد و الشكر لله على فضله و كرمه على إكمال هذا العمل المتواضع و ما الكمال إلا لله سبحانه

﴿ وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ وَإِلَيْهِ أُنِيبُ ﴾ [هود: 88]

حيث يسعدني أن أتقدم بكل عبارات الشكر والعرفان إلى:

أبي الكريم الذي لطالما كان السند لي فيما بذله لي من عطاء ودعاء وتربية وقد كان

الدافع الرئيسي في نجاحاتي المستمرة بعون الله وفضله

الأستاذة الكرام المشرفين على مذكرتي البروفيسور "جيدل محمد" والأستاذة "فيفاطي عمرية" اللذان لن تفيهما أي كلمات

حقهما، جهدهما المبذول، دعمهما وتوجيههما المستمر، لوالهما ولولا فضل الله ما تم هذا العمل المتواضع

، فجزاهما عني كل خير

إلى رئيس لجنة المناقشة البروفيسور "مجاني فتحي" والأستاذ المناقش "رميته عبد الرؤوف"، أتقدم بالشكر الجزيل

لتوجيهاتهما القيمة خلال المناقشة.

لقد ساهمت ملاحظتهما الدقيقة وأسئلتهما المحفزة في تحسين جودة العمل وإثراء محتواه بشكل كبير.

الأستاذة الذين تتلمذت عندهم في كامل الأطوار الدراسية

كما أتقدم بالشكر الخاص للسيد "الوقاني بلعلمي" وكذلك "ياسين بلعلمي" الذين فتحوا لي أبواب منزلهم

وقد وفروا لي كل الظروف الملائمة لإتمام هذا البحث المتواضع، فجزاهم الله خير الجزاء

جميع من أعانوني ولو بحرف وقدموا الدعم المادي والمعنوي من بعيد أو قريب في إتمام هذا البحث... هذا

، وأرجو من الله قبول العمل وأن يعلمنا ما ينفعنا وينفعنا بما علمنا

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقديم تحليل مفصل للتوزيع المائي من الناحية الجغرافية، الجيولوجية، الهيدرولوجية، الهيدروجيولوجية، الهيدرولوجية والمناخية لحوض وادي سيبوس الواقع في شمال شرق الجزائر. حيث توفر الخرائط المختلفة (استخدام الأراضي، التساقط، درجات الحرارة، التبخر المحتمل والفعلي) نظرة شاملة عن الظروف البيئية في هذا الحوض. أظهرت التحاليل تباينًا كبيرًا في التساقط على المستوى المكاني والزمني، مع مناطق أكثر رطوبة في الشمال وحالات جوية موسمية مميزة. أما النمط الحراري فهو نموذجي للمناخ المتوسطي مع صيف حار وجاف. قدمت تقديرات التبخر المحتمل والفعلي فهماً أفضل لاحتياجات المياه في الحوض. ولتحقيق إدارة مستدامة لموارد المياه، من الضروري إجراء دراسة متعمقة وفهم دقيق للعمليات الهيدرولوجية المترابطة في المنطقة.

كلمات مفتاحية: وادي سيبوس، مستجمعات المياه، توازن المياه، رسم الخرائط، النمذجة الهيدرولوجية.

Résumé

Cette étude vise à fournir une analyse détaillée de la distribution de l'eau du point de vue géographique, géologique, hydrogéologique, hydrologique et climatique dans le bassin versant de l'Oued Seybouse, situé au nord-est de l'Algérie. Les différentes cartes (l'occupation des sols, précipitations, températures, évapotranspiration potentielle et réelle) offrent une vue d'ensemble des conditions environnementales dans ce bassin. Les analyses ont révélé une grande variabilité des précipitations tant sur le plan spatial que temporel, avec des zones plus humides au nord et des conditions météorologiques saisonnières distinctes. Le régime thermique est typique du climat méditerranéen, caractérisé par un été chaud et sec. Les estimations de l'évapotranspiration potentielle et réelle ont permis une meilleure compréhension des besoins en eau du bassin. Pour parvenir à une gestion durable des ressources en eau, il est nécessaire de mener une étude approfondie et d'acquérir une compréhension précise des processus hydrologiques interconnectés dans la région.

Mots-clés : Oued Seybouse, bassin versant, bilan hydrique, cartographie, modélisation hydrologique.

Abstract

This study aims to provide a detailed analysis of water distribution from geographical, geological, hydrogeological, hydrological, and climatic perspectives in the Seybouse Wadi basin, located in northeastern Algeria. Various maps (land use, precipitation, temperature, potential and actual evapotranspiration) offer a comprehensive overview of the environmental conditions in this basin. Analyses revealed significant spatial and temporal variability in precipitation, with more humid areas in the north and distinct seasonal weather patterns. The thermal regime is typical of the Mediterranean climate, characterized by hot, dry summers. Estimates of potential and actual evapotranspiration provided a better understanding of the basin's water needs. To achieve sustainable water resource management, it is necessary to conduct an in-depth study and gain a precise understanding of the interconnected hydrological processes in the region.

Keywords: Seybouse Wadi, watershed, water balance, mapping, hydrological modeling.

Table des matières

إهداء.....	I
شكر وعرفان.....	II
ملخص.....	III
Résumé.....	III
Abstract.....	III
Table des matières.....	IV
Liste des tableaux.....	VII
Liste des figures.....	VIII
Introduction Générale.....	2
problématique:.....	3
CHAPITRE ¹ Généralités sur le Bassin Versant d'Oued Seybouse.....	4
Introduction.....	5
1.Situation géographique de la région d'étude.....	6
2. Aperçu socio-économique de cette région.....	7
3. Aperçu géologique.....	8
3.1. Contexte géologique régional.....	8
3.2 Géologie du bassin de l'Oued Seybouse.....	8
4.L'hydrogéologie.....	10
4.1. Les caractéristiques des aquifères de la région.....	10
4.1.1. La nappe aquifère du remplissage « Mio-Plio-Quaternaire ».....	11
4.1.2. La nappe profonde des calcaires.....	11
5. Pédologie.....	12
5.1 Les principaux types de sols rencontrés dans la vallée d'Oued Seybouse.....	13
6.L'Hydrologie et Topographie.....	13
6.1. Hydrologie du la Seybouse.....	13
6.1.1 Réseau hydrographique.....	13
6.2. Topographie.....	15
6.2.1. Altitude.....	15
6.2.2. Relief.....	16
Conclusion.....	18
Chapitre ² Matériels et Méthodes.....	19
Introduction.....	20
1.Matériels et données utilisées.....	21

1.1. Données utilisées.....	21
1.1.1. Les cartes scannées	21
1.1.2. Images satellitaires	21
1.1.2.1. Modèle Numérique de terrain (MNT).....	21
1.1.2.2. Les images Google-Earth et Basemap ArcGIS	21
1.1.3. Les données climatiques	22
1.2. Les logiciels utilisés.2.les logiciels utilisés.....	22
1.2.1. Arc Gis 10.8.2	22
1.2.2. Google Earth Pro.....	23
1.2.3. Wondershare EdrawMax V ^{12.6.1}	23
2. Méthodes	23
2.1. La modélisation hydrologique.....	24
2.1.1. Processus d'extraction du réseau hydrologique.....	24
2.2. Digitalisation des cartes scannées (géologique, hydrogéologique et pédologique)...	25
2.3. Digitalisation et traitement de la carte topographique (1/50000).....	25
2.4. Réalisation de la carte (des précipitations, Température, ETP et ETR).....	26
2.5. Réalisation de la carte d'occupation des sols	26
Conclusion.....	28
Chapitre ³ Résultats et Discussions	29
Introduction	30
1. Précipitations.....	30
1.1. Précipitation moyenne annuelle (1972 à 2022).....	30
1.2. Précipitations moyennes mensuelle	31
1.2.1. Précipitations moyennes pour l'automne.....	32
1.2.2. Précipitation moyenne pour l'hiver	33
1.2.3. Précipitation moyenne pour le printemps	35
1.2.4. Précipitation moyenne pour l'été.....	35
2. Température pour 50 année (1972 à 2022)	37
2.1. Température moyenne annuelle	37
2.2. Températures moyennes mensuelle	38
2.2.1. Température moyenne pour l'automne.....	38
2.2.2. Température moyenne pour l'hiver	40
2.2.3. Température moyenne pour le printemps	41
2.2.4. Température moyenne pour l'été.....	42

3.Pluviothermie moyenne mensuelle	43
4. Indice d'aridité	45
4.1. Indice d'aridité P/ETP	45
4.2. Indice d'Aridité De Martonne.....	46
5. Bilan Hydrique	48
5.1. Évapotranspiration potentielle pour 50 année (1972 à 2022)	48
5.1.1. Évapotranspiration potentielle annuelle (ETP)	48
5.1.2. Évapotranspiration potentielle mensuelle	50
5.1.2.1. Évapotranspiration potentielle pour l'automne.....	50
5.1.2.2. Évapotranspiration potentielle pour l'hiver	51
5.1.2.3. Évapotranspiration potentielle pour le printemps	53
5.1.2.4. Évapotranspiration potentielle pour l'été.....	54
5.2. Evapotranspiration réelle	56
5.2.1. Evapotranspiration réelle annuelle (ETR).....	56
5.2.2. Evapotranspiration réelle mensuelle	57
5.2.2.1. Evapotranspiration réelle pour l'automne.....	57
5.2.2.2. Evapotranspiration réelle pour l'hiver	58
5.2.2.3. Evapotranspiration réelle pour le printemps	59
5.2.2.4. Evapotranspiration réelle pour l'été.....	61
6.Ruissellement	62
7.Infiltration	64
Conclusion.....	65
Conclusion générale	66
Bibliographiques	67

Liste des tableaux

Tableau 1: Indice d'aridité P/ETP (www.bonobosworld.org).....	45
Tableau2 : Classement en fonction de l'indice d'Aridité De Martonne (www.bonobosworld.org).....	47

Liste des figures

Figure 01 : Situation Géographique du BV Seybouse (Meftah Seddiki).....	7
Figure 02 : Carte Géologique du Bassin Versant d'Oued Seybouse (carte géologique de l'Algérie du Nord au 1/500000 modifiées par Meftah Seddiki).....	9
Figure 03 : Carte Hydrogéologique du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Cartes scannées des l'ANRH modifiées par Meftah Seddiki).....	10
Figure 04 : Carte des Sols du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Carte des sols Constantine/ Tébessa 1948, 1/500000 modifiées par Meftah Seddiki).....	12
Figure 05 : Carte hydrologique du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).....	14
Figure 06 : Carte d'altitude du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).....	16
Figure 07 : Carte des pentes du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).....	17
Figure 08 : Processus général d'extraction du réseau hydrologique (Meftah Seddiki).....	24
Figure 09: Carte d'occupation des sols du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Global LULC maps modifiées par Meftah Seddiki).....	27
Figure 10 : Carte de précipitation moyenne annuelle du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).....	31
Figure 11 : Carte de précipitations moyennes pour l'automne du Bassin Versant d'Oued Seybousse (Meftah Seddiki).....	33
Figure 12 : Carte de précipitations moyennes pour l'hiver du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).....	34
Figure 13 : Carte de précipitations moyennes pour le printemps du Bassin Versant d'Oued Seybousse (Meftah Seddiki).....	35
Figure 14 : Carte de précipitations moyennes pour l'été du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).....	37
Figure 15 : Carte de Température moyenne annuelle du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).....	38
Figure 16 : Carte de Température moyenne pour l'automne du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).....	39
Figure 17 : Carte de Température moyenne pour l'hiver du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).....	41
Figure 18 : Carte de Température moyenne pour le printemps du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).....	42
Figure 19 : Carte de Température moyenne pour l'été du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).....	43

Figure 20 : Cartes des Pluviothermie moyennes mensuelles du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).	44
Figure 21 : Carte d'indice d'aridité P/ ETP du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).....	46
Figure 22 : Carte de l'indice d'Aridité De Martonne du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).....	48
Figure 23 : Carte de Évapotranspiration potentielle annuelle du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).	49
Figure 24 : Carte d'évapotranspiration potentielle pour l'automne du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).	51
Figure 25 : Carte d'évapotranspiration potentielle pour l'hiver du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).	52
Figure 26 : Carte d'évapotranspiration potentielle pour le printemps du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).	54
Figure 27 : Carte d'évapotranspiration potentielle pour l'été du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).	55
Figure 28 : Carte d'évapotranspiration réelle annuelle du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).....	57
Figure 29 : Carte d'evapotranspiration réelle pour l'automne du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).	58
Figure 30 : Carte d'évapotranspiration réelle pour l'hiver du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).....	59
Figure 31 : Carte d'évapotranspiration réelle pour le printemps du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).	60
Figure 32 : Carte d'evapotranspiration réelle pour l'été du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).....	62
Figure 33 : Carte Ruissellement du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).	63
Figure 34 : Carte d'Infiltration du bassin versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).	64

Introduction Générale.

Introduction Générale

Ce premier chapitre intitulé "Généralités sur le Bassin Versant d'Oued Seybouse" vise à donner un aperçu complet de la région étudiée. Il commence par situer géographiquement le bassin versant d'Oued Seybouse au niveau national et régional, en précisant ses coordonnées géographiques, ses limites administratives et ses principales caractéristiques physiques. Cette localisation permet de mieux appréhender l'importance stratégique de cette région dans le contexte national et régional.

Ensuite, un aperçu socio-économique permet de mieux comprendre le contexte humain et les activités présentes sur ce territoire. Cette section aborde la démographie, les principales activités économiques telles que l'agriculture, l'industrie et les services, ainsi que les infrastructures existantes. Elle met en lumière les interactions entre les populations locales et leur environnement, et comment ces activités influencent et sont influencées par les caractéristiques naturelles du bassin versant.

Les aspects géologiques sont abordés en détail, avec une description du contexte géologique régional et spécifiquement du bassin d'Oued Seybouse. Cette partie inclut une analyse des formations géologiques, des structures tectoniques et des processus géomorphologiques qui ont façonné le paysage actuel. Une attention particulière est portée aux ressources minérales et aux matériaux de construction présents dans la région, ainsi qu'à leur exploitation.

L'hydrogéologie est également traitée, en présentant les principales nappes aquifères de la région, à savoir la nappe du remplissage Mio-Plio-Quaternaire et la nappe profonde des calcaires. Leurs caractéristiques sont explicitées, incluant la composition chimique des eaux, les débits, les niveaux piézométriques et les dynamiques de recharge et de décharge. Cette section met en évidence l'importance des ressources en eau souterraine pour l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation et les usages industriels.

La pédologie n'est pas en reste, avec une énumération des principaux types de sols rencontrés dans la vallée d'Oued Seybouse. Cette partie décrit les propriétés physiques et chimiques des sols, leur distribution spatiale et leur aptitude à différentes utilisations agricoles. Elle aborde également les enjeux de dégradation des sols, tels que l'érosion, la salinisation et la pollution, et les pratiques de gestion durable des sols.

Enfin, une section est consacrée à l'hydrologie et à la topographie du bassin versant. Le réseau hydrographique est décrit, tout comme les spécificités altimétriques et du relief du territoire étudié. Cette partie inclut une analyse des régimes hydrologiques, des précipitations, des écoulements de surface et des inondations. Elle examine également les interactions entre la topographie et les processus hydrologiques, et comment ces interactions influencent la gestion des ressources en eau et la prévention des risques naturels.

problématique:

Comment la variabilité spatiale et temporelle des précipitations, combinée aux effets de la chaleur et de l'évapotranspiration potentielle et réelle, influence-t-elle la disponibilité en eau dans les différentes parties du bassin versant de Seybouse ?

CHAPITRE ¹
Généralités sur le Bassin Versant
d'Oued Seybouse.

Introduction

Dans chapitre ¹, la région d'étudée représente une zone d'importance majeure tant sur le plan géographique que socio-économique. Ce chapitre vise à offrir une vue d'ensemble complète de cette région, en abordant divers aspects allant de sa situation géographique à ses caractéristiques hydrologiques et topographiques.

Nous commencerons par définir précisément la localisation du bassin, avant de nous pencher sur son profil socio-économique, en examinant notamment la répartition de sa population, l'importance de son agriculture et le développement de son secteur industriel. Par la suite, nous explorerons le contexte géologique de la région, en nous concentrant particulièrement sur la géologie spécifique du bassin de l'Oued Seybouse.

L'étude se poursuivra par une analyse hydrogéologique, mettant en lumière les caractéristiques des principaux aquifères de la zone. Nous nous intéresserons ensuite à la pédologie, en identifiant les types de sols prédominants dans la vallée. Enfin, nous conclurons ce chapitre par un examen approfondi de l'hydrologie et de la topographie du bassin, en détaillant son réseau hydrographique, ses altitudes et son relief.

1.Situation géographique de la région d'étude

Le bassin de la Seybouse présente une grande diversité d'ensembles naturels. Il s'étend sur une superficie de 6476 km². L'Oued Seybouse (Fig.01), dont l'embouchure se situe près de la ville d'Annaba, s'étire vers le Sud sur 160 km jusqu'aux confins de l'Atlas saharien. Dans sa partie centrale, le bassin atteint sa largeur maximale de 120 km, s'étendant du Djebel Ouahch à l'West (source d'Oued Semendou) jusqu'au Oued EL Kebir à l'Est. Il est le troisième plus grand bassin en superficie en Algérie, après Oued EL Kebir du Rhumel et Oued Medjerdah-Mellegue. Au Nord-Est, il est limitrophe de la Tunisie par les territoires tributaires d'Oued Bounamoussa. Au Sud, le bassin de Haute Cherf, qui correspond à la partie supérieure de la Seybouse, s'étend jusqu'aux hautes plaines à une altitude variant entre 800 m et 1000 m. La limite du bassin reste floue dans cette région en raison de la nature irrégulière des petits cours d'eau. Au Sud-West, la limite du bassin correspond à la haute plaine de Sellaoua, qui appartient en partie au bassin de la Seybouse vers le Nord-West. Plus au nord, la limite passe par plusieurs montagnes avant de suivre un axe Est-West appelé chaîne Numidique. Le bassin de la Seybouse est également entouré de bassins plus petits, tels que le lac Fetzara à l'West et Oued Bounamoussa à l'Est. En allant du Sud vers le Nord, on distingue trois zones principales, "TRADKHODJA, W (2007)"

- ✓ Le bassin de la Haute Seybouse.
- ✓ Le bassin de la Moyenne Seybouse.
- ✓ Le bassin de la Basse Seybouse.

Chapitre 1 : Généralités sur le bassin versant d'Oued Seybouse

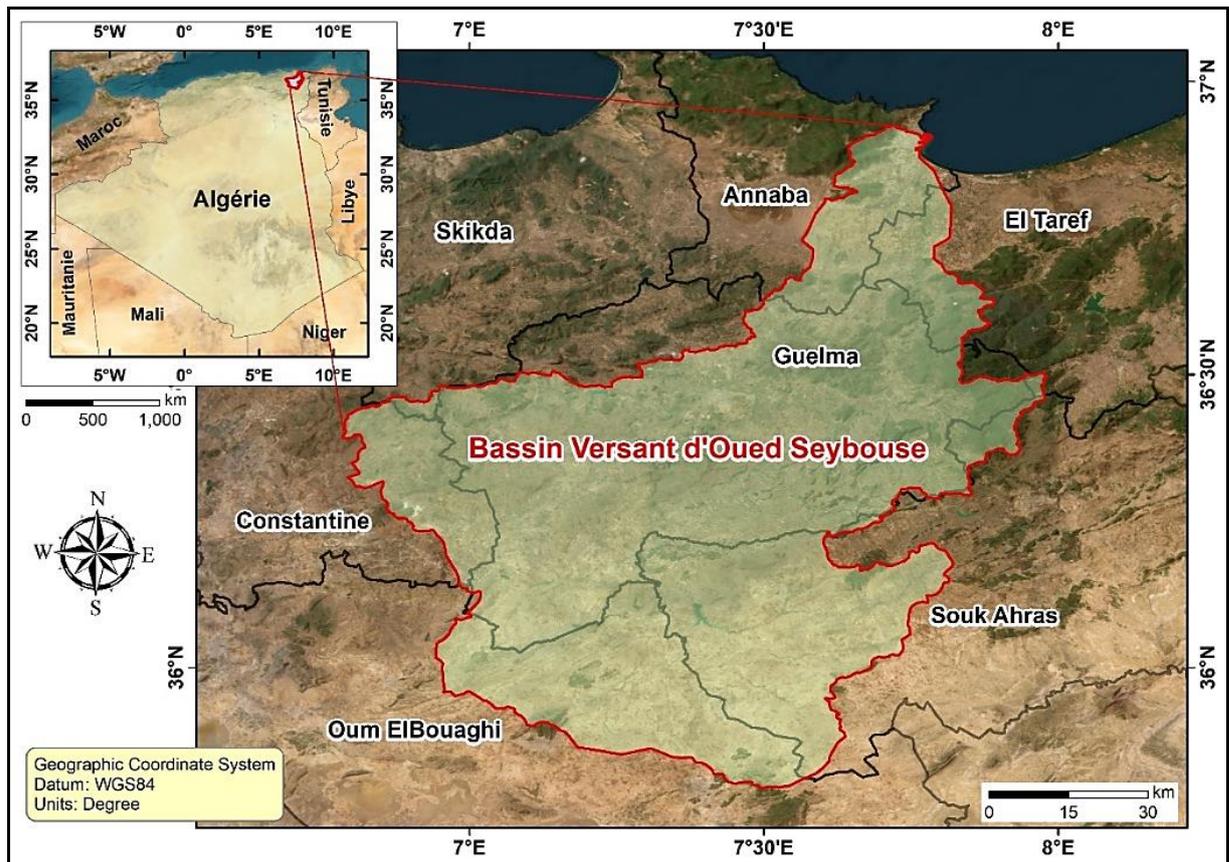


Figure 01 : Situation Géographique du BV Seybouse (Meftah Seddiki).

2. Aperçu socio-économique de cette région

Le bassin versant de la Seybouse, est une région à forte densité démographique caractérisée par une économie diversifiée. Sa population, en croissance constante, se concentre principalement dans les centres urbains tels qu'Annaba et Guelma, exerçant une pression croissante sur les ressources hydriques pour les besoins domestiques et municipaux.

L'économie de la région repose sur trois piliers majeurs : l'agriculture, l'industrie et les services urbains. Le secteur agricole, prédominant, se distingue par la culture de céréales, de produits maraîchers, et par une arboriculture fruitière développée, notamment les agrumes et les oliviers. L'élevage, soutenu par la production fourragère, complète ce tableau agricole. L'irrigation, largement répandue dans les plaines alluviales fertiles, consomme une part significative des ressources en eau du bassin .

Le tissu industriel, concentré autour d'Annaba, est marqué par la présence du complexe sidérurgique d'El Hadjar, d'industries agroalimentaires, chimiques, pétrochimiques, et de production de matériaux de construction. Ces activités industrielles nécessitent des volumes d'eau considérables pour leurs processus de production.

Chapitre 1 : Généralités sur le bassin versant d'Oued Seybouse

La gestion durable des ressources hydriques dans cette région nécessite une approche intégrée, prenant en compte les besoins de tous les secteurs économiques tout en préservant l'équilibre écologique du bassin versant. L'agriculture, consommant environ 65-70% de l'eau utilisée, apparaît comme le secteur le plus gourmand en ressources hydriques, suivi par l'industrie (20-25%) et l'usage domestique (10-15%). Ces chiffres soulignent l'importance d'optimiser l'utilisation de l'eau, particulièrement dans le secteur agricole, pour assurer une gestion durable des ressources hydriques de la région. (ONS-Algeria)

3. Aperçu géologique

3.1. Contexte géologique régional

La région d'Oued Seybouse est marquée par une géologie complexe résultant de l'histoire géodynamique de la chaîne des Maghrébides qui s'étend du Maroc à la Tunisie. Cette chaîne plissée correspond à un ancien domaine océanique fermé, la Téthys maghrébide, au Crétacé supérieur durant l'orogénèse alpine.

Les principaux ensembles structuraux traversés par l'Oued Seybouse sont

- ✓ Le domaine interne ou domaine des flyschs, correspondant aux restes du bassin téthysien métamorphisés.
- ✓ Le domaine des nappes telliennes composé de puissantes séries sédimentaires mésozoïques et paléogènes.
- ✓ Le domaine des hautes plaines constantinoises formé de bassins subsidés d'âge néogène.

3.2 Géologie du bassin de l'Oued Seybouse

Le bassin d'Oued Seybouse est une vaste dépression d'âge Néogène à Quaternaire remplie par des dépôts détritiques issus de l'érosion des reliefs environnants. L'épaisseur de ces remplissages sédimentaires peut atteindre 1500 mètres.

On distingue principalement

- Des dépôts Oligocènes à Miocènes inférieurs constitués de molasses et de conglomérats.
- Des formations Miocènes marines peu profondes (grès, argiles, calcaires).
- Des formations continentales d'âge Plio-Quaternaire avec des alluvions fluviales et des cônes de déjection.

La structure actuelle du bassin résulte de la tectogenèse récente avec la formation d'une série de fossés d'effondrement crustaux d'orientation ENE-WSW à remplissage sédimentaire important.

Chapitre 1 : Généralités sur le bassin versant d'Oued Seybouse

Les ressources hydrogéologiques sont localisées dans les formations grésocalcaires du Miocène inférieur et moyen ainsi que dans les dépôts alluviaux récents (fig.02).

L'Oued Seybouse draine une grande partie de ces aquifères en s'écoulant d'West en Est perspectives.

La compréhension de la géométrie et du remplissage sédimentaire de ce bassin Néogène intra montagneux revêt un enjeu économique important pour l'exploration des ressources en eau dans cette région semi-aride. Des études complémentaires sur la structure profonde et la géométrie des aquifères permettraient de mieux cerner le potentiel hydrogéologique.

