

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE ET DE
L'UNIVERS
DEPARTEMENT DE SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la terre et de l'univers

Filière : Géologie

Spécialité/Option : Hydrogéologie

Thème

Evaluation de l'offre et de la demande futur des ressources en eau par l'application du modèle WEAP (cas de la Wilaya d'ANNABA)

Présenté par :

CHEBATA Nassim Mohyiddine

Devant le jury :

Président : Mr. MAOUI Ammar	Pr	Université de Guelma
Examineur : Mme. DERRADJI Tahani	MCB	Université de Guelma
Encadreur : Mr. BOUZNAD Imed-eddine	MCA	Université de Guelma

Juin 2025

Remerciements

Avant toute chose, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la force et la persévérance nécessaires à la réalisation de ce travail.

*La réalisation de ce travail n'aurait pu être menée à terme sans le support constant de mon encadreur **Mr BOUZNAD Imad Eddine**. Je désire lui adresser un merci tout particulier.*

*Je voudrais aussi dire un grand merci aux **membres du jury** qui ont accepté d'évaluer ce mémoire, de me faire part de leurs remarques pertinentes qui me permettront d'enrichir ce travail et m'ouvriront sans nul doute de nouvelles pistes.*

*Nombreuses sont les personnes qui m'ont aidé à réaliser ce travail, Je voudrais également remercier le **Pr. MAOUI Ammar** pour les données nécessaire et **Mr BENGUSMIA Djamel**,*

***Mrs DERRADJI Tahani** pour la formation du SIG*

Je veux également exprimer ma reconnaissance et ma profonde gratitude à tous mes enseignants et enseignantes de notre belle Faculté pour l'enseignement qu'ils m'ont patiemment prodigué durant des années et qui m'ont permis d'accéder aujourd'hui à une formation universitaire de qualité. DIEU vous récompensera.

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à tous ma famille mes proches et amis qui m'ont soutenu et encouragé avec leur générosité naturelle.

A toutes et à tous, je voudrais dire Merci



الملخص

في ظل الضغوط المتزايدة الناتجة عن التغير المناخي والنمو الديموغرافي (1.5–2% سنوياً)، تهدف هذه الدراسة إلى تقييم هشاشة الموارد المائية المستقبلية في منطقة عنابة (الجزائر) خلال الفترة 2023–2090. تم استخدام أداة WEAP لمحاكاة أربعة سيناريوهات للطلب على المياه وتحديد العجز المتوقع. أظهرت النتائج اختلالاً حرجاً بدءاً من عام 2050، مع وصول العجز إلى 140 مليون م³/سنة في سيناريوهات النمو المرتفع. بالتوازي، تم تقدير تدفقات العودة من المناطق الحضرية والصناعية على المدى القصير والمتوسط والطويل، بهدف إعادة استخدامها في الري الزراعي والتغذية الاصطناعية. تم استخدام تحليل هرمي متعدد المعايير (AHP) مدمج في بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحديد ورسم خرائط للمناطق المثلى لإنشاء منشآت التغذية. وقد استُخدمت الخريطة الناتجة كأساس لتطوير استراتيجيات تغذية اصطناعية مضبوطة للمياه الجوفية باستخدام المياه المعالجة من محطات معالجة المياه المستعملة (STEP). تؤكد هذه المقاربة المتكاملة أهمية أدوات دعم القرار في تخطيط مستدام للموارد المائية.

الكلمات المفتاحية: AHP, WEAP, GIRE، إعادة الاستخدام، التغذية

Résumé :

Face à la pression croissante exercée par le changement climatique et la dynamique démographique (1,5–2 %/an), cette étude évalue la vulnérabilité hydrique future de la région d'Annaba (Algérie) sur la période 2023–2090. L'outil WEAP a été utilisé pour simuler quatre scénarios de demande en eau et identifier les déficits anticipés. Les résultats révèlent un déséquilibre critique dès 2050, avec un déficit atteignant 140 Mm³/an dans les scénarios de forte croissance. Parallèlement, les volumes de retour issus des zones urbaines et industrielles ont été quantifiés aux horizons court, moyen et long terme, dans l'optique de leur réutilisation pour l'irrigation agricole et la recharge artificielle. Une analyse multicritère hiérarchique (AHP), intégrée dans un SIG, a permis de cartographier les zones optimales pour l'implantation de dispositifs de recharge. La carte obtenue a servi de base à une stratégie de réalimentation contrôlée des nappes par les eaux traitées des STEP. L'approche intégrée proposée met en évidence le rôle des outils d'aide à la décision dans la planification durable des ressources en eau.

Mots-clés : GIRE, WEAP, AHP, réutilisation, recharge.

Abstract:

In the face of increasing pressure from climate change and demographic growth (1.5–2% per year), this study assesses the future water vulnerability of the Annaba region (Algeria) over the period 2023–2090. The WEAP tool was used to simulate four water demand scenarios and identify anticipated deficits. The results indicate a critical imbalance as early as 2050, with a deficit reaching 140 Mm³/year under high-growth scenarios. Simultaneously, return flows from urban and industrial zones were quantified at short, medium, and long-term horizons, with the aim of reuse for agricultural irrigation and artificial recharge. A hierarchical multicriteria analysis (AHP), integrated into a GIS environment, was used to map optimal areas for recharge infrastructure. The resulting map served as a basis for developing a controlled aquifer recharge strategy using treated effluents from wastewater treatment plants (WWTPs). The proposed integrated approach highlights the relevance of decision support tools for sustainable water resource planning.

Keywords: IWRM, WEAP, AHP, reuse, recharge

Table des figures

Figure 1: organigramme résumer les étapes suivies dans la méthode de recherche3

Chapitre I :

Figure I. 1: Carte de situation et découpage administratif de La wilaya d'Annaba..... 7

Figure I. 2: Carte de relief de la wilaya d'Annaba.....9

Figure I. 3: Carte des pentes de la wilaya d'Annaba 11

Figure I. 4: Carte geologie d'annaba 14

Figure I. 5:La carte hydrogéologique de la wilaya d'Annaba 17

Figure I. 6: Situation de zone d'étude dans Climagramme d'Emberger..... 19

Figure I. 7: Précipitations moyennes mensuelles.....20

Figure I. 8 : températures moyennes mensuelles21

Figure I. 9: Diagramme Ombro-thermique.....22

Figure I. 10: Représentation graphique du bilan hydraulique (en mm) selon la méthode de Thornthwaite.....26

Figure I. 11: La répartition de la population au sein de la wilaya d'Annaba27

Chapitre II :

Figure II. 1: Le réseau hydrographique ainsi que les barrages qui approvisionnent Annaba ..32

Figure II. 2:Les volumes d'eau distribuée a partir des champs du captage et les barrages34

Figure II. 3: Schéma récapitulatif du potentiel hydrique dans la wilaya d'Annaba37

Chapitre III :

Figure III. 1 (Source : Tutorial de logiciel WEAP 2025).....40

Figure III. 2: License WEAP acquise à partir du SEI (Stockholm Environnement Institute).43

Figure III. 3:Carte du monde dans le logiciel WEAP44

Figure III. 4:Carte de la wilaya d'Annaba par communes sous WEAP45

Figure III. 5:Schéma hydraulique de la wilaya d'Annaba47

Figure III. 6:Niveau d'activité annuelle de la population.....48

Figure III. 7:Niveau d'activité annuelle agricole et industrielle.....48

Figure III. 8:Le taux de consommation du débit d'entrée consommé 202349

Figure III. 9: Capacités de stockage des barrages.....49

Figure III. 10:Capacités de stockage des eaux souterraines50

Figure III. 11:Les hypothèses clés dans la WEAP «2023»51

Figure III. 12: Création des scénarios avec leur description.....51

Figure III. 13:l'horizon de temps pour les scénarios52

Figure III. 14: Organisation des scénarios dans WEAP.....	53
Figure III. 15: Organigramme du fonctionnement du logiciel WEAP.....	54
Figure III. 16: Organigramme pour le réseaux hydrographique (DERRADJI Tahani.2023) .	56
Figure III. 17: Organigramme des étapes pour la carte des zones potentiels d'Annaba.....	57
Figure III. 18: Histogramme sur l'influence de chaque paramètre.....	58

Chapitre IV :

Figure IV. 1: l'augmentation de l'activité annuelle par habitant dans certaines villes entre 2023 et 2089 (scénario référence).....	61
Figure IV. 2: l'augmentation de l'activité annuelle par habitant dans certaines villes entre 2023 et 2089 (scénario 01).....	62
Figure IV. 3: l'augmentation de l'activité annuelle par habitant dans certaines villes entre 2023 et 2089 (scénario 02 et 03).....	63
Figure IV. 4: Evolution de la demande en eau pour le scénario référence.....	64
Figure IV. 5: Evolution de la demande en eau pour le scénario 01.....	64
Figure IV. 6: Evolution de la demande en eau pour le scénario 02.....	65
Figure IV. 7: Evolution de la demande en eau pour le scénario 03.....	66
Figure IV. 8: Changement d'horizon de temps pour l'axe des années.....	66
Figure IV. 9: Demande non satisfaite.....	67
Figure IV. 10: Écoulement	68
Figure IV. 11: Comparaison entre Scénario 01 et référence	69
Figure IV. 12: Comparaison entre Scénario 02 et référence	70
Figure IV. 13: Comparaison entre Scénario 03 et référence	70
Figure IV. 14: Evolution de la demande en fonction des scénarios	72
Figure IV. 15: Les zones potentielles de la wilaya d'Annaba.....	73
Figure IV. 16 : Les zones potentielles dans le WEAP	74
Figure IV. 17: Disposition des données de base et scénarios du modèle WEAP d'Annaba	75
Figure IV. 18: Les principales recommandations de gestion des ressources en eau dans la wilaya d'Annaba.....	76

Liste de tableaux

Chapitre I

Tableau I. 1: Le tableau indiquant les Daïra et ses communes affiliées.	6
Tableau I. 2: Pluviométrie moyenne mensuelle.	20
Tableau I. 3: Température moyennes mensuelle.	20
Tableau I. 4: Détermination du paramètre de l'évaporation réelle.	23
Tableau I. 5: Bilan simplifié selon Thornthwaite.	25
Tableau I. 6: La répartition de la population au sein de la wilaya d'Annaba.	27

Chapitre II

Tableau II. 1: Les deux grands oueds de la région d'Annaba.	30
Tableau II. 2: Les barrages et leurs volumes d'eau transféré a Annaba.	31
Tableau II. 3: Les retenues collinaires de la wilaya d'Annaba.	31
Tableau II. 4: Les volumes d'eau distribuée à la wilaya d'Annaba.	33
Tableau II. 5: Les forages et les puits ainsi que leurs usages.	34
Tableau II. 6: Les différentes sources dans la zone d'étude et leurs débits.	35
Tableau II. 7: La Situation de l'approvisionnement en eau potable.	36
Tableau II. 8: Récapitulatif des capacités hydriques en eau souterraine et superficielle dans wilaya d'Annaba.	36

Chapitre IV

Tableau IV. 1: Volume d'eau mobilisés/an.	71
--	----

Liste des abréviations

GIRE : gestion intégrée des ressources on eau

WEAP: water elevation a nd planing

Km² : kilomètre carré

% : pourcent

m : mètre

° : degré

m²/s : mètre carré par seconde

mm : millimètre

°C : degré Celsius

m³/ha : mètre cube par hectare

m³/s : mètre cube par seconde

Mm³ : million mètre cube

m³: mètre cube

AEP : alimentation en eau potable

AEA : alimentation en eau agricole

AEI : alimentation en eau industrielle

l/s : litre par seconde

l/j/Person : litre par jour par Person

TA : taux d'accroissement

AHP : analyse multicritère hiérarchique

SIG : système d'information géographique

WGS : world geographic system

STEP : station d'épuration des eaux usées

OMS : organisation mondiale de la santé

SDEM : station de dessalement

FAO: food and agriculture organization

Table des matières

Remerciement	
Résumé	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction Générale	1
Introduction.....	6
I. Situation de la wilaya d'Annaba.....	6
I.1 Situation géographique	6
I.2 Situation administrative.....	6
I.3 superficies.....	6
I.4 aspects administratifs.....	6
II. Relief et Aspect Pédologique	8
II.1 Relief.....	8
II.1.1 Les montagnes.....	8
II.1.2 les collines et les piémonts	8
II.1.3 les plaines	8
II.2 La pente	10
II.3 Géologique	12
II.3.1 Précambrien et Paléozoïque	12
II.3.2 Mésozoïque	12
II.3.3 Cénozoïque.....	12
II.4 Hydrogéologique.....	15
II.4.1 Principaux aquifères et formations hydrogéologiques	15
II.4.1.1 La nappe superficielle :	15
II.4.1.2 La nappe profonde.....	15
II.4.1.2.1 Alluvions récentes et actuelles (aquifères profonds continus)	15
II.4.1.2.2 Alluvions quaternaires anciennes (aquifères profonds continus).....	15
II.4.1.2.3 Formations sédimentaires (aquifères continus ou discontinus).....	15
II.4.1.2.4 Zones à faible ressource en eau (aquifères discontinus avec ressources limitées)...	16
II.4.1.2.5 Formations imperméables (zones sans aquifère)	16

III. Contexte climatique	18
III.1 Précipitations.....	19
III.2 Température	20
Diagramme Ombro-thermique.....	21
III.8 Evapotranspiration (ET).....	22
III.8.1 L'évapotranspiration potentielle (ETP) :.....	22
III.8.1.2 L'évapotranspiration réelle (ETR) :	23
III.9. Bilan hydrologique.....	24
III.9.1 Estimation du bilan hydrologique.....	24
III.9.2 Interprétation du bilan hydrologique	26
IV. Population	26
Introduction.....	29
I. Les Ressources en eau de la Wilaya	29
I. 1. Les Oueds	29
I. 1.1. Oued méboudja.....	29
I. 1.1.2 Oued Seybouse	29
I. 2. Les Barrages	30
I.2.1 barrage Cheffia	30
I.2.2 barrage Mexa	30
I.2.3 barrage bougous.....	30
I. 3. Les Retenues Collinaires	31
I.4 les forages et les puits.....	33
I.5 les sources en eau	34
I.6 Station de dessalement d'eau.....	35
II. Situation actuelle de l'AEP dans la wilaya d'Annaba.....	35
II.1. Les Potentialités Hydrologiques de la Wilaya d'Annaba.....	36
.....	37
Conclusion	38
Partie 01 : le WEAP	40
Introduction.....	40
I. Description du Logiciel	40
I.1. Présentation du logiciel WEAP	41
I.1.2. Obtention du logiciel WEAP	42

I.3. Application du modèle WEAP dans Wilaya d'Annaba	43
I.3.1. Cartographie	43
I.3.2 Réglage des paramètres généraux.....	44
I.3.3 Fonctionnement du logiciel	45
I.3.3.1 définition de la zone d'étude :	45
I.3.3.2 les hypothèse clé et référence :	45
I.3.3.3 créations des scénarios :	45
I.3.3.4 Saisie des données :	46
I.3.3.5 les résultats :	46
II. Analyse et traitement des données nécessaires	47
II.1. Sites des demandes.....	47
II.1.1 Le niveau d'activité annuel	47
II.1.2 la consommation annuelle :.....	48
II.2 Sites de l'offre	49
II.3 Création des hypothèses clés.....	50
II.3 Création des scénario et changement de l'horizon du temps	51
II.4 Exécuter le Scénario « Référence ».....	52
Partie 02 : AHP	55
Introduction.....	55
I.1. Application du SIG	55
I.1.1 création de la carte de précipitation.....	55
I.1.2 création de la carte géologique	56
I.1.3 création de la carte de réseaux hydrographique.....	56
I.1.4 la carte des zones potentiels de la wilaya d'Annaba	56
.....	57
I.1.5 weight overlay	58
Conclusion	59
Introduction.....	61
I.1 Résultats.....	61
I.1.1 L'accroissement populaire	61
I.1.2 demande en eau	63
I.1.2.1 scénario référence	63
I.1.2.2. Scénario 01	64

I.1.2.3. Scénario 02	65
I.1.2.4. Scénario 03	65
I.1.3. demande non satisfaite.....	66
I.1.4. Écoulement	67
I.1.5. Comparaison entre les scénarios.....	68
I.1.5.1 entre le scénario 01 et scénario de référence	68
I.1.5.2 entre le scénario 02 et scénario de référence	69
I.1.5.3 entre le scénario 03 et scénario de référence	70
II Discussion des résultats.....	71
II.1 Evolution de la demande en fonction des scénarios.....	71
II.2. Développement de l’infrastructure pour une solution de la gestion des eaux.....	72
III. les principales recommandations de gestion des ressources en eau dans la wilaya d’Annaba	76
Conclusion	77
Conclusion générale.....	79

Introduction générale

Introduction Générale

La gestion durable des ressources en eau repose sur l'intégration de la planification, de la régulation et de la gestion des demandes concurrentes. ([Unwater.2018](#))

La Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) propose des stratégies globales qui prennent en compte non seulement les besoins en eau des populations humaines, mais aussi les exigences environnementales et économiques. L'objectif est de réconcilier les besoins humains avec la préservation de l'environnement.

La **GIRE** est fondée sur une vision de gestion participative et multi-acteurs. Elle cherche à résoudre les conflits d'usage, à gérer les ressources de manière équitable, et à garantir la résilience des écosystèmes face aux pressions croissantes telles que les changements climatiques et l'urbanisation rapide.

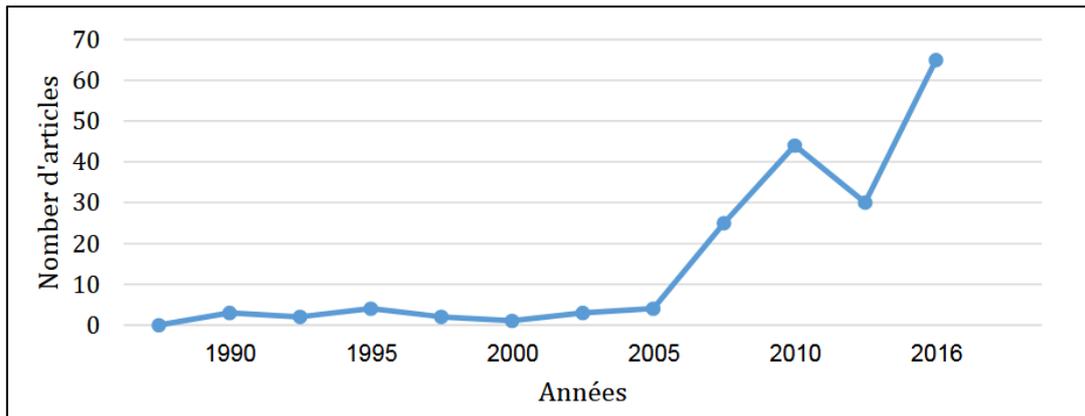
Un outil largement utilisé pour la gestion de l'eau est le modèle **WEAP** (Water Evaluation and Planning), qui permet de simuler différents scénarios d'utilisation des ressources en eau et d'identifier les options les plus durables. Ce modèle peut être utilisé pour évaluer l'impact de divers choix de gestion sur la disponibilité de l'eau à court et à long terme, en tenant compte de la variabilité climatique et des pressions humaines.

La méthodologie d'outil WEAP est de modélisation et simulation des scénarios à partir des changements climatiques et les paramètres physiques des systèmes hydrauliques

❖ La synthèse bibliographique

Dans les dernières années on constate une grande augmentation d'utilisation de logiciel WEAP dans des différents contextes comme (l'irrigation, les systèmes aquatiques, les eaux souterraines...etc.)

Plus de quatre cent (400) publications scientifiques ont été publiées entre 1991 et 2016. Elles sont analysées dans les figures suivantes ([OMRANI Ahmed.2018](#)) :



Les phrases ci-dessous présente des exemples de recherches réalisées en Algérie avec le modèle WEAP dans différentes écoles et universités :

- **Hamlat, M. Errih, A. Guidoum. 2012:** Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model
- **B. Bourouga, M. 2013 :** Le Modèle WEAP pour une gestion intégrée des ressources en eau du bassin versant transfrontalier de la Medjerda (Nord-Est Algérie)
- **H. Harizi, K. Menani, M. Redha. 2014:** Étude de la gestion durable des ressources en eau du bassin du Saf Saf (Skikda)
- **B. Boudjenana. 2015:** Essai de modélisation et de gestion des ressources en eau dans la région de Guelma
- **Nouiri. 2015:** Modélisation de la gestion des ressources en eau de surface du bassin transfrontalier tuniso-algérien de la Medjerda sous l'environnement de calcul WEAP
- **E. Bouznad, D. Zouini, I. Nouiri, F. Khelfaoui. 2016 :** Essai de modélisation de la gestion des ressources en eau dans la vallée de l'Oued Righ
- **OMRANI Ahmed. 2018 :** Modélisation de la demande en eau par l'utilisation de l'outil d'aide à la décision WEAP, Cas de la wilaya de Skikda.
- **M. Boudjellal, et al. 2023:** Simulation of current and future water demands using the WEAP model in Annaba province, Algeria

❖ **Méthodologie de recherche :**

Les étapes suivies dans la méthode de la recherche sont résumées dans la figure suivante :

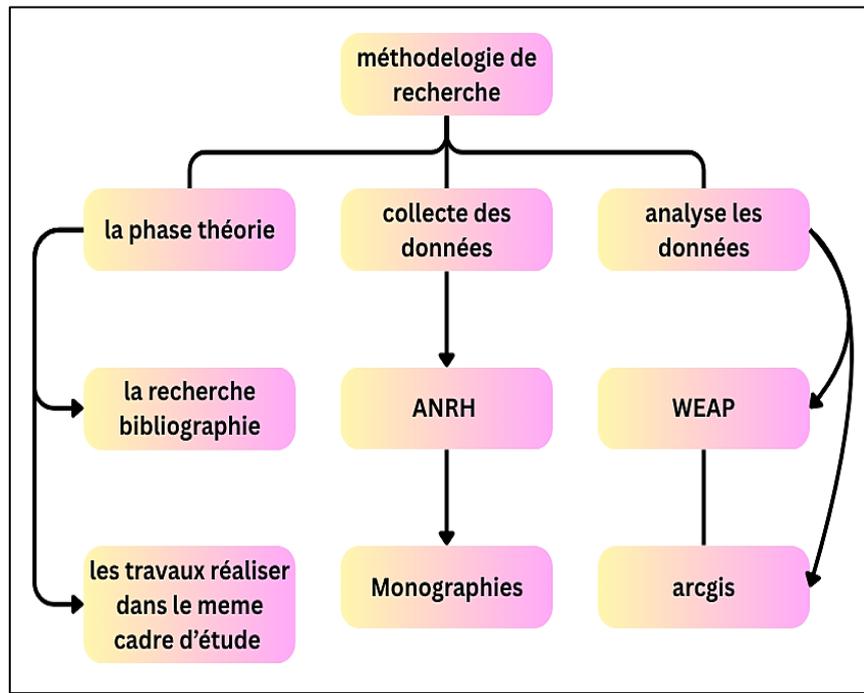


Figure 1: organigramme résumer les étapes suivies dans la méthode de recherche

Cette mémoire est organisée en quatre chapitres : le premier chapitre présente la situation géographique. Le deuxième chapitre présente les données nécessaires de l'organisation. Le troisième chapitre présente matériel et méthode. Le quatrième chapitre présente l'analyse des résultats.

❖ **Problématique**

La croissance démographique dans l'Algérie a un impact direct sur la demande en eau au futur cette pression démographique entraîne une exploitation excessive des ressources en eau disponibles, augmentant le stress hydrique Dans laquelle elle crée des problèmes dans la société, tels que les conflits et la déstabilisation du pays alors. La gestion des ressources en eau joue un rôle crucial dans la recherche d'un équilibre, en proposant des solutions efficaces pour une gestion durable de ces ressources.

À travers ce travail, nous allons tenter d'analyser et de répondre à ces questions :

- Quelle est la situation actuelle de la wilaya d'Annaba concernant la consommation d'eau ?
- Quels sont les principaux déficits hydriques rencontrés dans la wilaya d'Annaba ?
- Les ressources en eau futures seront-elles suffisantes pour couvrir les besoins de la wilaya d'Annaba ?

Chapitre I

Présentation de la
zone d'étude

Introduction

Dans cette première partie, nous allons aborder le cadre naturel de la wilaya. Cela nous permettra de définir l'aire d'étude, d'examiner la situation géographique, ainsi que d'analyser les données physiques naturelles et les conditions climatiques de la zone étudiée.

I. Situation de la wilaya d'Annaba

I.1 Situation géographique

La zone d'étude d'Annaba est localisée entre longitude 07°20' Est et 08°40' Est et de latitude 36°30' Nord et 37°30' Nord. Cette région se trouve dans le nord de l'Algérie, offrant un cadre géographique varié.

I.2 Situation administrative

Annaba est une ville côtière de l'Est d'Algérie à 600 km d'Alger, 3ème ville principale après la capitale Alger, et Oran

La wilaya d'Annaba est limitée :

- Au Nord par la Mer Méditerranée.
- A l'Est par la Wilaya d'El –Tarf.
- A l'Ouest par la Wilaya de Skikda.
- Au Sud par la Wilaya de Guelma ([Annaba monographie.](#))

I.3 superficies

La wilaya d'Annaba couvre une superficie de 1 439 km², ce qui représente environ 0,06 % de la superficie totale du territoire national.

I.4 aspects administratifs

Administrativement la Wilaya de Annaba est organisée en 12 Communes et 06 Daïras se répartissant suivant le tableau et les figures ci-dessus :

Tableau I. 1: Le tableau indiquant les Daïra et ses communes affiliées.