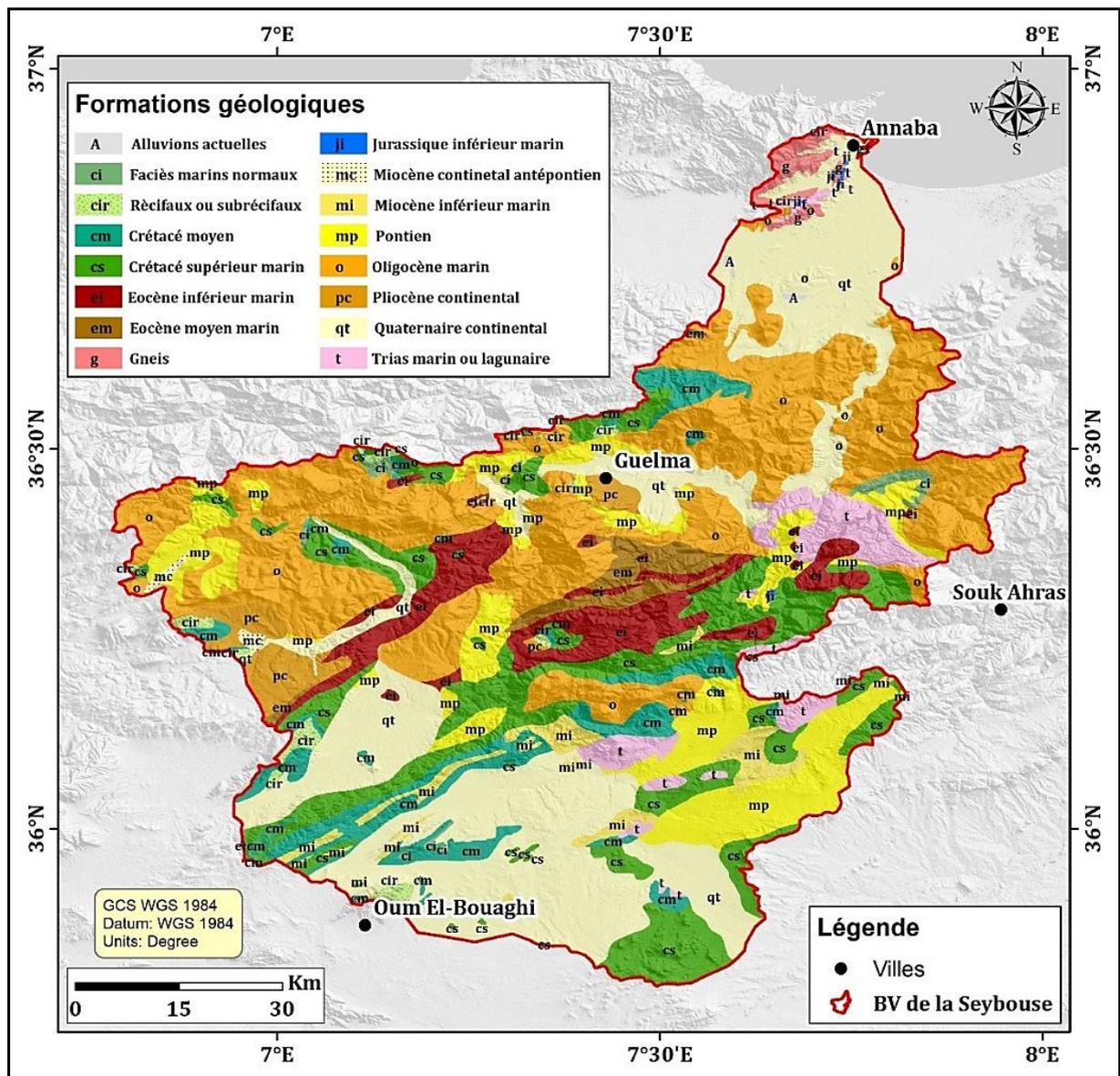


Figure 02 : Carte Géologique du Bassin Versant d'Oued Seybouse (carte géologique de l'Algérie du Nord au 1/500000 modifiées par Meftah Seddiki).

4.L'hydrogéologie

Pour une détermination des différents aquifères et une appréciation des différentes formations le renfermant, une étude hydrogéologique est recommandée. Cela serait très intéressant car les informations qui en ressortiraient nous indiqueraient si la région ferait ou non des échanges à un niveau souterrain concernant les aquifères. Un essai d'identification permettant d'identifier les aquifères, de déterminer leurs stocks et du même coup, de connaître voir leurs caractéristiques hydrogéologiques pour connaître les potentialités en eau souterraine de la région (fig.03).

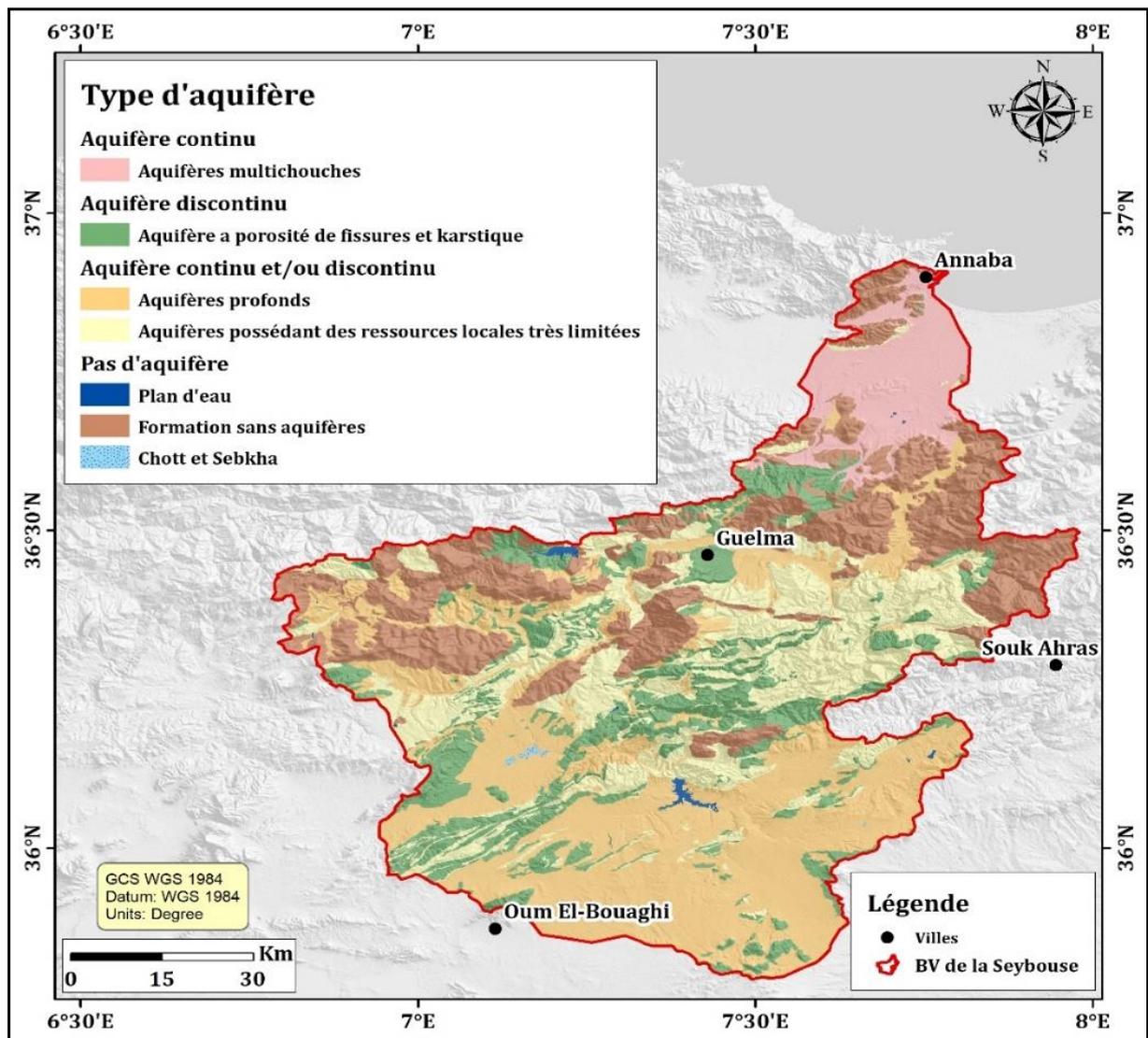


Figure 03 : Carte Hydrogéologique du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Cartes scannées des l'ANRH modifiées par Meftah Seddiki).

4.1. Les caractéristiques des aquifères de la région

Le système aquifère du bassin versant d'Oued Seybouse présente une configuration particulièrement complexe en raison de la diversité des formations géologiques.

On y distingue deux principaux types de nappes

Chapitre 1 : Généralités sur le bassin versant d'Oued Seybouse

Les nappes libres superficielles constituées par les dépôts quaternaires et Mio-Plio-Quaternaires. Les nappes captives plus profondes situées dans les calcaires anciens du Crétacé et du Jurassique.

Cette complexité est renforcée par la présence de couches argileuses et marneuses imperméables qui forment localement le toit des nappes profondes, leur conférant ainsi un caractère captif. Les différents horizons aquifères profonds communiquent entre eux soit directement à travers les couches perméables, soit par l'intermédiaire de failles affectant les formations calcaires et permettant la circulation de l'eau.

On observe une interconnexion complexe entre les nappes libres de surface et les nappes captives en profondeur dans ce bassin. Cette configuration hydrogéologique riche mais difficile à appréhender résulte de la géologie complexe et de la structure plissée et faillée de la région.

4.1.1. La nappe aquifère du remplissage « Mio-Plio-Quaternaire »

La Nappe Aquifère du Remplissage "Mio-Plio-Quaternaire" est constituée de dépôts alluviaux et lacustres datant des périodes Miocène, Pliocène et Quaternaire, principalement composés de sables, graviers, argiles et limons. Occupant la partie superficielle du terrain, son épaisseur varie de 3 à 95 mètres (Telali, 2016). Peu profonde et à bonne perméabilité, cette nappe se recharge facilement par infiltration des eaux de surface, notamment lors des crues d'Oued Seybouse et de ses affluents. L'eau circule de manière horizontale à travers les matériaux perméables, souvent en connexion avec les cours d'eau. Largement exploitée pour l'irrigation, l'eau potable et les usages industriels, sa surexploitation peut cependant entraîner une baisse des niveaux piézométriques, une diminution de la recharge et une dégradation de la qualité de l'eau par intrusion saline ou pollution (Bouderbala, A., et al. (2016)).

4.1.2. La nappe profonde des calcaires

Située dans les formations calcaires karstifiées du Crétacé et du Jurassique, la Nappe Profonde des Calcaires présente une structure hétérogène en raison de la présence de réseaux de fissures et de cavités. Profonde, cette nappe se recharge principalement par infiltration des précipitations dans les zones karstiques et par percolation à travers les fractures des calcaires, notamment dans le bassin versant d'Oued Seybouse, l'eau y circule rapidement à travers les réseaux karstiques, pouvant entraîner des variations rapides des niveaux d'eau en réponse aux précipitations, la circulation, souvent complexe et tridimensionnelle, rend difficile l'identification des zones de recharge et de décharge, exploitée pour l'eau potable et certains

Chapitre 1 : Généralités sur le bassin versant d'Oued Seybouse

usages industriels, la gestion de cette nappe est délicate, la pollution pouvant se propager rapidement à travers les réseaux karstiques et affecter la qualité de l'eau.

De plus, la formation aquifère présente une dominance marno-calcaire de la nappe tellienne (Djabri, L., et al. (2008)).

5. Pédologie

La région d'Oued Seybouse, présente une diversité de types de sols en raison de sa géographie et de ses conditions climatiques variées. L'étude pédologique de cette zone a permis d'identifier plusieurs catégories de sols, qui jouent un rôle crucial dans les activités agricoles et la gestion des ressources naturelles de la région.

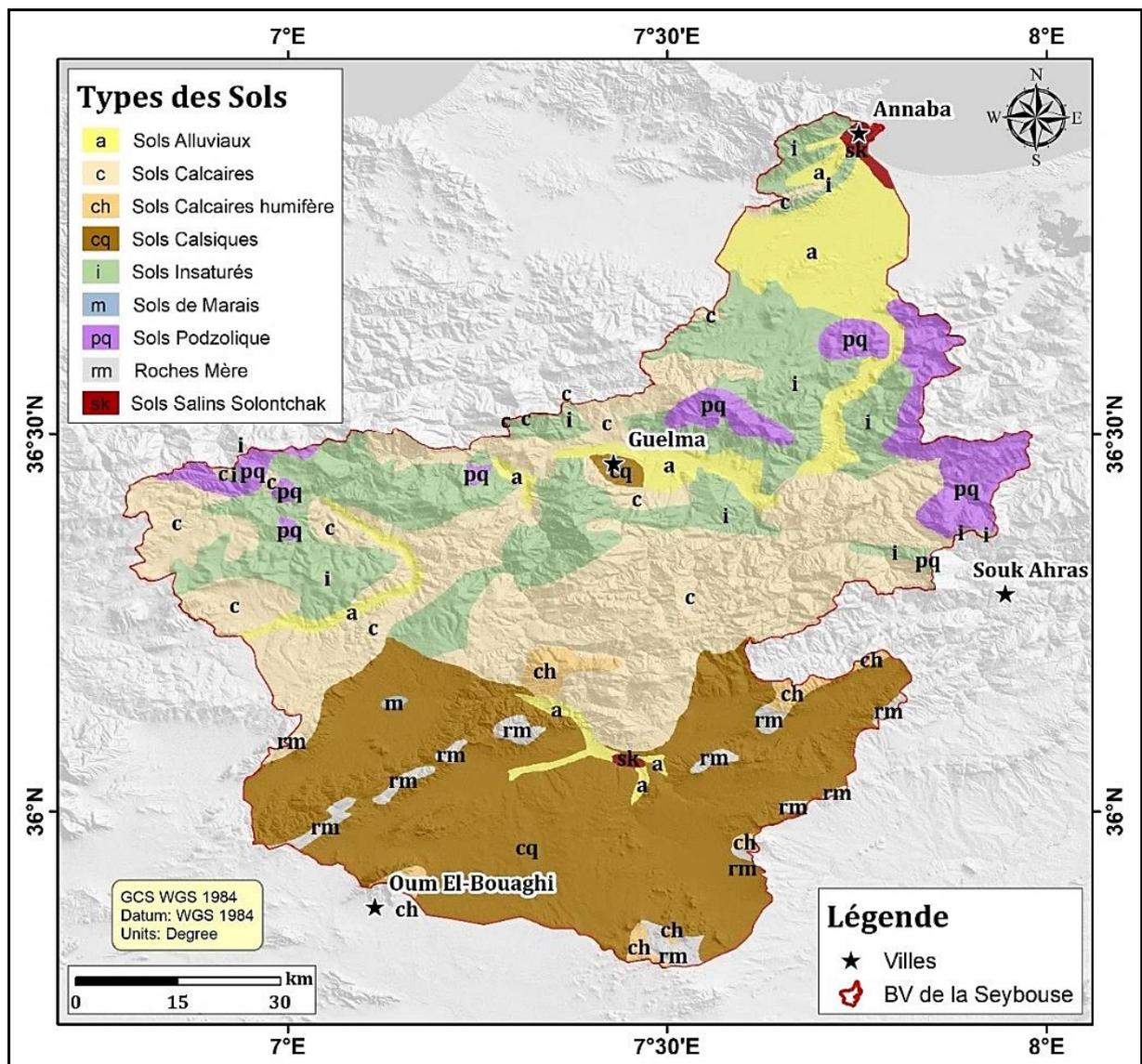


Figure 04 : Carte des Sols du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Carte des sols Constantine/ Tébessa 1948, 1/500000 modifiées par Meftah Seddiki).

Chapitre 1 : Généralités sur le bassin versant d'Oued Seybouse

5.1 Les principaux types de sols rencontrés dans la vallée d'Oued Seybouse

Les sols alluviaux couvrent une superficie de 620,59 km², soit 9,58% de la zone d'étude. Ce sont des sols très fertiles, formés par les dépôts successifs des crues d'Oued Seybouse. Riches en matière organique et en éléments nutritifs, ces sols alluviaux sont particulièrement propices aux activités agricoles.

Les sols calcaires représentent une part importante de 29,43% de la superficie, avec 1906,22 km². Adaptés aux cultures méditerranéennes comme la vigne, les oliviers ou les agrumes, ces sols calcaires se caractérisent par leur forte teneur en calcaire.

Les sols calcaires humifères une sous-catégorie de sols calcaires, occupe 104,30 km², soit 1,61% de la zone.

Les sols calciques constituent la catégorie la plus étendue, couvrant 1989,09 km², soit 30,71% de la région.

Les sols insaturés qui représentent 20,42% de la superficie avec 1322,90 km², sont également bien représentés.

Les sols de marais ne représentent qu'une très faible proportion de la superficie totale de la région. En effet, seulement 4,14 km², soit 0,06% de la zone d'étude, sont occupés par ce type de sol. Bien que leur étendue soit limitée, ces sols de marais jouent néanmoins un rôle important dans l'écosystème local, notamment pour la régulation des eaux et le maintien de la biodiversité.

Les sols podzoliques couvrent 387,74 km², soit 5,99% de la zone.

La roche mère affleure sur 115,75 km², soit 1,79% de la superficie.

Les sols salins de type Solontchak occupant 26,22 km² (0,40%), posant des défis pour l'agriculture en raison de leur salinité élevée.

Cette diversité des types de sols reflète les conditions géologiques, géomorphologiques et climatiques variées qui prévalent dans la vallée d'Oued Seybouse. La connaissance approfondie de ces caractéristiques pédologiques est essentielle pour orienter de manière durable les pratiques de gestion et d'utilisation des terres dans cette région (ArcGis10.8.2).

6.L'Hydrologie et Topographie

6.1. Hydrologie du la Seybouse

6.1.1 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique du bassin versant d'Oued Seybouse est composé quatre principaux cours d'eau (A.B.H., 2005) (Fig.05)

- ❖ Oued Seybouse prend sa source à Medjez Amar, au point de rencontre entre Oued Charef et Oued Bouhamdane. Il traverse la plaine de Guelma-Bouchegouf sur plus de

Chapitre 1 : Généralités sur le bassin versant d'Oued Seybouse

45 km d'ouest en est. Son apport total est estimé à 408 millions de m³/an à la station de Boudroua (commune d'Aïn Ben Beida).

- ❖ Oued Bouhamdane prend sa source dans la commune de Bouhamdane, à l'West de la wilaya. Son apport est de 96 millions de m³/an à la station de Medjez Amar.
- ❖ Oued Mellah provenant du Sud-Est, enregistre un apport total de 151 millions de m³/an à la station de Bouchegouf.
- ❖ Oued Charef prend sa source au Sud de la wilaya et son apport est estimé à 107 millions de m³/an à la station de Medjez Amar I (Boussis, 2009).

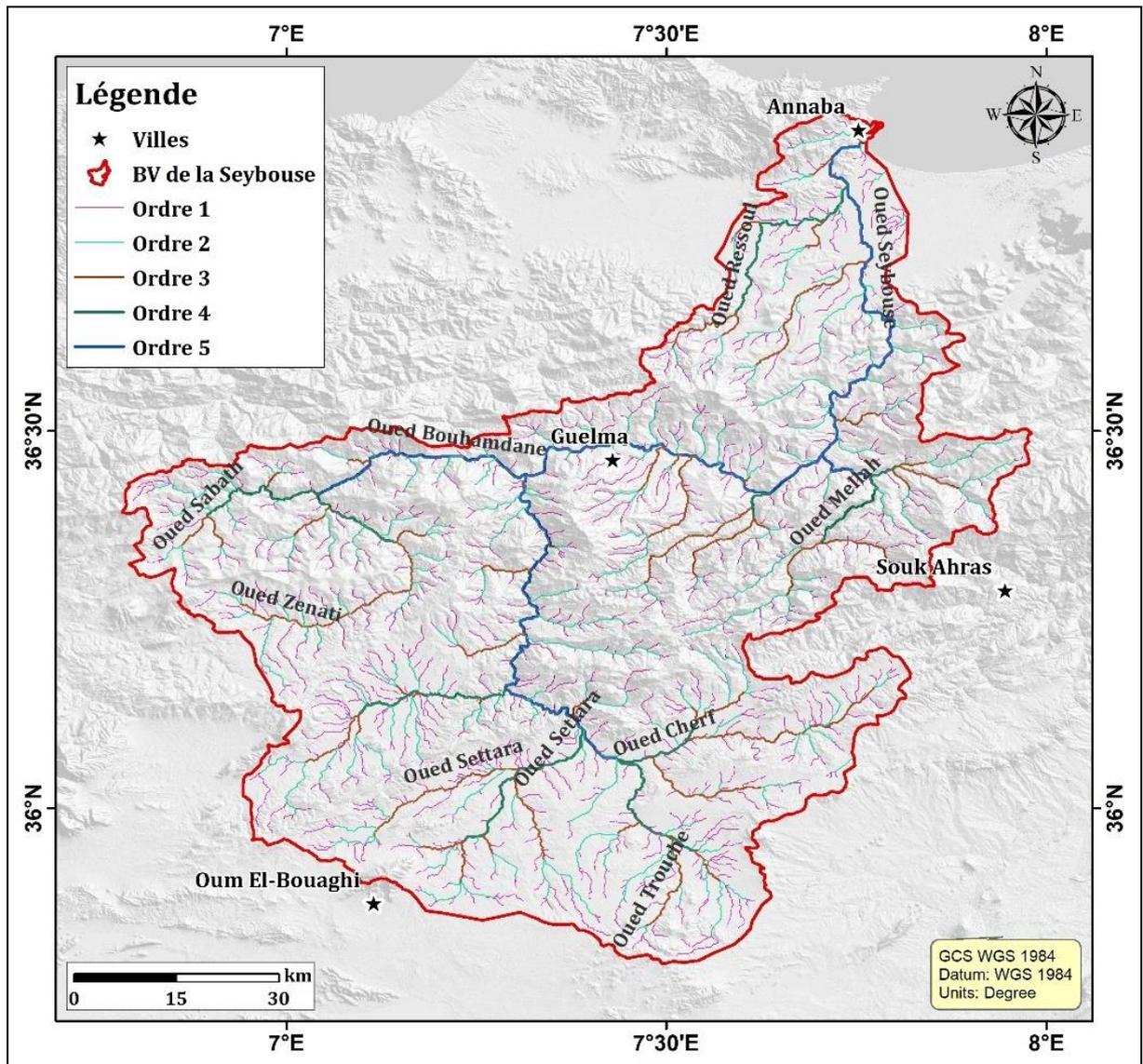


Figure 05 : Carte hydrologique du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

6.2. Topographie

6.2.1. Altitude

Le terrain est assez varié, allant des zones basses près du niveau de la mer aux régions montagneuses atteignant plus de 1800 mètres d'altitude (fig.06).

La partie Nord du bassin, près de la côte et des villes comme Annaba, est relativement plate avec des hauteurs inférieures à 200 mètres. En se déplaçant vers le sud, le terrain devient plus élevé et accidenté, avec plusieurs chaînes de montagnes et sommets dépassant les 1000 mètres.

Les parties centrales et méridionales du bassin sont dominées par les hautes altitudes des chaînes de montagnes de l'Atlas Tellien et de l'Atlas Saharien. Ces zones présentent un relief complexe avec de nombreuses crêtes, vallées et sommets allant de 800 à 1600 mètres d'altitude. Certains points les plus élevés dépassent 1600 mètres, en particulier dans le coin Sud-West près de la ville de Souk Ahras.

Les sections orientales et Sud-Orientales du bassin présentent une pente descendante plus progressive vers les altitudes plus basses près de la côte, avec des hauteurs généralement comprises entre 200 et 800 mètres.

Dans l'ensemble, le bassin de la rivière Seybouse présente une topographie diversifiée, passant des basses terres côtières dans le Nord à un terrain montagneux et accidenté dans les régions centrales et méridionales, avec un mélange de pics élevés, de vallées et de relief ondulé à travers tout le bassin.

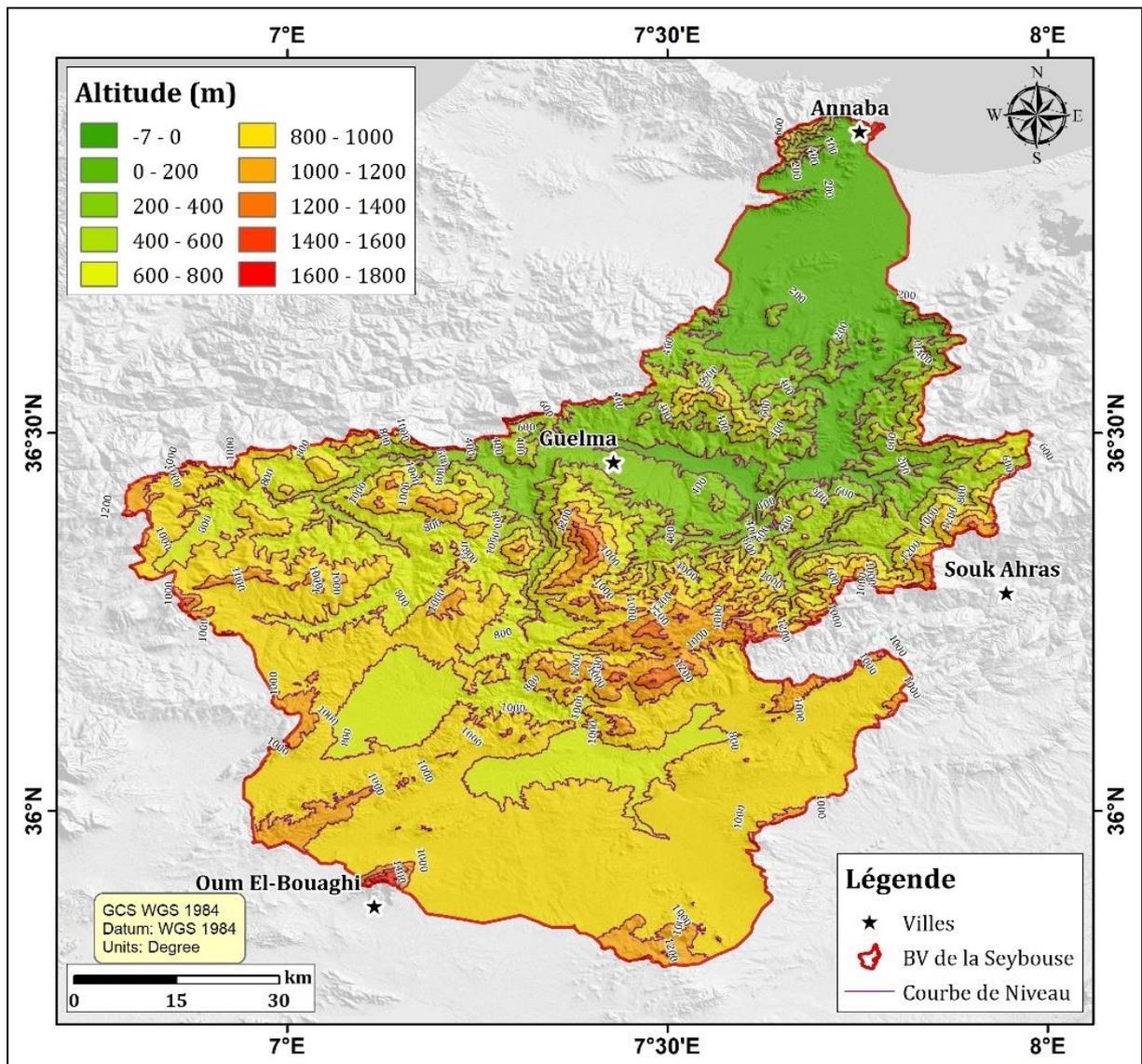


Figure 06 : Carte d'altitude du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

6.2.2. Relief

D'après la carte des pentes du bassin de la vallée de la Seybouse, je peux vous fournir une analyse détaillée de la topographie de cette région

Le bassin est caractérisé par une grande variété de pentes allant des zones relativement plates à des zones très escarpées (fig.07).

Les zones de pentes les plus douces, entre 0% et 6%, se trouvent principalement dans les régions côtières et les plaines autour d'Annaba au Nord, ainsi que dans certaines vallées et plaines intérieures. Ces zones plates à légèrement ondulées représentent une partie importante du bassin.

On observe ensuite des zones de pentes modérées entre 6% et 12%, souvent situées dans les zones de transition entre les plaines et les régions plus montagneuses. Ces pentes correspondent à des collines et reliefs peu élevés.

Chapitre 1 : Généralités sur le bassin versant d'Oued Seybouse

Les régions de pentes plus prononcées, entre 12% et 18%, deviennent plus présentes en s'éloignant des côtes et en pénétrant dans les zones montagneuses. Ces terrains accidentés représentent une part significative du bassin, notamment autour de Guelma.

Enfin, les pentes les plus abruptes supérieures à 18%, atteignant jusqu'à près de 57%, se retrouvent principalement dans les chaînes de montagnes du Tell et de l'Atlas Saharien qui traversent le Sud et l'West du bassin, offrant un relief très escarpé et montagneux, particulièrement autour de Souk Ahras.

En résumé, le bassin de la Seybouse présente une topographie contrastée, avec des plaines côtières, des vallées intérieures relativement plates, des zones de collines et de reliefs modérés, puis des massifs montagneux très escarpés dans les régions intérieures du bassin.

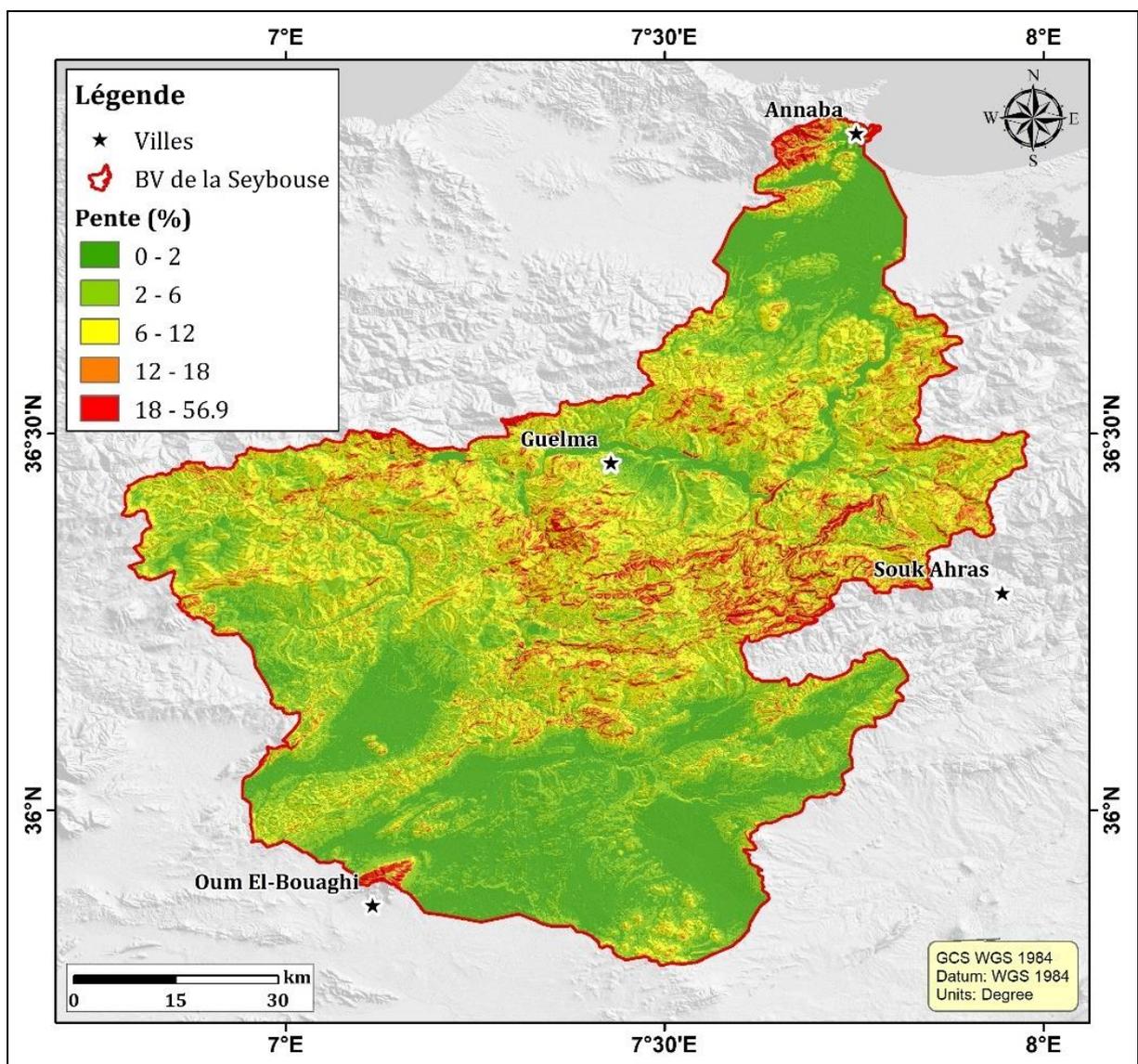


Figure 07 : Carte des pentes du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

Chapitre 1 : Généralités sur le bassin versant d'Oued Seybouse

Conclusion

Au terme de ce premier chapitre, nous avons pu établir un portrait détaillé du bassin versant de la Seybouse, mettant en lumière la complexité et la richesse de cet écosystème. La situation géographique stratégique de la région, couplée à sa diversité socio-économique, en fait un territoire d'une importance capitale pour le nord-est algérien.

L'examen des aspects géologiques et hydrogéologiques a révélé la présence de ressources en eau considérables, notamment à travers les nappes aquifères du remplissage Mio-Plio-Quaternaire et la nappe profonde des calcaires. Ces ressources jouent un rôle crucial dans le soutien des activités agricoles et industrielles de la région.

L'étude pédologique a mis en évidence la variété des sols présents dans la vallée, soulignant ainsi le potentiel agricole diversifié de la zone. Enfin, l'analyse hydrologique et topographique a permis de comprendre la configuration du réseau hydrographique et les caractéristiques du relief, facteurs déterminants dans la gestion des ressources en eau et l'aménagement du territoire.

Chapitre ²

Matériels et Méthodes

Introduction

Ce chapitre ² présente en détail les matériels et méthodes utilisés pour l'analyse du bassin versant de la Seybouse. Il commence par décrire les diverses données employées, incluant des cartes scannées, des images satellitaires (avec un focus sur le MNT et les images de Google Earth et Basemap ArcGIS), ainsi que des données climatiques et alphanumériques. Les logiciels de traitement, tels qu'ArcGIS 10.8.2, Google Earth Pro et Wondershare EdrawMax, sont ensuite présentés avec leurs fonctionnalités spécifiques. La seconde partie du chapitre se concentre sur les méthodes appliquées, comprenant la modélisation hydrologique et l'extraction du réseau hydrologique, la digitalisation de cartes thématiques (géologique, hydrogéologique, pédologique et topographique), la réalisation de cartes climatiques (précipitations, température, ETP, ETR), et l'élaboration d'une carte d'occupation des sols. Cette approche méthodologique rigoureuse assure la reproductibilité et la fiabilité de l'étude, tout en fournissant une base solide pour l'analyse et la compréhension de la dynamique du bassin versant.

1. Matériels et données utilisées**1.1. Données utilisées****1.1.1. Les cartes scannées**

Pour digitaliser les cartes (géologique, pédologique et hydrogéologique) on a utilisé

- ❖ Une carte géologique de l'Algérie du Nord au 1/500000
- ❖ Carte Pédologique
 - ✓ Carte des sols Constantine 1948, 1/500000, Feuille N.J.32-S.O.
 - ✓ Carte des sols Tébessa 1948, 1/500000, Feuille N.I.32-N.O.
- ❖ Une carte scannée de l'ANRH
 - ✓ Carte des ressources en eau Constantine 1/500000, Feuille NJ-32-I.
 - ✓ Carte des ressources en eau Oum E-Bouaghi 1/500000, Feuille NI-32-XX.
 - ✓ Carte des ressources en eau Batna 1/500000, Feuille NI-32-XIX.
 - ✓ Carte des ressources en eau Annaba 1/500000, Feuille NJ-32-II.

1.1.2. Images satellitaires**1.1.2.1. Modèle Numérique de terrain (MNT)**

Un modèle numérique de terrain (MNT) est une représentation tridimensionnelle de la surface d'une région ou d'une planète, générée à partir de données altimétriques maillées en une grille régulière de pixels. Le MNT ne prend pas en compte les éléments présents sur le sol comme la végétation ou les bâtiments. Pour cette étude, nous avons utilisé les données altimétriques de la mission SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) afin de réaliser

- ❶ La délimitation précise du bassin versant étudié.
- ❷ La cartographie du réseau hydrographique drainant ce bassin versant.
- ❸ Une carte des pentes du terrain.
- ❹ Une carte des altitudes de la zone.

Les données SRTM très précises ont permis de modéliser finement la topographie de la région pour mener ces différentes analyses liées au relief.

1.1.2.2. Les images Google-Earth et Basemap ArcGIS

Les images satellite très haute définition provenant de Google Earth et de Basemap (ArcGIS) ont permis de numériser des données cartographiques supplémentaires comme l'emplacement des villages et le tracé des routes. Ces images détaillées ont également servi à vérifier et corriger au besoin le tracé du réseau hydrographique initialement modélisé à partir des données altimétriques. La très haute résolution de ces images a donc permis d'enrichir et

d'affiner les données cartographiques de base pour une meilleure représentation du terrain et des éléments présents sur celui-ci.

1.1.3. Les données climatiques

Afin d'évaluer le bilan hydrique dans la vallée de Seybouse, les données climatiques nécessaires (précipitations, températures maximales, moyennes et minimales, évapotranspiration potentielle et réelle) ont été extraites d'une base de données spécialisée, fiable et validée, dédiée aux informations météorologiques (cru data.com). Cette base contient les relevés des paramètres climatiques enregistrés par la station locale sur une période de 50 années consécutives, de 1972 à 2022. Pour les calculs, ce sont les moyennes mensuelles et annuelles de ces différents indicateurs climatiques qui ont été utilisées, fournissant ainsi des données représentatives sur le long terme pour analyser précisément le bilan hydrique de cette vallée.

1.1.4. Les données alphanumériques

Les données alphanumériques sont des informations constituées de caractères alphabétiques (caractères tels que les noms de villes ainsi que les vallées ...Etc.) et des caractères numériques (nombres tels que le rapport des hauts et des bas et les valeurs climatiques ...Etc.), qui peut également inclure certains symboles (%...Etc.).

Ce type de données est enregistré dans des tableaux sous forme d'attributs au sein de bases de données structurées et structurées.

Les données alphanumériques permettent de stocker et de classer des informations de nature diverse, en les codant sous une forme combinant des lettres, des chiffres et des caractères spéciaux selon les besoins.

1.2. Les logiciels utilisés

Une suite logicielle spécialisée est utilisée pour traiter les diverses données relatives à l'hydrogéologie. Cet ensemble d'outils informatiques dédiés à ce domaine d'expertise facilite grandement la manipulation et l'analyse des informations collectées. Que ce soit pour effectuer des calculs complexes, visualiser des représentations graphiques ou organiser les résultats obtenus, ces logiciels spécifiques à l'hydrogéologie permettent d'automatiser et d'optimiser le traitement des données, simplifiant ainsi considérablement les procédures techniques inhérentes à ce champ d'études.

1.2.1. Arc Gis 10.8.2

ArcGIS 10.8.2 est un système d'information géographique (SIG) développé par Esri. Il s'agit d'un logiciel puissant permettant la gestion, l'analyse et la visualisation de données

géospatiales. Dans le cadre de la cartographie du bilan hydrique du bassin versant de la Seybouse, ArcGIS 10.8.2 a été utilisé pour

- ✓ Importer et gérer les données hydrologiques, climatiques et topographiques de la région étudiée sous forme de couches d'informations géoréférencées.
- ✓ Réaliser des analyses spatiales complexes en croisant ces différentes couches de données (précipitations, températures, évapotranspiration, relief, etc.).
- ✓ Modéliser le bilan hydrique à l'échelle du bassin versant en intégrant les différents paramètres.
- ✓ Produire des cartes thématiques haute résolution représentant la répartition spatiale du bilan hydrique et de ses composantes.
- ✓ Visualiser et partager ces cartes de manière dynamique grâce aux outils de mise en page et d'export multi-formats.

Grâce à ses fonctionnalités avancées de traitement de l'information géographique, ArcGIS 10.8.2 a permis une analyse fine et une cartographie détaillée du bilan hydrique dans cette région.

1.2.2. Google Earth Pro

Google Earth Pro est un logiciel de visualisation terrestre développé par Google. Il offre un assemblage de photographies satellitaires permettant aux utilisateurs de survoler virtuellement la surface du globe et de zoomer sur n'importe quelle région avec un niveau de précision variable selon les zones géographiques.

Dans le cadre de l'étude, Google Earth a été utilisé pour représenter les emplacements des villes urbaines de la zone de chalandise, ainsi qu'à connaître les limites et la fin de chaque vallée avec la connaissance de son nom.

1.2.3. Wondershare EdrawMax V^r12.6.1

Wondershare EdrawMax propose une bibliothèque de modèles de diagrammes spécialement conçus pour les études, tels que des organigrammes, des cartes conceptuelles, des diagrammes de flux, etc.

2. Méthodes

2.1. La modélisation hydrologique

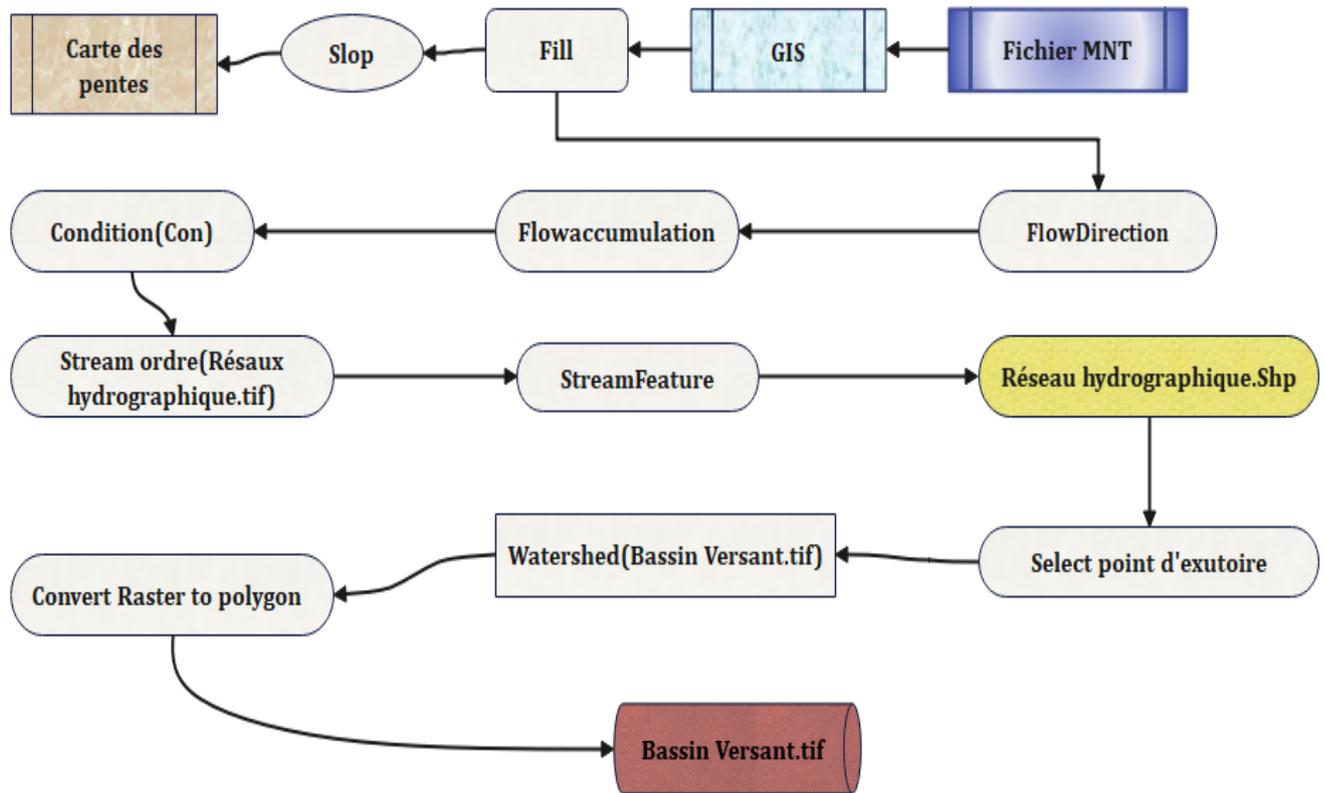


Figure 08 : Processus général d'extraction du réseau hydrologique (Meftah Seddiki).

2.1.1. Processus d'extraction du réseau hydrologique

Les délimitations manuelles des bassins versants sur les cartes topographiques et les analyses morphométriques classiques ont été les premières méthodes utilisées pour étudier la géomorphologie des bassins versants. Aujourd'hui, les outils informatiques permettent d'entreprendre facilement diverses manipulations pour délimiter les bassins versants et extraire le réseau hydrographique. À cet effet, les logiciels des Systèmes d'Information Géographique (SIG), notamment ArcGIS, fournissent des outils intéressants pour effectuer des calculs et des mesures hydro-morphologiques à partir d'un Modèle Numérique du Terrain (MNT).

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé le MNT pour extraire le réseau hydrographique et délimiter le bassin versant d'oued Seybouse. Plusieurs étapes ont été suivies.

1. Ajustement du fichier MNT (MNT_Seybouse.tif) avec un changement de la résolution (taille du pixel) en 30 x 30 m et la conversion du système de coordonnées en WGS_1984_UTM_Zone_32N (fig.08).

2. Remplissage du MNT pour obtenir un modèle hydrologique correct en utilisant l'outil "Fill".
3. Calcul de la direction des pentes pour chaque pixel en utilisant l'outil "Flow Direction".
4. Détermination des endroits où passeront les cours d'eau en utilisant l'outil "Flow Accumulation".
5. Conditionnement de la longueur minimale des segments du réseau hydrographique en utilisant l'outil "con" avec la condition "value > 1000".
6. Classement du réseau hydrographique de l'Ordre 1 à 5 en utilisant la méthode de classement des flux "Strahler" et l'outil "Stream Order".
7. Conversion du réseau hydrographique de type matriciel (raster) en type vectoriel (shapefile) en utilisant l'outil "Stream to Feature".
8. Création et sélection d'un point exutoire pour délimiter le bassin versant en utilisant l'outil "Watershed" et obtenir un bassin versant de type raster.
9. Conversion du bassin versant de type raster en type vectoriel (shapefile) en utilisant l'outil "Raster to Polygon".

2.2. Digitalisation des cartes scannées (géologique, hydrogéologique et pédologique)

Pour la numérisation de ces cartes, on se basera sur les cartes scannées et non géoréférencées en suivant la démarche suivante

La première étape est le géoréférencement des cartes scannées en utilisant les coordonnées du quadrillage de la carte tout en respectant la projection du système de coordonnées (WGS_1984).

Ensuite, on procède au découpage des cartes géoréférencées et à l'ajout du bassin versant (shapefile) en utilisant l'outil "Extract by Mask".

Puis, on crée une base de données constituée d'un seul type pour la carte géologique, la carte pédologique et la carte hydrogéologique (type polygone).

Après, on numérise les informations des cartes scannées, géoréférencées et découpées dans leurs bases de données respectives (.dbf où .shp).

Enfin, on réalise la cartographie en ajoutant les informations auxiliaires et l'habillage cartographique (légende, échelle, orientation...).

2.3. Digitalisation et traitement de la carte topographique (1/50000)

La vérification et la correction du réseau hydrographique ont été effectuées à l'aide de quatre cartes scannées à l'échelle 1/50 000.

Les étapes suivantes ont été réalisées

1. Géoréférencement et découpage des marges de chaque carte à l'aide de l'outil "Extract by Rectangle".
2. Assemblage des quatre cartes à l'aide de l'outil "Mosaic to New Raster".
3. Découpage de la carte topographique par bassin versant en utilisant l'outil "Extract by Mask".

Ce processus a permis d'obtenir une représentation précise du réseau hydrographique à partir des données cartographiques disponibles.

2.4. Réalisation de la carte (des précipitations, Température, ETP et ETR)

Après avoir téléchargé les données climatiques (précipitations moyennes mensuelles) depuis le site (cru data.com), les étapes suivantes ont été effectuées

- ✓ Découpage de la base de données climatiques de type raster (grille) par les limites administratives des wilayas (régions) avoisinantes du bassin versant étudié, à l'aide du logiciel SIG (Système d'Information Géographique) ArcGIS.
- ✓ Conversion du système de coordonnées géographiques de la base de données en projection UTM (Universal Transverse Mercator) zone 32, afin d'obtenir un système de référence spatiale adapté à la zone d'étude.
- ✓ Calcul des précipitations moyennes annuelles à l'aide des outils "Cell Statistics" et "Raster Calculator" du logiciel ArcGIS. Ces outils permettent d'effectuer des analyses statistiques et des calculs sur les données de type raster.
- ✓ Conversion des données de type raster en données vectorielles de type points (shapefile) à l'aide de l'outil "Raster to Point" d'ArcGIS. Cette étape permet de faciliter l'utilisation ultérieure des données.
- ✓ Interpolation des données ponctuelles de précipitations à l'aide de la méthode géostatistique de "Krigage" (Kriging) afin de produire une cartographie de la répartition spatiale des précipitations dans la région d'étude.
- ✓ Finalisation de la cartographie des précipitations, comprenant l'habillage (ajout des éléments graphiques, légende, titre, etc.) pour obtenir un rendu final clair et esthétique.

2.5. Réalisation de la carte d'occupation des sols

La réalisation de cette carte de répartition spatiale des précipitations s'appuie principalement sur l'utilisation d'une carte de base "Imagery" comme source de données de base.

Sur cette base, une numérisation manuelle (digitalisation) directe de quatre classes d'occupation des sols a été effectuée

1. Surfaces d'eau.
2. Zones forestières.
3. Végétation.
4. Surfaces agricoles.
5. Sol nu.
6. Surfaces urbaines.

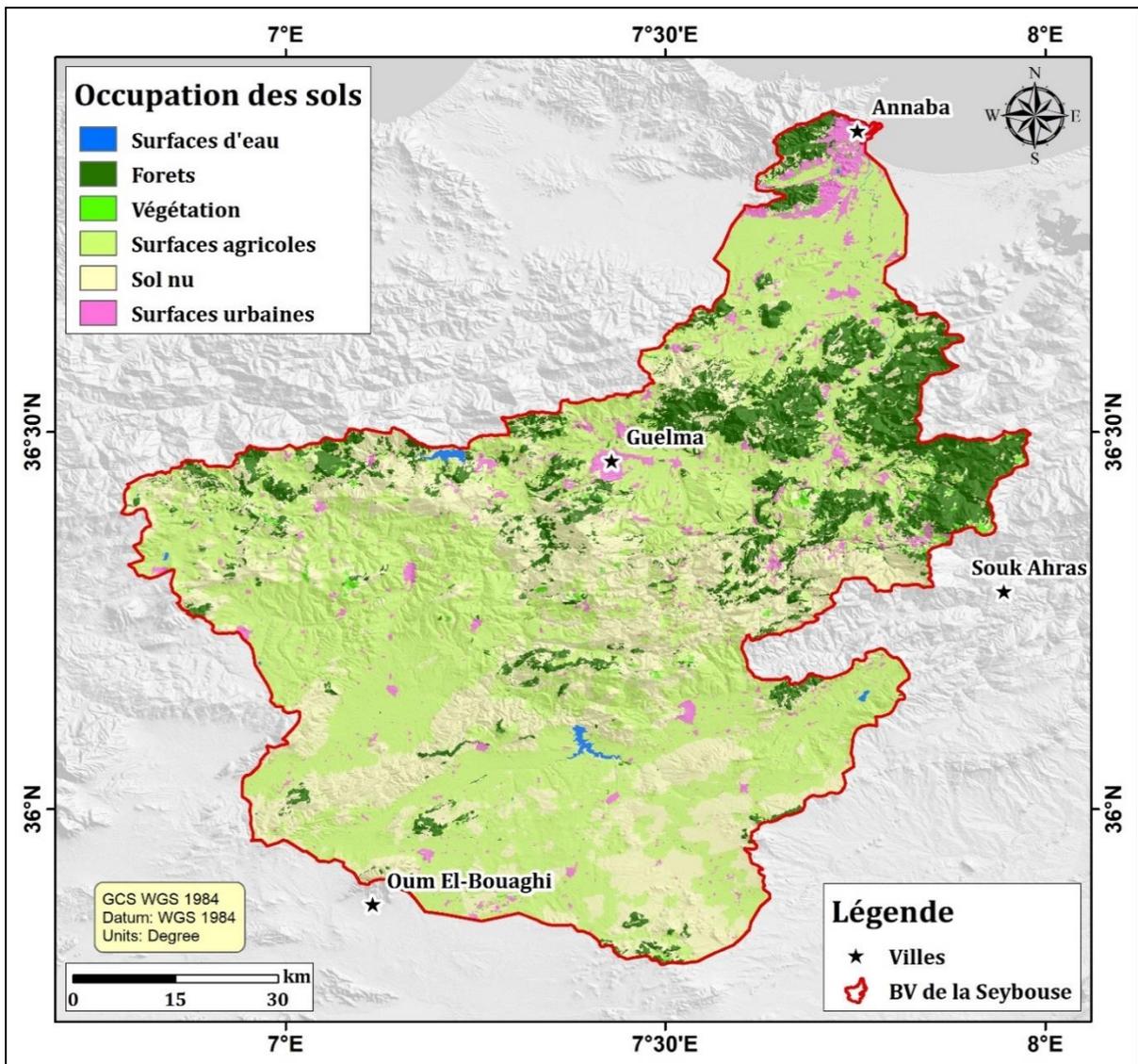


Figure 09: Carte d'occupation des sols du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Global LULC maps modifiées par Meftah Seddiki).