Daïra	Communes	Superficie (km ²)
Annaba	Annaba, Seraïdi	187
Aïn Berda	Aïn Berda, Cheurfa, Eulma	397
El Hadjar	El Hadjar, Sidi Amar	105
Berrahal	Berrahal, Oued El Aneb, Treat	496
Chetaïbi	Chetaïbi	134
El Bouni	El Bouni	93

Monographie Annaba 2023

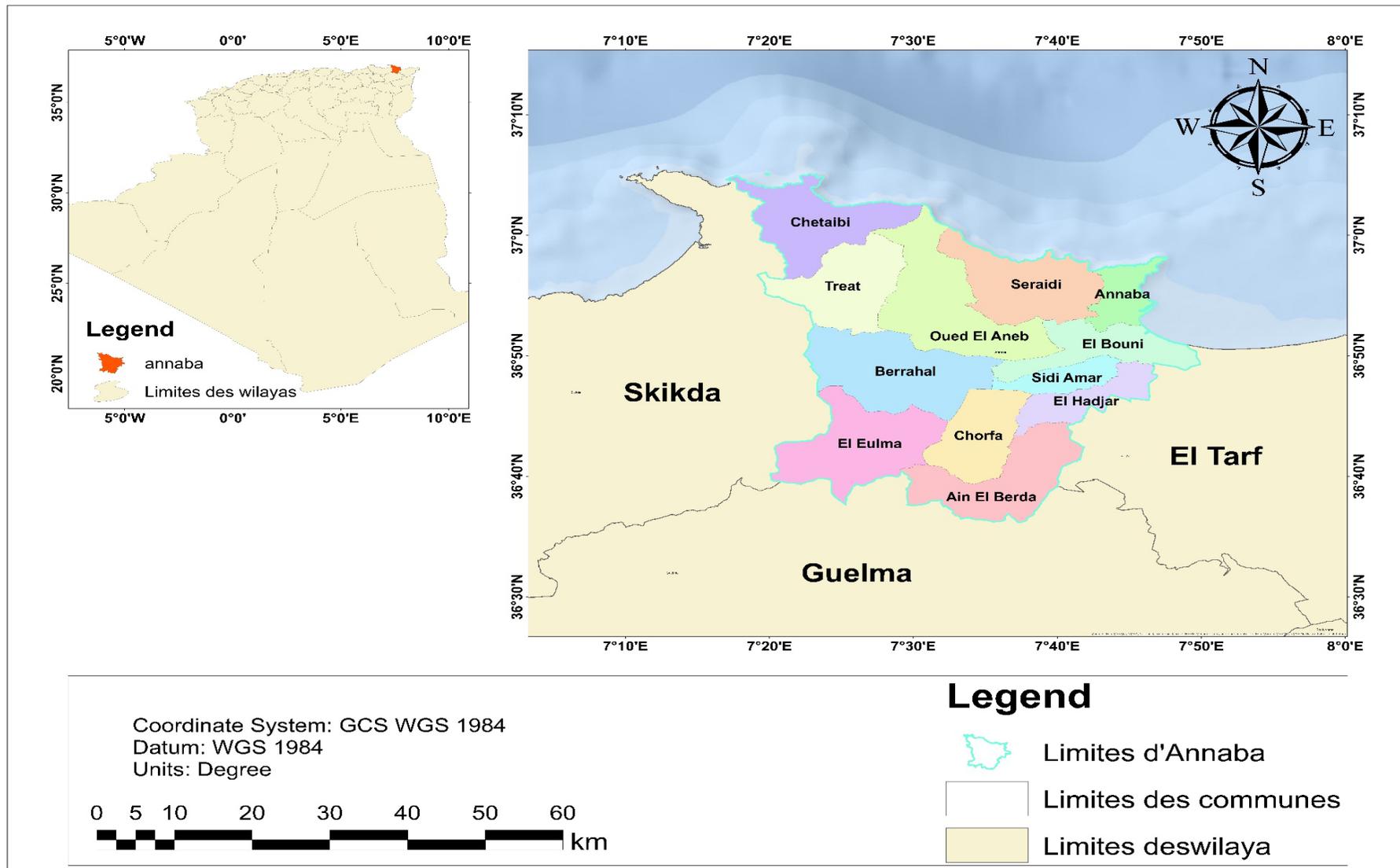


figure I. 1: Carte de situation et découpage administratif de La wilaya d'Annaba

II. Relief et Aspect Pédologique

II.1 Relief

Annaba c'est un paysage composé par différents reliefs : montagnes, collines et des plaines.

II.1.1 Les montagnes

Les montagnes couvrent une très grande superficie environ 52,16 % une superficie de 736 km², Elles se distinguent par le massif de l'Edough dont le point dominant se situe au mont " Bouzizi " avec 1.100 m d'altitude.

II.1.2 les collines et les piémonts

Pour les collines et les piémonts, occupent une superficie de 25,82% du territoire de la wilaya avec 365 km².

II.1.3 les plaines

Pour les plaines ils occupent une faible superficie du territoire de la wilaya par rapport aux autres reliefs avec une 18,08% du la territoire de la wilaya avec une superficie de 255 km² cette dernière est représentée essentiellement des plaines de Kherraza. (SAOULI Rim Amina.2018)

Ces reliefs sont présentés à partir la figure ci-dessus.

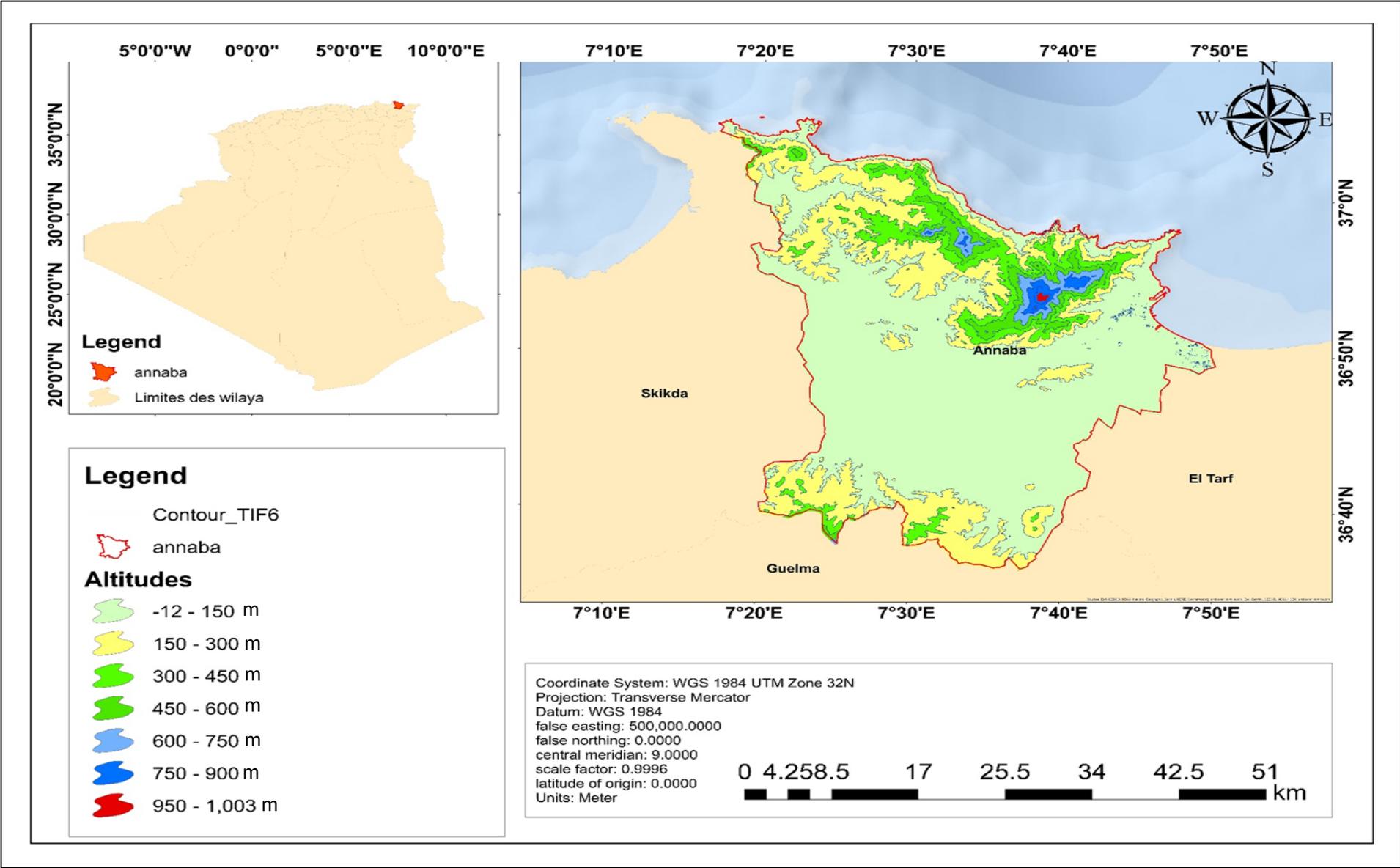


Figure I. 2: Carte de relief de la wilaya d'Annaba

II.2 La pente

Le gradient topographique est un facteur clé qui influence les ressources naturelles, le potentiel des centres urbains, la dynamique des champs et la stabilité des activités humaines. Dans la wilaya, ces pentes varient significativement selon les régions et l'altitude. [BOULGHOBRA, 2017].

Après le traitement des données on a découpé les pentes aux 4 classes dans lequel ces classes sont présentées tel que :

- 0° et 5° les pentes faibles : cette classe c'est la plus grande classe à partir la surface occuper par rapport aux autres classes
- 5° et 15 les pentes moyennes : cette classe aussi occupent une grande superficie c'est la classe des terrains modérément accidentés cette dernière occupe une 35 % de la surface de l'aire d'étude
- 15° et 25° les pentes fortes : cette classe de pente occupe environ 15.06% de la surface de l'aire d'étude cette dernier représente les terrains accidentés et les espaces montagneux
- 25° et 75.69° la classe des pentes excessive pente : c'est la classe des terrains très accidentés avec une occupation de la surface environ 3.66% ces pentes se trouve généralement sur les sommets des montagnes (SAOULI Rim Amina.2018)

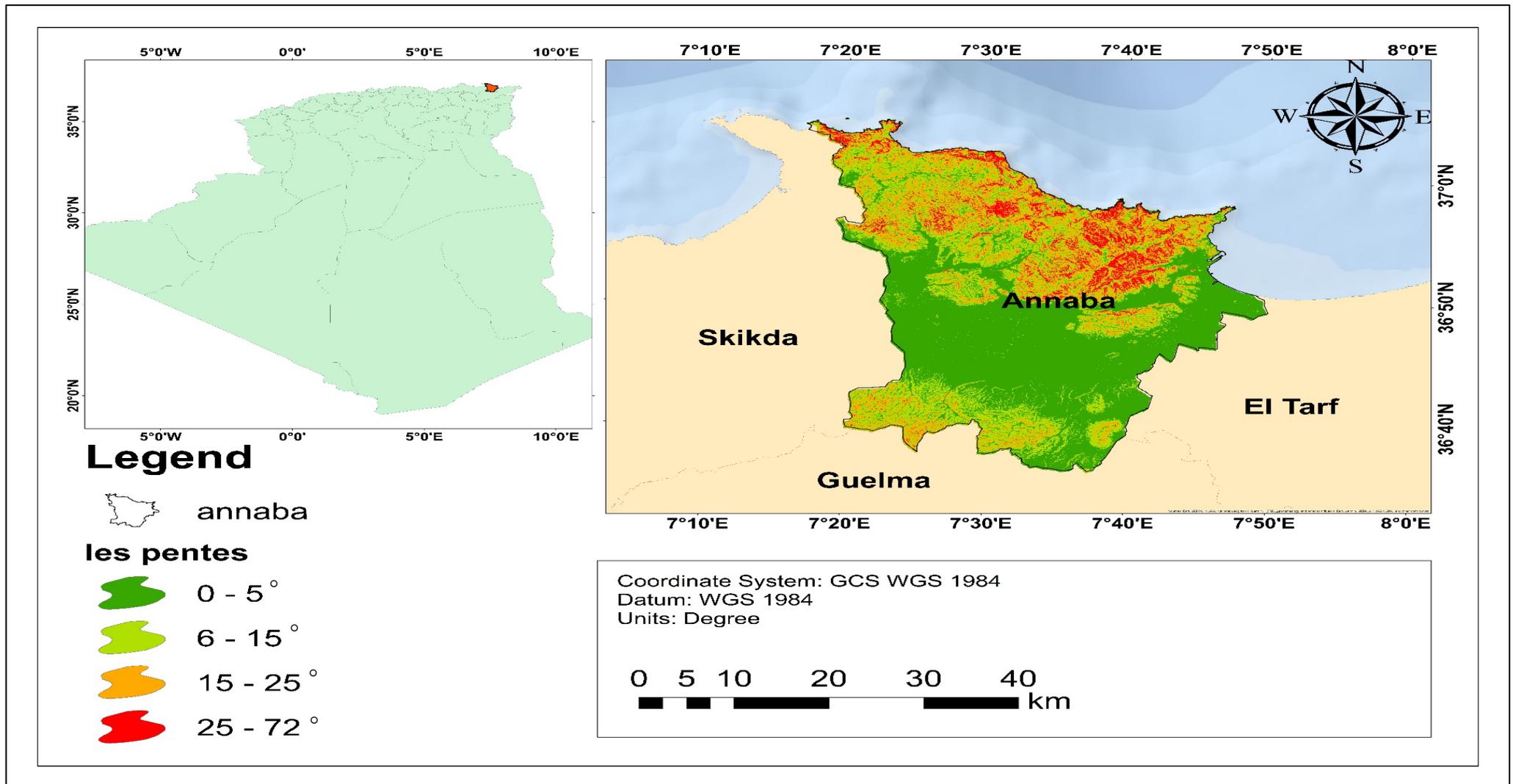


Figure I. 3: Carte des pentes de la wilaya d'Annaba

II.3 Géologique

La région d'Annaba possède une histoire géologique bien documentée remontant au Néo-paléozoïque, caractérisée par la présence d'un ancien socle cristallin

II.3.1 Précambrien et Paléozoïque

Le massif cristallophyllien de l'Edough, qui domine le paysage autour d'Annaba, est composé de roches métamorphiques polycycliques telles que les gneiss, micaschistes (renfermant du grenat, de la stéroïde et du disthène), amphibolites, quartzites et schistes . Ces formations datent du **Néoprotérozoïque (Précambrien supérieur) au Paléozoïque inférieur**, et témoignent d'une histoire géologique marquée par un métamorphisme régional intense et complexe. Les formations ferrifères du massif, riches en magnétite et en hématite, sont issues de dépôts volcano-sédimentaires métasédimentaires. Leur minéralisation, d'origine hydrothermale, s'est développée au cours du **Miocène**, bien que ces gisements reposent sur un socle beaucoup plus ancien. ([J.M.VILA, 1980](#))

II.3.2 Mésozoïque

Le Mésozoïque est représenté par des dépôts carbonatés et détritiques, notamment des calcaires micritiques, des calcaires compacts, des marbres rubanés et des grès.

Ces formations datent du **Crétacé supérieur (Albien, Cénomaniens, Turonien)**, avec des séries carbonatées et marneuses déposées dans un contexte marin allant de peu profond à profond. ([DJORFI Samir.2012](#))

II.3.3 Cénozoïque

Le Miocène, surtout dans sa partie supérieure, se caractérise par des formations ferrifères et volcaniques liées à des épisodes magmatiques calco-alcalins. Une activité hydrothermale durant cette période est à l'origine des minéralisations en fer.

Les dépôts sédimentaires qui s'étendent du **Miocène supérieur** jusqu'au **Plio-Quaternaire** recouvrent la plaine littorale d'Annaba. Ils sont composés de calcarénites, de grès, d'argiles, de conglomérats et de travertins, ce qui reflète un environnement marin et continental en évolution.

Les dépôts récents du **Quaternaire**, surtout présents dans les bassins alluviaux et les zones côtières, sont constitués d'alluvions sableuses, argileuses et graveleuses, formant ainsi les aquifères superficiels. (DJORFI Samir.2012)

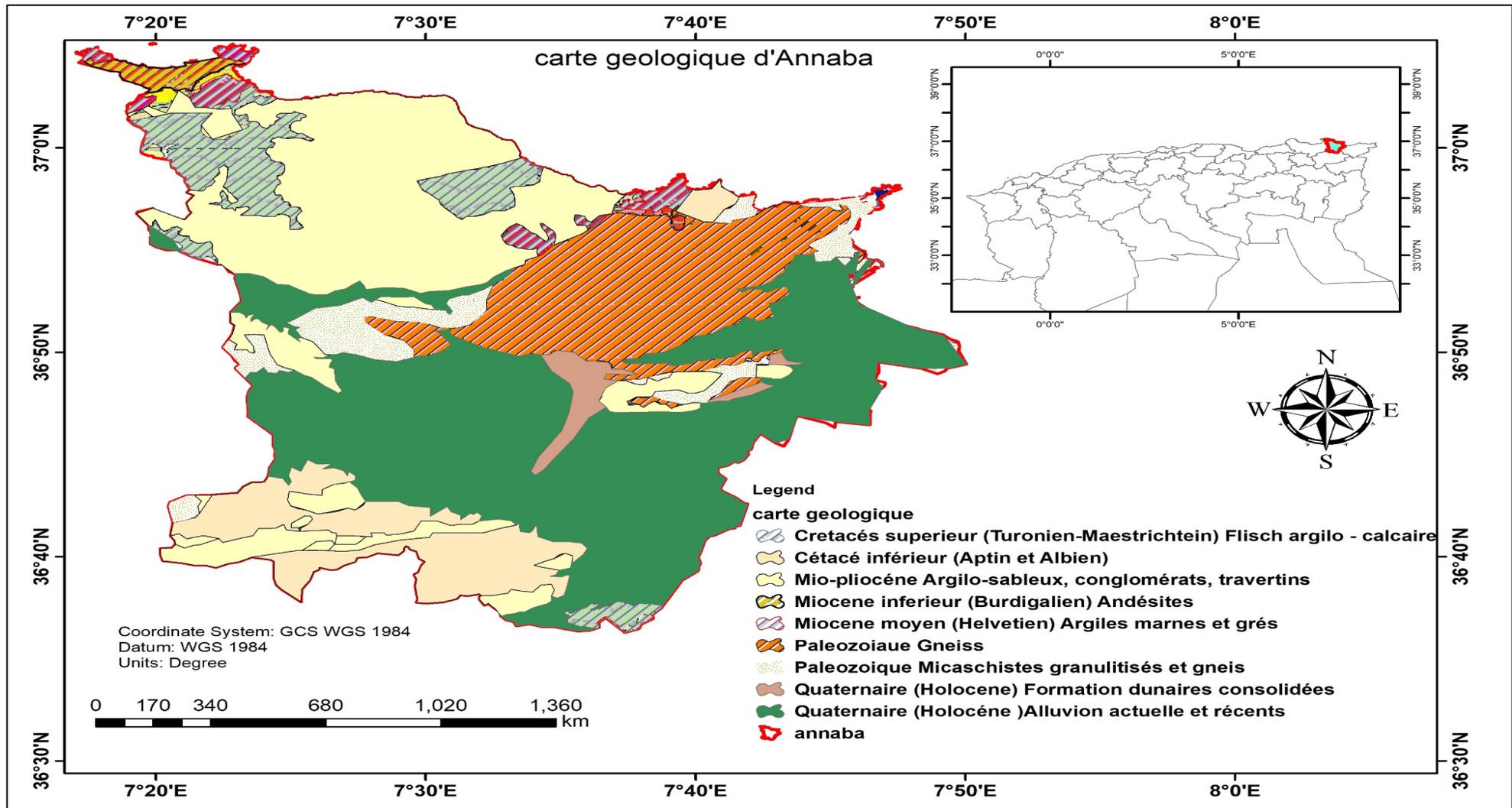


Figure I. 4: Carte géologie d'Annaba

II.4 Hydrogéologique

L'hydrogéologie du territoire d'Annaba présente une diversité de nappes aquifères, liée à la géologie variée de la plaine côtière et du massif environnant.

II.4.1 Principaux aquifères et formations hydrogéologiques

Il y a plusieurs types de nappes souterraines dans la région, surtout autour des oueds Seybouse et Méboudja.

II.4.1.1 La nappe superficielle :

Cette nappe est utilisée pour l'eau potable, l'agriculture et les animaux. Elle est exploitée grâce à plus de 100 puits (Habiba MAJOUR1, Azzedine HANI DE, Larbi DJABRI.2018). La quantité d'eau qui peut passer dans le sol (transmissivité) est entre 2×10^{-6} et 8×10^{-5} m²/s, et la vitesse à laquelle l'eau circule (conductivité hydraulique) varie de 4×10^{-7} à $1,6 \times 10^{-5}$ m/s. (ABDERRAHMANE BOUDOUKHA & BELKACEM MESSAID.2014)

II.4.1.2 La nappe profonde

La carte hydrogéologique nous donne une idée claire des zones où l'on peut trouver de l'eau souterraine dans la wilaya d'Annaba, ainsi que des endroits où ces ressources sont limitées ou absentes.

II.4.1.2.1 Alluvions récentes et actuelles (aquifères profonds continus)

Ces formations sont issues des dépôts quaternaires, principalement dans la plaine de la Seybouse et le long des oueds de la région. Elles constituent les réservoirs souterrains les plus importants de la wilaya. Grâce à leur très bonne perméabilité, ces zones fournissent l'essentiel de l'eau souterraine utilisée localement.

II.4.1.2.2 Alluvions quaternaires anciennes (aquifères profonds continus)

Situés généralement en amont ou dans certaines zones côtières, ces dépôts plus anciens sont moins étendus, mais restent intéressants à exploiter, notamment en bord de mer. Leur potentiel est bon, bien que plus limité que celui des alluvions récentes.

II.4.1.2.3 Formations sédimentaires (aquifères continus ou discontinus)

On retrouve des roches comme les grès, les poudingues ou les conglomérats, réparties dans plusieurs zones au centre et au sud de la wilaya. Elles présentent une perméabilité

moyenne à irrégulière, ce qui donne des nappes d'eau moins homogènes et parfois peu productives.

II.4.1.2.4 Zones à faible ressource en eau (aquifères discontinus avec ressources limitées)

Ces formations se trouvent surtout au sud-ouest de la wilaya. Elles ont une perméabilité faible, et les nappes y sont peu alimentées, soit à cause d'une recharge naturelle insuffisante, soit à cause de leur composition géologique (argiles, marnes).

II.4.1.2.5 Formations imperméables (zones sans aquifère)

Réparties sur une large surface, surtout à l'ouest et au nord-ouest, ces zones sont formées de roches métamorphiques ou argilo-marneuses, qui ne laissent pratiquement pas passer l'eau. Elles favorisent plutôt le ruissellement de surface que l'infiltration en profondeur.

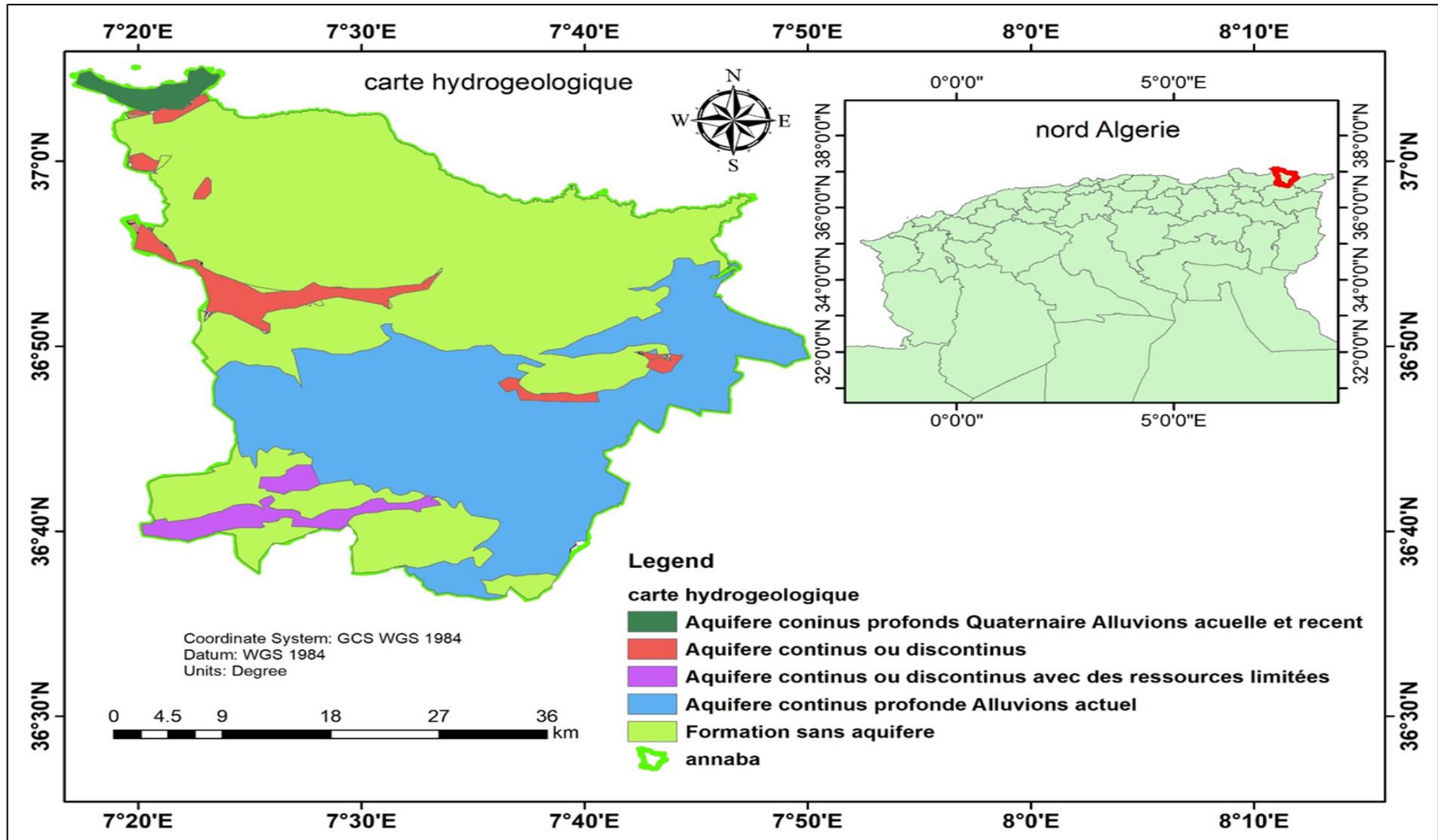


Figure I. 5: La carte hydrogéologique de la wilaya d'Annaba

III. Contexte climatique

L'Algérie est divisée du nord au sud en cinq zones bioclimatiques, en lien avec le relief et le niveau des précipitations [COTE, 1998]. La wilaya d'Annaba, quant à elle, se situe dans une zone au climat allant de l'humide au subhumide (Figure I.6). L'influence modératrice de la mer Méditerranée se fait sentir, apportant humidité et tempérant les températures, notamment l'hiver. Le massif de l'Edough avec des altitudes allant jusqu'à 1100 m favorise de notables précipitations orographiques (supérieures à 800 mm localement) et engendre une diversité de microclimats.