Conclusion

Ce chapitre conclut en soulignant l'importance des outils et méthodes utilisés pour l'étude du bassin versant de la Seybouse. Il met en évidence la diversité des données employées, allant des cartes traditionnelles aux images satellitaires avancées, offrant ainsi une vision complète de la zone d'étude. L'utilisation de logiciels spécialisés comme ArcGIS, Google Earth Pro et Wondershare EdrawMax a assuré un traitement précis et fiable des données. Les méthodes décrites, en particulier la modélisation hydrologique et les techniques de digitalisation, ont permis de transformer des données brutes en informations géographiques pertinentes, facilitant une compréhension approfondie de la structure et du fonctionnement du bassin versant. Le chapitre se termine en soulignant l'importance des cartes thématiques réalisées (précipitations, température, ETP, ETR et occupation des sols) comme outils essentiels pour l'analyse et l'interprétation des résultats dans les chapitres suivants. Cette approche méthodologique rigoureuse garantit la validité et la reproductibilité de l'étude, posant ainsi les bases d'une analyse approfondie du bassin versant de la Seybouse.

Chapitre ³

Résultats et Discussions

Introduction

Le bilan hydrique consiste en une évaluation quantitative des flux entrants et sortants d'eau dans une zone spécifique, souvent un bassin versant, sur une période définie. Il prend en considération les différentes phases du cycle hydrologique, comme les précipitations, l'évaporation, l'infiltration, les écoulements, les débits des cours d'eau, les pertes par évapotranspiration, etc.

Ce bilan permet de calculer les variations des stocks d'eau disponibles dans la zone étudiée, d'estimer la disponibilité en eau pour divers usages, ainsi que de comprendre les interactions entre les divers processus hydrologiques.

Le chapitre ³ approfondit l'analyse de la dynamique hydrologique du bassin versant de la vallée de Seybouse sur une période de 50 ans, de 1972 à 2022. L'étude se concentre sur quatre principaux aspects : la répartition spatiale des précipitations, avec la cartographie des moyennes annuelles et saisonnières, et l'étude des variations du régime pluviométrique ; la répartition spatiale des températures moyennes annuelles et saisonnières pour analyser les variations thermiques ; la cartographie de l'évapotranspiration réelle (ETR) et potentielle (ETP) moyennes annuelles et saisonnières pour identifier les zones à risque de déficit hydrique et de sécheresse ; enfin, l'analyse croisée de ces paramètres hydro-climatiques pour offrir une vision intégrée de la dynamique de l'eau à l'échelle du bassin versant. Cette étude approfondie sur une période de 50 ans vise à mettre en lumière les zones favorables à la gestion des ressources en eau tout en identifiant les zones les plus vulnérables aux risques climatiques et hydrologiques.

1. Précipitations**1.1. Précipitation moyenne annuelle (1972 à 2022)**

D'après la carte (fig.10), on peut observer que le bassin versant d'Oued Seybouse, représenté par les limites rouges, présente une variation spatiale de précipitation moyenne annuelle allant de 568 mm à 800 mm environ.

La zone la plus sèche, avec de précipitation annuelle entre 568 et 620 mm, se situe dans la partie Sud -West du bassin. Les précipitations augmentent progressivement vers le Nord -Est, atteignant des valeurs entre 740 et 800 mm dans l'extrême Nord-Est.

Cette variation de précipitation est illustrée par une palette de couleurs allant du rouge foncé au bleu foncé, chaque teinte représentant une gamme de valeurs spécifique comme indiqué dans la légende.

Le relief du terrain est également représenté par des nuances de gris, montrant des zones montagneuses et des dépressions.

La carte fournit une échelle de distance ainsi que les informations sur le système de WGS-1984 utilisé et la date de référence des données.

Cette représentation cartographique de précipitation moyenne annuelle est utile pour comprendre la répartition spatiale des ressources en eau dans cette région.

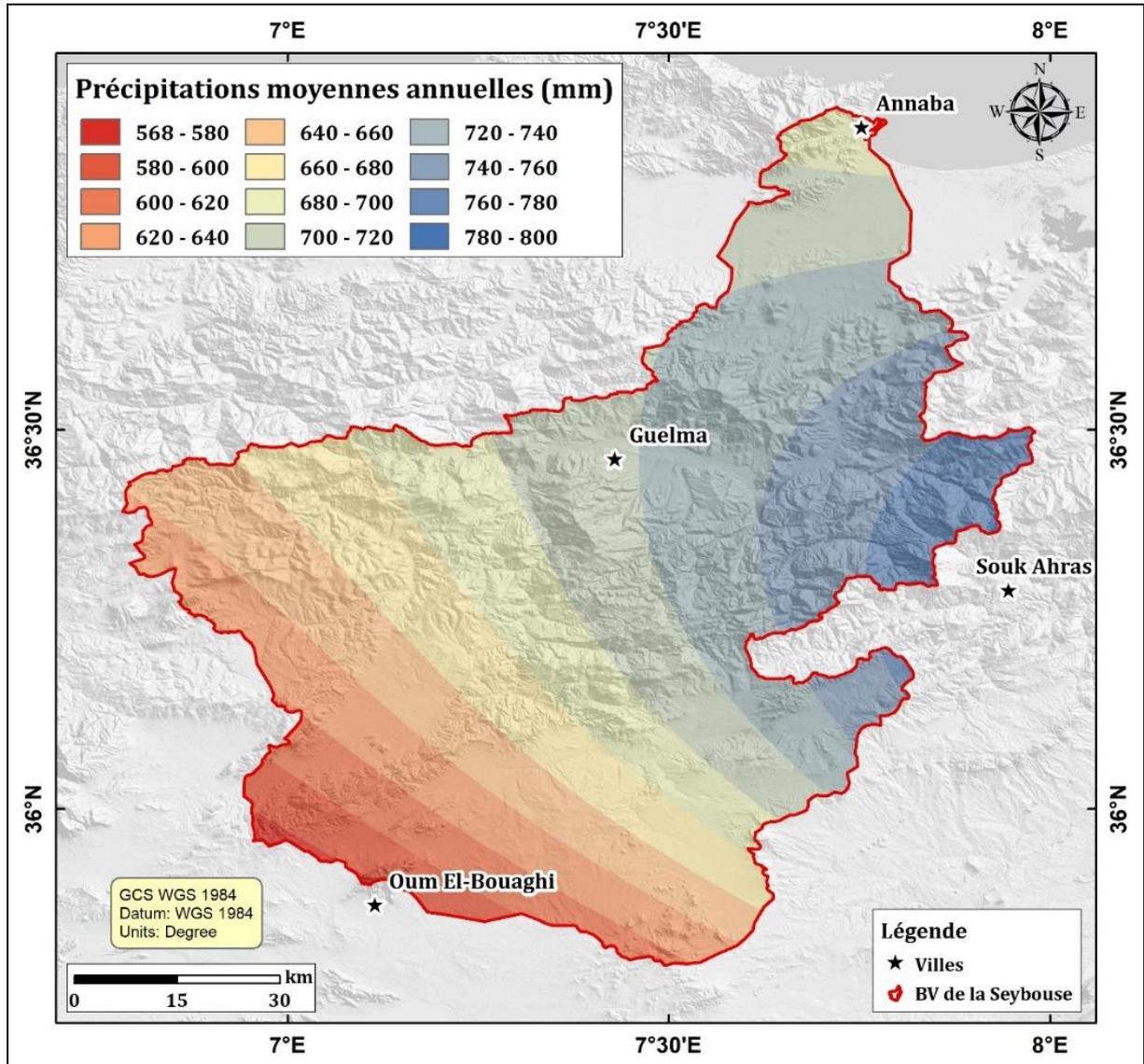


Figure 10 : Carte de précipitation moyenne annuelle du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

1.2. Précipitations moyennes mensuelle

Les études suivantes représentent les précipitations moyenne pour quatre saisons pendant 50 ans (1972 à 2022).

1.2.1. Précipitations moyennes pour l'automne

Les précipitations moyennes mensuelles pour l'automne (fig.11), telles que représentées sur les cartes pour les mois de Septembre, Octobre et Novembre, montrent des variations dans les quantités de précipitations au fil de la saison.

- En Septembre, les précipitations moyennes se situent dans une plage de 40 à 47,5 mm, indiquant des niveaux modérés de précipitations pour ce mois.
- En Octobre, les précipitations augmentent avec des plages allant de 44 à 73,9 mm, montrant une tendance à des précipitations plus abondantes.
- En Novembre, les précipitations moyennes varient davantage, allant de 63 à plus de 105,9 mm, indiquant des niveaux de précipitations plus élevés à la fin de la saison automnale.

Ces variations dans les précipitations mensuelles pour l'automne peuvent avoir un impact sur les ressources en eau, l'agriculture et d'autres activités dépendantes des conditions météorologiques.

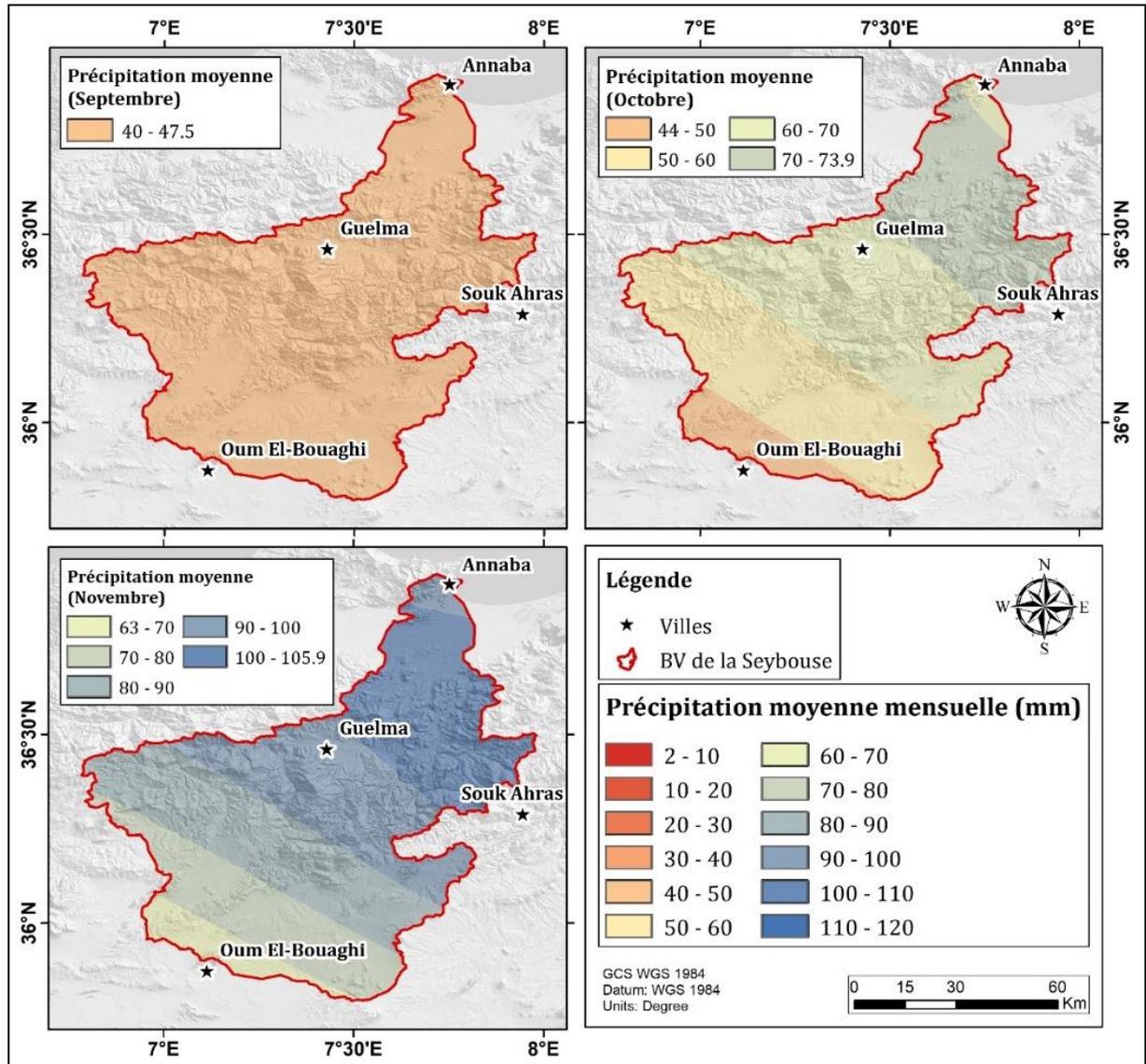


Figure 11 : Carte de précipitations moyennes pour l'automne du Bassin Versant d'Oued Seybousse (Meftah Seddiki).

1.2.2. Précipitation moyenne pour l'hiver

La carte (fig.12) présente un ensemble de trois cartes dans une disposition en grille, chacune représentant les précipitations mensuelles moyennes pour un mois spécifique (Décembre, Janvier et Février) dans une région géographique. Les cartes sont codées en couleurs pour indiquer différentes plages de précipitations en millimètres (mm).

Chaque carte délimite une région avec une bordure rouge, à l'intérieur de laquelle se trouvent plusieurs zones ombrées, correspondant chacune à une plage différente de précipitations comme indiqué par la légende à droite. La légende fournit une échelle de couleurs pour les précipitations mensuelles moyennes, allant de 2-10 mm (en rouge) à 110-120 mm (en bleu foncé).

En observant les cartes de précipitations mensuelles moyennes pour les mois d'hiver (décembre, janvier, février) dans la région, on remarque une tendance claire la pluviométrie moyenne dans le nord du bassin est abondante et plus élevée par rapport au sud. Les zones situées au nord du bassin présentent des valeurs de précipitations plus élevées, indiquant une plus grande quantité de pluie tombée pendant ces mois d'hiver par rapport aux zones du sud du bassin. Cette disparité dans les niveaux de précipitations entre le nord et le sud du bassin peut être due à des influences climatiques régionales, des variations topographiques ou d'autres facteurs géographiques qui contribuent à cette différence observée dans la pluviométrie moyenne hivernale.

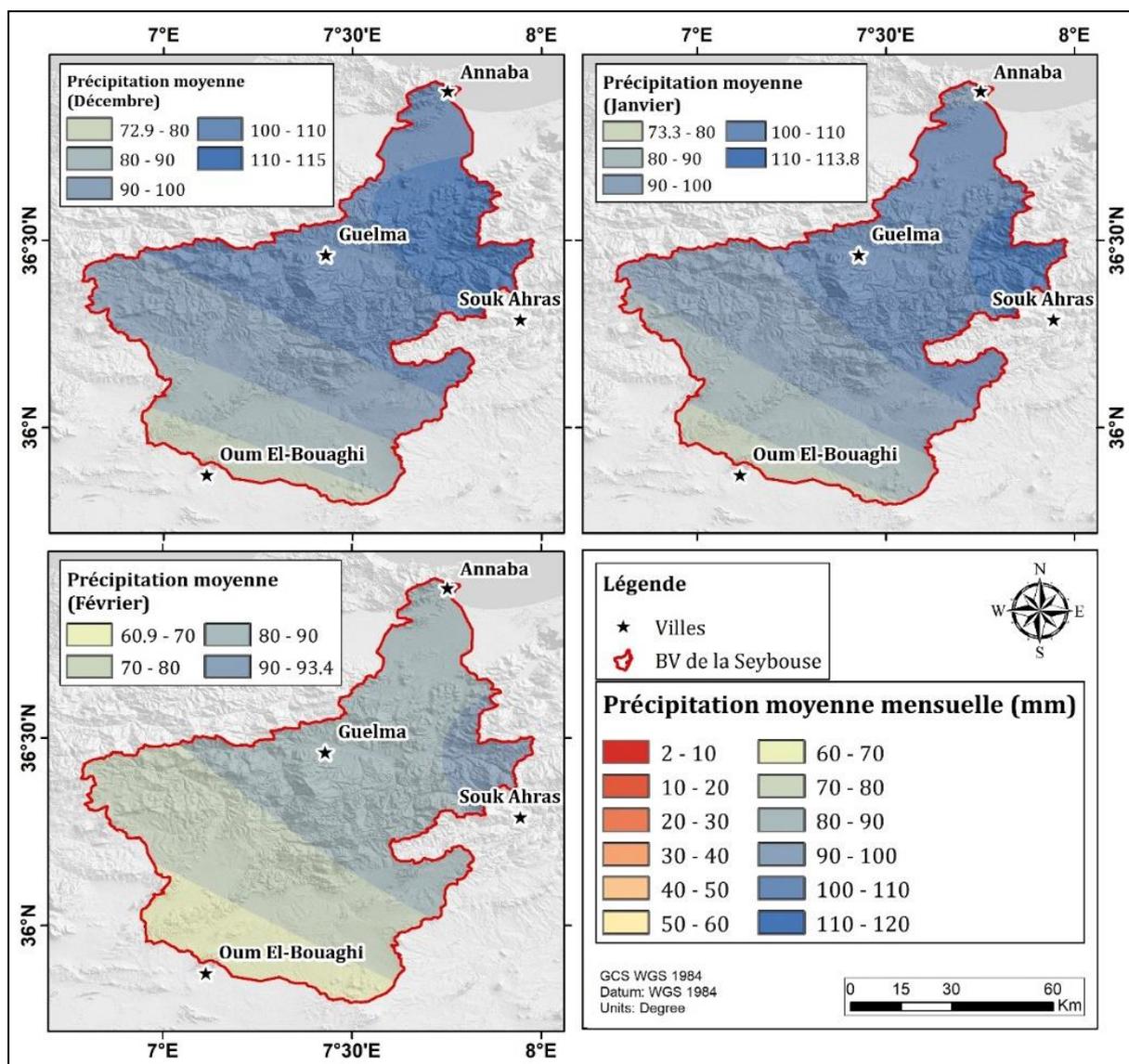


Figure 12 : Carte de précipitations moyennes pour l'hiver du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

1.2.3. Précipitation moyenne pour le printemps

Au cours du mois de mars, comme le montre la carte en haut à gauche, certaines régions ont connu des précipitations moyennes variant entre 63,1 et 89,1 mm. Les différentes nuances de vert indiquent les variations des niveaux de pluie (fig.13).

En avril, d'après la carte en haut à droite, les précipitations moyennes étaient comprises entre 57 et 71,9 mm, représentées par des nuances de jaune.

La carte du mois de mai, en bas, utilise des nuances de brun pour illustrer des niveaux de précipitations moyennes encore plus faibles, allant de 34,9 à 50 mm.

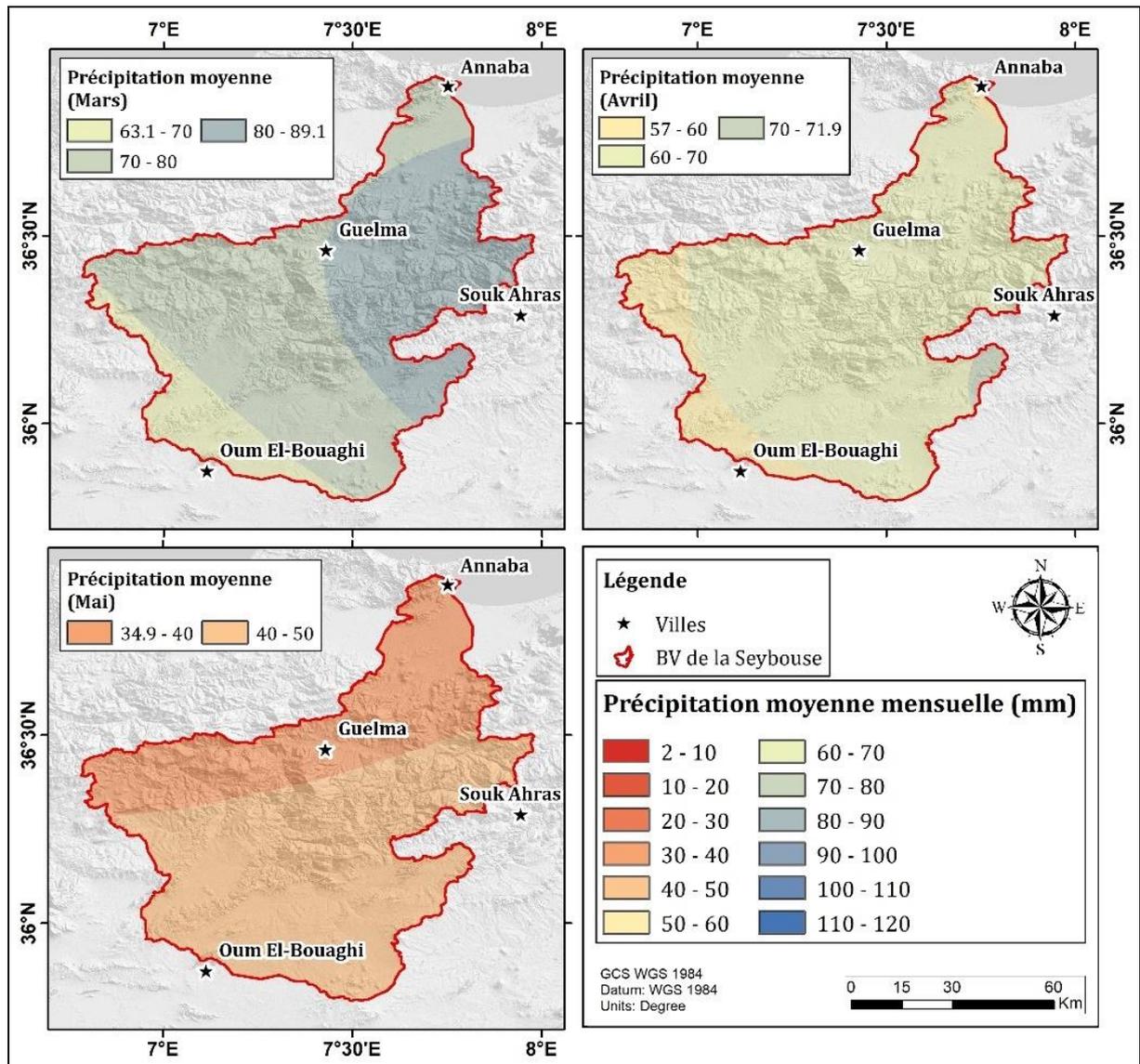


Figure 13 : Carte de précipitations moyennes pour le printemps du Bassin Versant d'Oued Seybousse (Meftah Seddiki).

1.2.4. Précipitation moyenne pour l'été

La première carte dans le coin supérieur gauche représente les précipitations moyennes en Juin, avec des valeurs allant de 12,1 à 21,2 mm.

La deuxième carte dans le coin supérieur droit illustre les précipitations en Juillet, avec des chiffres compris entre 2 et 10,4 mm.

La troisième carte dans le coin inférieur gauche montre les précipitations en Août, avec des mesures allant de 9,6 à 19,5 mm.

Sur la base des études antérieures menées et des données recueillies, il est possible de tirer la conclusion que les niveaux moyens de précipitations observés pendant les saisons printanière et estivale sont inférieurs à ceux enregistrés au cours des saisons automnale et hivernale dans la région du bassin versant d'Oued Seybouse (fig.14).

Cette constatation, étayée par une analyse approfondie des résultats de recherches antérieures, met en évidence des variations saisonnières significatives en termes de quantités de pluie dans cette zone géographique.

Ces fluctuations dans les apports en eau ont inévitablement des répercussions sur divers aspects environnementaux et socio-économiques liés à la disponibilité et à la gestion des ressources en eau dans le bassin versant concerné.

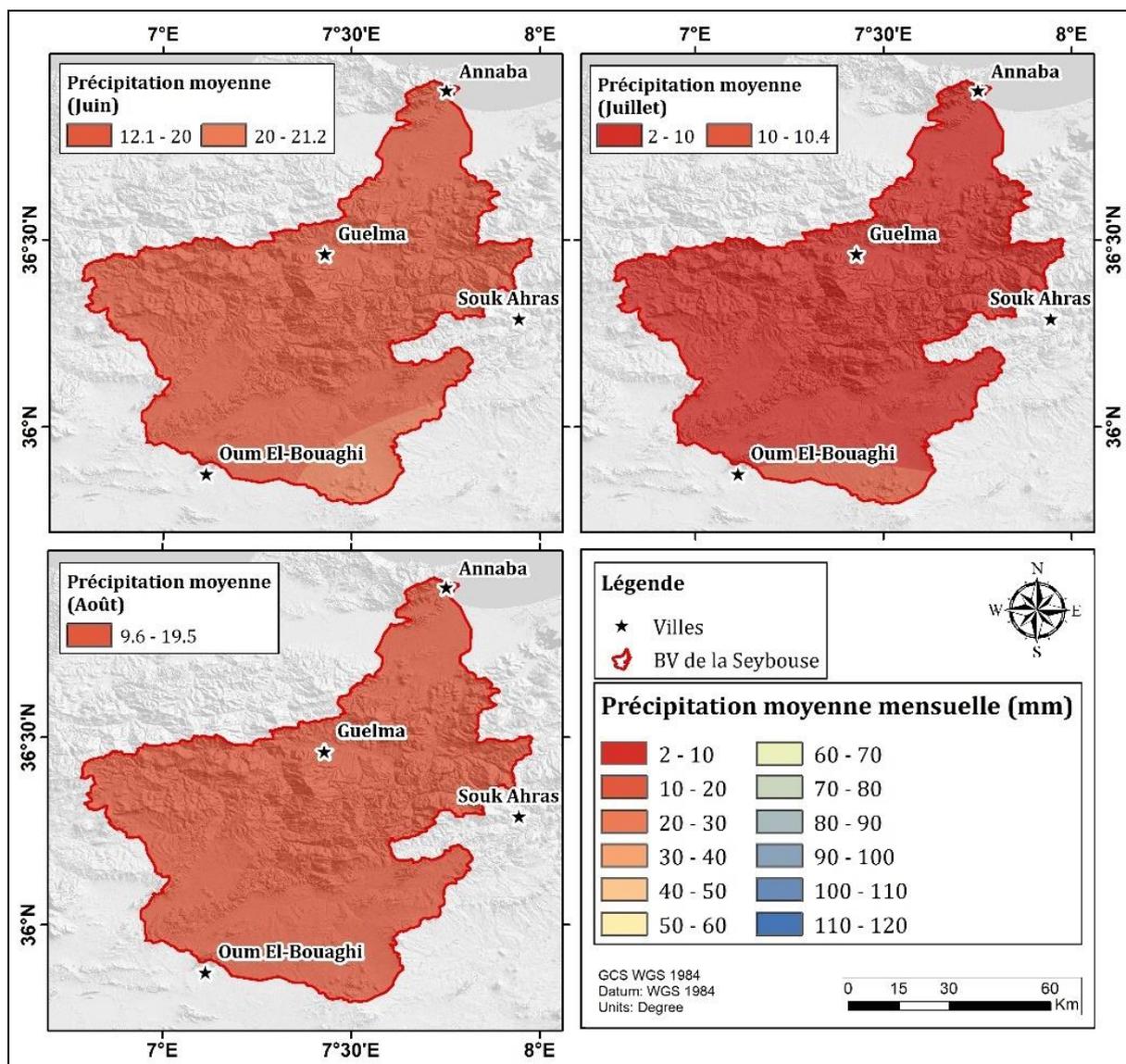


Figure 14 : Carte de précipitations moyennes pour l'été du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

2. Température pour 50 année (1972 à 2022)

2.1. Température moyenne annuelle

La Carte (fig.15) thématique représentant les températures moyennes annuelles dans le bassin versant d'Oued Seybouse. Une légende située dans le coin supérieur gauche indique les différentes plages de températures et les couleurs qui leur sont associées .