Le degré d'humidité du climat est défini selon l'indice d'Emberger 1932 qui s'exprime par la formule

$$Q = \frac{100P}{2 \left(\frac{M+m}{2} \right) (M - m)}$$

Avec :

- Q : quotient pluviométrique d'Emberger
- M : moyenne des maxima (températures maximales journalières) du mois le plus chaud, en °C
- m : moyenne des minima (températures minimales journalières) du mois le plus frais, en °C
- P : cumul pluviométrique annuel, en millimètres

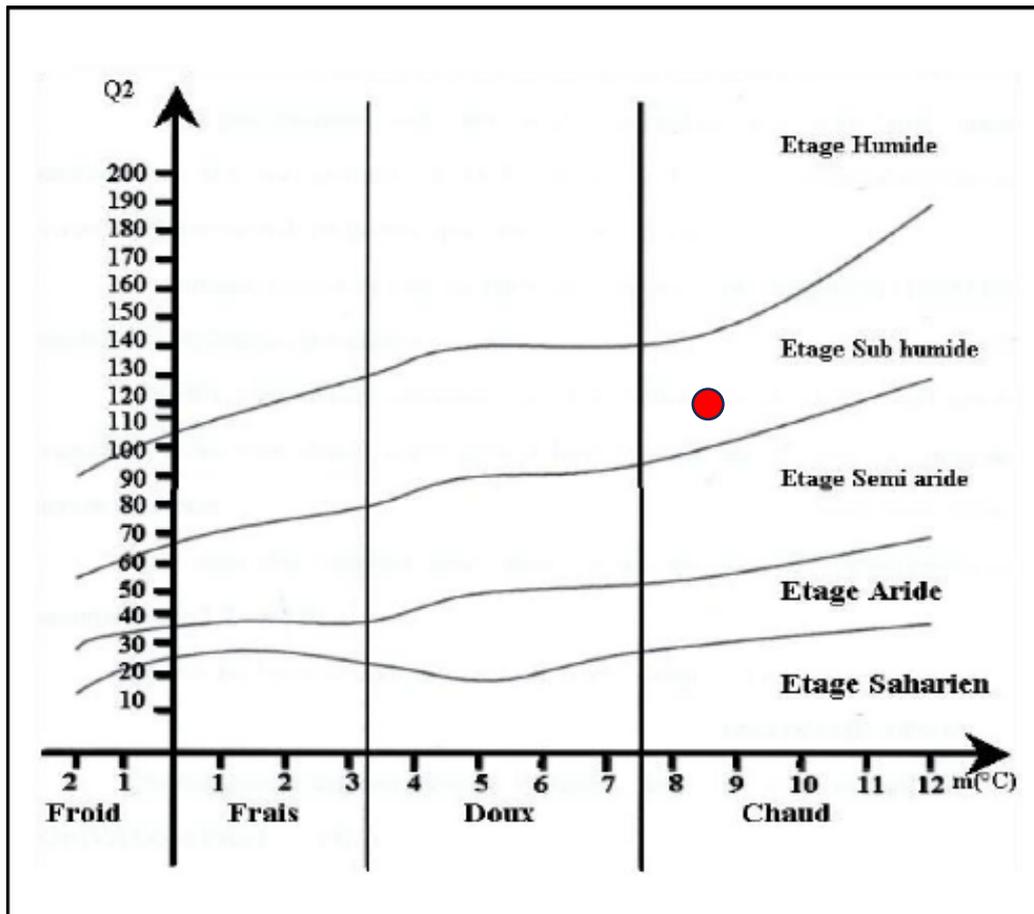


Figure I. 6: Situation de zone d'étude dans Climagramme d'Emberger

Nous avons considéré l'étude climatique dans son ensemble et avons traité des éléments climatiques, à savoir : les précipitations, les températures de l'air.

III.1 Précipitations

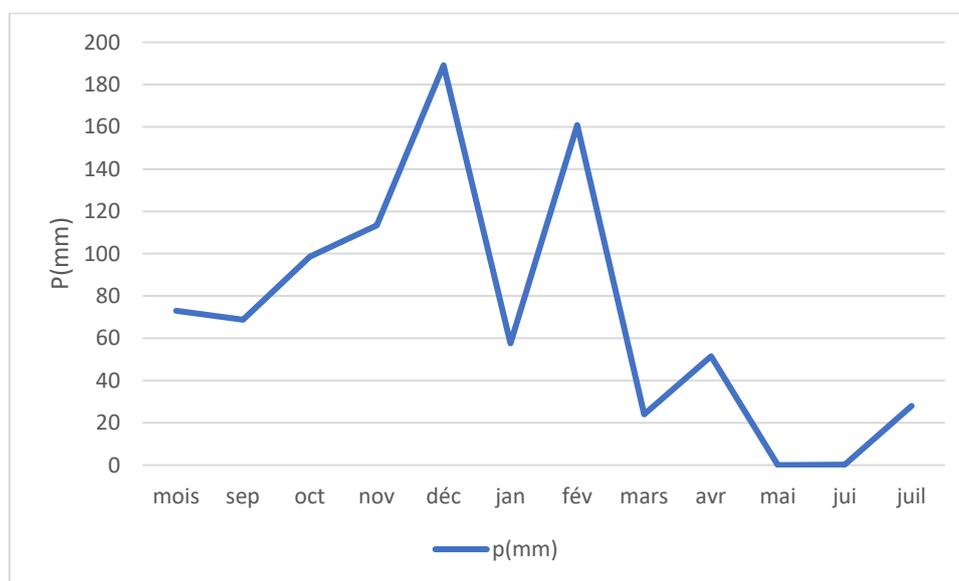
Les précipitations jouent un rôle essentiel dans la définition du climat. Elles déterminent le rythme des écoulements saisonniers et ont un impact direct sur le fonctionnement des rivières et des nappes souterraines. La zone étudiée fait partie des régions les plus humides, avec une moyenne annuelle avoisinant les 800 mm.

Les mois de décembre, janvier et mars sont parmi les plus arrosés de l'année, enregistrant les précipitations les plus importantes. Où les précipitations atteignent environ 180 mm chacun pendant l'hiver les mois novembre et février la wilaya d'Annaba connu une quantité considérable de précipitations entre 70mm et 200 mm par mois En revanche dans l'été il y'a une faible précipitation et des fois absent comme le mois de juillet soit absent totalement ou ne dépasse pas 2 mm

Tableau I. 2: Pluviométrie moyenne mensuelle.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juill	Août
P (mm)	73,0	68,8	98,6	113,4	189,1	57,6	160,8	24,0	51,5	0,0	0,2	28,0

Source : infoclimat, station du Airport Rabah Bitat, 2019

**Figure I. 7: Précipitations moyennes mensuelles**

III.2 Température

L'évolution de la température joue un rôle essentiel en hydrologie et en hydrochimie au cours du temps, car elle influence l'évaporation, laquelle affecte à son tour la concentration des substances dans l'eau. La température est l'un des autres éléments qui jouent un rôle crucial et influencent le climat

La température moyenne varie entre 10 et 30 °C pendant toute l'année (Figure I.8) , les mois froids sont décembre janvier et février ou la moyenne de température est de 17 °C on été la température est élevée pendant le mois Août ou la température atteint 32°C l'analyse de ces données est faites a partir le tableau suivant :

Tableau I. 3: Température moyennes mensuelle

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juill	Août
T(°C)	24.3	20.6	16.2	13.0	11.5	12.1	14.3	16.7	19.8	23.5	26.2	26.8

Source : infoclimat, station du Airport Rabah Bitat, 2019

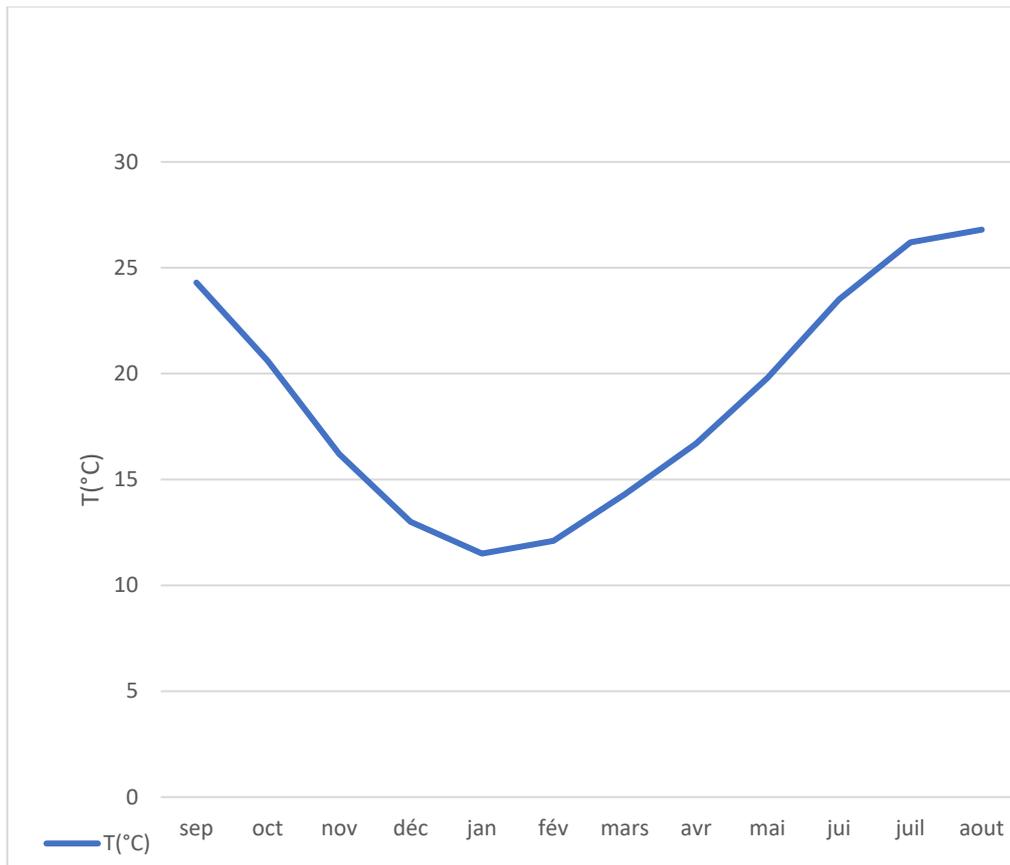


Figure I. 8 : températures moyennes mensuelles

Diagramme Ombro-thermique

Dans le but de préciser et de valider la durée des saisons humide et sèche, nous avons eu recours au diagramme ombro-thermique de Gaussen et Bagnouls (1953). Il permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique. Il repose sur deux paramètres climatiques essentiels : la température et les précipitations, avec les mois de l'année en abscisse, les précipitations en millimètres et les températures moyennes en degrés Celsius en ordonnée, selon l'échelle $P = 2T$ [MEBARKI, 2009].

L'exploitation des données de précipitations et de température de la zone d'étude permet de construire la courbe ombro-thermique qui met en évidence deux phases distinctes:

- Une période sèche : allant de mai à septembre.
- Une période humide : s'étendant d'octobre à mai

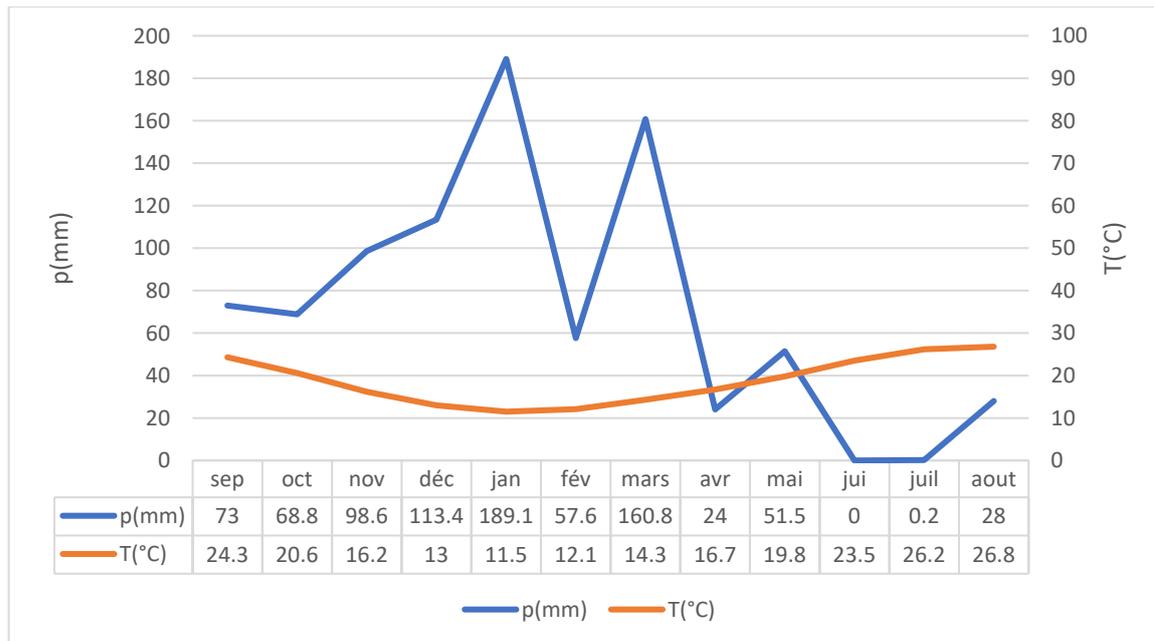


Figure I. 9: Diagramme Ombro-thermique.

III.8 Evapotranspiration (ET)

Évapotranspiration : l'eau est perdue par le sol, soit par évaporation à sa surface, soit par transpiration des feuilles des végétaux qui y vivent. Les facteurs agissant sur le taux d'évapotranspiration sont le rayonnement solaire, la pression de vapeur de l'air, la température, le vent et l'humidité du sol.

On distingue deux types d'évapotranspiration :

III.8.1 L'évapotranspiration potentielle (ETP) :

Il s'agit de la somme des quantités d'eau qui peuvent être évaporées ou transpire sur une surface bien précise, et pendant une période bien précise. C'est l'ETP mesurée par la formule de THORNTHWAITE (1948), qui dépend de la température de l'air et de la latitude de la station. Elle est exprimée par la formule suivante :

$$ETP = 16 (10T/I)a K$$

Avec : ETP = évapotranspiration potentielle du mois en (mm)

- T = température moyenne mensuelle de la période en (°C).
- I = indice thermique annuel qui correspond à la somme des indices mensual
- $i I = \sum i$ avec :
- $i = (t/5)^{1.5}$ $i=1$

- $a = (1.6/100) I + 0.5$
- k : coefficient d'ajustement mensuel lié à la latitude.

III.8.1.2 L'évapotranspiration réelle (ETR) :

Est appliquée en France Le fait que les deux formules donnent des valeurs désormais comparables tient à ce que chacune d'entre elles a, à l'origine, été élaborée pour une région différente. La formule de TURC est, par conséquent, plus appropriée à l'estimation de l'ETP dans une région comme Annaba qui appartient au niveau bioclimatique sub-humide.

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2}$$

Avec :

- ETR : évapotranspiration réelle en (mm).
- P : précipitation moyenne annuelle en (mm).
- L : pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend L'ETR lorsque P devient grand.

$$L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

- t : température moyenne annuelle en (°C)

Les résultats obtenus calculée a partir la formule Turc sont données dans le tableau .4

Tableau I. 4: Détermination du paramètre de l'évaporation réelle

Précipitation(mm)	Température moyenne annuelle(°C)	ETR (mm)
865	18.75	1098.33

On détermine l'ETRselon l'un des deux cas suivants :

- Si $-P < ETP$ (1) suffisant $ETR = ETP$ - (2) insuffisant égale à (0) $ETR = P + RFU$ (mois précédent)
- Si $-P > ETP$ $ETR = ETP$

Les valeurs de l'Evapotranspiration potentielle (ETP) et de l'évapotranspiration réelle ETR, sont reprise dans la **Figure I.10**

III.9. Bilan hydrologique

III.9.1 Estimation du bilan hydrologique

Selon la méthode Thornthwaite, le bilan hydrologique fait l'appel à une définition de réserve utile facilement accessible plantes (RFU) de ce fait on appréhende la RFU comme étant le volume d'eau contenue dans le sol entre le point de flétrissement (RFU vide) et le point de rétention (RFU max) utilisé par les plantes

Pour calculer le RFU on peut utiliser la formule suivante :

$$\text{RFU} = 3000 \cdot h \cdot \text{Hr} \cdot \text{da} \quad (\text{m}^3/\text{ha})$$

Avec :

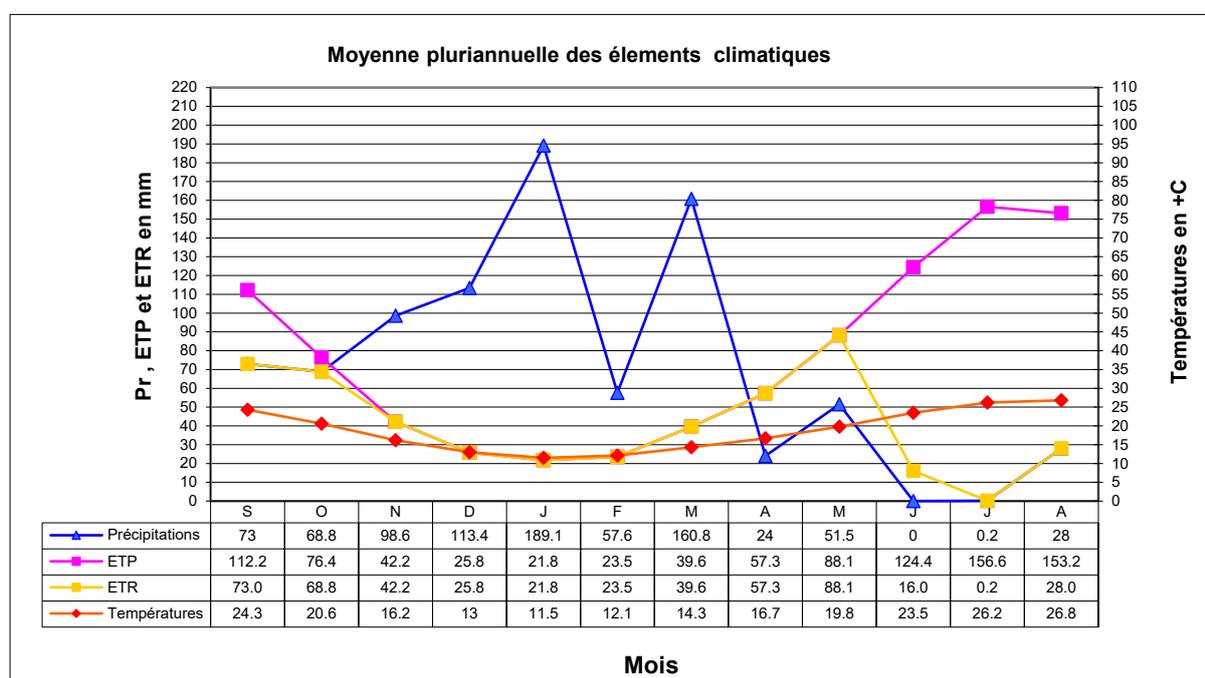
- Hr: capacité de rétention dans la région, soit 22% pour notre région.
- da: Densité apparente du sol – da = 1.3 g/cm³
- h: Profondeur d'enracinement des cultures. Dans notre cas on a pris h = 1 m, à cause de l'arboriculture prédominante dans la région.

D'où:

$$\text{RFU} = 3000 \times 1 \times 0.22 \times 1.3 = 858 \text{ m}^3/\text{ha} \quad \text{soit } 85.8\text{mm} \approx 86 \text{ mm.}$$

Tableau I. 5: Bilan simplifié selon Thornthwaite

	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	24.3	11.0	1.03	112.2	73	-39.2	-0.3	0.0	0.0	73.0	39.2	0.0
O	20.6	8.5	0.97	76.4	68.8	-7.6	-0.1	0.0	0.0	68.8	7.6	0.0
N	16.2	5.9	0.86	42.2	98.6	56.4	1.3	56.4	56.4	42.2	0.0	30.4
D	13	4.2	0.81	25.8	113.4	87.6	3.4	29.6	86.0	25.8	0.0	118.0
J	11.5	3.5	0.87	21.8	189.1	167.3	7.7	0.0	86.0	21.8	0.0	227.3
F	12.1	3.8	0.85	23.5	57.6	34.1	1.4	0.0	86.0	23.5	0.0	94.1
M	14.3	4.9	1.03	39.6	160.8	121.2	3.1	0.0	86.0	39.6	0.0	181.2
A	16.7	6.2	1.10	57.3	24	-33.3	-0.6	-33.3	52.7	57.3	0.0	26.7
M	19.8	8.0	1.21	88.1	51.5	-36.6	-0.4	-36.6	16.0	88.1	0.0	0.0
J	23.5	10.4	1.22	124.4	0	-124.4	-1.0	-16.0	0.0	16.0	108.4	0.0
J	26.2	12.3	1.24	156.6	0.2	-156.4	-1.0	0.0	0.0	0.2	156.4	0.0
A	26.8	12.7	1.16	153.2	28	-125.2	-0.8	0.0	0.0	28.0	125.2	0.0
Annuel	18.8	91.5		921.1	865.0	-56.1				484.4	436.7	677.6



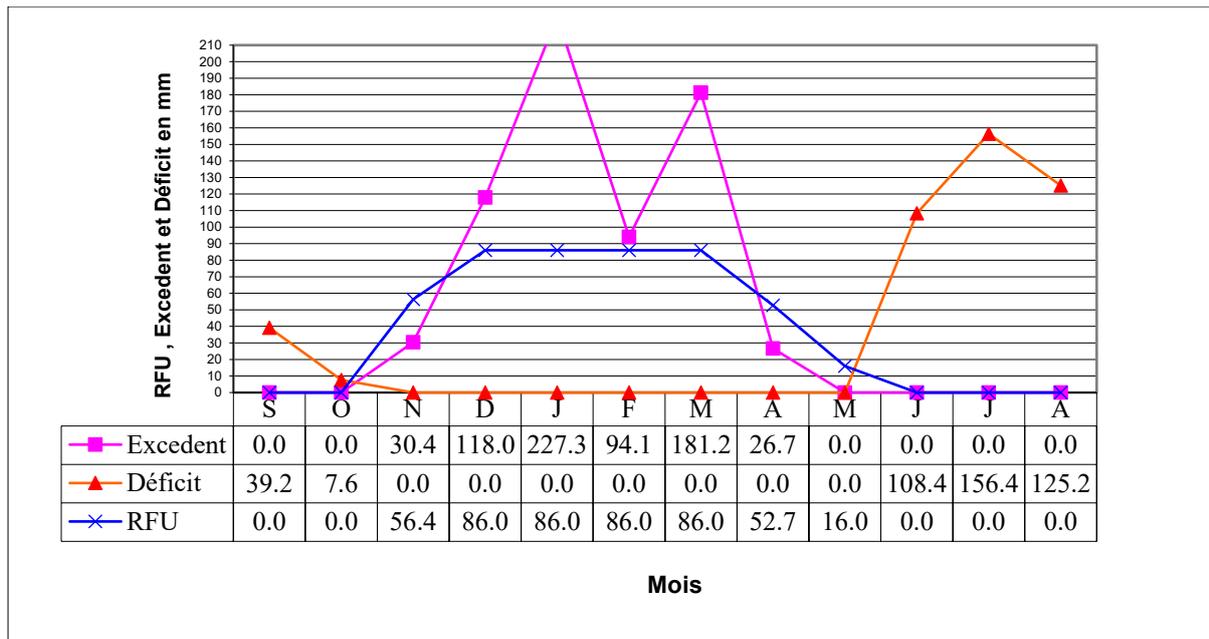


Figure I. 10: Représentation graphique du bilan hydraulique (en mm) selon la méthode de Thornthwaite

III.9.2 Interprétation du bilan hydrologique

Au cours des mois novembre à mars, les réserves hydriques du sol sont excédentaires.

Cela signifie que durant ces mois, les précipitations sont largement supérieures aux besoins en eau des cultures. En revanche, la période de juin à octobre est déficitaire en eau, avec une situation particulièrement marquée en juillet dont le déficit de l'ordre de 156mm peut avoir un impact très négatif sur l'agriculture

IV. Population

L'élément humain est considéré comme l'une des ressources les plus importantes et les plus précieuses que possède un pays. Des recherches ont montré que les citoyens en bonne santé, éduqués et qualifiés sont plus productifs et innovants, contribuant davantage au développement et au progrès de leur pays.

Les gouvernements en ont pris conscience et ont commencé à élaborer des stratégies axées sur l'investissement dans le développement des citoyens. Cela comprend des investissements visant à améliorer la santé des individus, à renforcer leurs compétences et leurs connaissances et à renforcer leur capacité à s'adapter au changement. Ce concept est généralement connu sous le nom de « capital humain » de tout pays.

Les recensements et les données démographiques sont essentiels au développement, à l'intervention humanitaire et au relèvement. Grâce à des données de haute qualité, nous pouvons améliorer notre capacité à atteindre nos objectifs plus efficacement.