Les zones les plus fraîches, avec des moyennes annuelles comprises entre 14,9°C et 15°C, sont illustrées en bleu foncé. Les régions légèrement plus chaudes, avec des températures moyennes de 15°C à 16°C, sont colorées en gris. La teinte jaune correspond aux zones où les températures annuelles moyennes se situent entre 16°C et 17°C .

La couleur orange est utilisée pour représenter les aires ayant des moyennes de 17°C à 18°C. Enfin, le rouge vif désigne les portions du bassin versant les plus chaudes, avec des températures moyennes annuelles oscillant entre 18°C et 18,3°C.

Cette carte permet de visualiser aisément les variations spatiales des normales thermiques à l'échelle du bassin, avec un gradient croissant des températures des zones fraîches en bleu foncé vers les zones plus chaudes en rouge vif.

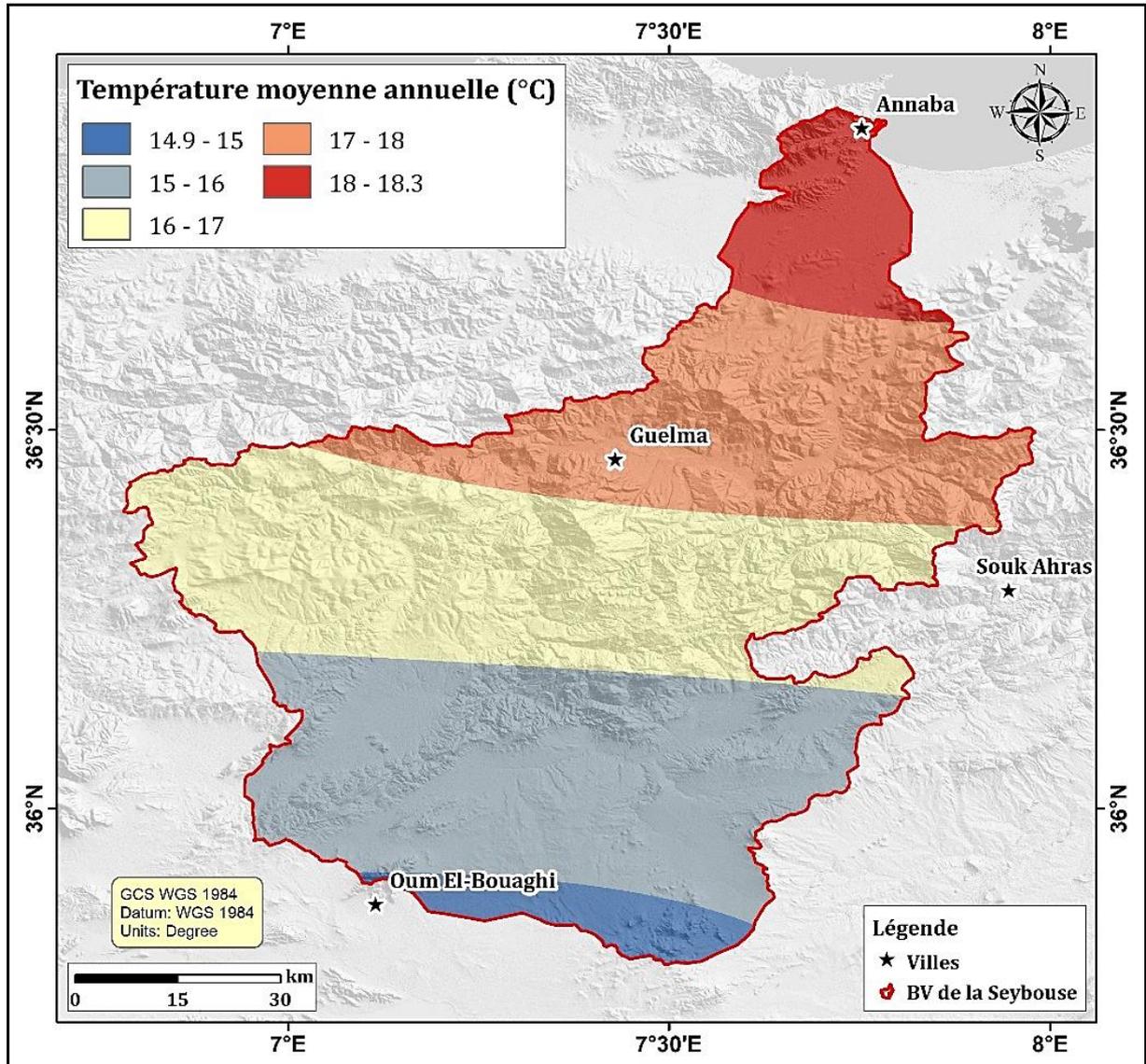


Figure 15 : Carte de Température moyenne annuelle du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

2.2. Températures moyennes mensuelle

2.2.1. Température moyenne pour l'automne

Les cartes dans (fig.16) contiennent trois cartes distinctes du bassin versant d'Oued Seybouse. Chaque carte représente les températures moyennes mensuelles pour les mois de Septembre, Octobre et Novembre respectivement.

Sur la carte de Septembre, on peut voir que les températures moyennes dans la majeure partie du bassin se situent entre 22°C et 24,2°C, les zones les plus chaudes étant localisées dans la région Nord autour de la ville d'Annaba avec des températures allant de 24°C à 24,2°C.

-En Octobre, on observe un refroidissement avec des températures variant de 15,9°C à 20,5°C, les zones les plus chaudes restant au Nord autour d'Annaba avec des températures de 18°C à 20,5°C.

-En Novembre, les températures continuent de baisser, allant de 10,4°C à 16°C, les régions les plus fraîches se trouvant dans les zones montagneuses au Sud avec des températures de 10,4°C à 12°C.

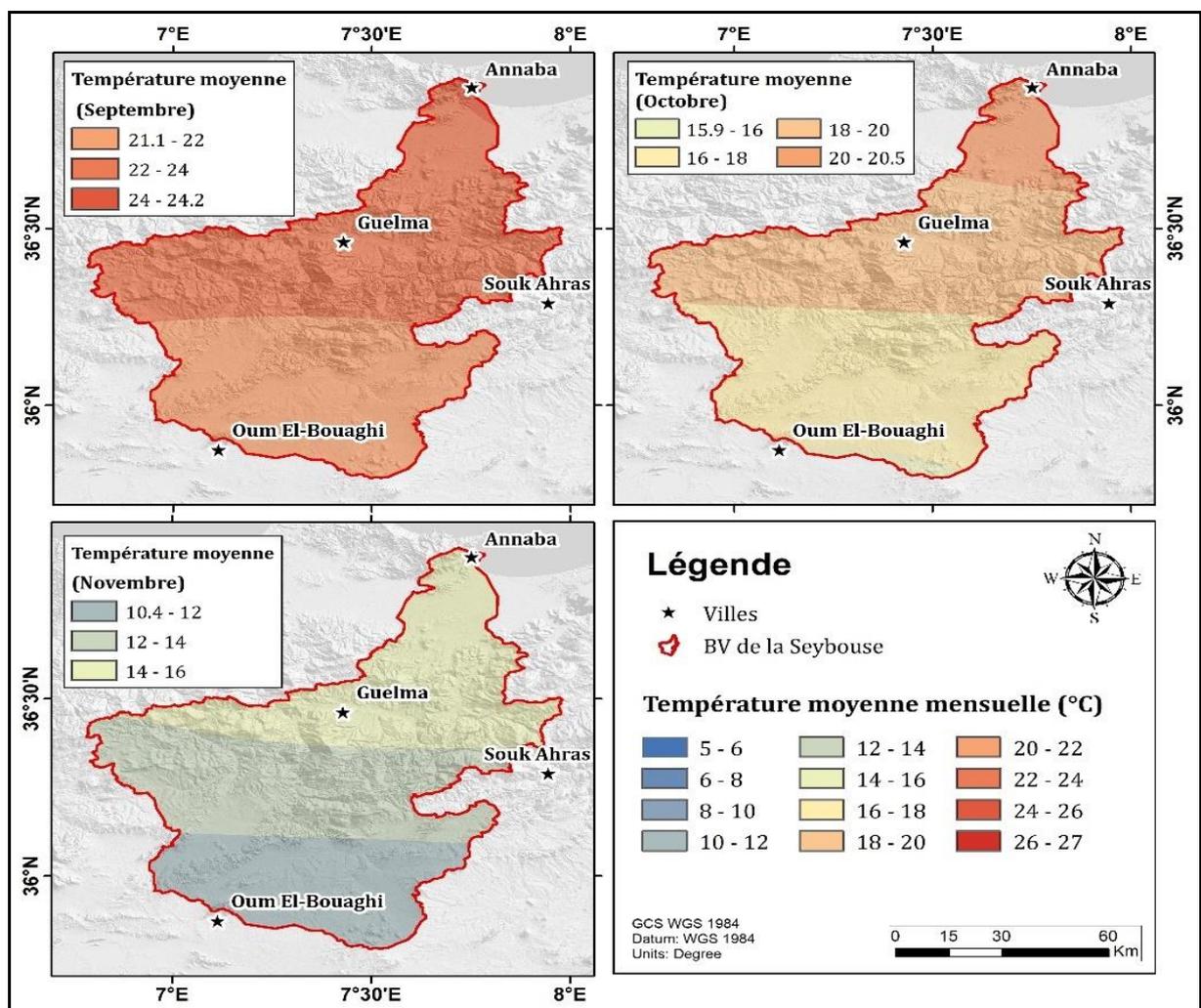


Figure 16 : Carte de Température moyenne pour l'automne du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

2.2.2. Température moyenne pour l'hiver

Les cartes dans (fig.17) contiennent trois cartes supplémentaires du bassin versant d'Oued Seybouse, représentant les températures moyennes mensuelles pour Décembre, Janvier et Février.

-En Décembre, les températures varient de 7,1°C à 12,9°C dans le bassin, avec les zones les plus fraîches (7,1°C à 8°C) situées principalement dans les régions montagneuses au Sud.

-En Janvier, les températures sont encore plus basses, allant de 5,9°C à 12°C. Les zones les plus froides (5,9°C à 6°C et 6°C à 8°C) couvrent une grande partie du bassin, en particulier au Sud.

-En Février, un léger réchauffement est observé, avec des températures comprises entre 6,7°C et 11,9°C. Cependant, les régions montagneuses du Sud restent les plus froides, affichant des températures de 8°C à 10°C.

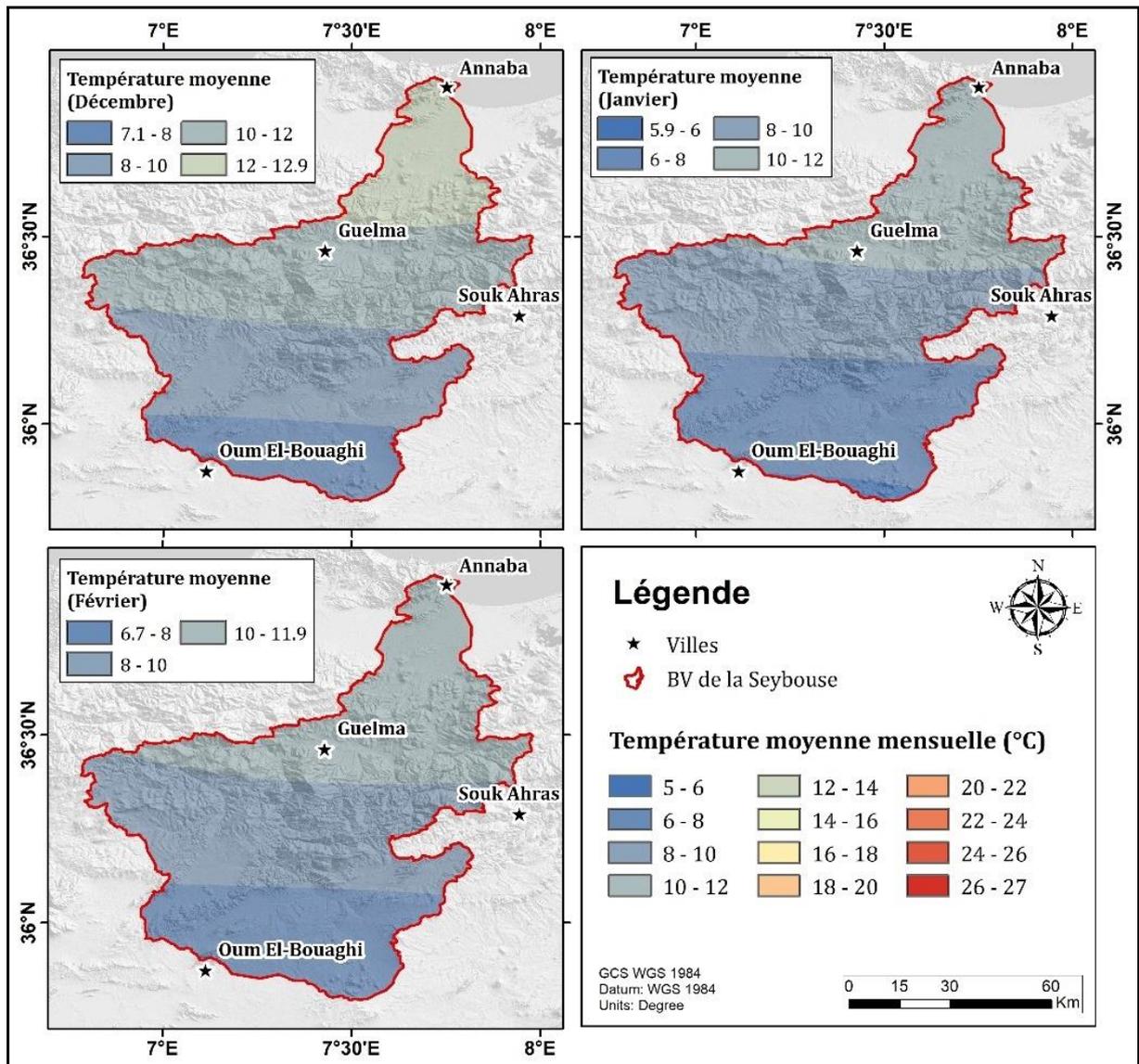


Figure 17 : Carte de Température moyenne pour l'hiver du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

2.2.3. Température moyenne pour le printemps

Les cartes dans (fig.18) présentent les températures moyennes mensuelles pour la saison printanière dans le bassin versant de la Seybouse.

Les trois cartes montrent les plages de températures moyennes, en degrés Celsius, pour les mois de Mars, Avril et Mai respectivement.

-En Mars, les températures oscillent entre 8,9°C et 13,5°C, avec les zones les plus fraîches situées dans les régions montagneuses.

-En avril, on constate une augmentation des températures, allant de 12,1°C à 15,8°C sur la majeure partie du bassin.

-En Mai, les températures continuent de grimper, variant entre 16°C et 19°C dans la plupart des zones, à l'exception de quelques régions plus chaudes atteignant jusqu'à 22°C.

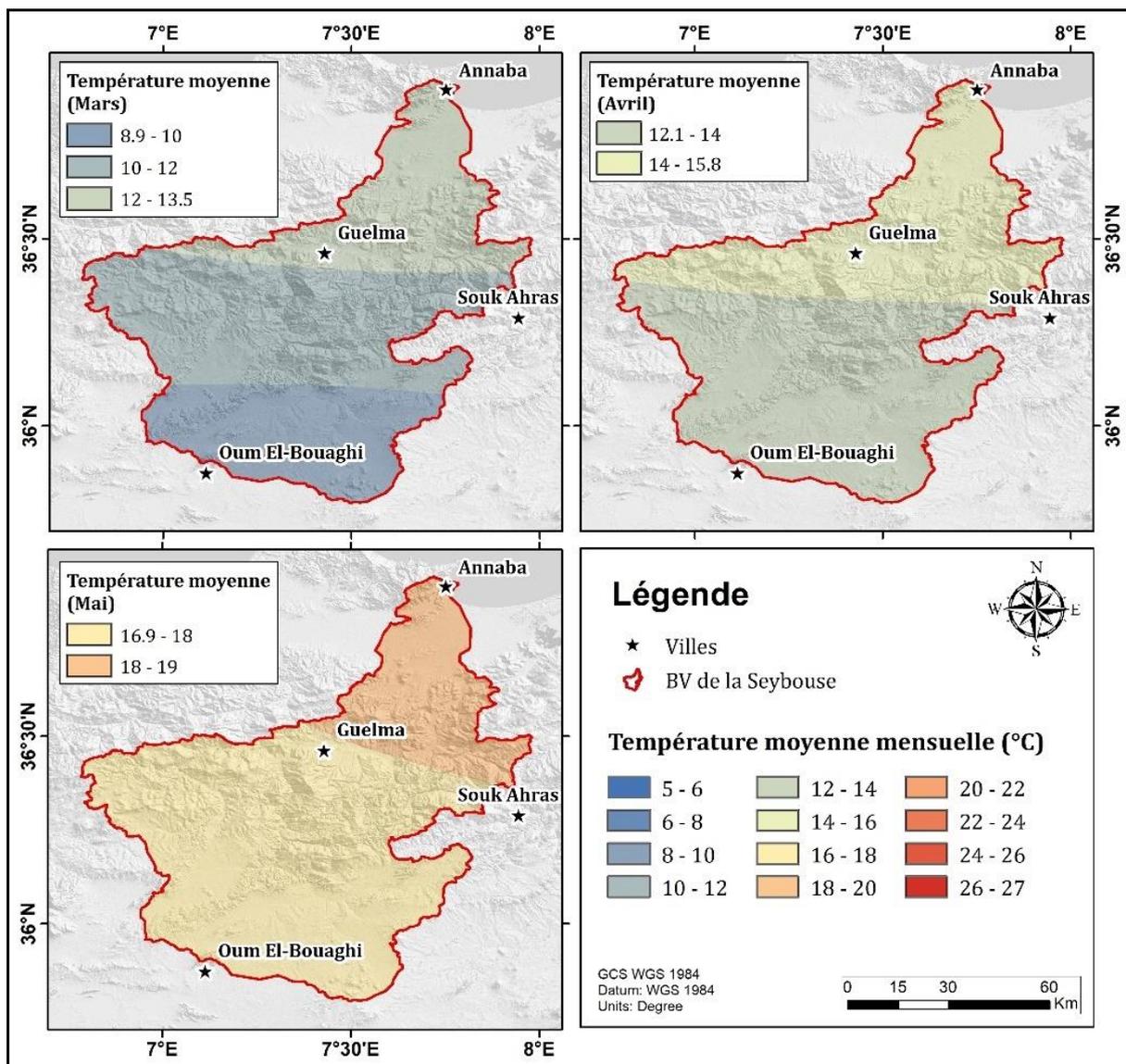


Figure 18 : Carte de Température moyenne pour le printemps du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

2.2.4. Température moyenne pour l'été

Les températures moyennes mensuelles pour la saison estivale dans le bassin versant d'Oued Seybouse sont illustrées dans (fig.19) ci-dessus.

Les cartes montrent les plages de températures en degrés Celsius pour les mois de Juin, Juillet et Août.

-En Juin, les températures varient de 22°C à 22,8°C dans toute la région.

-En Juillet, une augmentation significative est observée, avec des températures allant de 25,2°C à 25,8°C sur l'ensemble du territoire.

-En Août, les températures restent élevées, allant de 25,3°C à 26,2°C selon les régions.

Il est important de noter que les températures les plus élevées se concentrent généralement autour de la ville d'Annaba sur la côte méditerranéenne, tandis que les régions du Sud du bassin présentent des montagnes où les températures sont plus basses à mesure que l'altitude augmente.

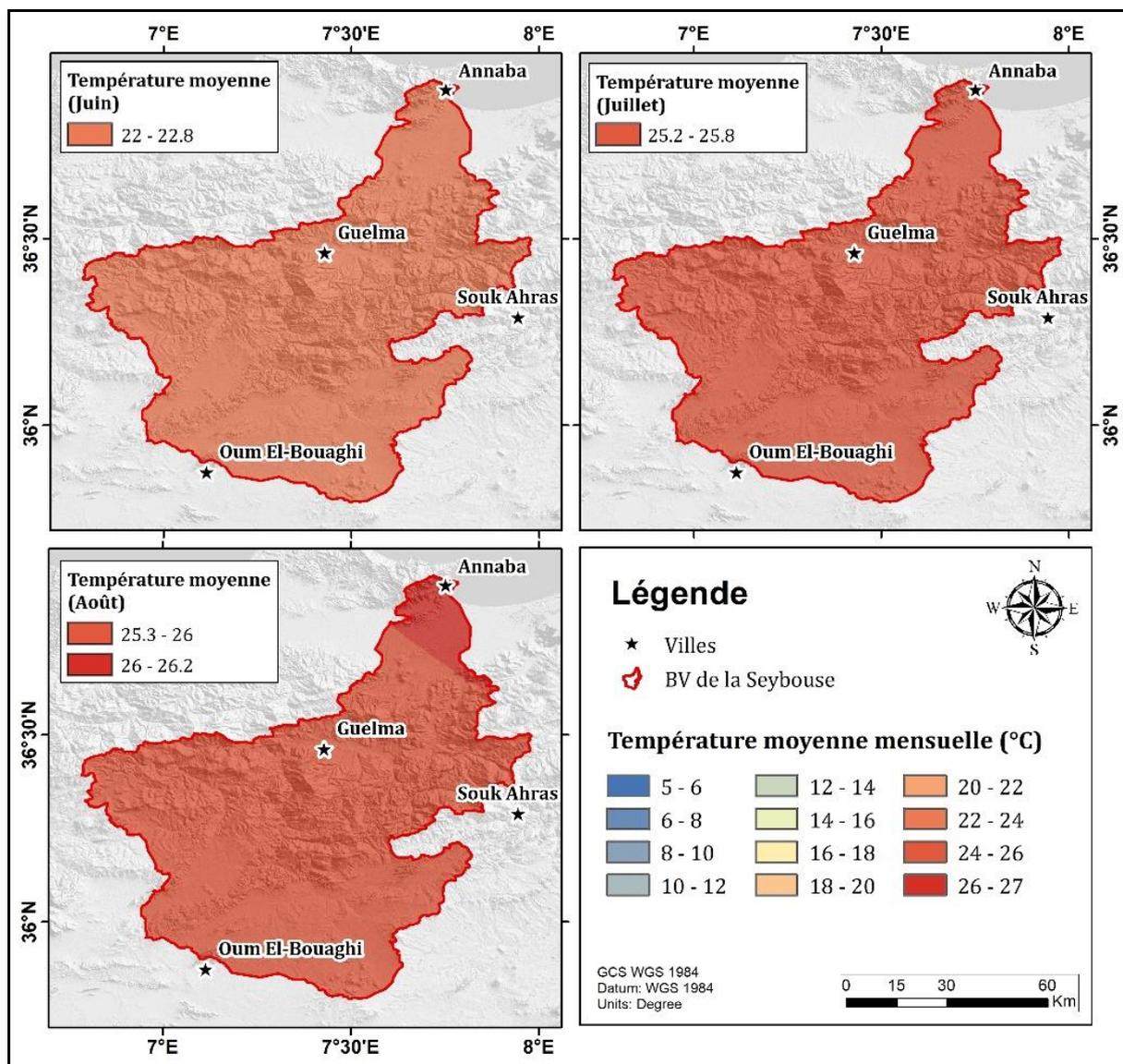


Figure 19 : Carte de Température moyenne pour l'été du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

3.Pluviothermie moyenne mensuelle

La (fig.20) présente des cartes illustrant la pluviothermie mensuelle dans le bassin versant d'oued Seybouse pour 50 année (2022 à 1972).

1.Carte de Septembre

- La carte montre que la majeure partie du bassin versant d'Oued Seybouse est en mois humide (en bleu), à l'exception d'une petite zone au Nord qui est en mois sec (en beige).

2. Carte d'Octobre à Avril

- Cette carte indique que toute la région est en mois humide (en bleu) durant les mois d'octobre, novembre, décembre, janvier, février, mars et avril.

3. Carte de Mai

- En Mai, la carte montre que la majorité du bassin versant est en mois sec (en beige), avec une petite zone au Sud en mois humide (en bleu).

4. Carte de Juin à Août

- Durant les mois de Juin, Juillet et Août, toute la région est en mois sec (en beige).