Au recensement de 2008 la population de la wilaya d'Annaba comptait 609 500 habitants soit une densité de 429 hab. /km² avec un taux d'accroissement de 1.24% en 2023 la population de la wilaya est devenue 840540 habitants avec un taux d'accroissement 1.4% cette population est dispersé au 12 communes comme leur répartition est faites comme le tableau suivants et la **Figure I.11** :

Tableau I. 6: La répartition de la population au sein de la wilaya d'Annaba.

communes	population
Annaba	255422
Berrahel	54463
Chetaibi	8820
Cheurfa	11628
El Bouni	209767
El Hadjer	49206
Eulma	13154
Oued El Anneb	94399
Seraïdi	10403
Sidi Ammar	99412
Treat	7911

Source : monographie annaba. 2023

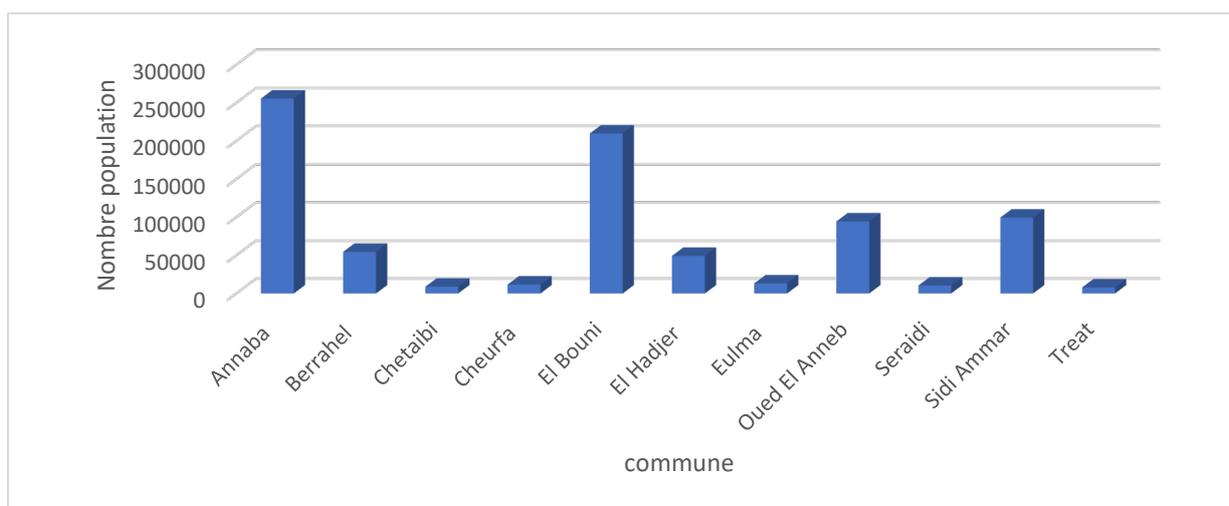


Figure I. 11: La répartition de la population au sein de la wilaya d'Annaba

Chapitre II

Données nécessaires

Introduction

Après avoir présenté la plupart des éléments qui constituent le cadre naturel de l'État, nous passons maintenant au chapitre qui couvre un aperçu de l'hydrologie. Pour ce faire, nous préparerons une évaluation générale des ressources en eau de l'État. Ensuite, nous allons essayer de déterminer le potentiel hydrique disponible.

I. Les Ressources en eau de la Wilaya

I. 1. Les Oueds

Le territoire de la wilaya d'Annaba est drainé aux plusieurs oueds cruciaux permis ces oueds sont oued Seybouse qui représente un bassin versant avec une superficie de 6471 km² et oued Méboudja qui représente un bassin versant avec une superficie 203 km²

I. 1.1. Oued méboudja

Le collecteur d'eau qui relie le lac Fetzara et l'Oued du Seybouse est d'une superficie de 203 km² et fait partie du bassin versant du lac Fetzara, qui représente un bassin de 515 km² et du bassin versant de l'oued Rasoul, représentant un débit maximum de 20 m³/s, le taux moyen d'inondation quinquennal est en moyenne de 20 m³/s (Benoune A., Laouar L., Ramoul h 1986), en raison d'un mauvais drainage dans la zone sud du complexe sidérurgique d'El Hajar et de la forte présence des mauvaises herbes.

La rivière Méboudja rejoint l'Oued de Seybouse à environ 8 km en aval. Le débit de l'oued Mboudja est considéré moins important par rapport au débit de l'oued Seybouse en raison des estimations fournies de ses débits, estimés par mesures de flottabilité de février à décembre 1999, qui ne dépassent pas 20 m³/s, et qui ont montré une relation claire entre les débits et les précipitations, car les débits sont élevés lors des saisons pluvieuses (pluies torrentielles), alors que faibles débits correspondent à faibles pluies. (LEKOUI Sami.2010)

I. 1.1.2 Oued Seybouse

L'Oued du Seybouse est la deuxième plus grande Oued d'Algérie après l'Oued du Chélif ; il s'agit du prolongement sud de l'Atlas saharien au nord-est du pays. Elle débute dans les monts sahariens des hautes terres, où les altitudes oscillent entre 800 et 1 000 mètres, entre harraqtaet salawa, pour s'achever au niveau de la plaine côtière d'Annaba, où elle se jette dans la mer Méditerranée. Sur près de 240 km, il traverse les territoires des Etats de Souk Ahras, Guelma, Annaba et El Tarf. L'Oued du Seybouse évacue vers la mer un débit de l'ordre de 400

hm³/an et constitue le collecteur principal d'un bassin versant s'étendant sur 6 471 km². (LEKOUI Sami.2010)

Tableau II. 1: Les deux grands oueds de la région d'Annaba.

Nom de l'oued	Longueurs en Km	Exutoire	Superficie Drainée Km2	Débit m ³ /s	Débit evacue dans la mer hm ³ /an
Oued méboudja	27	Mer	203	20	/
Oued Seybouse	240	Mer	6471	11,5	400

I. 2. Les Barrages

Les ressources en eau sont plus abondantes et plus facilement accessibles (Djabri et al., 2003). L'eau est transférée à Annaba par deux conduites principales depuis trois barrages de surface :

I.2.1 barrage Cheffia

le barrage de Cheffia se trouve au l'est d'Annaba avec une capacité de 171 Mm³ et qui joue un rôle important dans le transfert des eaux ou il donne un très grand environ 45 Mm³

I.2.2 barrage Mexa

Le barrage de Mexa, d'une capacité de 45 millions de mètres cubes, se trouve dans la commune de Mexa, à environ 30 kilomètres à l'est d'Annaba.

I.2.3 barrage bougous

Le barrage de Bougous, quant à lui, a une capacité de 60 millions de mètres cubes et est situé dans la commune de Bougous, à environ 45 kilomètres à l'est de la ville. (Aoun-Sebaiti et al. 2013).

Le tableau suivant résume le barrage et le volume transféré to wilaya Annaba

Tableau II. 2:Les barrages et leurs volumes d'eau transféré a Annaba

Barrages	volume transférait à Annaba
Cheffia	45 Mm ³
Mexa	20 Mm ³
Bougous	15 Mm ³

I. 3. Les Retenues Collinaires

Les retenues collinaires dans la wilaya d'Annaba sont essentiellement destinée a l'irrigation il y'a 67 retenues collinaires mobilisant un volume d'eau total d'environ 6.2 Mm³ un Bon nombre de ces installations sont en bon état et ont une capacité maximale allant jusqu'à 400.000 mètres cubes. Alors que d'autres installations sont dans un état moyen ou mauvais

Les retenues collinaires sont réparties dans la wilaya d'Annaba a partir le tableau suivant

Tableau II. 3:Les retenues collinaires de la wilaya d'Annaba

Communes	Nombre total de retenues	Capacité minimum (m ³)	Capacité maximum (m ³)
Aïn Berda	18	30.000	300.000
Eulma	12	36.000	209.000
Cheurfa	10	25.000	180.000
El Bouni	1	/	/
Berrahal	8	45.000	400.000
Tréat	10	36.000	120.000
Oued El Aneb	8	30.000	95.000

Source : H. CHAFFAI 1 , L. DJABRI 2 , S. LAMROUS 2. 2005

La plupart de ces retenues collinaires ne sont pas en service. Il ne reste que quelques-unes opérationnelles, malheureusement, avec une capacité minimale de 25 000 m³ et une capacité maximale de 400 000 m³. (H. CHAFFAI 1 , L. DJABRI 2 , S. LAMROUS 2. 2005)

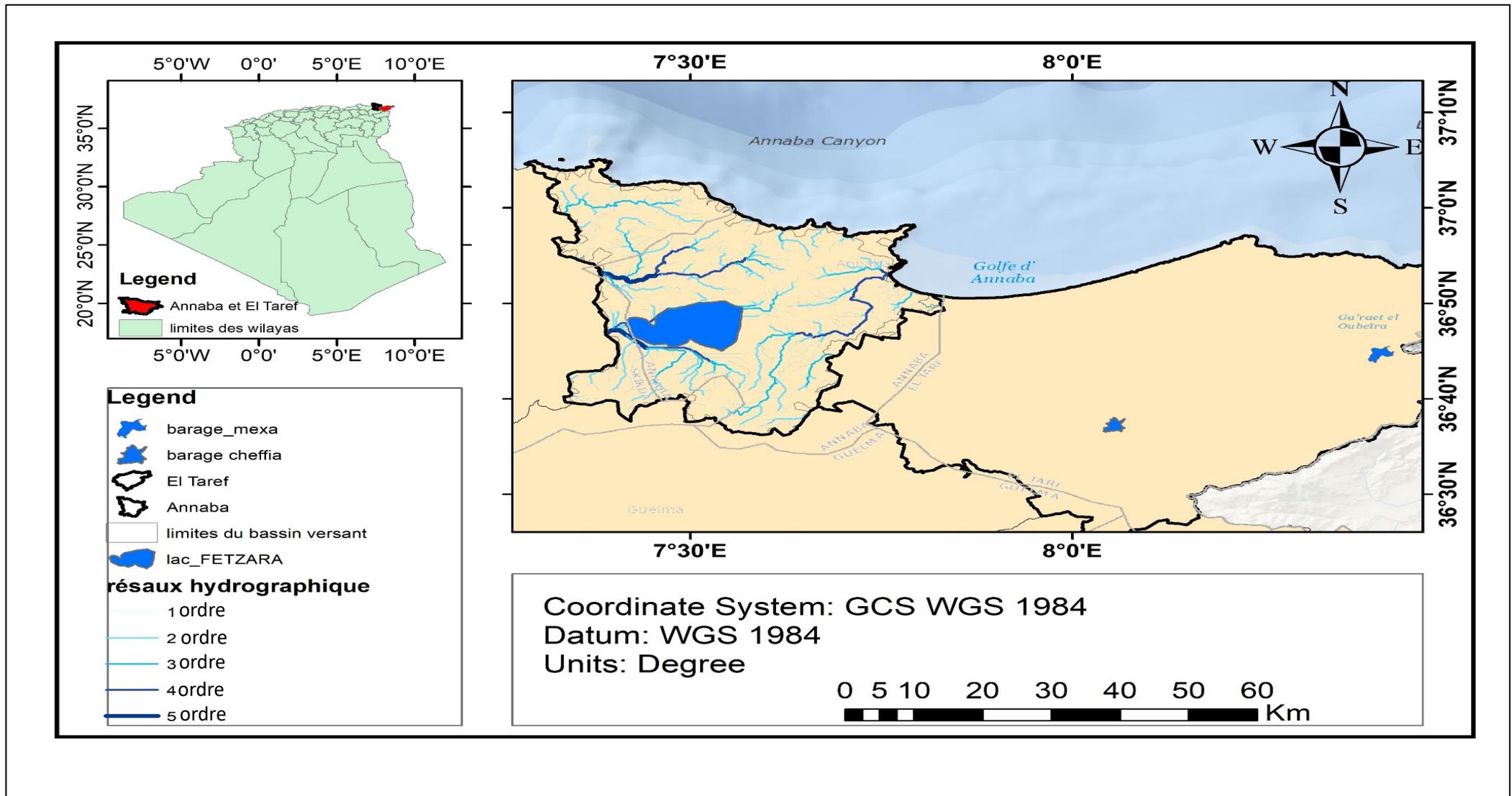


Figure II. 1: Le réseau hydrographique ainsi que les barrages qui approvisionnent Annaba

I.4 les forages et les puits

Annaba bénéficie d'une combinaison de ressources en eau de surface, notamment des barrages de Cheffia et de Mexa, ainsi que de ressources en eau souterraine provenant des champs des bassins versants de Boutelja, Salins et Pont Bouchet.

Les forages de la wilaya d'Annaba sont comptés au 146 forages 56 forage sont hors services à cause du colmatage ou l'ensablement ces forages sont responsables à AEP, AEA ET AEI. Les champs de captage d'eau sont constitués de 32 puits à Boutelja, produisant 28 000 mètres cubes par jour, et de 9 puits à Salins, dont 7 fonctionnent 24h/24 et 7j/7, fournissant 10 000 mètres cubes par jour. Il existe également 5 puits à Pont Bouchet, qui peuvent fournir 3 000 mètres cubes par jour (actuellement un puits est en exploitation). Ces puits souterrains produisent une eau de mauvaise qualité (RS = 1,9 à 2,2 g/L) et ont été forés en 1990 dans le cadre d'un programme d'urgence pour faire face à la sécheresse. Le tableau (II.4) montre clairement la quantité d'eau qui peut être remplie grâce aux ressources disponibles et distribuée selon le système SEATA (Société des Eaux et de l'Assainissement d'El-Taraf et Annaba). (DJORFI Samir. 2012)

Environ 374 puits (en bon et mauvais état) ont été dénombrés, répartis sur toute la superficie de la zone d'étude, et sont répartis selon les secteurs suivants :

- Alimentation en eau potable (AEP) : 61
- Alimentation en eau d'irrigation (AEA) : 243
- Alimentation en eau d'industrie (AEI) : 48

Les puits restant sont dirigés aux l'élevage. (H. CHAFFAI 1 , L. DJABRI 2 , S. LAMROUS 2. 2005)

Tableau II. 4: Les volumes d'eau distribuée à la wilaya d'Annaba

Les champs captages	Nombre totale des forages	Nombre des forage en service	Nombre des forages hors service	Volumes Distribuée (m ³ /j)
Boutelja	32	32	/	20.100
Salins	9	7	2	7.000
Pont Bouchet	5	5	/	1.000

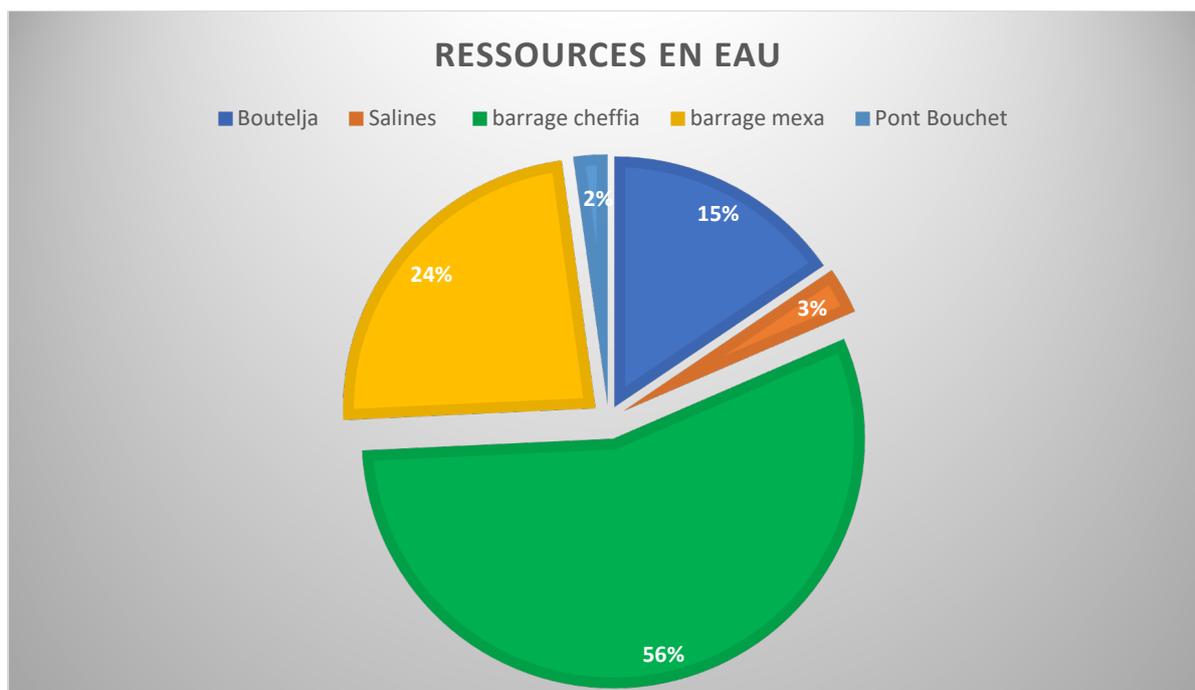


Figure II. 2: Les volumes d'eau distribuée à partir des champs du captage et les barrages

Tableau II. 5: Les forages et les puits ainsi que leurs usages.

Communes	Nombre des forages et puits	Exploité	Non exploité	Destination
/	43	15	28	AEP
/	54	48	6	AEI
/	49	28	21	AEA
Annaba	25	25	/	AEP
El Hadjer	40	40	/	/
Chétaibi	03	03	/	AEP
Oued El Anneb	06	06	/	AEP
Berrahel	15	15	/	AEP+AEA
Tréat	28	28	/	AEP+AEA
Sidi Amar	06	06	/	/
Ain Berda	24	24	/	/
Cheurfa	23	23	/	AEA

I.5 les sources en eau

On compte 62 sources, assurant l'approvisionnement en eau potable des communes mêmes où elles sont situées, avec des débits très faible ne dépassant pas 1litres/seconde. Le

plus grand nombre de sources se situe dans la commune Séraïdi (59 sources) avec un débit de 1 l/s, suivi Aïn Berda et Cheurfa qui contiennent respectivement 2 et 1 sources avec un débit total de 0.5 l/s.

Tableau II. 6: Les différentes sources dans la zone d'étude et leurs débits

Communes	Nombre de source	Débits moy (l/s)	dédestination
Séraïdi	59	1	AEP
Aïn Berda	02	0.5	AEP
Cheurfa	01	0.5	AEP

I.6 Station de dessalement d'eau

Après la mise en œuvre de plusieurs projets de stations de dessalement dans le nord de l'Algérie, la station de Taref se distingue comme l'une des installations des stations dessalement situées au nord-est du pays. C'est l'une des stations les plus importantes dont la réalisation a été lancée à travers le pays. Ce projet a été réalisé par trois partenaires : l'Entreprise nationale de réalisation des canalisations et la Société algérienne de réalisation des projets industriels, qui est une filiale du groupe Sonatrach. Avec une capacité journalière de 300,000(m³) (109.5Mm³/an), Annaba est l'une des wilayas bénéficiant de cette station, qui a une capacité de 160,000 mètres cubes (58.4Mm³/an)

Il est possible de réaliser d'autres stations de dessalement à l'avenir. Par exemple, une station de dessalement pourrait être ajoutée dans la wilaya d'Annaba, avec une capacité de 100,000 (m³/j) , ce qui permettrait de répondre aux besoins totaux d'Annaba, qui s'élèvent à 70,000 m³/j. L'excédent d'eau serait destiné à l'irrigation à long terme.

Dans les années à venir, avec la mise en service des deux stations de dessalement, le volume d'eau produit atteindra presque 83.9 Mm³/an, satisfaisant ainsi l'ensemble des besoins en eau de la wilaya.

II. Situation actuelle de l'AEP dans la wilaya d'Annaba

La situation actuelle de l'AEP dans la wilaya d'Annaba est se reparti comme le tableau suivant :

Tableau II. 7: La Situation de l'approvisionnement en eau potable

Communes	Volume distribuée En (Mm ³ /an)	Dotation OMS En (L/j/per)	Dotation Réelle En (L/j/per)
Annaba	9.65	150	100
El Hadjer	1.86	150	100
Chétaibi	0.33	150	100
Oued El Anneb	3.57	150	100
Berrahel	2.06	150	100
Tréat	0.3	150	100
Sidi Amar	3.76	150	100
Ain Berda	0.98	150	100
Cheurfa	0.44	150	100
Séraïdi	0.39	150	100
El Bouni	7.93	150	100
Eulma	0.5	150	100

II.1. Les Potentialités Hydrologiques de la Wilaya d'Annaba

Tableau II. 8: Récapitulatif des capacités hydriques en eau souterraine et superficielle dans wilaya d'Annaba

Eaux superficielles (Mm ³ /an)				Eaux Souterraines (Mm ³ /an)	Total Mobilisé (Mm ³ /an)
Les oueds	Barrage	Retenues Collinaires	Station de Dessalement	Forages Puits	
Méboudja	67.5	6.2	58.4	10.25	142.35
Seybouse					

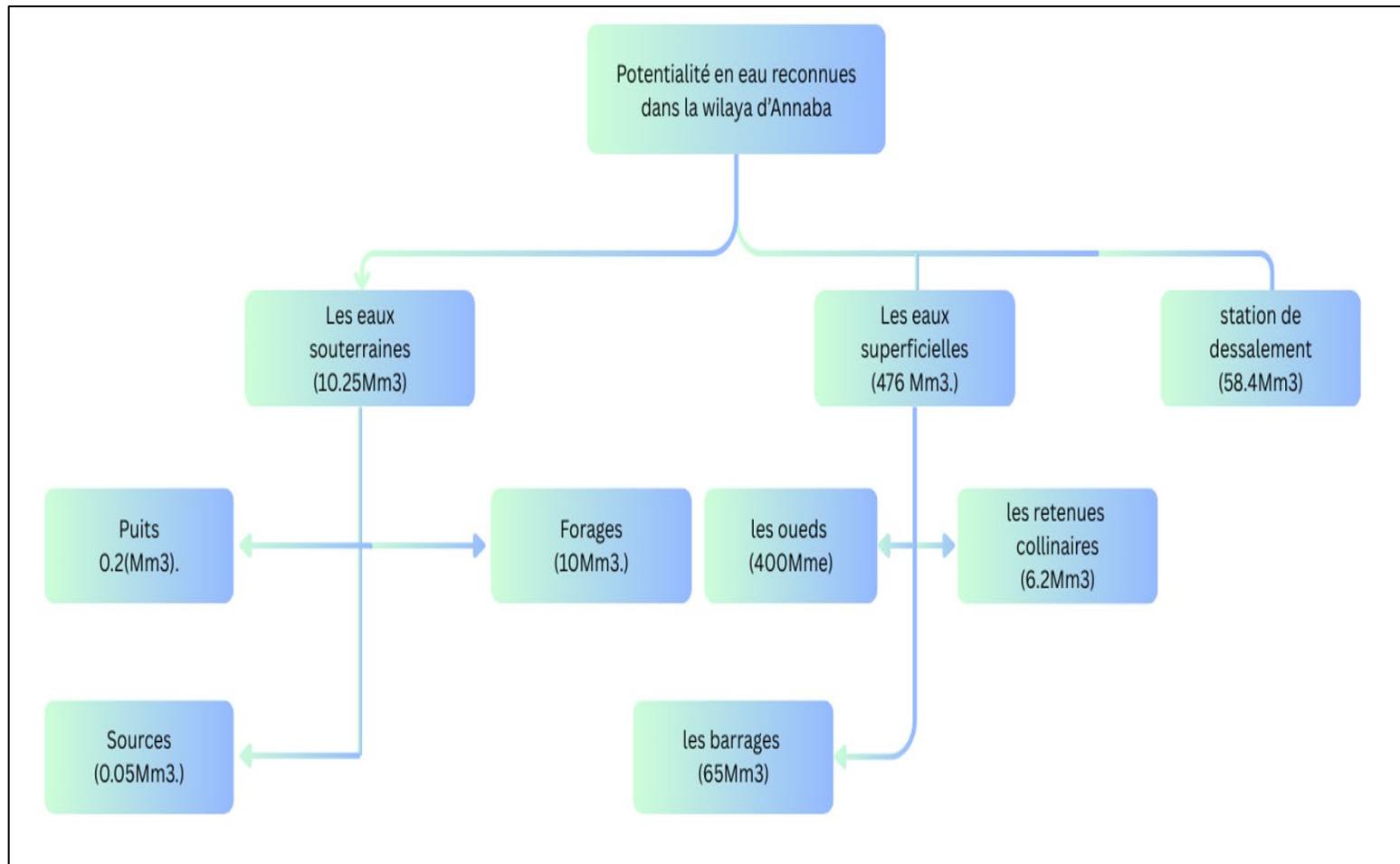


Figure II. 3: Schéma récapitulatif du potentiel hydrique dans la wilaya d'Annaba

Conclusion

La wilaya d'Annaba possède d'importantes ressources en eau. Son climat favorable a favorisé l'établissement d'un réseau hydrographique dense et d'un système aquifère significatif. Comprendre les ressources en eau disponibles, ainsi que leurs variations au fil du temps et en fonction des conditions physiques et socioéconomiques, est essentiel pour planifier des projets d'eau durables et économiquement viables.

Chapitre III

Matériel et Méthode

Partie 01 : le WEAP

Introduction

Le logiciel WEAP est utilisé pour planifier l'exploitation de toutes les ressources en eau, qu'il s'agisse d'eau de pluie, d'eau de surface ou d'eau souterraine. Il s'agit d'un outil de modélisation hydrologique conçu pour la gestion intégrée et durable des ressources en eau.

I. Description du Logiciel

WEAP, ou Système d'Évaluation et de Planification de l'Eau, est un outil utilisé pour l'évaluation des ressources en eau dans de nombreux pays, y compris les États-Unis, le Brésil, le Mexique, l'Allemagne, Ghana, Burkina Faso, Kenya, Afrique du Sud, Mozambique, Egypte, Oman, Central Asia, Sri Lanka, Inde, Népal, Chine, Koré du Sud et Thaïlande. Il permet une planification intégrée et durable des ressources en eau à travers des modèles hydrologiques.