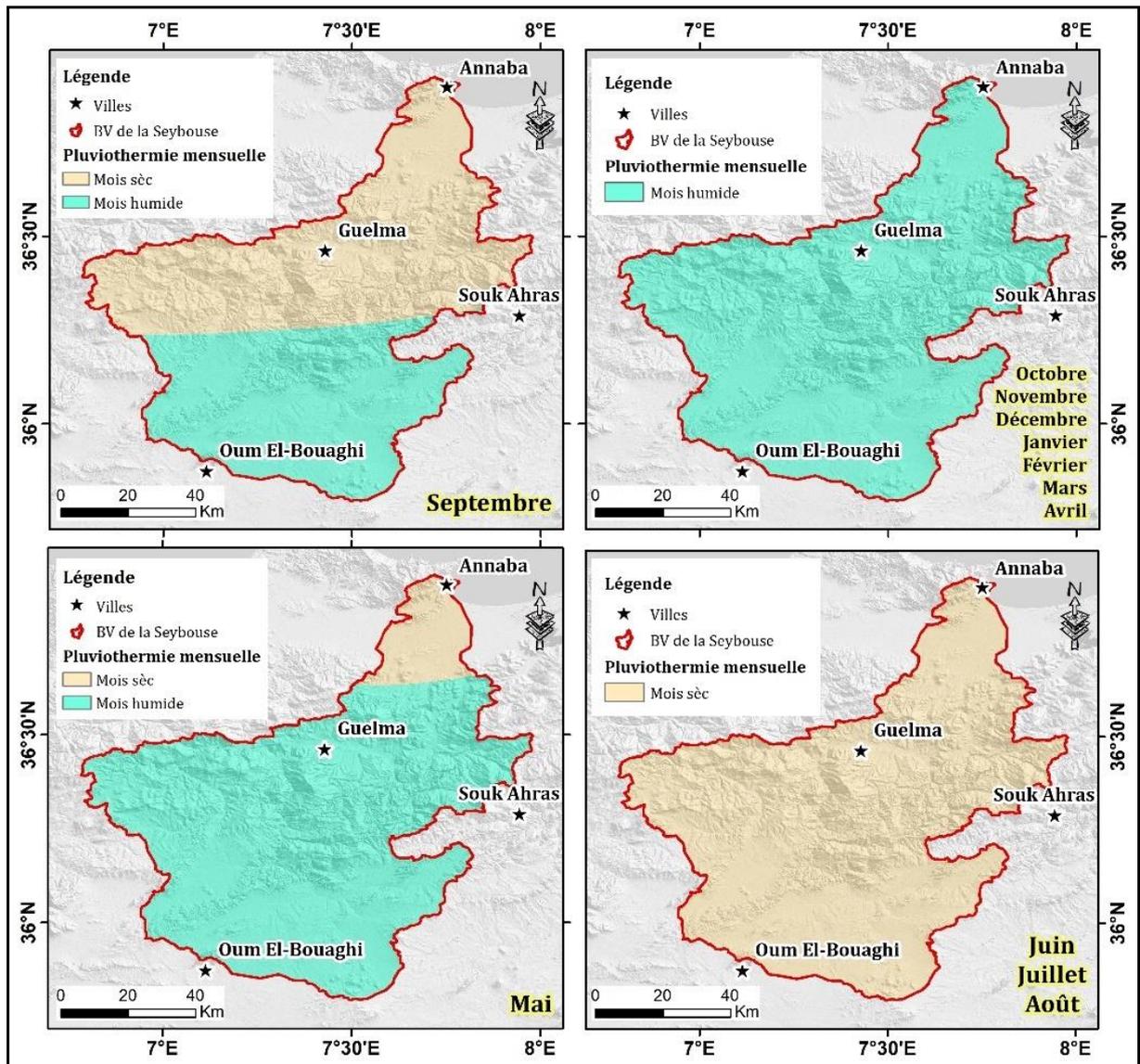


Figure 20 : Cartes des Pluviothermie moyennes mensuelles du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

4. Indice d'aridité

4.1. Indice d'aridité P/ETP

Précipitation moyenne par an (P) / évapotranspiration potentielle moyenne par an (ETP)

(www.bonobosworld.org)

Tableau 1: Indice d'aridité P/ETP (www.bonobosworld.org).

Zones	Pluviométrie moyenne	Indice d'aridité annuelle/mm	Penman Indice du PNUE
Hyper-arides	$P < 100$	$< 0,05$	$< 0,05$
Arides	100-400	0,05-0,28	0,05-0,20
Semi-arides	400-600	0,28-0,43	0,21-0,50
Subhumides sèches	600-800	0,43-0,60	0,51-0,65
Subhumides et humides	800-1200	0,60-0,90	$> 0,65$
Hyper-humides	$P > 1200$	$> 0,90$	

Le tableau montre l'indice d'aridité P/ ETP (Évapotranspiration Potentielle) dans le bassin versant de la Seybouse.

La carte (fig.21) est divisée en deux zones principales

1. Zones subhumides sèches (0.51 - 0.6) Ces zones sont représentées en jaune sur la carte. Elles couvrent principalement la partie Sud-West du bassin versant, incluant la ville de Oum El-Bouaghi.

2. Zones subhumides et humides (0.6 - 0.69) Ces zones sont représentées en vert sur la carte. Elles couvrent la majeure partie du bassin versant, incluant les villes de Annaba, Guelma et Souk Ahras.

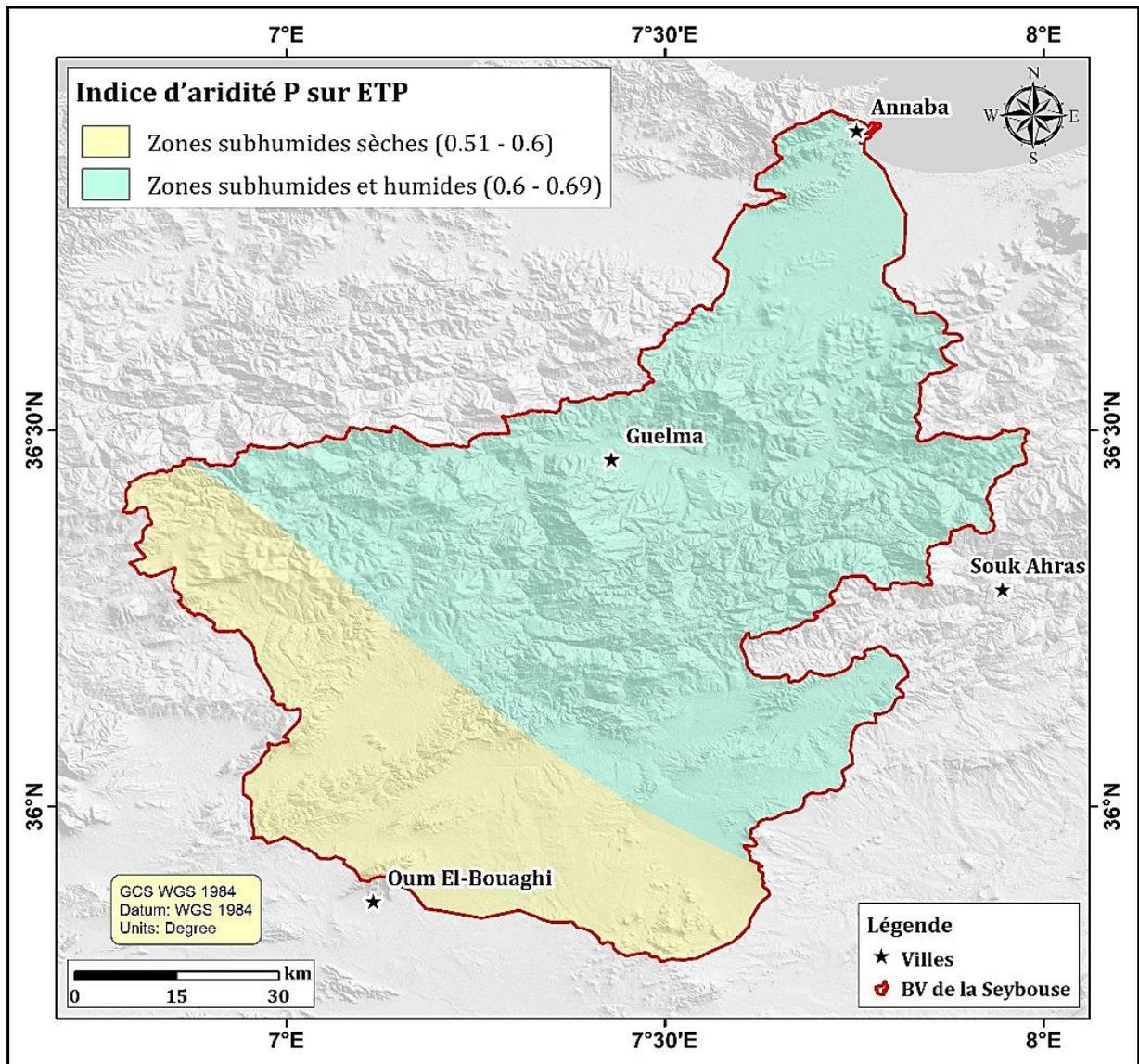


Figure 21 : Carte d'indice d'aridité P/ETP du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

4.2. Indice d'Aridité De Martonne

Indicateur quantitatif du degré du manque d'eau présente à un endroit donné qui se calcule par la formule de De Martonne

$$\text{Indice d'aridité } I = P / T + 10$$

Où **P** Précipitation moyenne annuelle (mm)

T Température moyenne annuelle (C°)

Si **I** est compris entre

5-10 >> Milieu très sec.

10-20 >> Milieu semi-aride.

20-30 >> Milieu tempéré.

Classement en fonction de l'indice d'Aridité De Martonne.

Tableau 2 : Classement en fonction de l'indice d'Aridité De Martonne (www.bonobosworld.org).

Indice De Martonne	Type de Climat
$I \leq 5$	Climat hyper aride
$5 \leq I \leq 7,5$	Climat désertique
$7,5 \leq I \leq 10$	Climat steppique
$10 \leq I \leq 20$	Climat semi-aride
$20 \leq I \leq 30$	Climat tempéré
$I > 30$	Climat humide

Les indices d'aridité permettent de définir la qualité des zones concernées.

Sur cette carte (fig.22), toute la région est classée comme un "milieu tempéré" avec un indice d'aridité compris entre 22.7 et 29, représenté en vert clair.

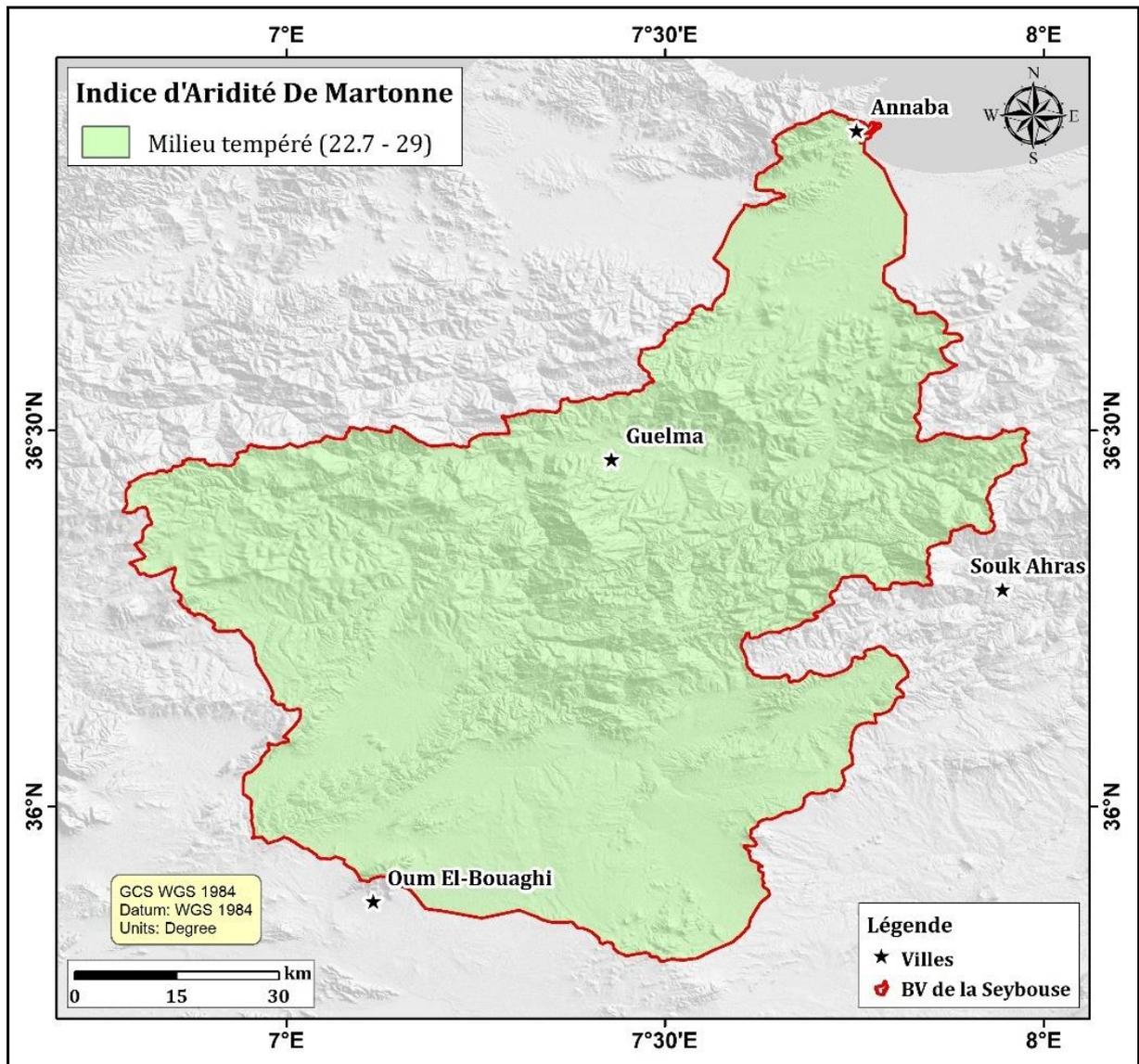


Figure 22 : Carte de l'indice d'Aridité De Martonne du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

5. Bilan Hydrique

5.1. Évapotranspiration potentielle pour 50 année (1972 à 2022)

5.1.1. Évapotranspiration potentielle annuelle (ETP)

Cette carte (fig.23) représente l'évapotranspiration potentielle annuelle, exprimée en millimètres, dans le bassin versant d'Oued Seybouse.

Une échelle de couleurs allant du bleu foncé au rouge vif est utilisée pour indiquer les différents niveaux d'évapotranspiration potentielle annuelle. Les zones en bleu foncé, comme celle autour d'Oum El-Bouaghi au Sud, ont une évapotranspiration potentielle relativement faible, de 1088 à 1090 mm par an. À l'inverse, les régions en rouge vif, comme celle entourant Annaba au Nord-Est, ont une évapotranspiration potentielle élevée, allant jusqu'à 1145-1150 mm par an.

On peut observer un gradient général d'augmentation de l'évapotranspiration potentielle du Sud vers le Nord, reflétant probablement un gradient climatique avec des températures et des niveaux d'ensoleillement plus élevés dans le Nord du bassin versant.

Les principales villes comme Annaba, Guelma et Souk Ahras sont situées dans des zones d'évapotranspiration potentielle modérée à élevée, entre 1115 et 1140 mm par an environ.

Cette carte fournit des informations précieuses pour la gestion des ressources en eau et l'agriculture dans la région, car l'évapotranspiration potentielle influence directement les besoins en eau des cultures et la disponibilité de l'eau dans le sol et les réservoirs.

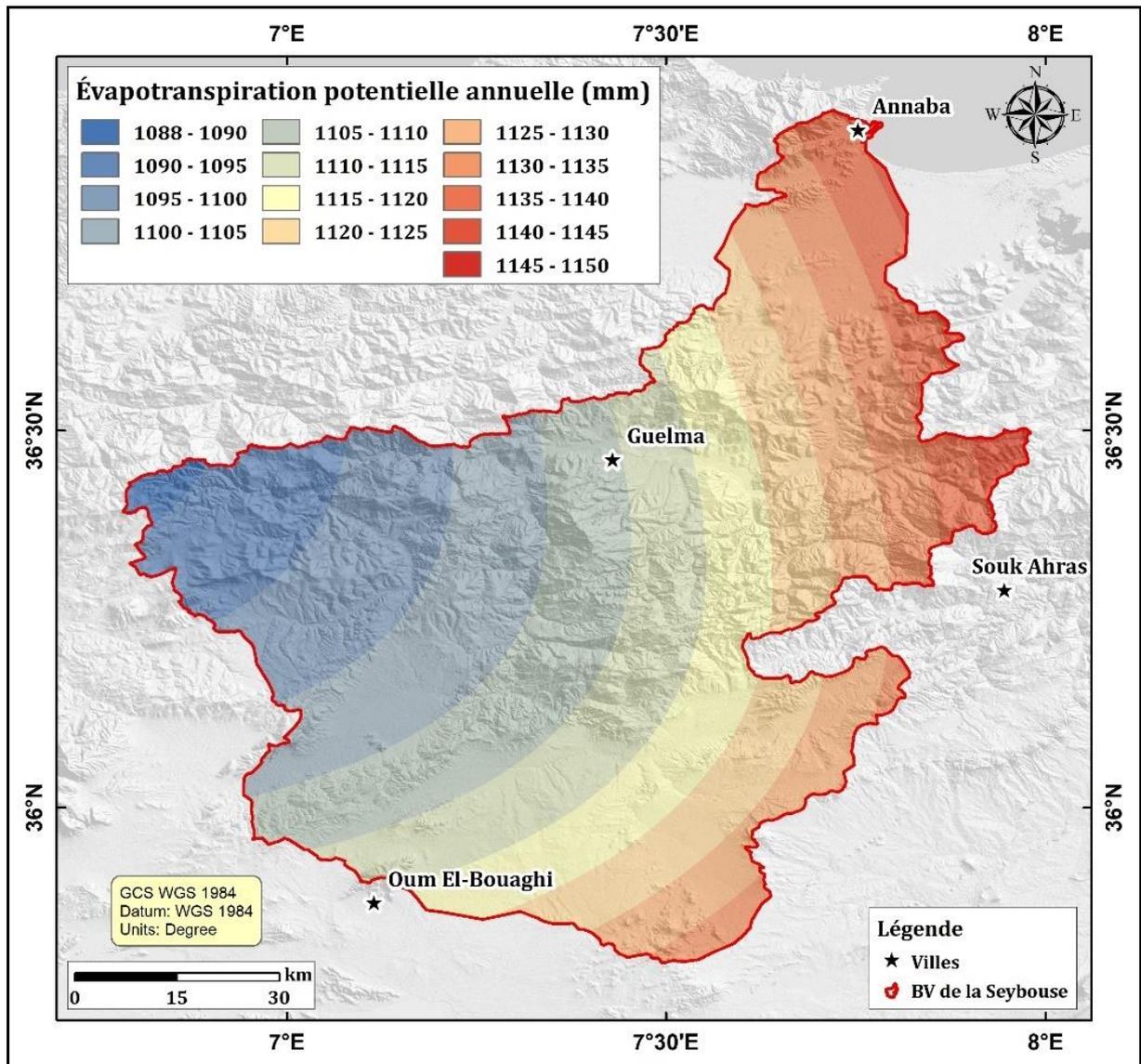


Figure 23 : Carte de Évapotranspiration potentielle annuelle du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

5.1.2. Évapotranspiration potentielle mensuelle

5.1.2.1. Évapotranspiration potentielle pour l'automne

Cette carte (fig.24) présente l'évapotranspiration potentielle mensuelle dans le bassin versant d'Oued Seybouse pour les mois de Septembre, Octobre et Novembre, représentant ainsi la saison automnale.

-En Septembre, on observe des valeurs d'évapotranspiration potentielle relativement élevées, allant de 106,9 à 114,6 mm, avec les zones les plus chaudes étant situées autour d'Annaba au Nord-Est du bassin.

-En Octobre, les valeurs chutent considérablement, avec une évapotranspiration potentielle ne dépassant pas 72,7 à 77,6 mm sur l'ensemble du bassin versant, reflétant la baisse des températures et de l'ensoleillement à cette période.

-En Novembre, les valeurs continuent à diminuer, se situant entre 44,5 et 47,9 mm, les plus basses de la saison automnale en raison du refroidissement progressif.

On peut clairement remarquer un gradient spatial, avec les valeurs les plus élevées concentrées dans le Nord-Est autour d'Annaba et les plus faibles dans le Sud-West autour d'Oum El-Bouaghi, probablement dû aux différences de températures et d'ensoleillement liées à la proximité de la mer Méditerranée.

La région d'Annaba se trouve à une altitude relativement basse près du littoral méditerranéen, bénéficiant ainsi de températures plus élevées. Alors qu'en allant vers le Sud-West, vers Oum El-Bouaghi, l'altitude augmente progressivement, entraînant une baisse des températures.

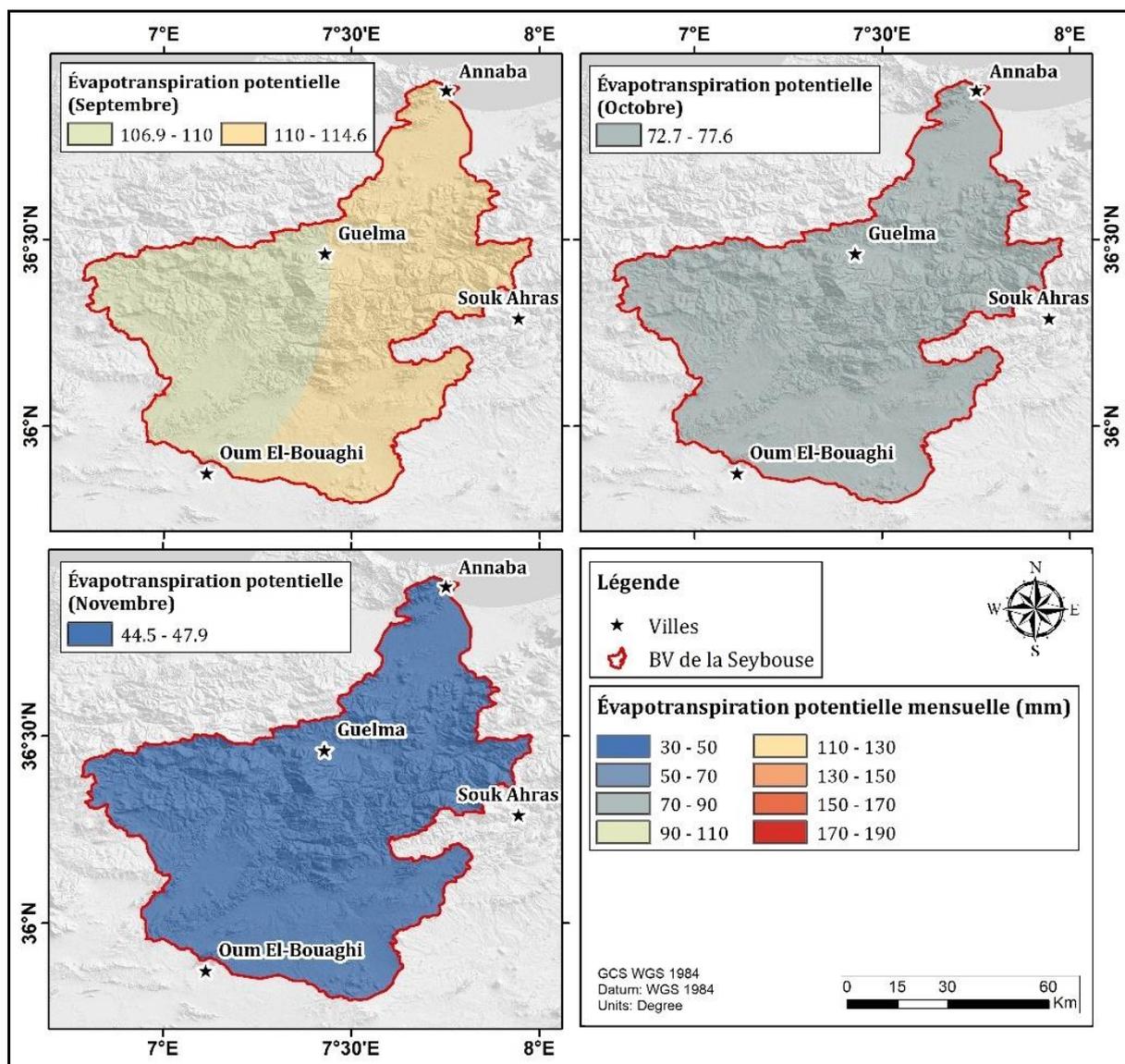


Figure 24 : Carte d'évapotranspiration potentielle pour l'automne du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

5.1.2.2. Évapotranspiration potentielle pour l'hiver

D'après les cartes (fig.25) d'évapotranspiration potentielle présentées pour le bassin de la vallée de la Seybouse, les observations suivantes concernant l'hiver (Décembre, Janvier et Février)

-En Décembre, l'évapotranspiration potentielle est relativement faible dans l'ensemble du bassin, variant de 33,5 à 37 mm par mois. Cette plage de valeurs plutôt basses est cohérente avec les températures plus fraîches et la diminution de l'ensoleillement pendant cette période hivernale.

-En Janvier, on note une légère augmentation de l'évapotranspiration potentielle par rapport à Décembre, se situant entre 35,8 et 38,8 mm par mois dans tout le bassin. Bien que les valeurs

restent modérées, cela reflète probablement un léger réchauffement des températures en cette période du cœur de l'hiver.

-En Février, l'évapotranspiration potentielle augmente de manière plus significative, atteignant des valeurs comprises entre 44,3 et 47,4 mm par mois dans l'ensemble du bassin. Cette hausse est liée au début du réchauffement printanier et à l'augmentation de l'ensoleillement à l'approche de la fin de l'hiver.

De manière générale, les valeurs d'évapotranspiration potentielle restent relativement faibles pendant ces trois mois hivernaux, en raison des températures fraîches et de l'ensoleillement réduit caractéristiques de cette saison dans la région. On observe toutefois une tendance à l'augmentation progressive des valeurs de Décembre à Février, reflétant le réchauffement progressif menant vers le printemps.