(<http://www.weap21.org/>)



Figure III. 1 (Source : Tutorial de logiciel WEAP 2025)

I.1. Présentation du logiciel WEAP

Utile et concret, le logiciel WEAP (Water Evaluation and Planning System) est un outil de simulation des ressources en eau de surface et souterraines, fondé sur les principes d'équilibre hydrique. Développé par le Stockholm Environment Institute (SEI) en 2005, il se décline sur de multiples options d'approvisionnement et de demande en eau. WEAP, de par son approche intégrée de la planification en matière d'eau, est également en évolution au fil des 20 années d'existence de son entité. Ce logiciel vise à générer des ponts entre la difficulté de gérer l'eau et les opportunités hydrologiques dans les bassins, tout en appréhendant non moins les attentes d'un modèle intégré, efficace, accessible et relativement simple d'utilisation qui peut répondre aux attentes de la communauté des ressources en eau. Doté également de ressources intégrées permettant de livrer dans un délai rapide des résultats sur l'intégration avec les autres modèles comme MODFLOW ou un tableur comme Excel, sa flexibilité pour s'adapter au niveau d'arrivée (qualitatif ou quantitatif) des données mobilisées et l'interface graphique conviviale de son environnement de développement le prédispose à la wilaya de Sétif où les données manquent souvent au regard du développement des conflits d'usages de l'eau.

WEAP, qui est l'acronyme de Water Evaluation and Planning, permet grâce à une approche intégrée de la demande en eau et des infrastructures, de croiser plusieurs processus hydrologiques. Les différents scénarios traités dans WEAP peuvent tenir compte de scénarios climatiques alternatifs, mais également d'autres types de stress anthropiques comme des changements d'occupation du sol, d'évolutions de la demande municipale et industrielle ou de règles d'exploitation alternatives. En revanche, WEAP n'est pas un outil servant à optimiser l'énergie hydraulique à partir de prévisions hydrologiques, mais traite des problématiques de planification de l'eau et d'affectation des ressources.

Les requêtes d'eau sont identifiées par l'utilisateur et consistent principalement en demandes d'eau pour des usages urbains et industriels, pour l'irrigation et enfin pour l'environnement. Dans WEAP, l'analyse de la demande, qui ne prend pas en charge l'irrigation de type évapotranspiration, est réalisée d'une manière désagrégée tenant compte de l'usage final pour définir les besoins en eau pour chaque nœud de la demande, les données économiques, démographiques et d'usage de l'eau étant mobilisées pour construire des scénarios alternatifs pertinents portant sur l'évolution de la consommation d'eau dans le temps. Les scénarios ainsi déterminés par WEAP sont appliqués de manière déterministe dans un algorithme d'affectation fondé sur un programme linéaire. L'analyse de la demande est le point

de départ d'une planification intégrée de l'eau, tous les calculs d'approvisionnement et de ressources dans WEAP étant effectués par une routine d'optimisation qui détermine la livraison finale pour chaque nœud de la demande selon les priorités définies par l'utilisateur.

En outre, WEAP offre un accompagnement à distance ainsi que des guides de formation dont des tutoriaux en plusieurs langues (anglais, chinois, espagnol, français et farsi), sans oublier un forum d'échanges. De plus, une longue liste de publications sur WEAP dans différents contextes est à la disposition de tous (de nombreuses études sur les impacts et l'adaptation au changement climatique sont récupérables depuis le site du WEAP). De plus, des formations sont régulièrement organisées et un important réseau d'établissements universitaires incluant WEAP dans leur cursus contribue à soutenir l'expertise nationale sur ce logiciel. (<http://www.weap21.org/>)

I.1.2. Obtention du logiciel WEAP

Le logiciel WEAP peut être téléchargé depuis le site web : [\[http://www.weap21.org\]](http://www.weap21.org) (<http://www.weap21.org>). La version disponible est fonctionnelle, à l'exception de la fonctionnalité "sauvegarde des données", qui est désactivée. Une version d'essai du logiciel est accessible à tous. Cependant, pour bénéficier de toutes les fonctionnalités, il est nécessaire d'obtenir une autorisation ou une licence d'utilisation en fonction des types d'utilisateurs.

Pour cela, il faut remplir un formulaire et l'envoyer. Le Stockholm Environment Institute (SEI) enverra par e-mail le nom d'utilisateur, le code d'enregistrement et les instructions pour activer le logiciel WEAP, permettant ainsi d'utiliser la fonctionnalité "sauvegarde des données". Il est recommandé que l'ordinateur soit connecté à Internet, car WEAP dispose d'un forum d'utilisateurs accessible à l'adresse: [\[http://forums.seib.org/weap\]](http://forums.seib.org/weap) (<http://forums.seib.org/weap>).

Un nom d'utilisateur et un mot de passe sont nécessaires pour accéder à ce forum, qui peut aider les utilisateurs lors du démarrage du programme, du traitement des données et de la mise à jour des logiciels. La licence d'utilisateur est valable pour une période déterminée.

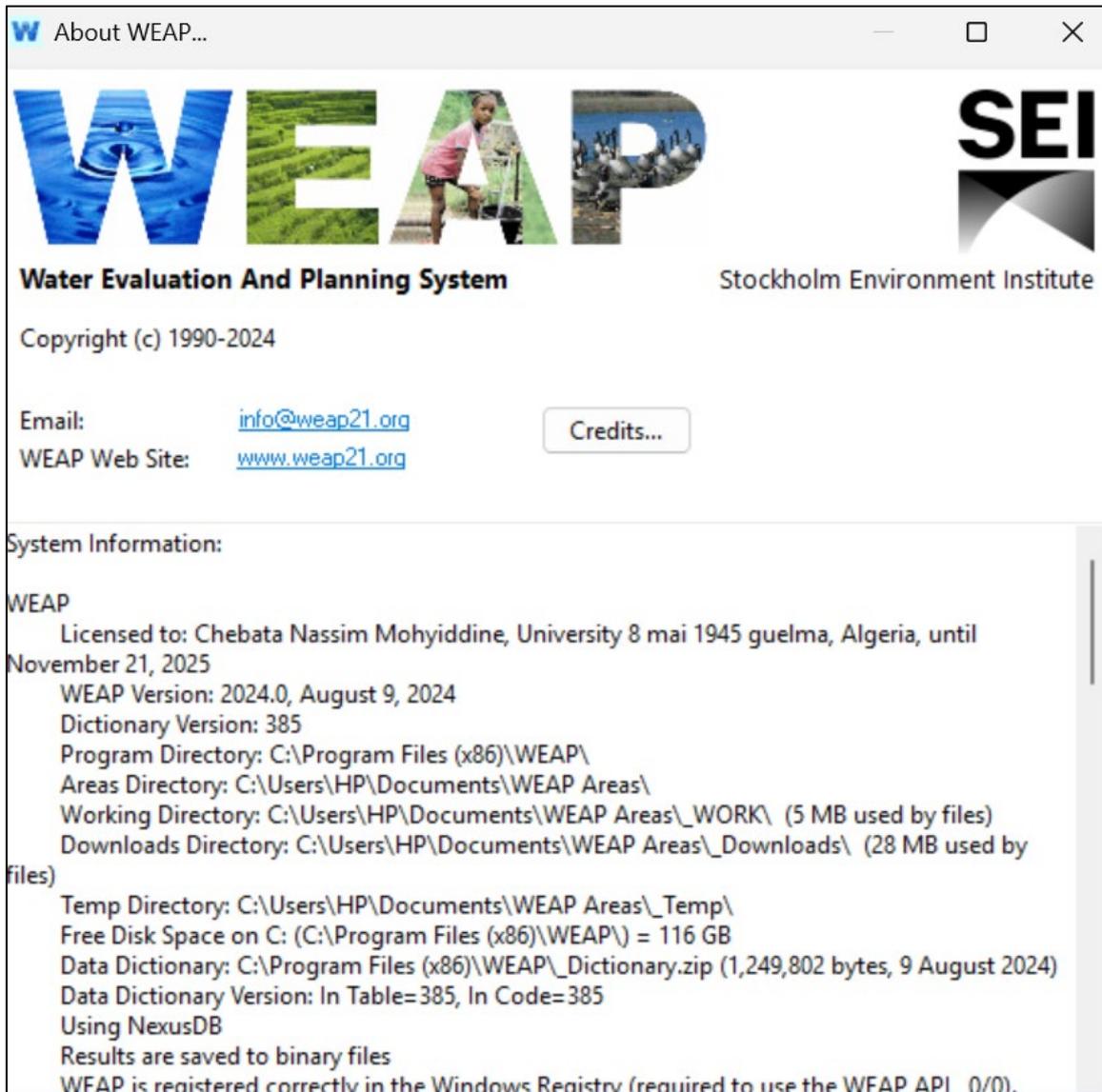


Figure III. 2: License WEAP acquise à partir du SEI (Stockholm Environnement Institute).

I.3. Application du modèle WEAP dans Wilaya d'Annaba

I.3.1. Cartographie

Dans le programme WEAP, une carte du monde est déjà intégrée, permettant de sélectionner et de créer la zone d'étude (voir **Fig. III.3**). Par la suite, il est possible d'ajouter une carte vectorielle à notre zone d'étude, ce qui peut nous aider à orienter et à construire notre système tout en précisant les limites du projet. Les données vectorielles de fond de plan peuvent être ajoutées en cliquant sur « Add Vector Layer ».

WEAP prend en charge les informations vectorielles au format « Shapefile », un type de fichier qui peut être créé par la plupart des logiciels de systèmes d'information géographique

(SIG) En sélectionnant la carte de la wilaya de Skikda, nous avons ensuite créé la carte d'un nouveau projet intitulé "Annaba". (OMRANI Ahmed.2018)

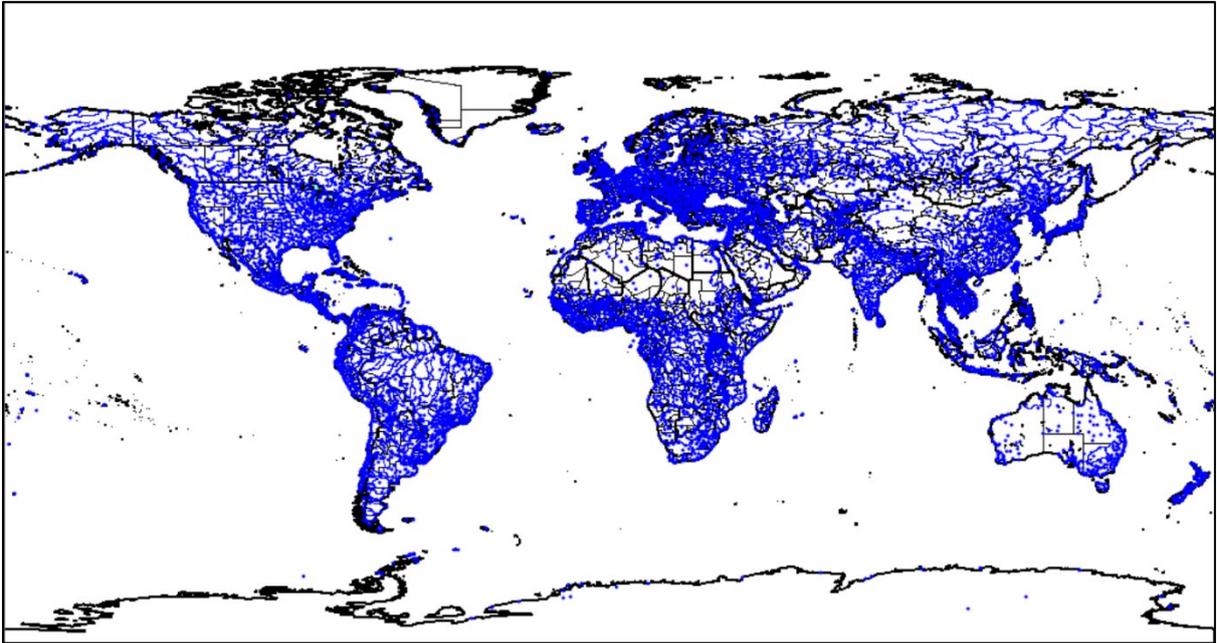


Figure III. 3: Carte du monde dans le logiciel WEAP

I.3.2 Réglage des paramètres généraux

Dans cette étape, il convient de configurer les paramètres temporels. Pour cela, créez une année de comptes courants spécifique au projet. Dans cette étude, la période est limitée de 2023 à 2090 pour toutes les informations relatives au système, telles que les sites de demande, les données d'approvisionnement, etc.

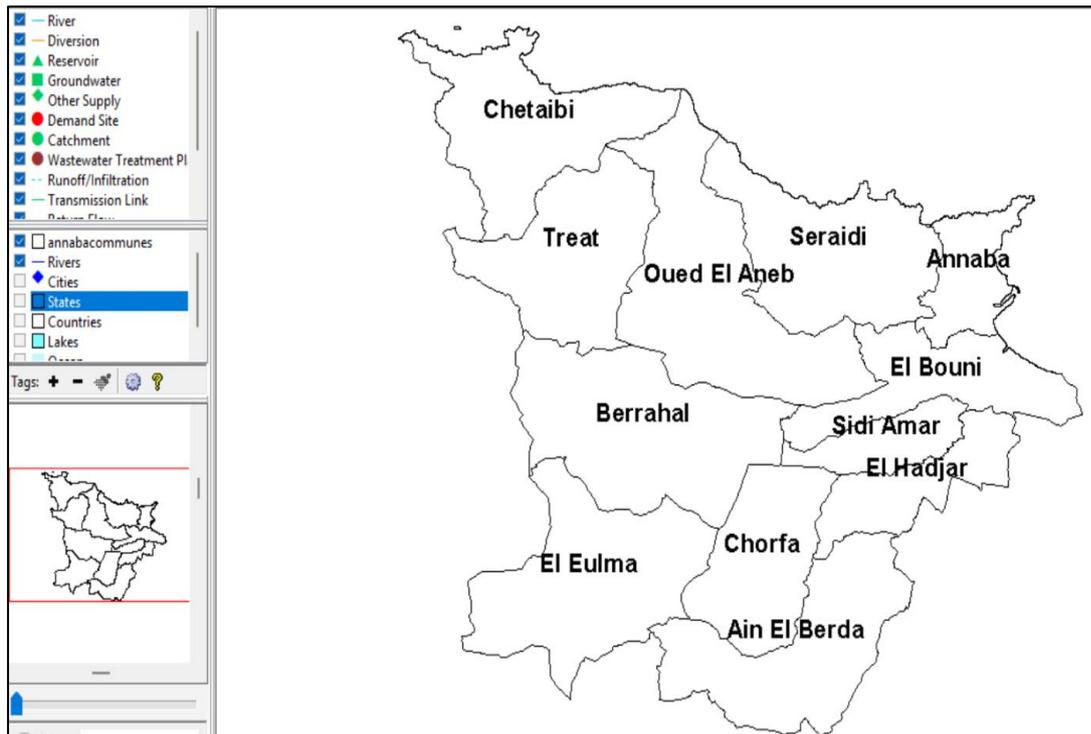


Figure III. 4: Carte de la wilaya d’Annaba par communes sous WEAP

I.3.3 Fonctionnement du logiciel

Le programme WEAP fonctionne selon cinq (5) étapes principales :

I.3.3.1 définition de la zone d’étude :

Dans cette étape que nous allons concevoir une carte de la zone d’étude. Pour cela, on peut recourir à des cartes mises en œuvre avec les systèmes d’information géographique (SIG) comme arcmap, et serviront à élaborer les éléments à faire en classe pour la simulation : les zones urbaines, les rivières, les alimentations en eau souterraine, les réservoirs, les barrages

I.3.3.2 les hypothèse clé et référence :

Le logiciel WEAP effectue des simulations à partir de calculs, il faut donc construire une base de données complète, sous forme d’hypothèses clés et différents scénarios. Ces hypothèses serviront de base aux simulations, et permettront d’observer les impacts potentiels des stratégies de gestion des ressources en eau à adopter. (OMRANI Ahmed.2018)

I.3.3.3 créations des scénarios :

Le scénario par WEAP est composé de trois étapes. En premier lieu, l’année du compte courant est retenue comme année de référence pour le modèle en cours de paramétrage, à laquelle se superpose les données de l’année d’une période donnée. Un scénario de référence,

exprimé durant tout le projet sous forme exempte de toute intervention, est ensuite produit sur la base de ce calcul en cours. A partir de ce scénario de référence une série de scénarios sont élaborés pour simuler en premier lieu l'impact des changements sociaux-économiques qui se sont concrétisés en cours de projet, puis dans un deuxième temps les changements qui caractériseront la période de l'année du programme co-construit tel que fixé au départ du projet. Ces changements seront apparentés à des évolutions climatiques.

I.3.3.4 Saisie des données :

Introduire les données relatives aux demandes en eau, aux sources d'approvisionnement, aux infrastructures et aux autres éléments pertinents du système.

I.3.3.5 les résultats :

Les résultats se présentent sous forme de tableaux et/ou de graphiques. Nous pouvons donc comparer deux ensembles de résultats, ceux de l'année de référence, et ceux de l'année du scénario de changements climatiques. (OMRANI Ahmed.2018)

Les données collectées et portées dans WEAP concernent :

30 site de demande :

- 12 sites de demande d'eau pour les zones urbaines
- 12 sites de demande d'eau pour les zones agricoles
- 12 sites de demande d'eau pour les zones industrielles
- 2 réservoirs représentent : le barrage Mexa et le barrage Cheffia
- 4 réservoirs d'eau souterraines représentant les champs captages de la wilaya d'Annaba
- Une station de dessalement

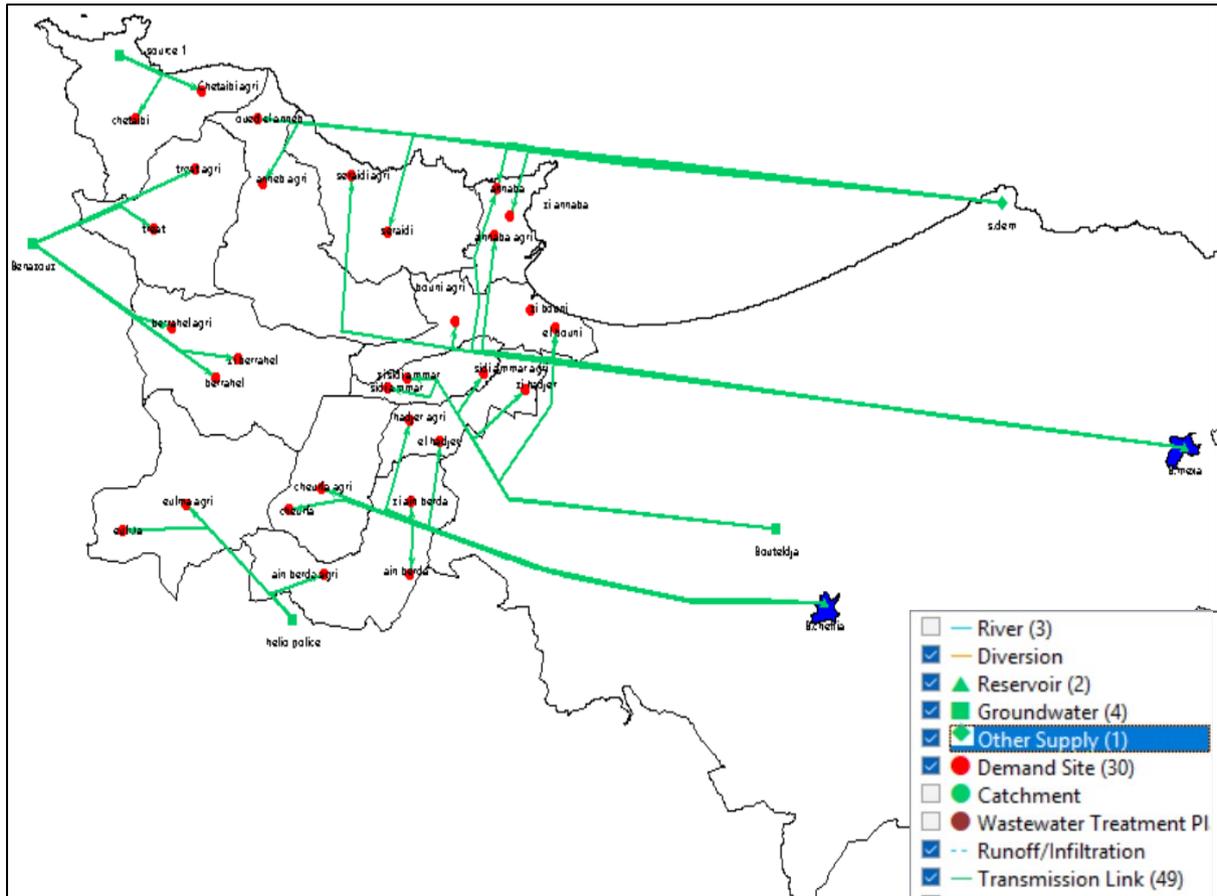


Figure III. 5: Schéma hydraulique de la wilaya d'Annaba

II. Analyse et traitement des données nécessaires

II.1. Sites des demandes

II.1.1 Le niveau d'activité annuel

Conditionne bien sûr la demande en eau selon le nombre de personnes ayant une consommation d'eau domestique, ou de l'intensité de la consommation d'eau par équivalent d'activité pour les autres, et donc la demande annuelle est le niveau de consommation d'eau souhaité par chaque type de demande. Les pertes, la réutilisation et les rendements sont approximés séparément. La consommation d'eau est calculée avec le niveau d'activité annuel multiplié par un coefficient d'utilisation de l'eau. Les niveaux d'activité sont une des dimensions dans l'analyse de la demande en eau générée dans WEAP, mesure relative de l'ampleur des activités humaines sociales, économiques.

Avant d'entrer les données il faut choisir l'unité, dans la fenêtre « Unité d'activité »,

Sous le champ « Unité », nous avons choisi « Personne pour AEP » et cliquer sur « OK ».

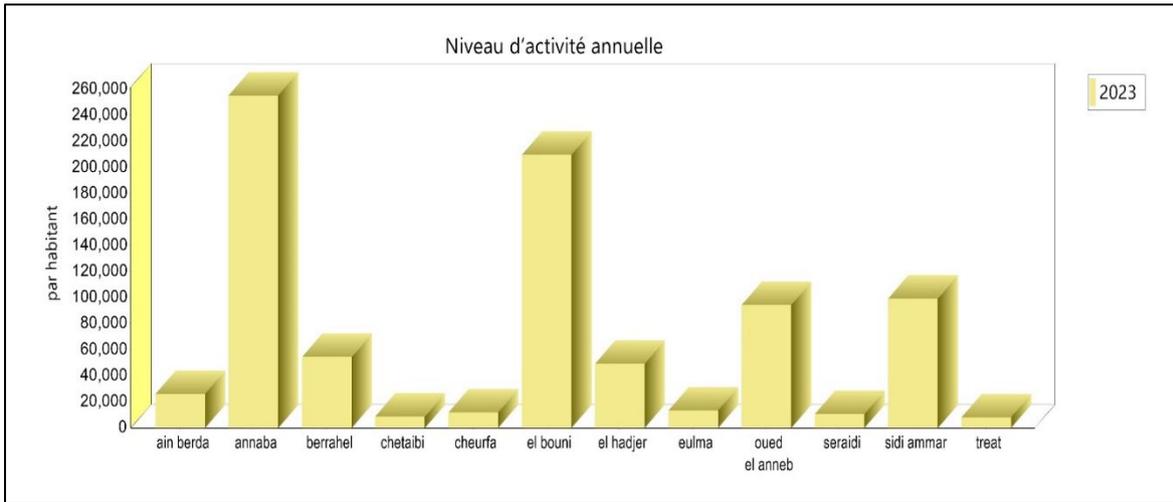


Figure III. 6: Niveau d'activité annuelle de la population

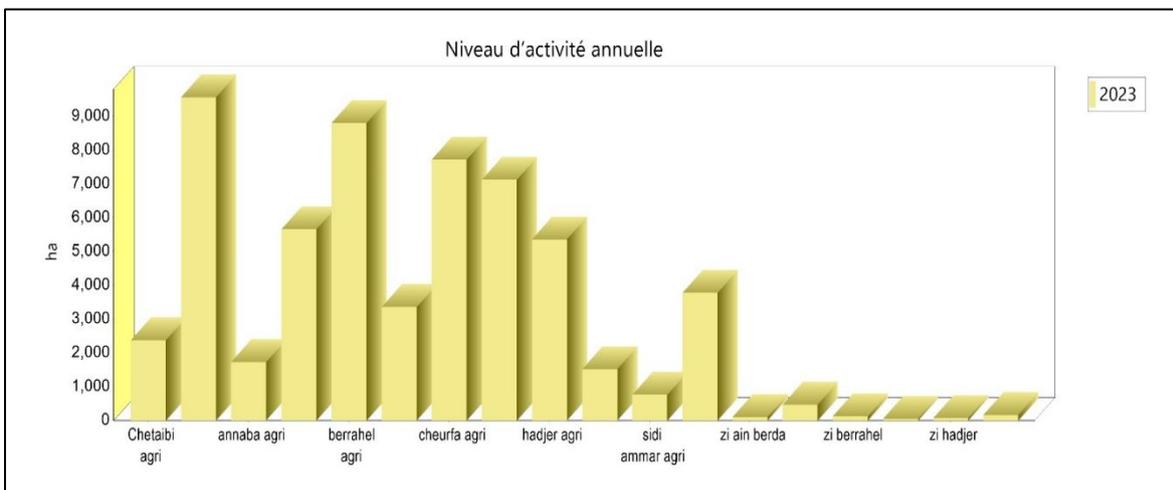


Figure III. 7: Niveau d'activité annuelle agricole et industrielle

II.1.2 la consommation annuelle :

Le pourcentage du débit d'entrée consommé cliquer sur la fenêtre consommation et entrer la population et l'industrie 15% et pour l'agricole 85% sous le champ nommée «2023 »