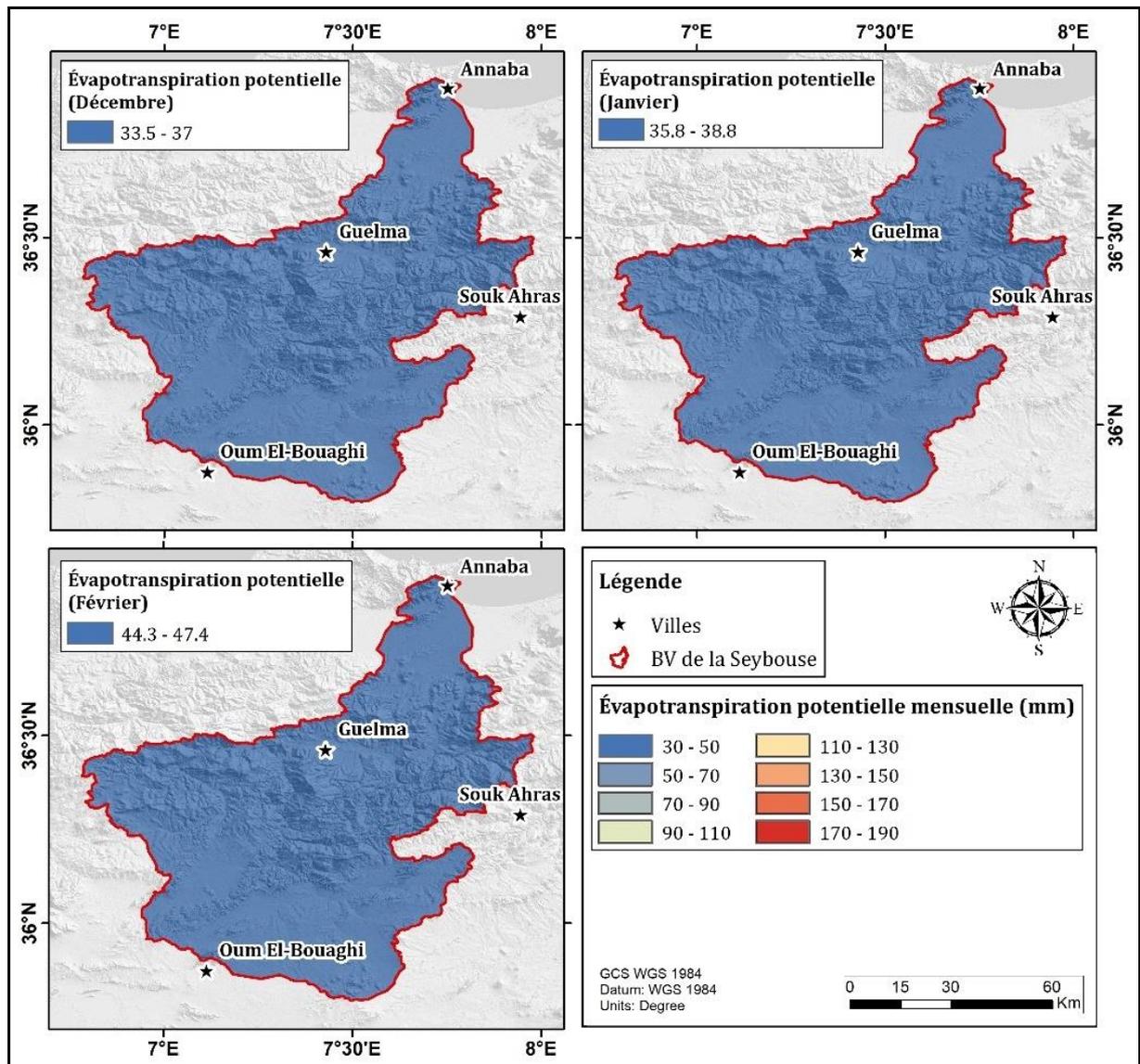


Figure 25 : Carte d'évapotranspiration potentielle pour l'hiver du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

5.1.2.3. Évapotranspiration potentielle pour le printemps

D'après les cartes (fig.26) d'évapotranspiration potentielle présentées pour la période printanière dans le bassin de la vallée de la Seybouse, on peut observer les tendances suivantes :

-En Mars, l'évapotranspiration potentielle se situe dans une gamme de 68,7 à 74,2 mm par mois pour l'ensemble du bassin. Ces valeurs modérées reflètent le début du réchauffement saisonnier accompagnant l'arrivée du printemps.

-En Avril, on note une augmentation significative avec des valeurs allant de 87,6 à 92,2 mm par mois. Cette hausse est liée à la poursuite du réchauffement printanier et à l'accroissement de l'ensoleillement pendant cette période.

-En Mai, l'évapotranspiration potentielle atteint son maximum pour la saison printanière, avec des valeurs comprises entre 120,2 et 126,3 mm par mois dans tout le bassin. Ces niveaux élevés correspondent aux températures chaudes et à l'ensoleillement important caractéristiques de la fin du printemps, avant l'arrivée de l'été.

On observe ainsi une tendance à la hausse marquée de l'évapotranspiration potentielle au fil de la progression du printemps, passant de valeurs modérées en mars à des niveaux élevés en Mai. Cela reflète l'augmentation progressive des températures et de l'ensoleillement au cours de cette saison de transition vers l'été.

Cette évolution saisonnière de l'évapotranspiration potentielle est cohérente avec le climat méditerranéen de la région, caractérisé par des printemps doux et ensoleillés devenant progressivement plus chauds avant l'arrivée de l'été sec et chaud.

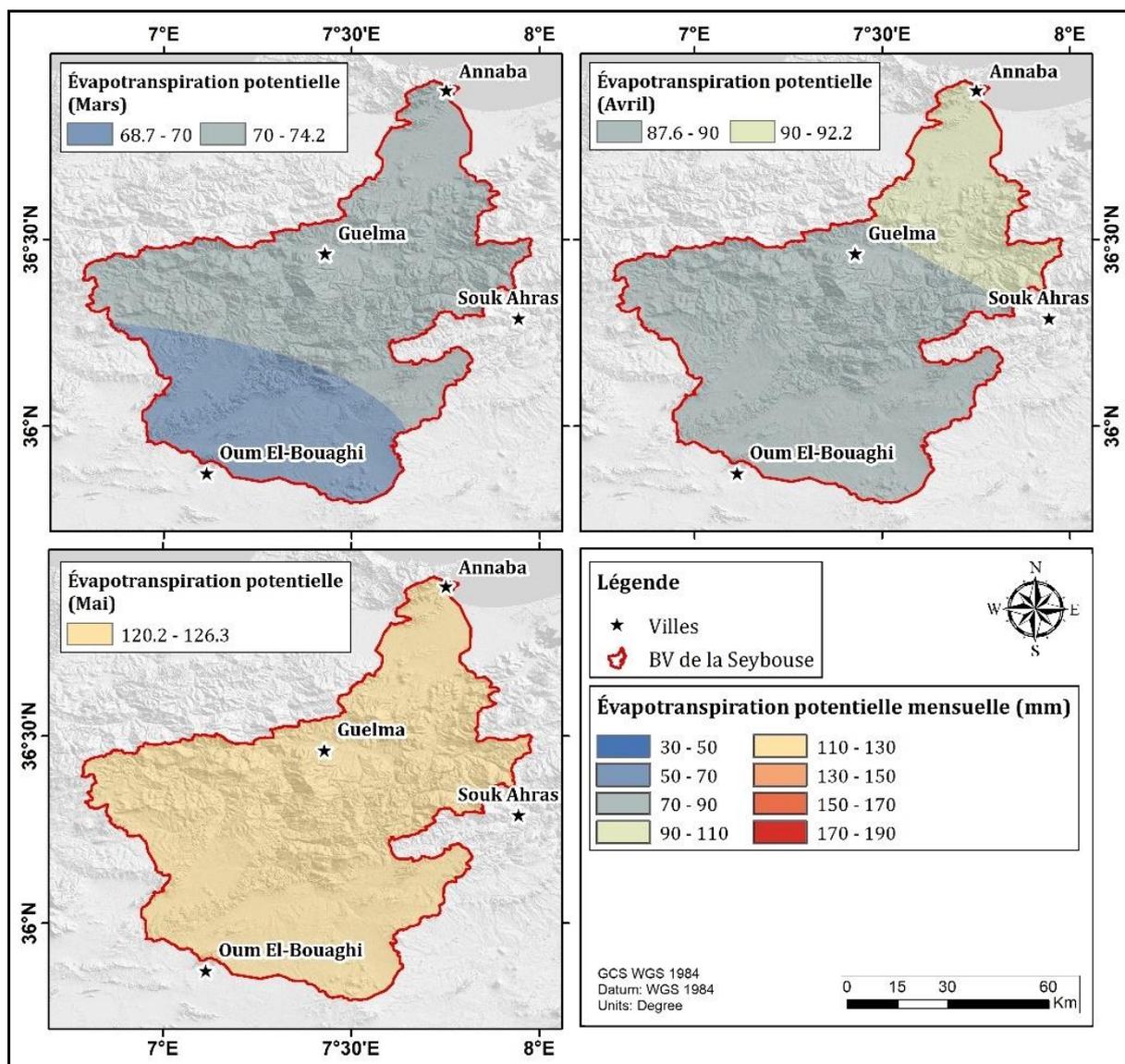


Figure 26 : Carte d'évapotranspiration potentielle pour le printemps du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

5.1.2.4. Évapotranspiration potentielle pour l'été

D'après les cartes (fig.27) d'évapotranspiration potentielle présentées pour la période estivale dans le bassin de la vallée de la Seybouse, on observe les tendances suivantes

- En Juin, les valeurs d'évapotranspiration potentielle sont élevées, situées entre 142,2 et 151,4 mm par mois pour l'ensemble du bassin. Ces niveaux importants marquent le début de la saison chaude et sèche de l'été dans la région.
- En juillet, l'évapotranspiration potentielle atteint son maximum annuel avec des valeurs comprises entre 170 et 182,3 mm par mois dans tout le bassin. Ces niveaux très élevés correspondent au pic de chaleur estivale et au fort ensoleillement typiques de cette période.

-En Août, bien que légèrement inférieures au mois de Juillet, les valeurs restent très élevées, variant de 157,1 à 164,7 mm par mois. Cette évapotranspiration potentielle intense est toujours liée aux températures chaudes et au temps sec de la fin de l'été.

On observe ainsi une augmentation progressive de l'évapotranspiration potentielle au fil de l'installation de la saison estivale, atteignant un pic au cœur de l'été en Juillet, avant de commencer à légèrement diminuer en Août. Cette évolution saisonnière reflète fidèlement le climat méditerranéen chaud et sec caractéristique de l'été dans cette région.

Les niveaux élevés d'évapotranspiration potentielle pendant ces mois estivaux soulignent l'importance des ressources en eau et des pratiques efficaces de gestion de l'eau pour répondre aux besoins en eau dans le bassin durant cette période de chaleur et de sécheresse accrues.

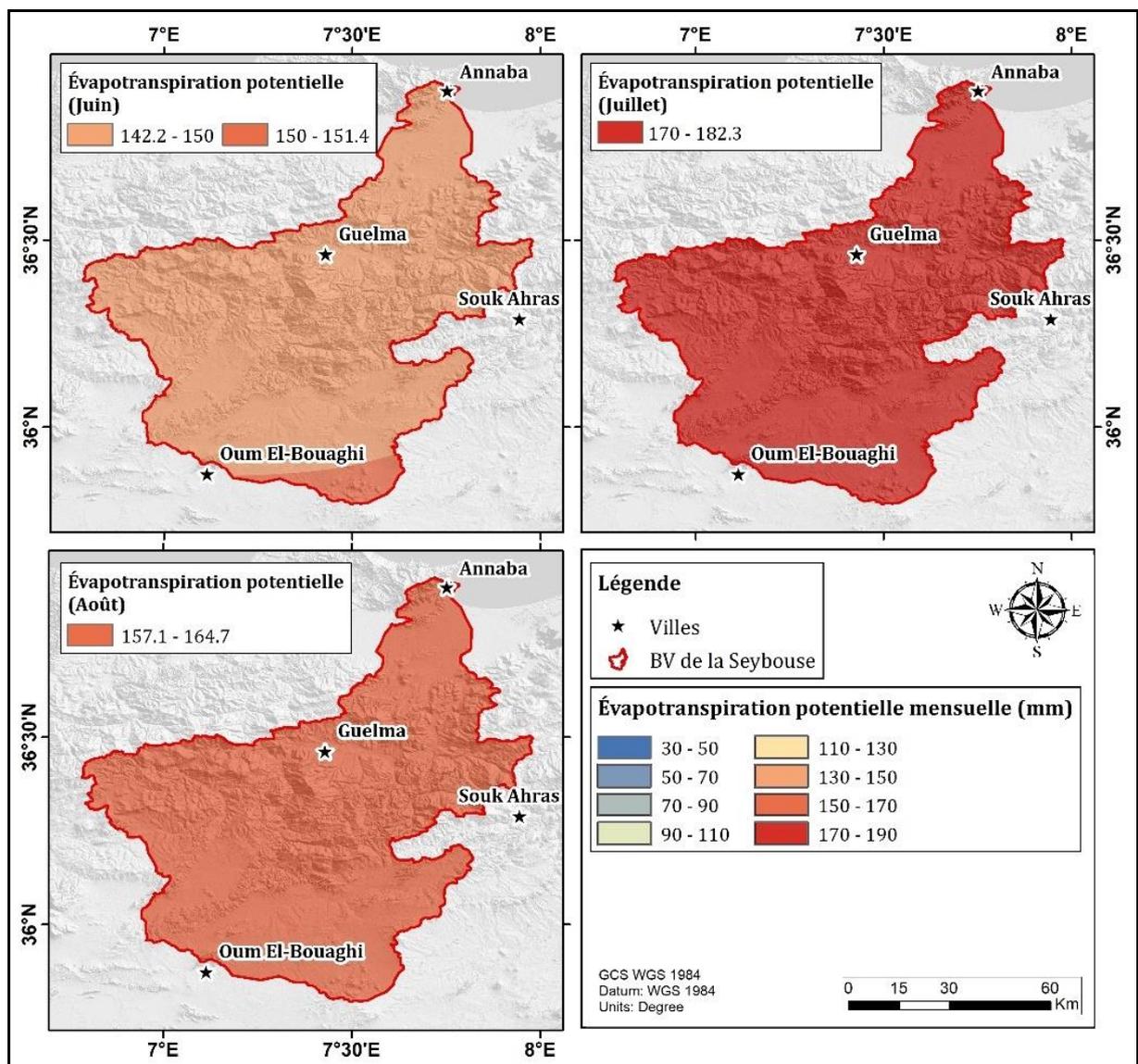


Figure 27 : Carte d'évapotranspiration potentielle pour l'été du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

5.2. Evapotranspiration réelle

5.2.1. Evapotranspiration réelle annuelle (ETR)

Cette carte (fig.28) représente l'évapotranspiration réelle annuelle dans le bassin versant d'Oued Seybouse. L'évapotranspiration est la quantité d'eau transférée vers l'atmosphère par l'évaporation du sol et la transpiration des plantes.

La carte montre le bassin versant d'Oued Seybouse divisé en différentes zones colorées, chaque couleur correspondant à une gamme de valeurs d'évapotranspiration en millimètres par an. La légende indique les différentes plages de valeurs représentées par les couleurs.

Donc

- Le bassin versant est délimité par une frontière rouge.
- Les zones les plus bleues, situées principalement au Nord-West, ont une évapotranspiration relativement faible, entre 553 et 575 mm par an.
- Les zones vertes et jaunes au centre ont une évapotranspiration modérée, de 575 à 600 mm environ.
- Les zones orange et rouge au Sud-Est ont les taux d'évapotranspiration les plus élevés, atteignant 615-620 mm par an.

Cette carte fournit donc des informations détaillées sur la répartition spatiale de l'évapotranspiration dans le bassin versant d'Oued Seybouse, ce qui est utile pour la gestion des ressources en eau et l'agriculture dans cette région.

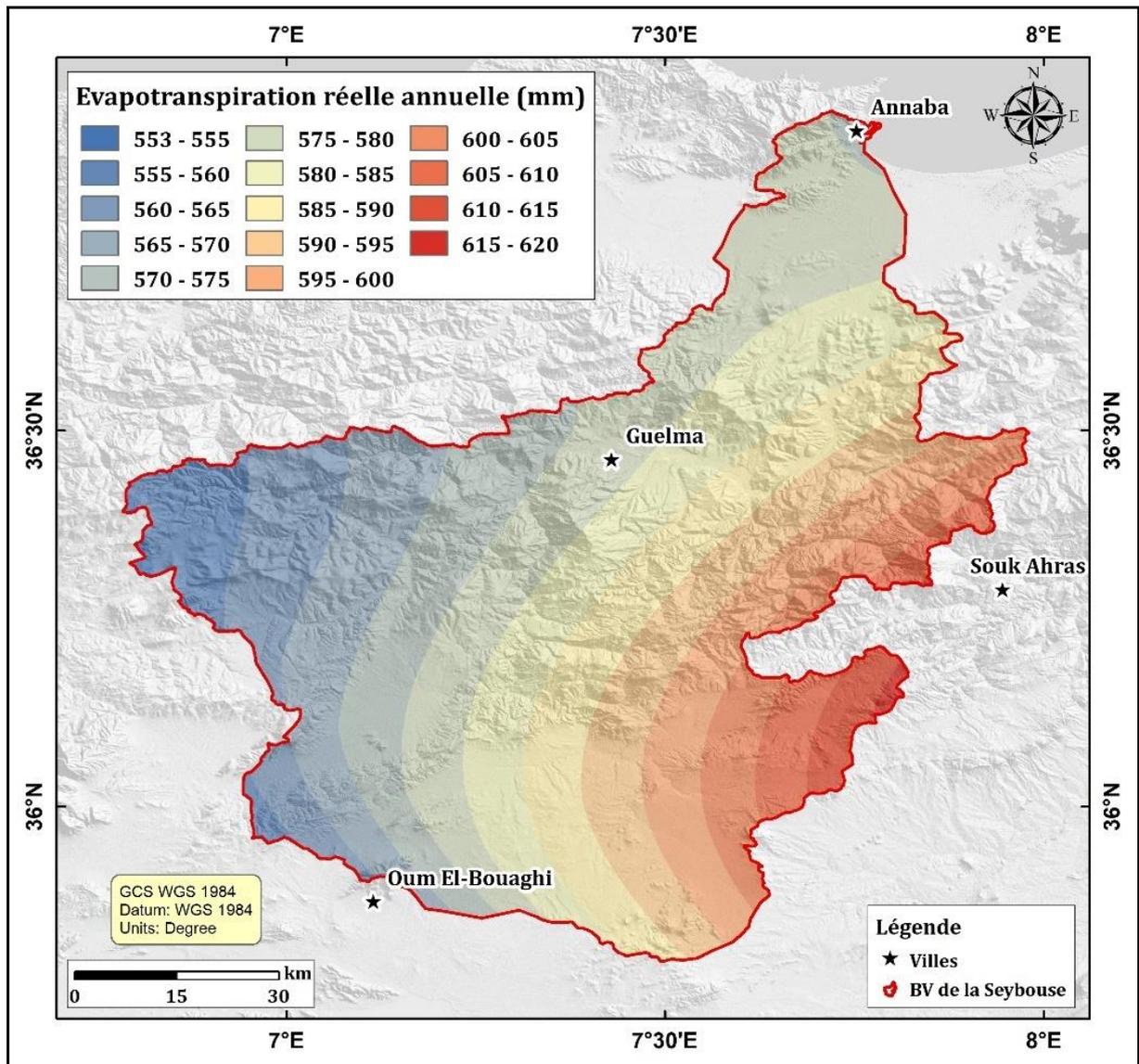


Figure 28 : Carte d'évapotranspiration réelle annuelle du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

5.2.2. Evapotranspiration réelle mensuelle

5.2.2.1. Evapotranspiration réelle pour l'automne

Cette carte (fig.29) représente l'évapotranspiration réelle mensuelle pour les mois d'automne (Septembre, Octobre et Novembre) dans le bassin versant d'Oued Seybouse. La carte est divisée en trois sous-cartes, une pour chaque mois d'automne, montrant la répartition spatiale de l'évapotranspiration dans le bassin versant. Les différentes nuances de couleurs correspondent à des gammes de valeurs d'évapotranspiration en millimètres, comme indiqué dans la légende.

En Septembre, les valeurs d'évapotranspiration sont relativement faibles, comprises entre 40,7 et 47,5 mm dans l'ensemble du bassin versant.

En Octobre, les valeurs augmentent, allant de 44,1 à 70 mm, avec les valeurs les plus élevées (60 à 70,3 mm) concentrées dans la partie centrale du bassin.

En Novembre, les valeurs d'évapotranspiration sont légèrement inférieures à celles d'octobre, se situant entre 44,5 et 47,9 mm dans tout le bassin.

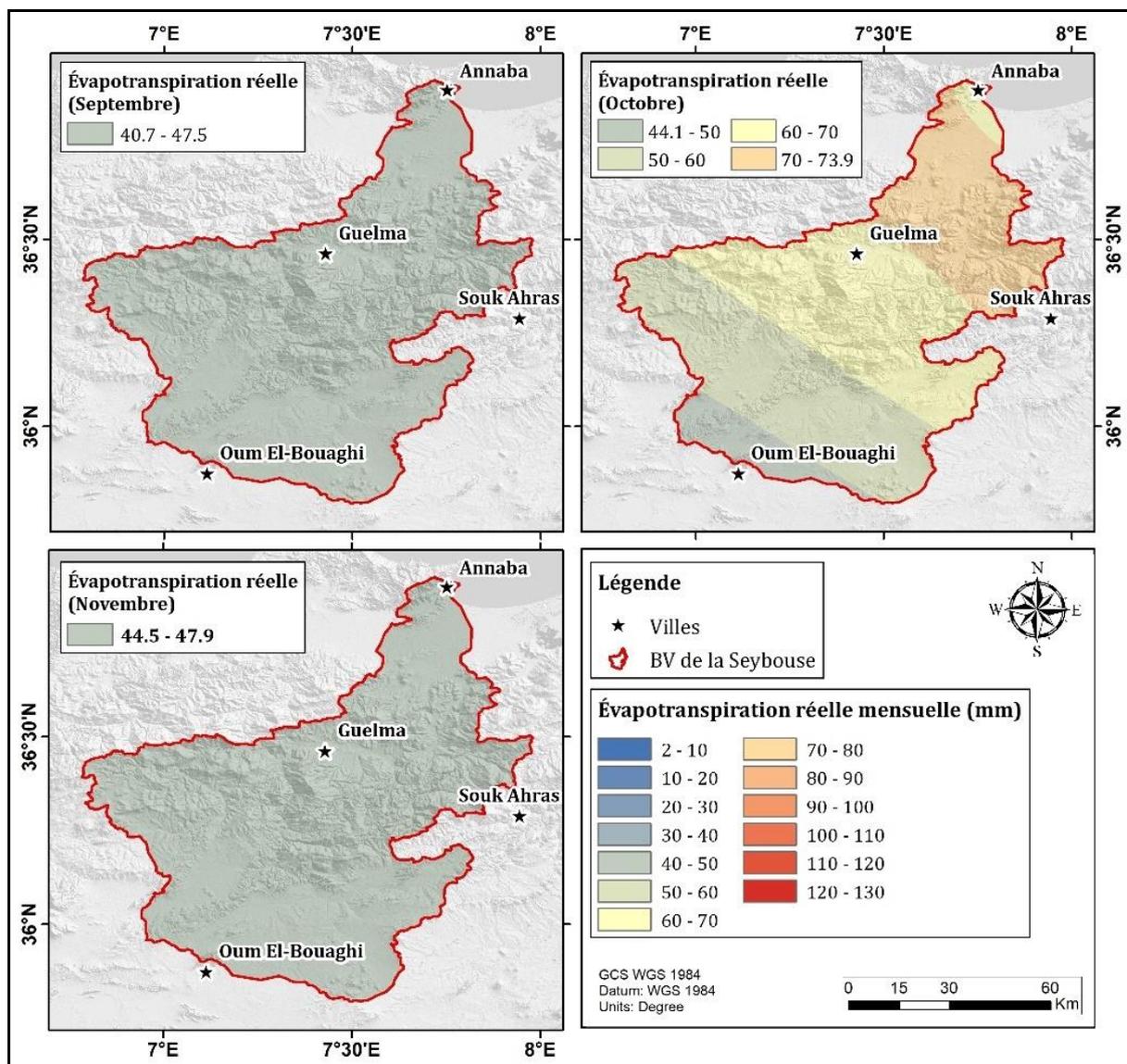


Figure 29 : Carte d'évapotranspiration réelle pour l'automne du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

5.2.2.2. Evapotranspiration réelle pour l'hiver

Cette carte (fig.30) représente l'évapotranspiration réelle mensuelle pendant l'hiver (Décembre, Janvier et Février) dans le bassin versant d'Oued Seybouse.

La carte est divisée en trois sous-cartes, une pour chaque mois d'hiver, montrant la répartition spatiale de l'évapotranspiration dans le bassin versant. Les différentes nuances de gris correspondent à des gammes de valeurs d'évapotranspiration en millimètres, comme indiqué dans la légende.

En Décembre, les valeurs d'évapotranspiration sont relativement faibles, comprises entre 33,5 et 37 mm dans l'ensemble du bassin versant.

En Janvier, les valeurs augmentent légèrement, allant de 35,8 à 38,8 mm dans tout le bassin.

En Février, les valeurs d'évapotranspiration sont un peu plus élevées, se situant entre 44,3 et 47,4 mm dans tout le bassin.

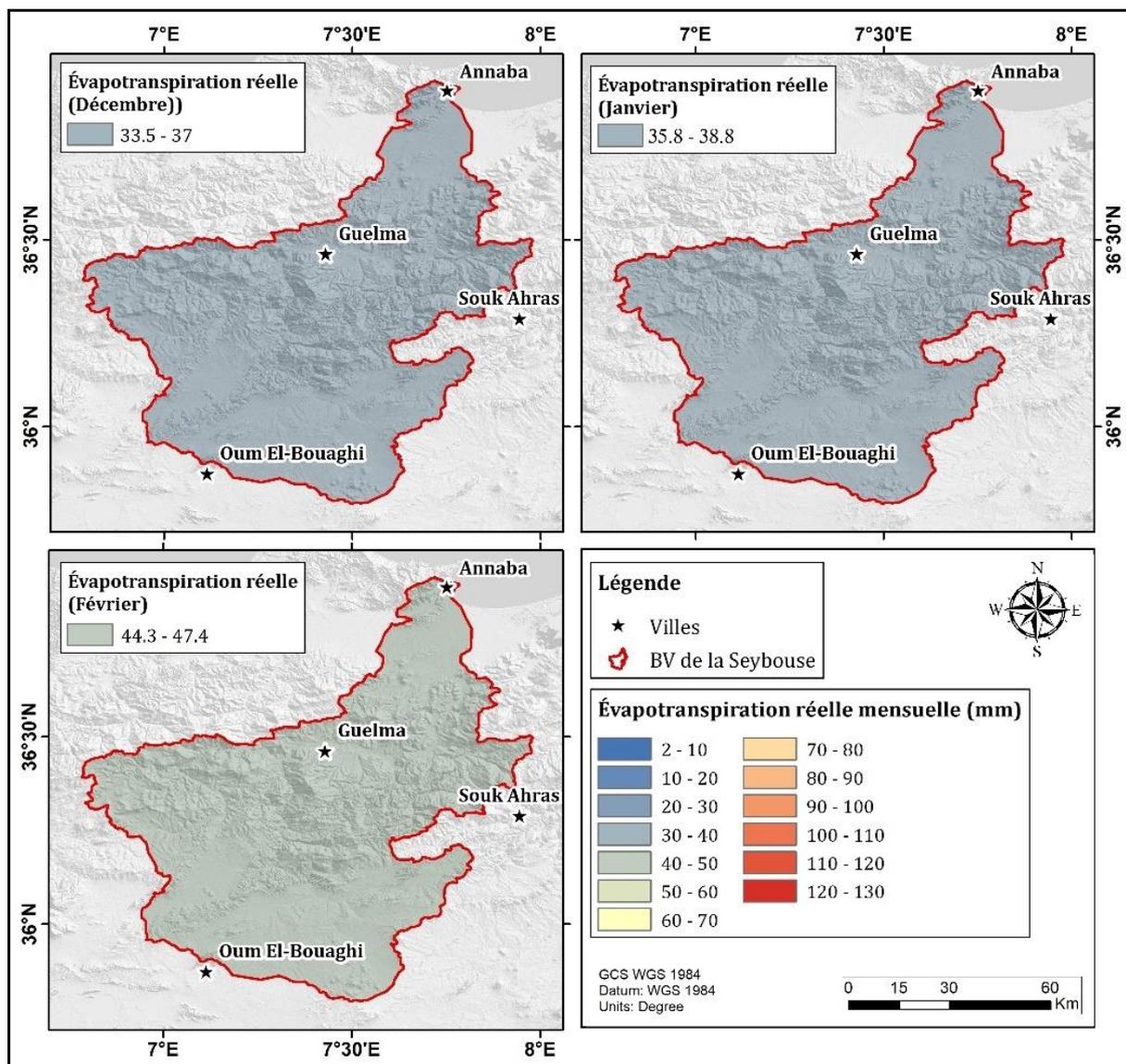


Figure 30 : Carte d'évapotranspiration réelle pour l'hiver du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

5.2.2.3. Evapotranspiration réelle pour le printemps

Cette carte (fig.31) représente l'évapotranspiration réelle mensuelle pour les mois du printemps (Mars, Avril et Mai) dans le bassin versant d'Oued Seybouse.

La carte est divisée en trois sous-cartes, une pour chaque mois de printemps, montrant la répartition spatiale de l'évapotranspiration dans le bassin versant. Les différentes nuances de

couleurs correspondent à des gammes de valeurs d'évapotranspiration en millimètres, comme indiqué dans la légende.

En Mars, les valeurs d'évapotranspiration sont modérées, comprises entre 68,7 et 74,2 mm dans l'ensemble du bassin versant, avec des valeurs légèrement inférieures dans la partie Sud-Est.

En Avril, les valeurs augmentent de manière significative, allant de 87,6 à 92,2 mm dans tout le bassin, avec les valeurs les plus élevées concentrées dans les régions centrales et septentrionales.

En Mai, les valeurs d'évapotranspiration atteignent leur maximum, se situant entre 101 et 125,3 mm dans la majeure partie du bassin, avec les valeurs les plus élevées (120 à 125,3 mm) dans les régions Nord et centre.

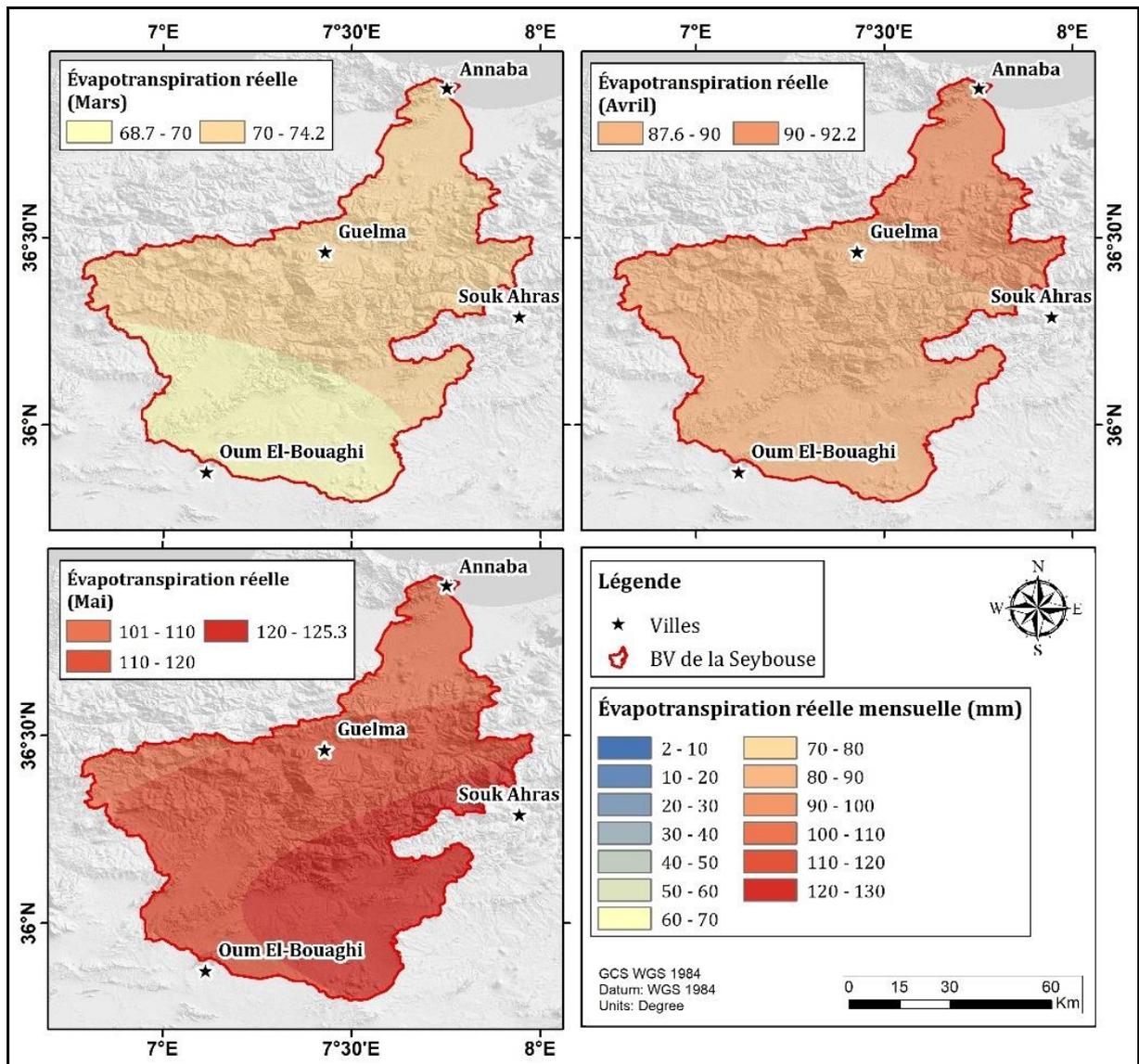


Figure 31 : Carte d'évapotranspiration réelle pour le printemps du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

5.2.2.4. Evapotranspiration réelle pour l'été

La (fig.32) présente la carte détaillant l'évapotranspiration réelle dans le bassin versant de l'Oued Seybouse durant les mois d'été.

On observe une augmentation progressive de juin (142,2-151,4 mm) à juillet (170-182,3 mm), suivie d'une légère baisse en août (157,1-164,7 mm).

La distribution spatiale reste relativement uniforme chaque mois, couvrant une région qui englobe les villes d'Annaba, Guelma, Souk Ahras et Oum El-Bouaghi.

Cette visualisation met en évidence les variations temporelles de l'évapotranspiration, un facteur crucial pour la gestion des ressources hydriques et l'agriculture dans cette zone au climat méditerranéen.

Les étés chauds et secs caractéristiques de cette région accentuent l'importance de ces données pour la planification agricole et la gestion durable de l'eau, permettant aux décideurs et aux agriculteurs d'adapter leurs stratégies aux conditions climatiques locales.

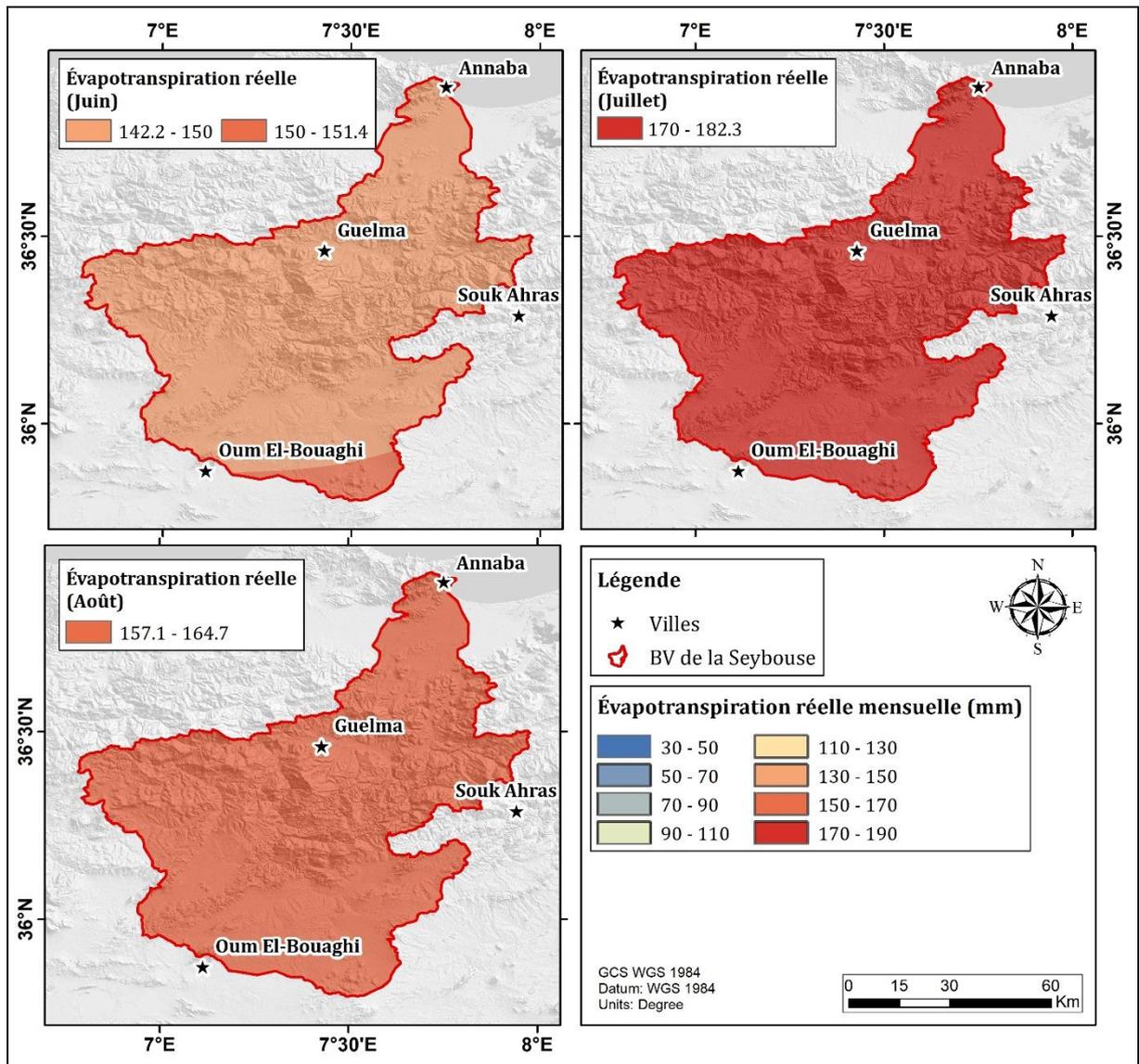


Figure 32 : Carte d'évapotranspiration réelle pour l'été du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

6. Ruissellement

Cette carte (fig.33) représente le bassin versant d'Oued Seybouse. Elle montre les différents niveaux de ruissellement, exprimés en millimètres, dans les différentes régions du bassin versant.

L'utilisation d'une échelle de couleurs allant du rouge foncé au bleu foncé est une excellente façon de représenter visuellement les différents niveaux de ruissellement dans le bassin versant. Cette méthode permet au lecteur de rapidement identifier les zones à faible et à fort ruissellement.

Les teintes rouges vives (50-60mm et 60-70mm) indiquent les régions les plus sèches avec un ruissellement limité. On remarque que ces zones se concentrent principalement dans la

partie Sud-West du bassin, autour de la ville d'Oum El-Bouaghi. Cela suggère que cette région reçoit probablement moins de précipitations annuelles.

À l'inverse, les nuances de bleu foncé (110-120mm et 120-130mm) représentent les zones à fort ruissellement, situées principalement dans le Nord-Est du bassin près d'Annaba. Cette partie semble bénéficier de niveaux de précipitations plus élevés, entraînant un ruissellement plus important.

Les teintes intermédiaires d'orange, de jaune et de gris clair illustrent les zones de transition avec des niveaux de ruissellement modérés à moyens, allant de 70 à 110mm.

Cette carte fournit donc des informations précieuses sur la variabilité spatiale du ruissellement à travers le bassin, ce qui est crucial pour une gestion efficace des ressources en eau et la planification de l'utilisation des terres. L'échelle visuelle claire et intuitive facilite grandement l'interprétation des données pour les décideurs et les parties prenantes.

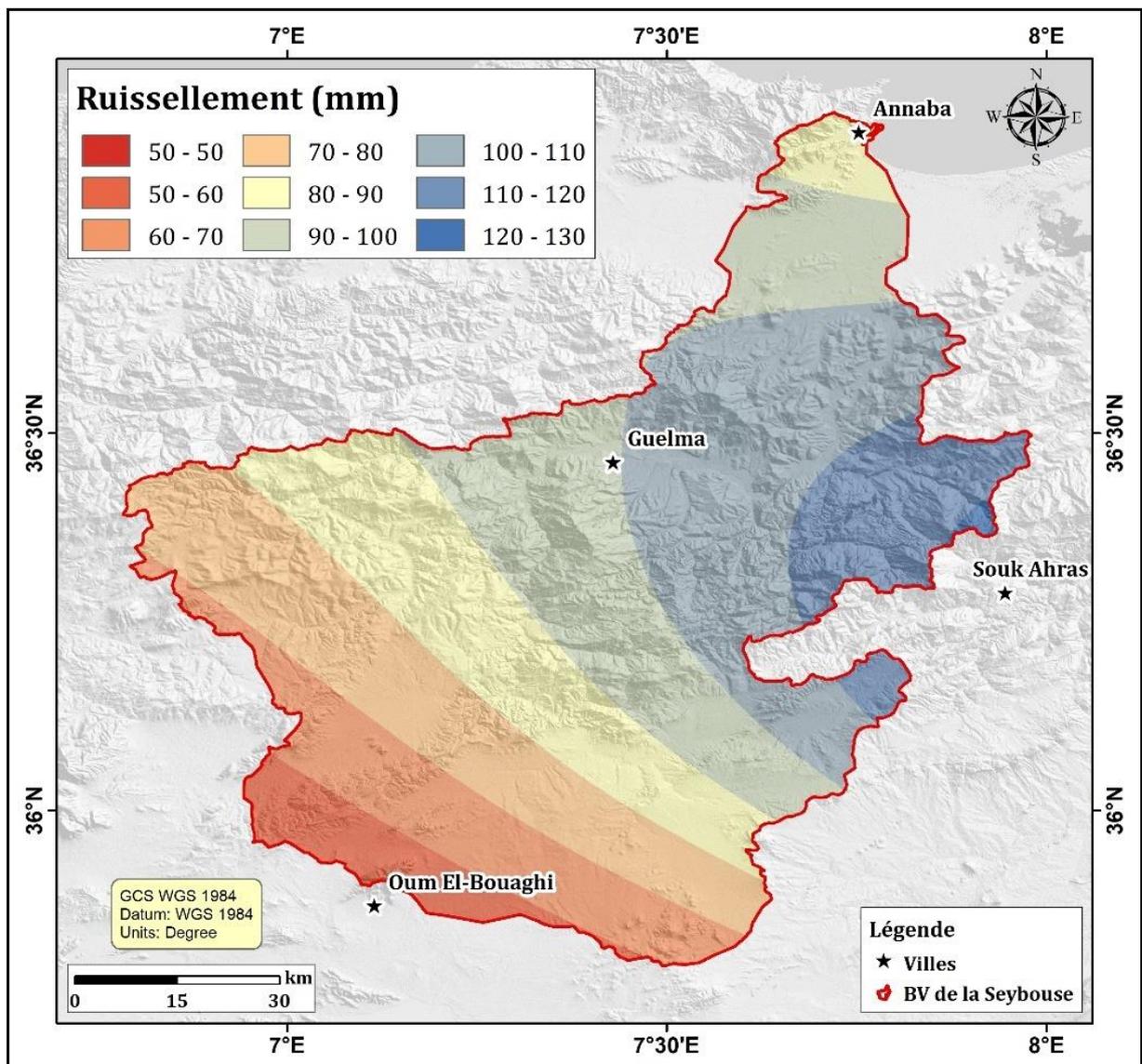


Figure 33 : Carte Ruissellement du Bassin Versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

7. Infiltration

Cette carte (fig.34) représente l'infiltration de l'eau dans le bassin versant d'Oued Seybouse. Les différentes couleurs indiquent les taux d'infiltration en millimètres, allant de moins de 5 mm (rouge foncé) à 50-54 mm (bleu foncé) sur l'échelle de légende.

On peut observer que les taux d'infiltration les plus élevés, de 40 à 54 mm, se situent principalement dans la partie Nord-West du bassin, autour des villes d'Annaba et Guelma. Les taux d'infiltration diminuent progressivement vers le Sud et le Sud-Est, atteignant des valeurs inférieures à 5 mm dans la région d'Oum El-Bouaghi.

Cette carte fournit des informations précieuses sur les variations spatiales de l'infiltration des précipitations dans le sol, ce qui est essentiel pour la gestion des ressources en eau et l'élaboration de stratégies d'utilisation durable dans cette région.

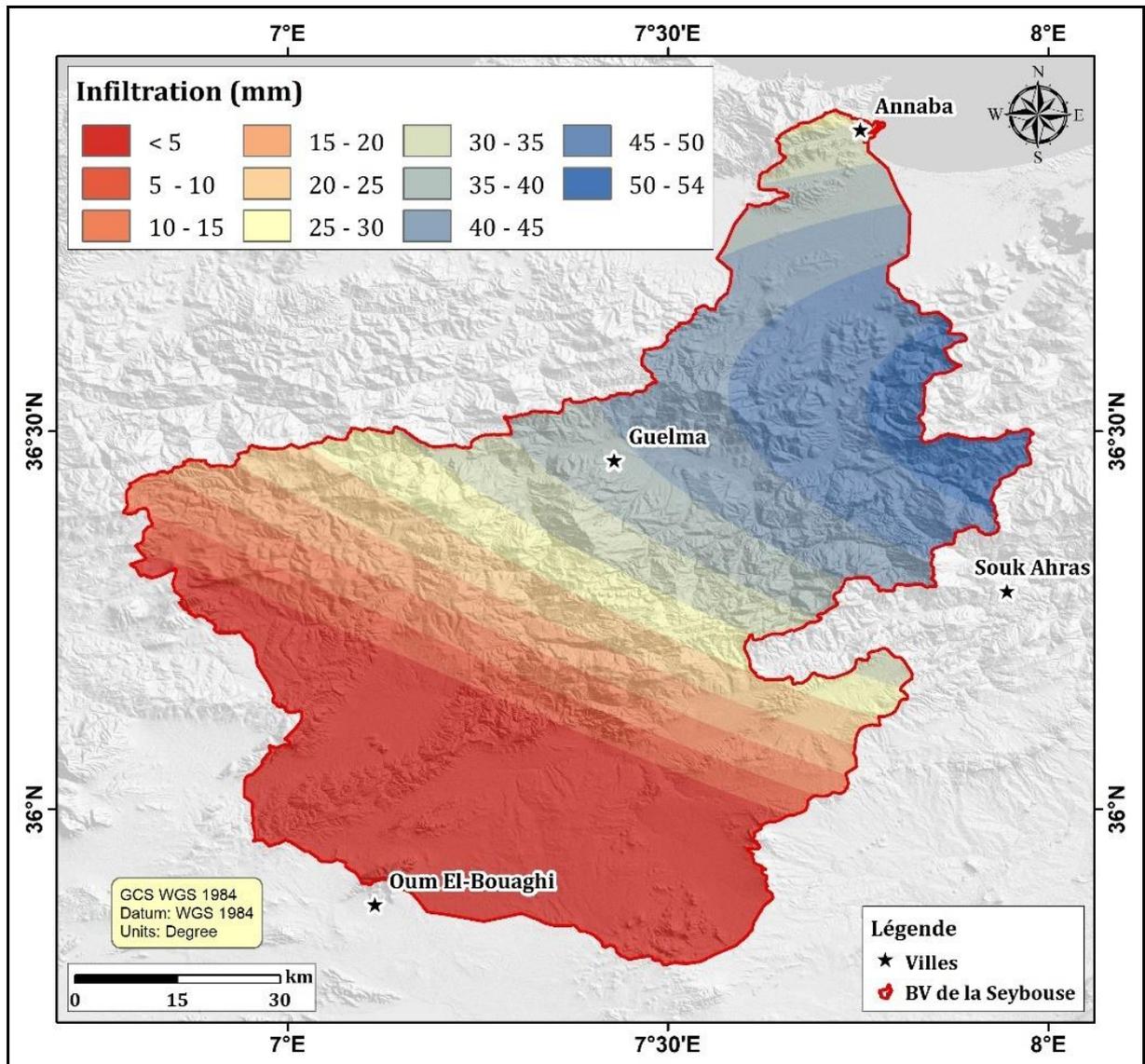


Figure 34 : Carte d'Infiltration du bassin versant d'Oued Seybouse (Meftah Seddiki).

Conclusion

En conclusion, ce chapitre a présenté une analyse approfondie des conditions hydroclimatiques du bassin versant de la Seybouse sur une période de 50 ans, de 1972 à 2022. Les résultats obtenus offrent un aperçu détaillé des dynamiques climatiques et hydrologiques de la région.

L'étude des précipitations et des températures a révélé des tendances significatives, mettant en lumière les variations saisonnières et les changements à long terme du climat régional. L'analyse de la pluviothermie et de l'indice d'aridité a permis de caractériser plus précisément le type de climat du bassin versant.

Le bilan hydrique, comprenant l'évapotranspiration potentielle et réelle, a fourni des informations cruciales sur le cycle de l'eau dans la région. Ces données sont essentielles pour comprendre la disponibilité des ressources en eau et leur variabilité au fil des saisons et des années.

Enfin, l'examen des processus de ruissellement et d'infiltration a complété notre compréhension du cycle hydrologique dans le bassin versant, offrant des insights précieux pour la gestion des eaux de surface et souterraines.

Conclusion générale

Cette étude a permis de réaliser une caractérisation détaillée du bassin versant d'Oued Seybouse du point de vue géographique, géologique, hydrogéologique, pédologique, hydrologique et climatique. Les différentes cartes réalisées (occupation des sols, précipitations, températures, évapotranspiration potentielle et réelle) offrent une vue d'ensemble précieuse des conditions environnementales prévalant dans ce bassin.

Les analyses ont mis en évidence une grande variabilité spatiale et temporelle des précipitations, avec des zones plus arrosées au Nord et des épisodes pluvieux saisonniers marqués. Le régime thermique est quant à lui typique du climat méditerranéen avec des étés chauds et secs. L'estimation de l'évapotranspiration potentielle et réelle a permis de mieux cerner les besoins en eau du bassin.

Ces données constituent des intrants essentiels pour la modélisation hydrologique qui permettra d'approfondir la compréhension du cycle de l'eau à l'échelle du bassin versant. Une gestion durable des ressources en eau passe nécessairement par une connaissance fine des processus hydrologiques en jeu.

Cette étude jette ainsi les bases d'une meilleure gestion intégrée du bassin de la Seybouse, prenant en compte les multiples enjeux économiques, sociaux et environnementaux qui s'y rattachent. Les décideurs disposeront des éléments clés pour mettre en place des politiques de développement raisonnées et durables sur le long terme.

Bibliographiques

1. A.B.H. (2005). Qualité des eaux souterraines dans le bassin de la Seybouse. Rapport interne, Agence des Bassins Hydrographiques Constantinois, Seybouse, Mellègue.
2. Amara, R. (2004). Approche par simulation numérique d'un tronçon aval de l'oued Seybouse en vue de la protection de la ville Annaba contre les inondations [Mémoire de fin d'étude]. École Nationale Polytechnique.
3. Bouderbala, A., Remini, B., Saaed Hamoudi, A., & Pulido-Bosch, A. (2016). Hydrogeological and hydrochemical characteristics of the Seybouse alluvial aquifer, northeast Algeria. *Environmental Earth Sciences*, 75(5), 1-14.
4. Boudoukha, A., Kechiched, R., Benguella, B., & Bounab, S. (2014). Assessment of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural uses in the Seybouse River Basin, Algeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(11), 7481-7495.
5. Djabri, L. (2012). Etats de la qualité des eaux en Algérie: cas des cours d'eau en région méditerranéenne (Kebir est, Seybouse et Medjerda), (extrême est algérien). XIIème Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Cherbourg, 5-8.
6. Djabri, L., Hani, A., Laouar, R., Mania, J., Mudry, J., & Louhi, A. (2008). Hydrogeological and hydrochemical study of the karstic aquifer of the Seybouse basin (northeast Algeria). *Environmental Geology*, 55(2), 369-376.
7. Driouche, A. (n.d.). Premiers pas avec Mapinfo 6.5 fonctionnalité de base. ENSH.
8. Ghachi, A. (1982). Le bassin de la Seybouse : hydrologie et utilisation de la ressource en eau (Algérie) [Thèse de doctorat de 3ème Cycle]. Université de Nancy II.
9. Ghachi, A. (n.d.). Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie le bassin de la Seybouse.
10. Khadri, S. (2018). La qualité des rejets urbains par temps de pluie dans un bassin versant urbaniser (Bassin versant de la Seybouse) [Thèse de Doctorat en sciences]. Université Badji Mokhtar.
11. Mouchara, N. (2009). Impacts des lâchées de barrage Hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont (Nord-Est algérien) [Mémoire de Magister]. Université de Annaba.
12. ONS. L'Office National des Statistiques d'Algérie.
13. TRADKHODJA, W. (2007). Essai de délimitation des zones Inondables par SIG Cas d'étude : bassin versant de la Seybouse [Mémoire d'ingénieur en Hydraulique].