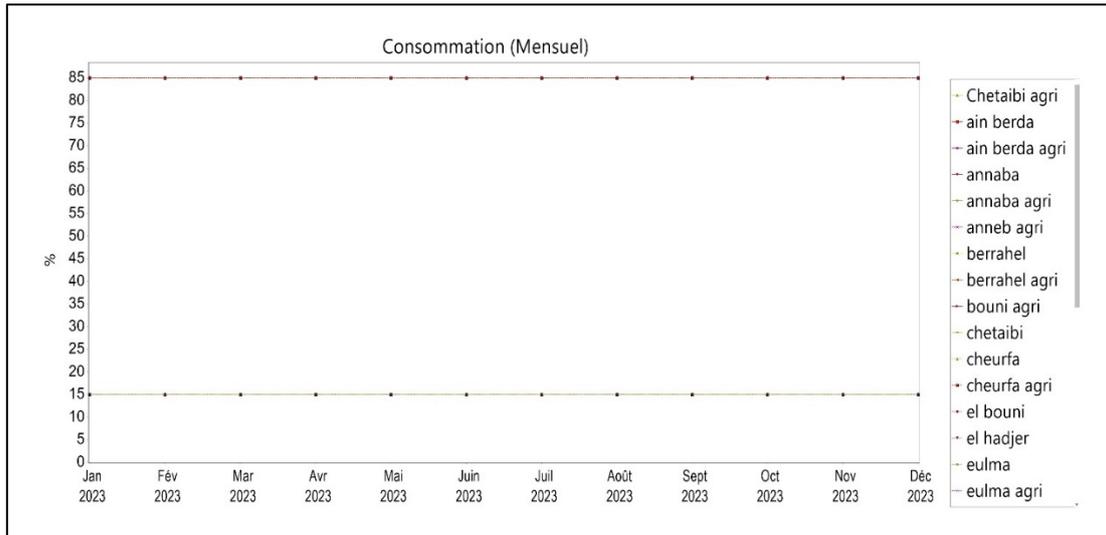


Figure III. 8: Le taux de consommation du débit d'entrée consommé 2023

II.2 Sites de l'offre

- Capacité de stockage des réservoirs dans notre cas sont les barrages
- Capacité de stockage théorique des eaux souterrains

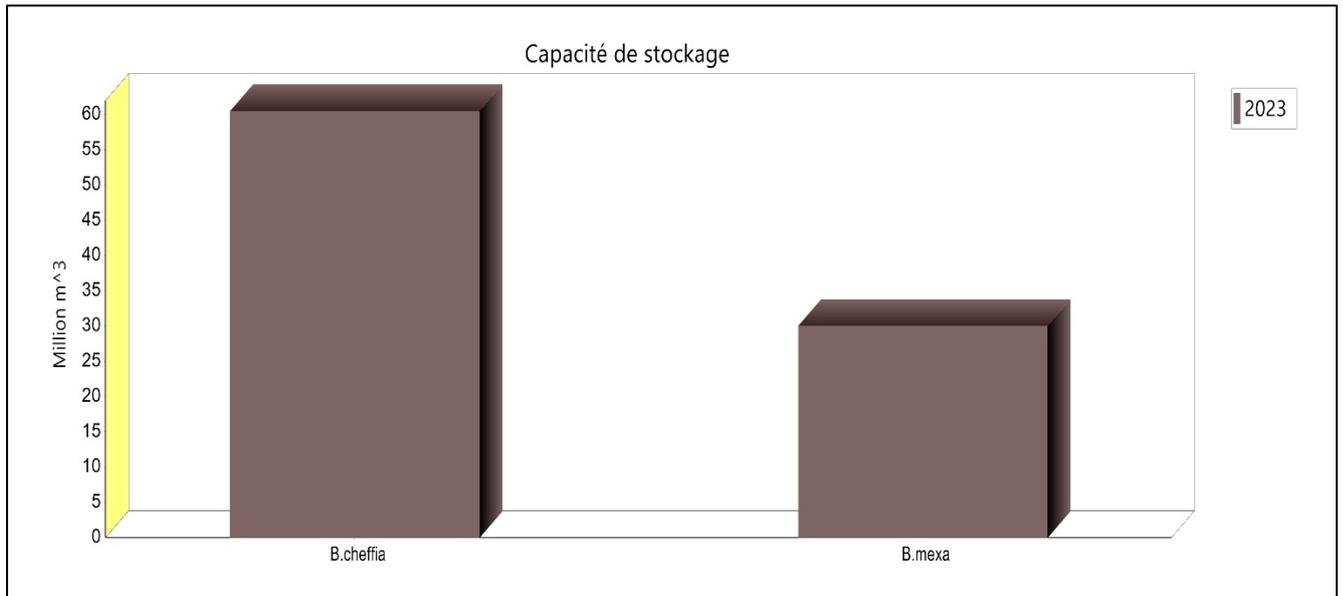


Figure III. 9: Capacités de stockage des barrages

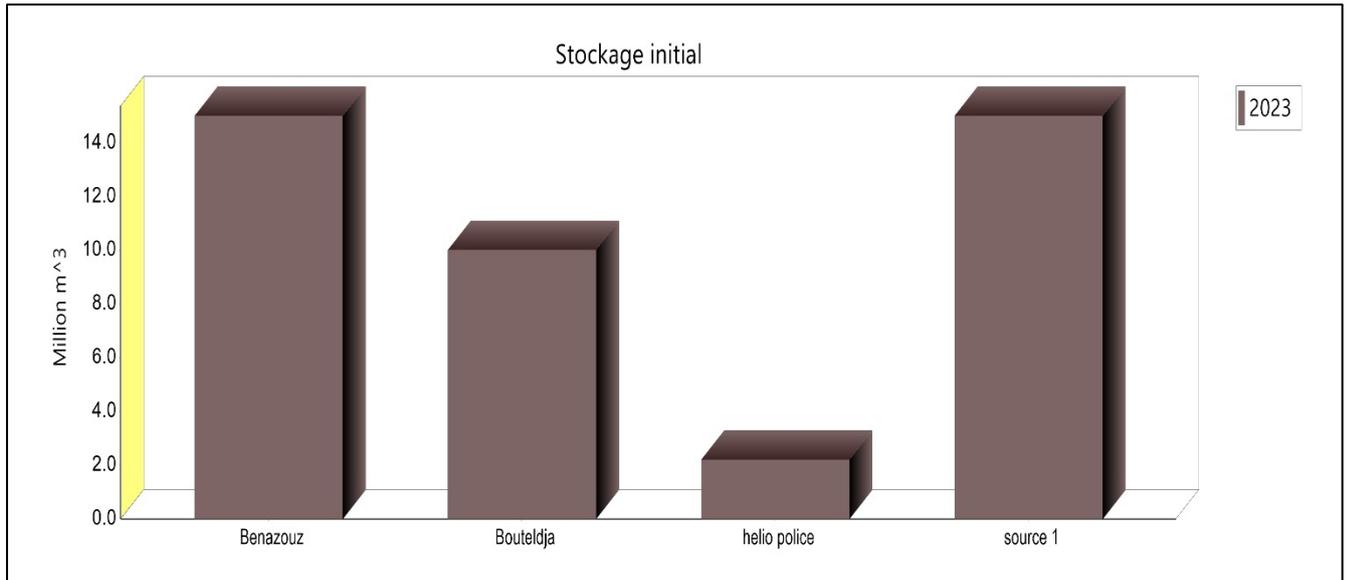


Figure III. 10: Capacités de stockage des eaux souterraines

II.3 Création des hypothèses clés

Pour créer une branche d'hypothèses clés, faites un clic droit sur la branche sous laquelle vous souhaitez ajouter la nouvelle branche (sur ou sous les branches de niveau supérieur Hypothèses clés et Autres hypothèses), puis choisissez Ajouter dans le menu contextuel. Une nouvelle branche apparaîtra, avec le nom « Nouvelle branche » en surbrillance pour que vous puissiez saisir un nouveau nom. Pour créer une structure multiniveau, créez d'abord la branche qui contiendra les autres branches, puis celles qui se trouveront en dessous.

Dans notre cas Hypothèses principales sont créées :

- Taux d'accroissement populaire faible 1.5%
- Taux d'accroissement populaire fort 2%
- Dotation selon OMS 150 l/j/Person
- Dotation actuelle 100 l/j/Person
- Taux d'accroissement réelle 1.75%

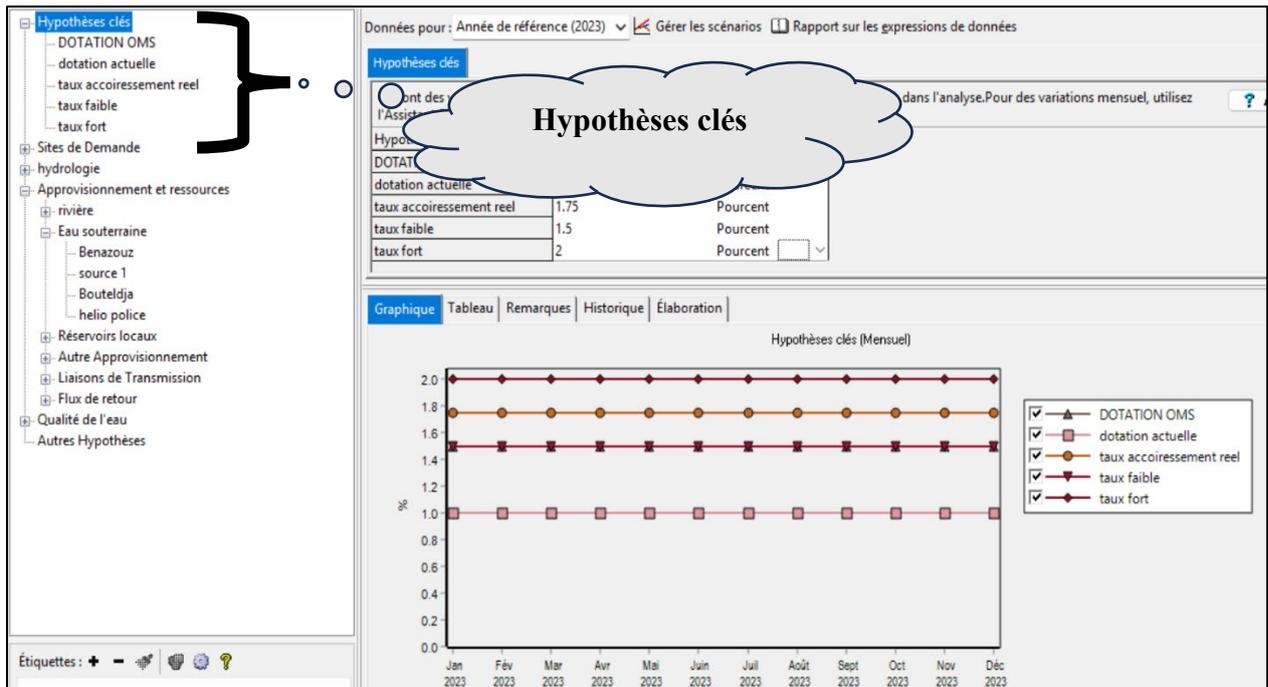


Figure III. 11: Les hypothèses clés dans la WEAP «2023»

II.3 Création des scénarios et changement de l'horizon du temps

Pour créer des scénarios dans WEAP, il faut cliquer sur l'outil appelé « Gérer les scénarios ». Cet outil vous permettra de créer de nouveaux scénarios en cliquant sur « Ajouter ». Ensuite, vous pourrez modifier l'horizon temporel en accédant à l'outil « Général » dans WEAP, puis en sélectionnant « Années et pas de temps ». Sachez que le scénario de référence est déjà créé automatiquement.

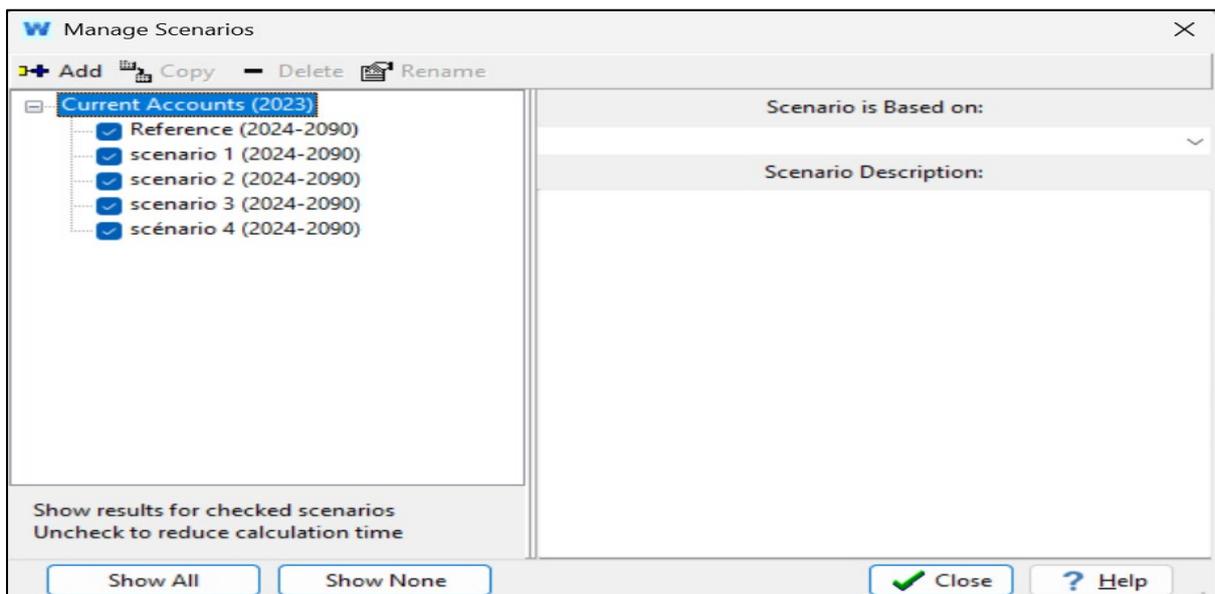


Figure III. 12: Création des scénarios avec leur description

Years and Time Steps

Time Horizon

Current Accounts Year: 2023

Last Year of Scenarios: 2090

Time Steps per Year

12

Add Leap Days?

Time Step Boundary

Based on calendar month

All time steps are equal length

Set time step length manually

Water Year Start

January

#	Title	Abbrev.	Length	Begins	Ends
1	January	Jan	31	1 Jan	31 Jan
2	February	Feb	29	1 Feb	29 Feb
3	March	Mar	31	1 Mar	31 Mar
4	April	Apr	30	1 Apr	30 Apr
5	May	May	31	1 May	31 May
6	June	Jun	30	1 Jun	30 Jun
7	July	Jul	31	1 Jul	31 Jul
8	August	Aug	31	1 Aug	31 Aug
9	September	Sep	30	1 Sep	30 Sep

Time Step Name Format: October / Oct

The study period will run from January, 2023 to December, 2090.

? Help

Close

Figure III. 13: L'horizon de temps pour les scénarios

II.4 Exécuter le Scénario « Référence »

L'évaluation, dans le cadre d'une approche intégrée de développement de la fourniture en eau, des principaux facteurs à prendre en compte, comme la demande en eau, sa qualité et les écosystèmes à préserver, s'effectue par la création de scénarios ou variantes dans le modèle WEAP. Ces scénarios sont développés en intégrant des expressions mathématiques sous forme d'hypothèses clés, qui représentent les différents cas à analyser.

Rappelons tout d'abord que l'année « Compte actuel ou initial » est l'année de référence du programme. La variante « Référence » donne à simuler l'évolution du système sans intervention à partir de cette année de référence. On peut également créer et simuler de nombreuses variantes, en modifiant la variante « Référence », afin d'évaluer les impacts des changements des règles et des technologies de gestion. (Omrani Ahmed. 2018)

Dans le but d'enrichir notre modèle et d'améliorer nos prévisions à long terme, nous avons élaboré les scénarios suivants :

- ✓ Scénario référence : "un taux d'accroissement Populaire moyenne" de l'ordre 1.75% avec une dotation actuelle de 120 l/j/per et une dotation de 5000m³/hectare avec taux d'accroissement de l'ordre 1% dans les terrains agricole
- ✓ Scénario 1 : "un taux d'accroissement Populaire faible" de l'ordre 1.5% avec une dotation sécheresse de l'ordre 80 l/jour/per avec taux d'accroissement de l'ordre 0.5% dans les terrains agricole

- ✓ Scénario 2 : "un taux d'accroissement Populaire fort" de l'ordre 2% avec une dotation selon OMS 150 l/j/per et une dotation de 2500m³/hectare avec taux d'accroissement de l'ordre 1% dans les terrains agricole
- ✓ Scénario 3 : "un taux d'accroissement Populaire fort" de l'ordre 2% avec une dotation selon OMS 150l/j/per et une dotation de 2500m³/hectare, nous avons proposé de construire de nouvelles stations d'épuration à l'avenir, dont une avec une capacité de 1 Mm³/jour qui démarrera en 2035, et une autre avec une capacité de 800 000 m³/jour qui commencera en 2040."

La planification par scénarios ne vise pas à fournir une vision précise de l'avenir Par contre, Son but est plutôt d'aider les décideurs à prendre des décisions stratégiques, à travailler ensemble et à guider leurs actions.

Quand elle est bien réalisée, la planification par scénarios permet aux groupes de disposer de stratégies flexibles pouvant s'ajuster à différents futurs possibles (SELLAMNA, 2010)

Organisation des scénarios dans WEAP

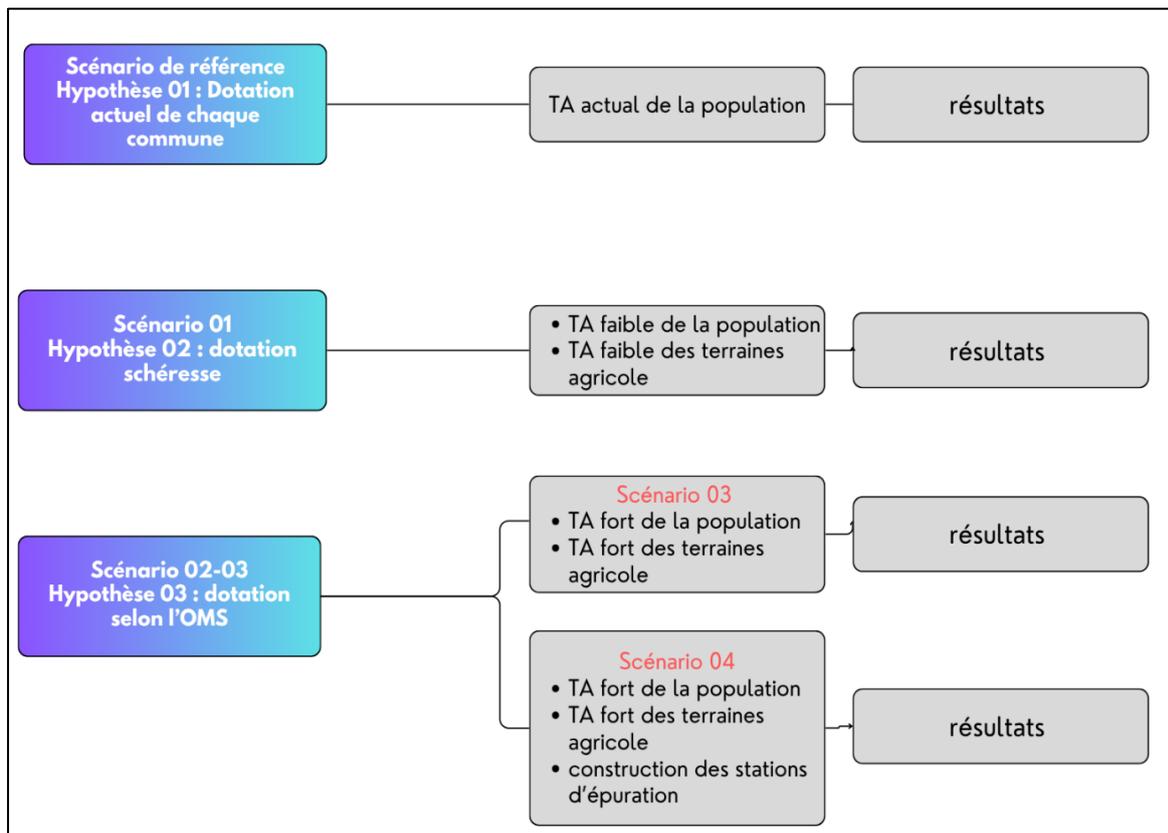


Figure III. 14: Organisation des scénarios dans WEAP

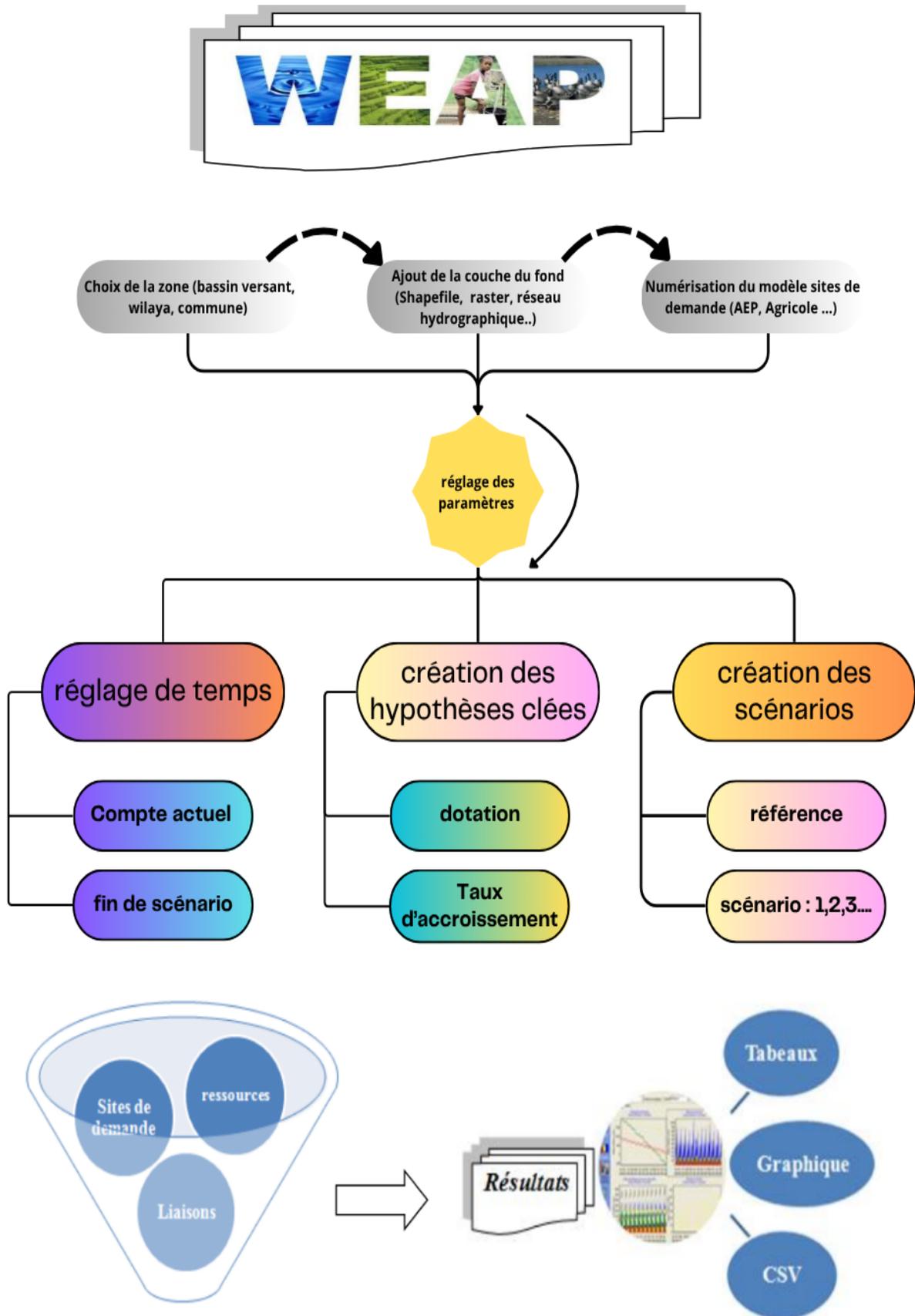


Figure III. 15: Organigramme du fonctionnement du logiciel WEAP.

Partie 02 : AHP

Introduction

Dans notre parcours nous avons fait l'analyse multicritère avec l'utilisation du système d'information géographique (SIG) .

Un système d'information géographique (SIG) est un système d'information conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques. (MEGHOUACHE LEILA. 2017)

I.1. Application du SIG

Dans notre travail nous avons utilisés le logiciel Arcmap pour faire l'analyse multicritère potentiel de la wilaya d'Annaba alors nous avons utilisés les cartes suivantes :

- ✓ Carte de précipitation
- ✓ Carte des pentes
- ✓ Carte géologique
- ✓ Carte de land use and land cover
- ✓ Carte de lineament
- ✓ Carte de densité de drainage
- ✓ Carte des sols

I.1.1 création de la carte de précipitation

Nous avons collecté les données de précipitations de la wilaya d'Annaba après nous avons fait le traitement des données dans le logiciel Excel ensuite on ouvre le logiciel arcmap et on clique sur l'outil « File » après on clique sur « add data – add xy data » on choisit le fichier Excel et on ajoute les coordonnées de longitude et l'altitude et le système des coordonnées WGS1984.

Après dans la table de content on clique sur le Botton a droite de la souris sur les points qui nous avons ajouter et on clique sur export data les points serait fixé après on clique sur l'outil « arctoolbox – spatial analyse Tool – interprétation – IDW ».

I.1.2 création de la carte géologique

Pour la carte géologique la première chose que n'avons fait c'est la digitalisation après nous avons créés un shapefile dans le catalogue dans laquelle on clique sur le Botton a droite et on choisit « new- shapefile - feature type – polygone – le système des cordonnées WGS1984 » ensuite on clique sur l'outil « edit – start edit » on désigne les limites des différents types de structure géologique

I.1.3 création de la carte de réseaux hydrographique

Le schéma suivant résume la création de la carte de réseaux hydrographique

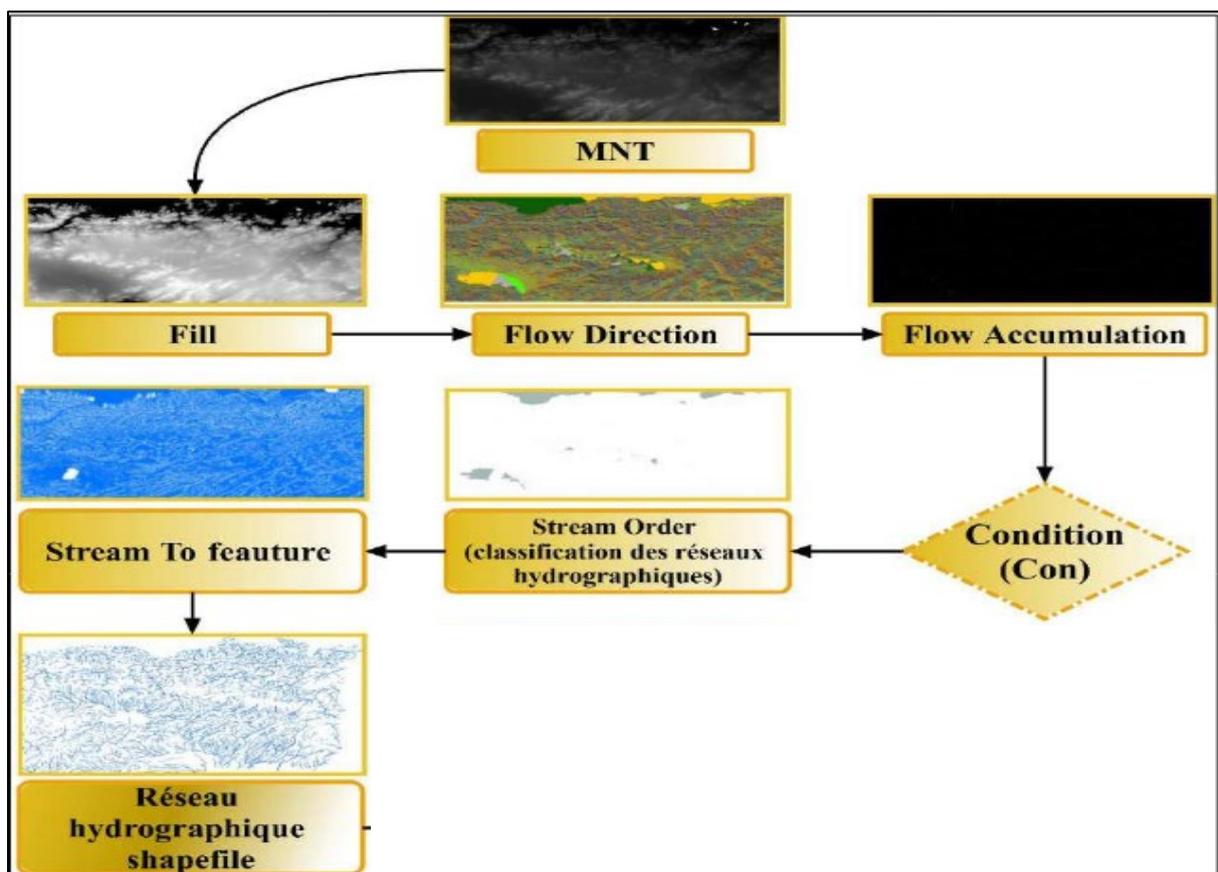


Figure III. 16: Organigramme pour le réseaux hydrographique (DERRADJI Tahani.2023)

I.1.4 la carte des zones potentiels de la wilaya d'Annaba

Le schéma suivant explique les étapes suivies pour créer la carte des zones potentiels de la wilaya d'Annaba

Figure III.17.organigramme des étapes pour la carte des zones potentiels d'Annaba

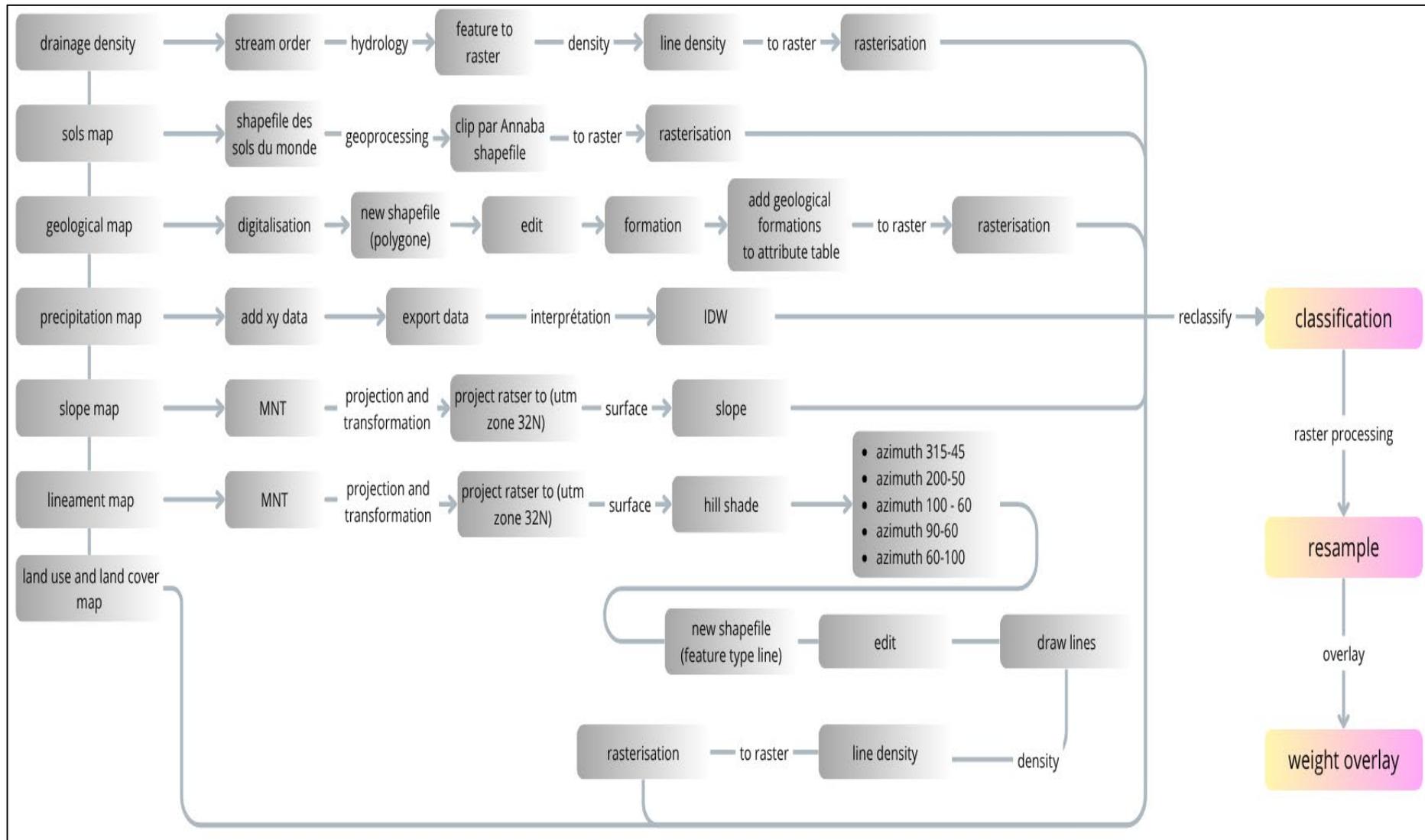


Figure III. 17: Organigramme des étapes pour la carte des zones potentiels d’Annaba

I.1.5 weight overlay

Cette étape est la plus importante étape dans notre travail sur la AHP dans cette étape nous avons utilisés le tableau Excel pour extrait l'influence de chaque carte l'histogramme suivant montre les données d'influence utilisés dans notre carte des zones potentiels

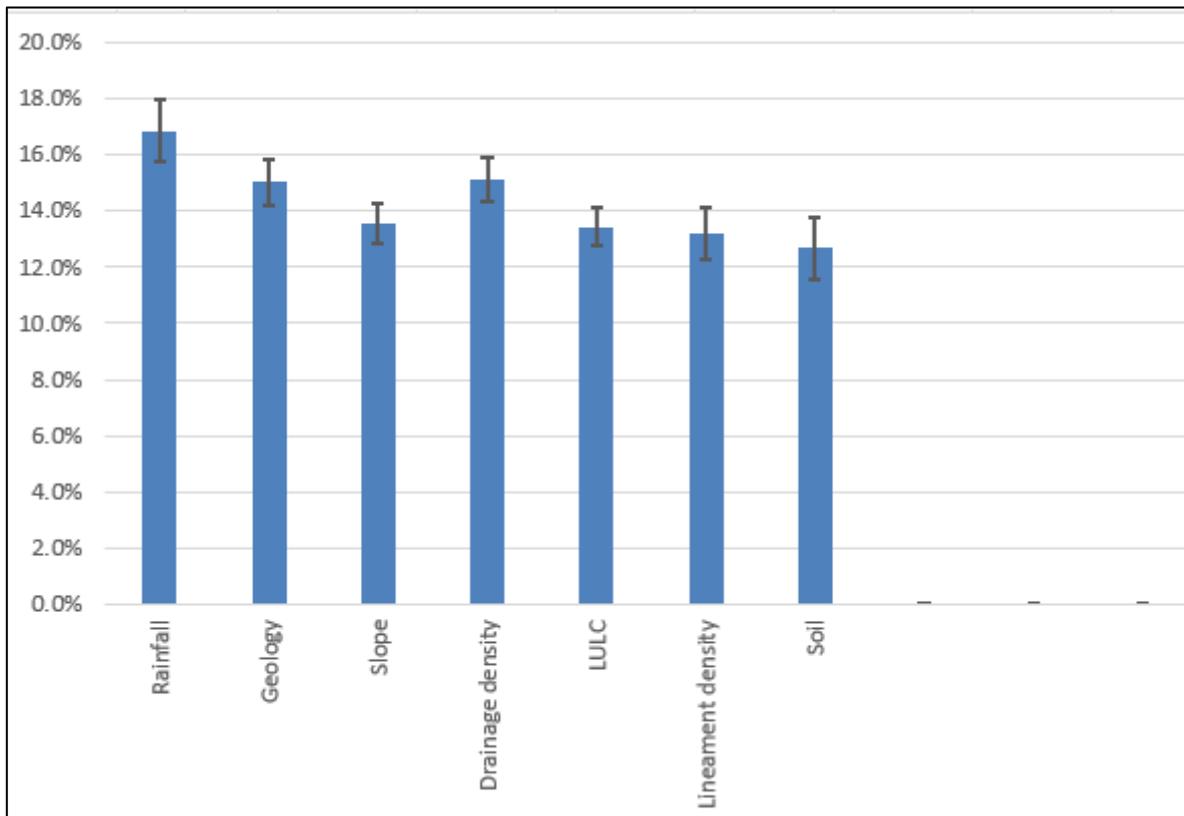


Figure III. 18: Histogramme sur l'influence de chaque paramètre

Conclusion

Après l'application du modèle WEAP et la réalisation de la carte d'analyse multicritère à l'aide du logiciel ArcMap dans notre zone d'étude, nous avons pu analyser différents scénarios pour l'approvisionnement en eau dans le futur et proposer des solutions importantes pour la wilaya d'Annaba, en particulier concernant la demande en eau et la demande non satisfaite, en nous basant sur les résultats obtenus grâce au WEAP et à l'AHP. De plus, nous pouvons examiner comment le développement socio-économique à venir influencera les ressources en eau de la wilaya.

Chapitre IV

Résultats et discussion

Introduction

Les résultats obtenus sont examinés de baser sur 5 aspects afin de mettre les différentes facettes de demandes : l'accroissement (populaire), demandes en eaux, la demande non satisfaite écoulement, comparaison entre les scénarios

I.1 Résultats

I.1.1 L'accroissement populaire

Dans le scénario référence nous avons appliqué "un taux d'accroissement Populaire moyenne" de l'ordre 1.75% les résultats obtenus sont présentés dans le schéma suivant :

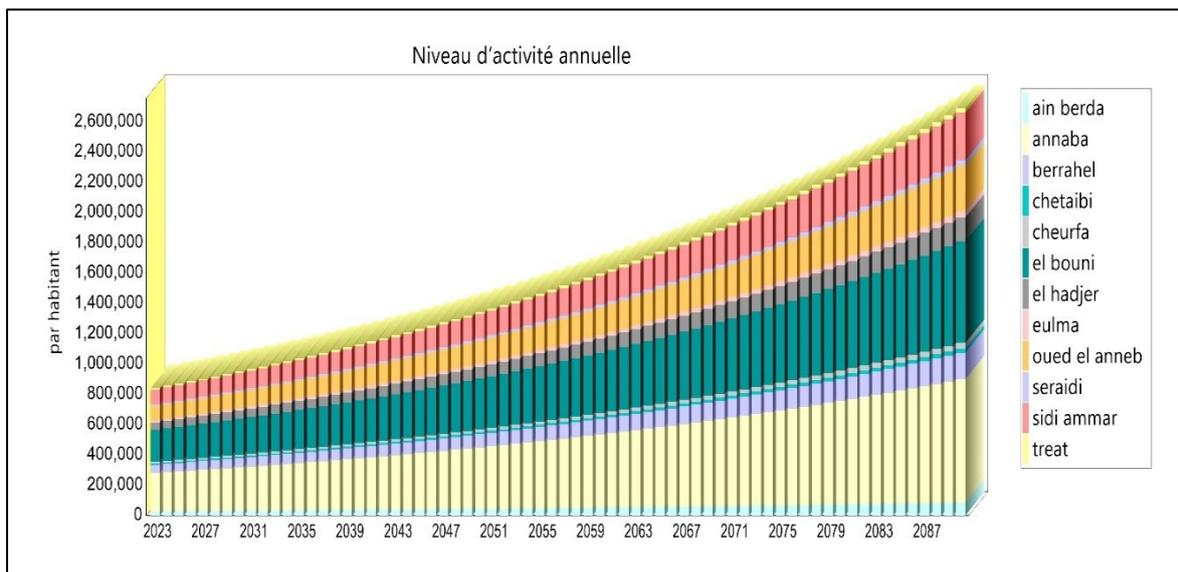


Figure IV. 1: L'augmentation de l'activité annuelle par habitant dans certaines villes entre 2023 et 2089 (scénario référence)

Ce graphique illustre l'augmentation de l'activité annuelle par habitant dans certaines villes entre 2023 et 2089. En 2023, cette activité était d'environ 800 000 unités par habitant. Elle augmente ensuite chaque année pour atteindre environ 2 600 000 unités par habitant en 2089. Cela signifie que l'activité de chaque personne a plus que triplé en 66 ans.

Quelles villes contribuent le plus à cette augmentation ? Sidi Ammar, Chetaïbi, Oued El Anneb et El Eulma. En effet, si l'on considère par exemple la ville de 2045, on constate que Sidi Ammar contribue largement à cette augmentation.

Cette croissance continue implique une consommation croissante de ressources (eau, énergie, services...), ce qui constituera un véritable problème pour les années à venir si l'utilisation des ressources ne s'améliore pas.

Dans le scénario 01 nous avons appliqué "un taux d'accroissement Populaire faible" de l'ordre 1.5% les résultats obtenus sont présentés dans le schéma suivant

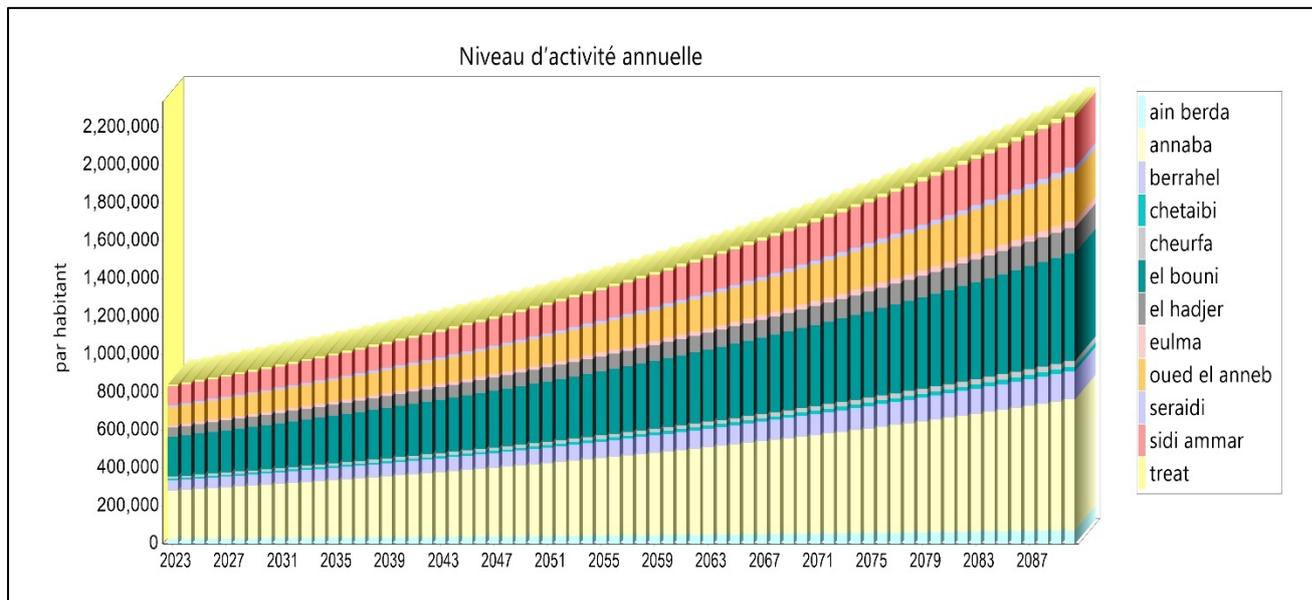


Figure IV. 2: L'augmentation de l'activité annuelle par habitant dans certaines villes entre 2023 et 2089 (scénario 01)

Ce graphique illustre l'augmentation de l'activité annuelle par habitant dans certaines villes entre 2023 et 2089. En 2023, cette activité était d'environ 850 000 unités par habitant. Elle augmente ensuite chaque année pour atteindre environ 2 200 000 unités par habitant en 2089.

Parmi les villes, Annaba occupe la première place. Elle représente plus de 800 000 unités par habitant en 2087. Nous enregistrons également une forte activité à Chetaïbi, Sidi Ammar et Oued El Anneb.

Les autres villes comme Eulma, El Hadjer, Treat ou Berrahel représentent une petite part, mais leur activité augmente chaque année.

Dans le scénario 02 et 03 nous avons appliqué "un taux d'accroissement Populaire fort" de l'ordre 2% les résultats obtenus sont présentés dans le schéma suivant

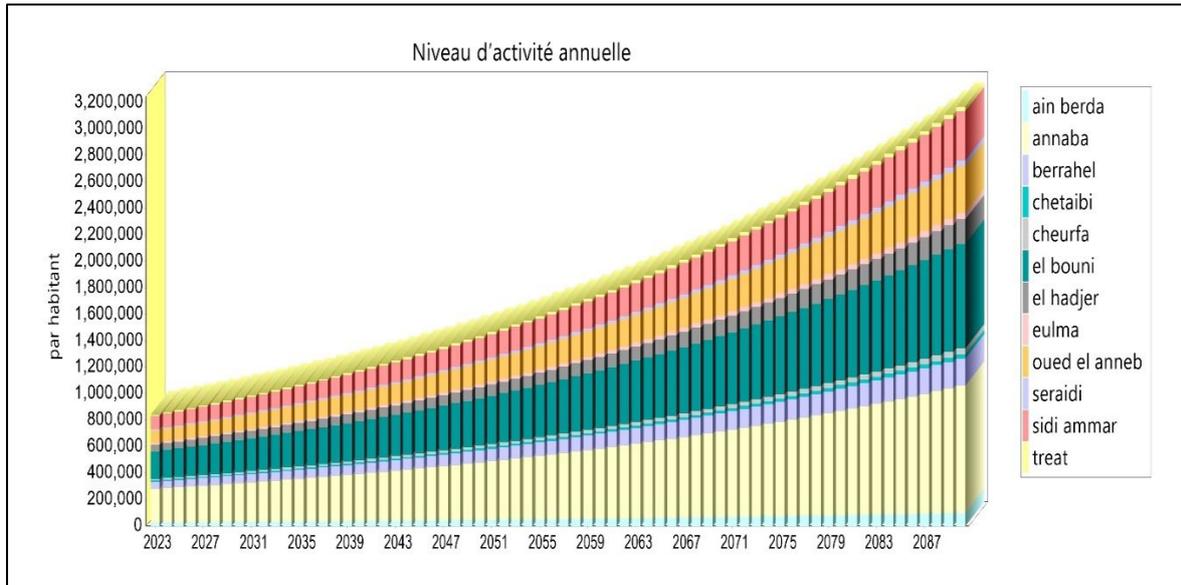


Figure IV. 3: L'augmentation de l'activité annuelle par habitant dans certaines villes entre 2023 et 2089 (scénario 02 et 03)

Ce graphique illustre l'augmentation de l'activité annuelle par habitant dans certaines villes entre 2023 et 2089. En 2023, cette activité était d'environ 900 000 unités par habitant. Elle augmente ensuite chaque année pour atteindre environ 3 200 000 unités par habitant en 2089

Parmi les villes, Annaba occupe la première place. Elle représente plus de 950 000 unités par habitant en 2087. Nous enregistrons également une forte activité à Chetaïbi, Sidi Ammar et Oued El Anneb.

Les autres villes comme Eulma, El Hadjer, Treat ou Berrahel représentent une petite part, mais leur activité augmente chaque année.

I.1.2 demande en eau

I.1.2.1 scénario référence

Le graphique de la figure ci-dessous présente l'accroissement de la demande en eau au scénario d'un accroissement de la population de l'ordre de 1.75 %. Avec une dotation 100 L/j/habitant

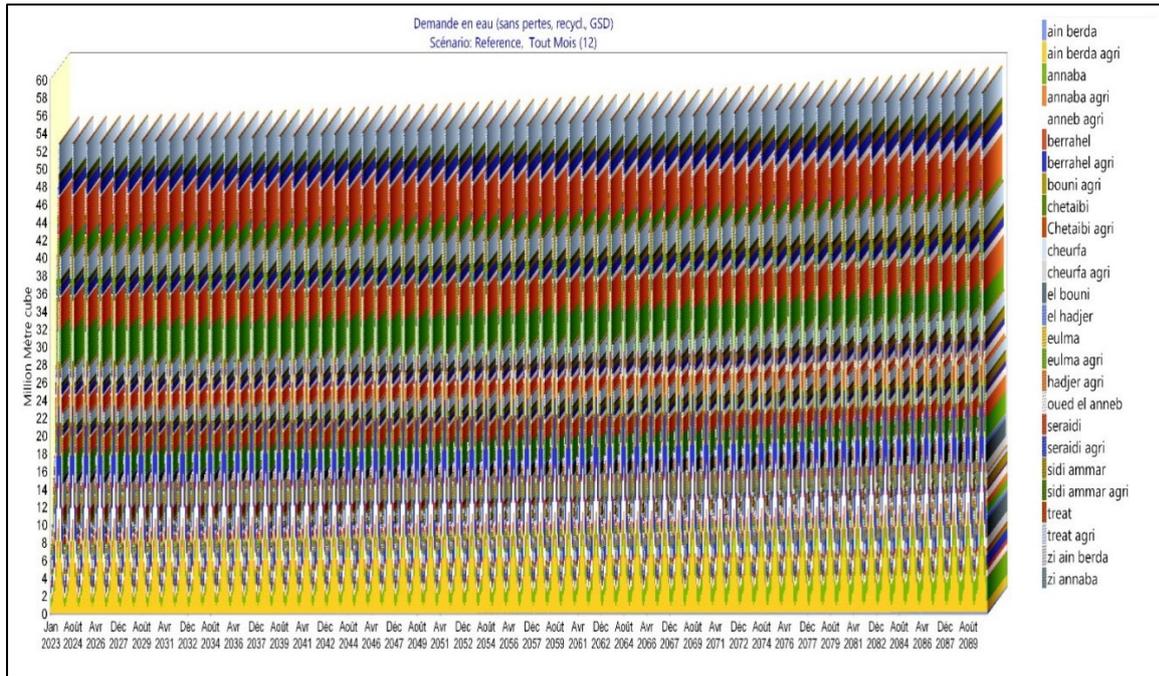


Figure IV. 4: Evolution de la demande en eau pour le scénario référence

Cette figure montre que la demande en eau augmente régulièrement entre 2023 et 2090 : Elle atteint en 2060 un volume de 55.79 Mm³/an en constat que le volume d'eau atteindre 60Mm³/an

I.1.2.2. Scénario 01

Le graphique de la figure ci-dessous présente l'accroissement de la demande en eau au scénario d'une accroissement de la population de l'ordre de 1.5% Avec une dotation 80 L/j/habitant

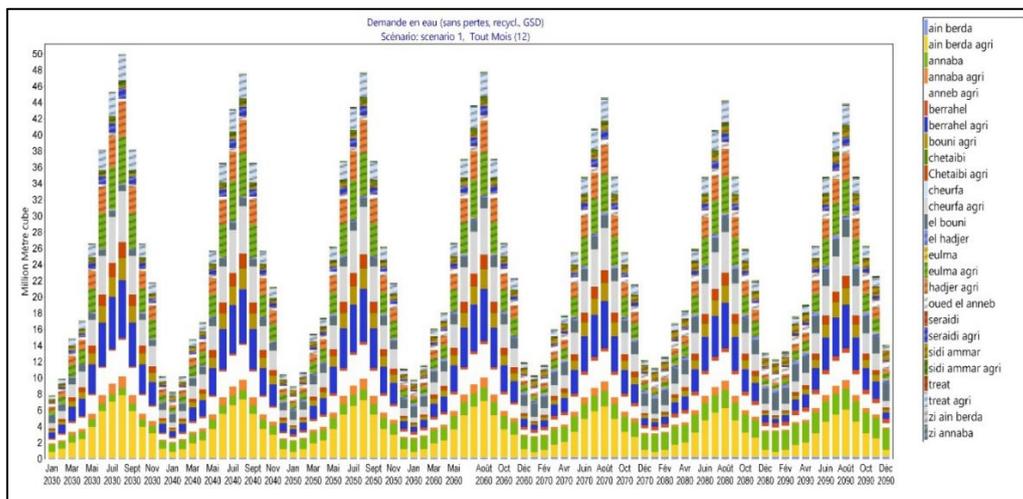


Figure IV. 5: Evolution de la demande en eau pour le scénario 01

Cette figure montre que la demande en eau descende régulièrement entre 2023 et 2044 elle atteint en 2044 un volume de 48Mm³/an, après elle se stabilise dans la période de 2044 et 2061 dans le volume de 48Mm³/an avant d’avoir un 2eme descente entre 2061 et 2090 pour atteindre un volume de 46Mm³/an

I.1.2.3. Scénario 02

Le graphique de la figure ci-dessous présente l’accroissement de la demande en eau au scénario d’une accroissement de la population de l’ordre de 2% Avec une dotation selon l’OMS 150 L/j/habitant

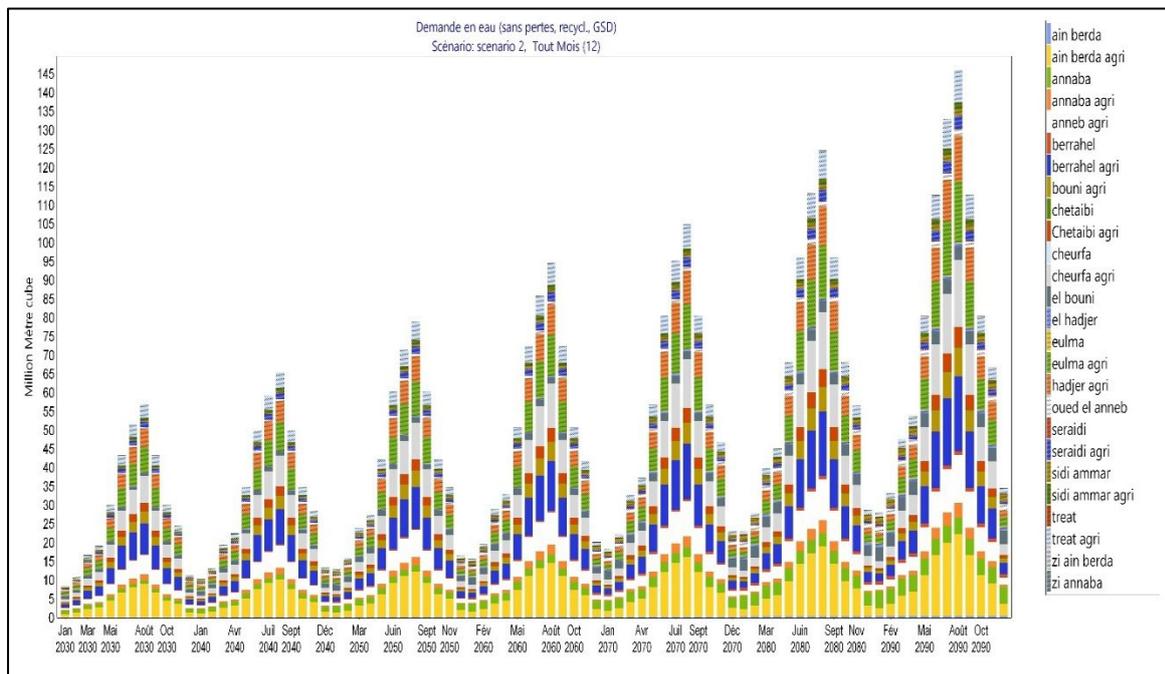


Figure IV. 6: Evolution de la demande en eau pour le scénario 02

Cette figure montre que la demande en eau augmente régulièrement entre 2023 et 2090 : Elle atteint en 2070 un volume de 100 millions M3/an en 2090 le volume peut atteindre un volume de 145 Mm³/an

I.1.2.4. Scénario 03

Le graphique de la figure ci-dessous présente l’accroissement de la demande en eau au scénario d’une accroissement de la population de l’ordre de 2% Avec une dotation selon l’OMS 150 L/j/habitant mais la différence entre le scénario 2 et le scénario 3 c’est les nouveaux bassins d’eau.

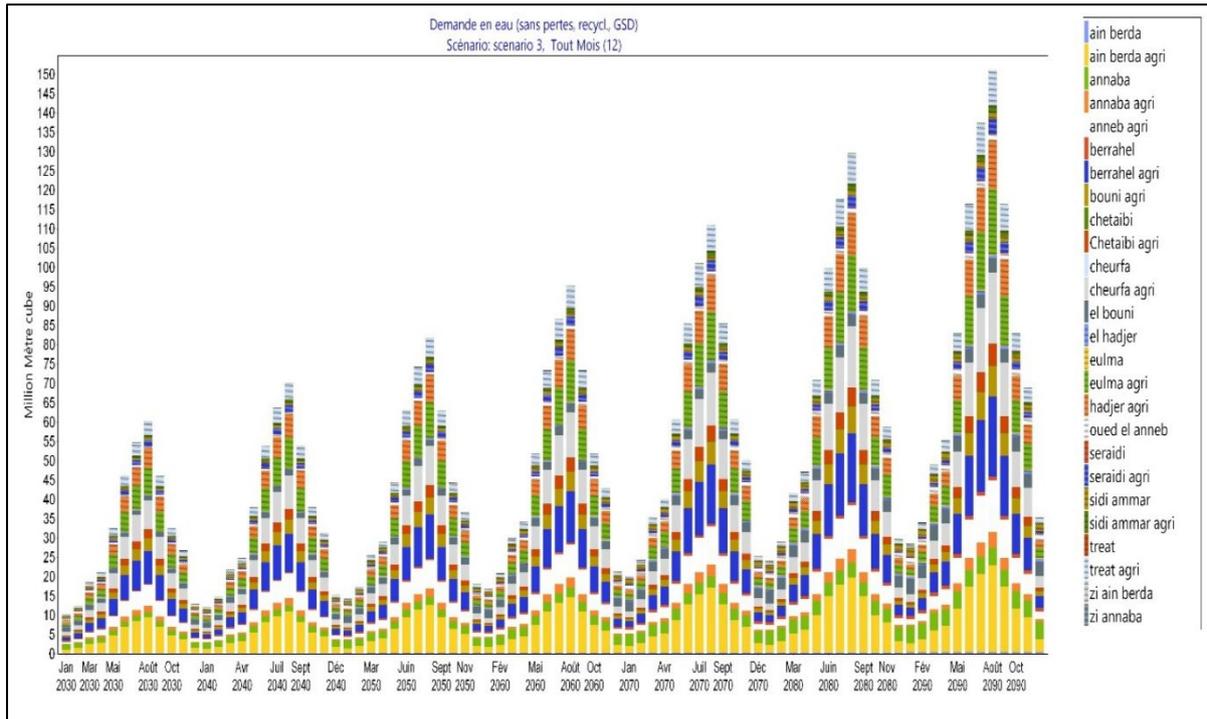


Figure IV. 7: Evolution de la demande en eau pour le scénario 03

Cette figure montre que la demande en eau augmente régulièrement entre 2023 et 2090 : Elle atteint en 2070 un volume de 110 millions M3/an en 2090 le volume peut atteindre un volume de 150 Mm³/an par rapport au scénario de référence au lieu de 60Mm³/an

I.1.3. demande non satisfaite

La figure suivante présente la demande en eau non satisfaite dans notre scénario. Nous avons choisi de représenter les données sur une période de temps couvrant une année tous les 10 ans, afin de rendre les graphiques plus lisibles, car notre simulation dans le programme WEAP s'étend sur un horizon de temps très long.

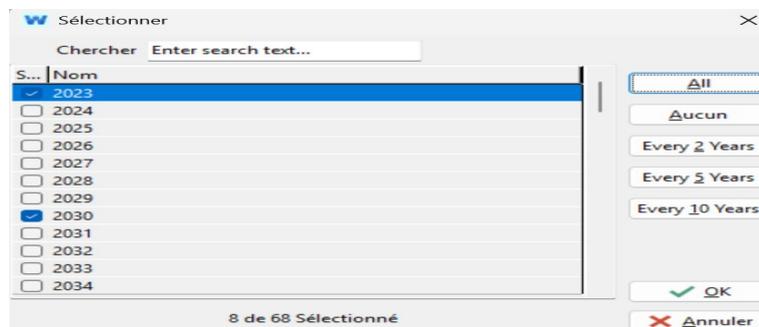


Figure IV. 8: Changement d'horizon de temps pour l'axe des années

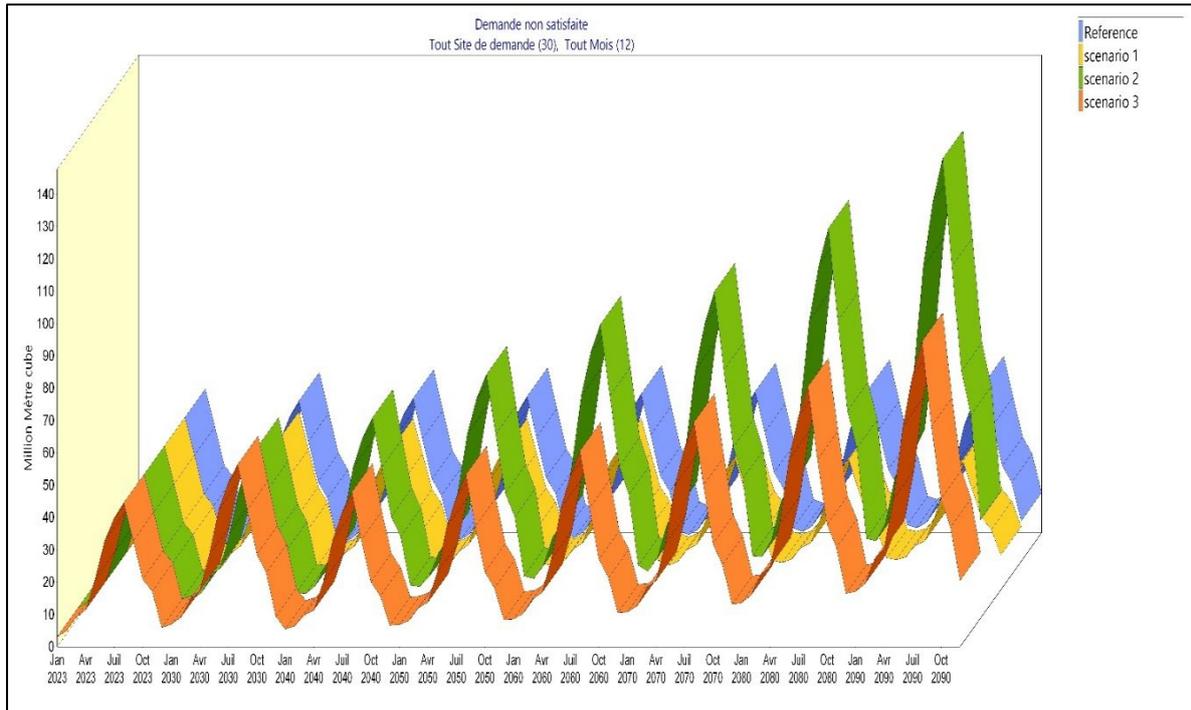


Figure IV. 9: Demande non satisfaite

On observe que la demande en eau non satisfaite varie considérablement dans notre scénario, y compris dans les scénarios 02 et 03, malgré des conditions similaires.

1. Scénario de référence : elle présente la demande en eau non satisfaite évolue de 3.1 Mm³ en 2023 jusqu'à 50Mm³ en 2090
2. Scénario 01 : elle présente la demande en eau non satisfaite évolue de 3.1 Mm³ en 2023 jusqu'à 30 Mm³ en 2090
3. Scénario 02 : elle présente la demande en eau non satisfaite évolue de 3.1 Mm³ en 2023 jusqu'à 140 Mm³ en 2090
4. Scénario 03 : elle présente la demande en eau non satisfaite évolue de 3.1 Mm³ en 2023 jusqu'à 95 Mm³ en 2090

On constate que la différence entre les scénarios 03 et 02 atteint près de 50 Mm³, en raison de la construction des stations d'épuration.

I.1.4. Écoulement

La figure suivante représente l'évolution du flux de retour d'eau, c'est-à-dire la quantité d'eau qui revient dans le système après utilisation, entre 2023 et 2090

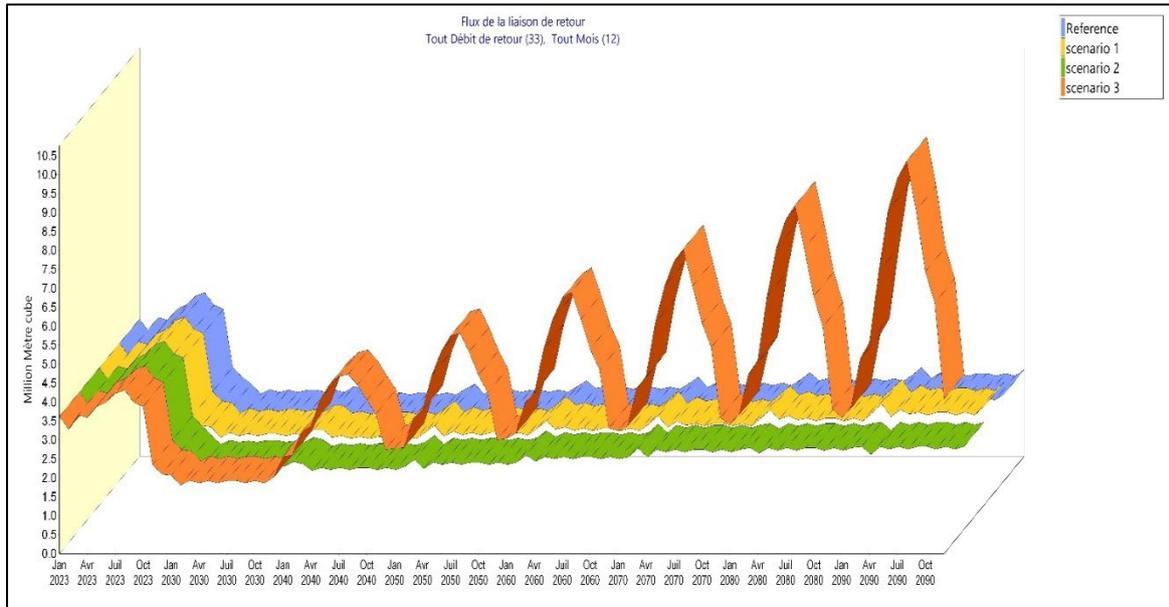


Figure IV. 10: Écoulement

On observe que les scénarios évoluent différemment pour les quatre scénarios dans le quelle tous les scénarios augmentent légèrement jusqu'en 2030, puis la quantité d'eau retournée diminue

1. Scénario référence : il présente l'écoulement évolue de 3.6 Mm³ en 2023 jusqu'à 4.32Mm³ Ensuite, il enregistre une diminution de 4,32 Mm³ en 2030, passant à 2,12 Mm³ en 2090.
2. Scénario 01 : il présente l'écoulement évolue de 3.6 Mm³ en 2023 jusqu'à 4.32Mm³ Ensuite, il enregistre une diminution de 4,32 Mm³ en 2030, passant à 2,51 Mm³ en 2090.
3. Scénario 02 : il présente l'écoulement évolue de 3.6 Mm³ en 2023 jusqu'à 4.32Mm³ en 2030 Ensuite, il enregistre une diminution de 4,32 Mm³ en 2030, passant à 2,20 Mm³ en 2090.
4. Scénario 03 : il présente l'écoulement évolue de 3.6 Mm³ en 2023 jusqu'à 10.36 Mm³ en 2090

I.1.5. Comparaison entre les scénarios

I.1.5.1 entre le scénario 01 et scénario de référence

Le graphique suivant montre une comparaison entre le scénario 01 (un taux d'accroissement Populaire faible" de l'ordre 1.5% avec une dotation sécheresse de l'ordre

80 l/jour/per) et le scénario de référence (un taux d'accroissement Populaire moyenne " de l'ordre 1.75% avec une dotation sécheresse de l'ordre 100 l/jour/per).

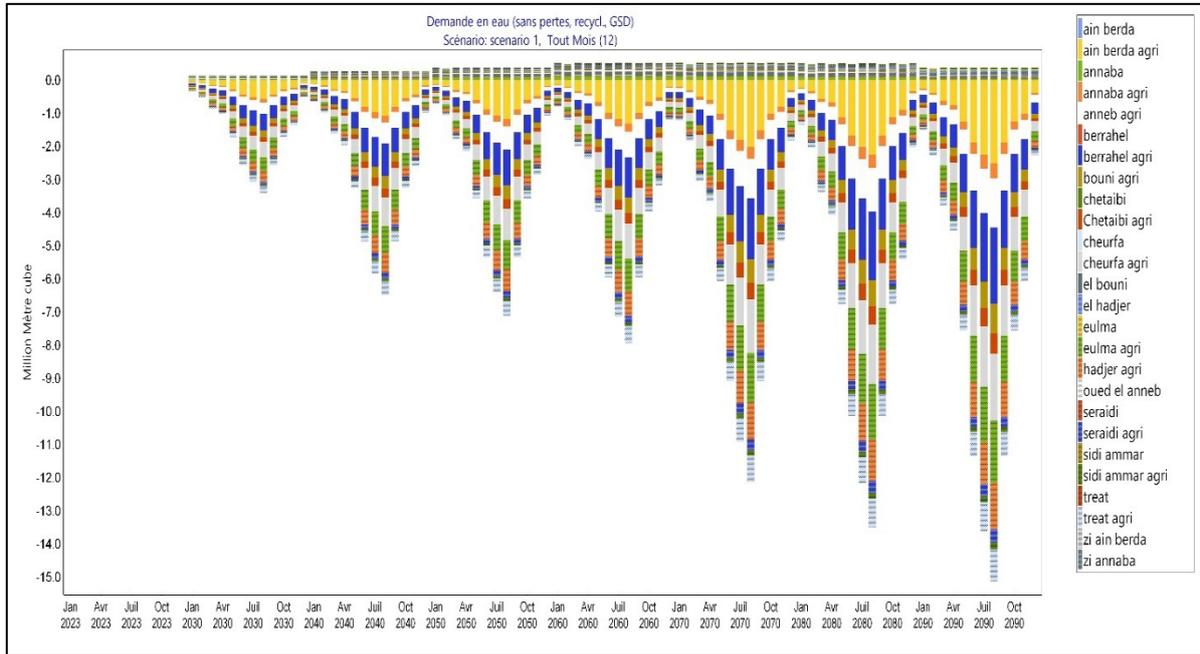


Figure IV. 11: Comparaison entre Scénario 01 et référence

Le graphique indique qu'une quantité d'eau importante peut être gagnée en appliquant le scénario 01, avec un volume d'environ 15 Mm³ récupéré d'ici 2090.

I.1.5.2 entre le scénario 02 et scénario de référence

Le graphique suivant montre une comparaison entre le scénario 02 (un taux d'accroissement Populaire fort" de l'ordre 2% avec une dotation selon l'OMS de l'ordre 150 l/jour/per) et le scénario de référence (un taux d'accroissement Populaire moyenne " de l'ordre 1.75% avec une dotation sécheresse de l'ordre 100 l/jour/per)

Le graphique ci-dessous indique une augmentation de la demande en eau dans toutes les communes de la wilaya d'Annaba de 5 Mm³ en 2030 jusqu'à elle atteindre les 85Mm³ a la fin de scénario.

Le graphique ci-dessus indique une augmentation de la demande en eau dans toutes les communes de la wilaya d'Annaba de 5 Mm³ en 2030 jusqu'à elle atteindre les 90Mm³ à la fin de scénario.

II Discussion des résultats

En considérant que les volumes annuels d'eau mobilisés dans la wilaya d'Annaba, par rapport à son potentiel en ressources hydriques, les données sont présentées comme suit :

- Volume mobilisé provenant des barrages est de : 37 Mm³/an
- Volume mobilisé provenant de station de dessalement est de : 29 Mm³/an
- Un volume mobilisé de 10.25 Mm³/an, provenant des forages, puits et sources.

Tableau IV. 1: Volume d'eau mobilisés/an

	Volumes Mobilisés (Mm3/an)
Barrages	37
Sdem	29
Forages et puits	10.25
Total	76.25

II.1 Evolution de la demande en fonction des scénarios

Les résultats des scénarios montrent que la demande en eau potable a partir des années futures par exemple en 2050 la demande en eau évolué de 78.55 Mm³/an en 2070 la demande en eau augmente jusqu'à 116.72 Mm³/an et etc. en 2080. En 2090 par rapport à l'année 2023 ou en observe que la demande est de 30.68 Mm³/an

Le tableau suivant montre Evolution de la demande en fonction de la demande en eau dans la wilaya d'Annaba :

Demande en eau (sans pertes, recycl.)									
Tout Mois (12) v Tout Scénario v Branche: Sites de Demande v									
Scénario	2023	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	Sum
Reference	30.68	34.64	41.20	49.01	58.29	69.34	82.47	98.10	463.74
scenario 1	30.68	35.45	43.31	52.14	62.70	73.44	86.02	99.83	483.57
scenario 2	30.68	36.69	49.04	64.56	81.32	102.33	137.73	173.28	675.64
scenario 3	30.68	52.86	64.44	78.55	95.75	116.72	142.28	173.44	754.73

Figure IV. 14: Evolution de la demande en fonction des scénarios

À partir de la figure, on observe que les années de déficit en eau pour la wilaya d’Annaba commencent en 2080, comme dans le scénario 1. Dans le scénario 2, la demande en eau dépasse l’offre dès 2060, tandis que dans le scénario 3, ce dépassement a lieu plus tôt, dès 2050.

II.2. Développement de l’infrastructure pour une solution de la gestion des eaux

Pour optimiser la gestion de l’eau dans la wilaya d’Annaba, nous proposons une recommandation d’infrastructure qui consiste en la construction de nouvelles stations d’épuration (STEP). Celles-ci seraient implantées dans des zones potentiellement favorables à l’aménagement de grands bassins de stockage. Par exemple, dans notre modèle, nous avons conçu des bassins d’une superficie de 2 hectares et d’une profondeur de 5 mètres, capables de contenir un volume de 100 000 m³. Ces bassins sont destinés à recevoir les eaux usées traitées. L’objectif principal est de permettre la réutilisation de cette eau, notamment à des fins agricoles ou industrielles, afin de réduire la pression sur les ressources en eau douce. Elle peut également contribuer à la recharge des nappes souterraines grâce à l’infiltration.

La figure suivante montre les zones potentielles qui on peut utiliser dans notre modèle

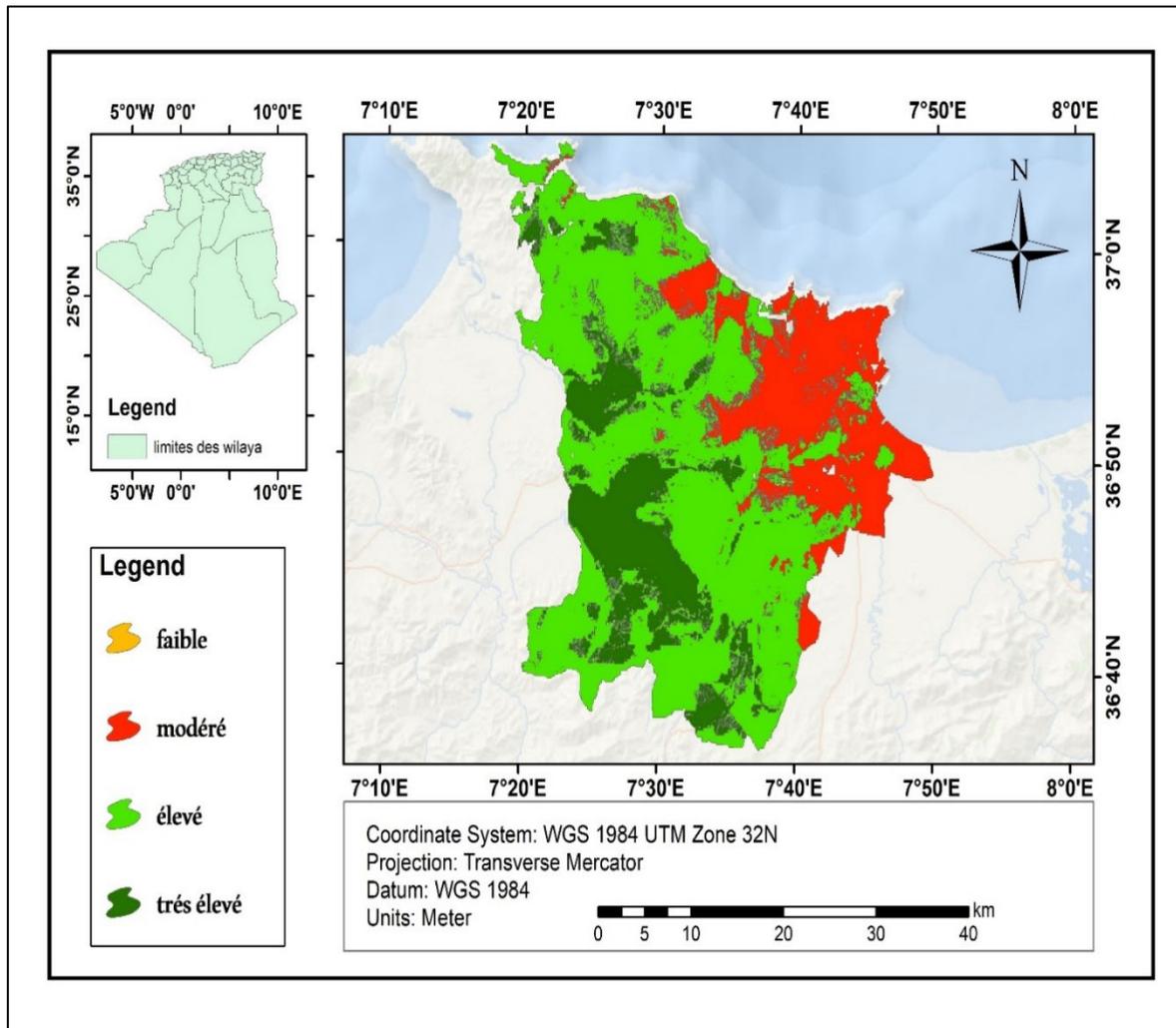


Figure IV. 15: Les zones potentielles de la wilaya d'Annaba

À partir de la figure ci-dessus, on constate que les zones favorables se situent à l'ouest de la wilaya. Ainsi, dans notre approche, nous avons créé des stations d'épuration ainsi que des bassins de stockage dans le modèle WEAP.

La figure suivante montre notre modèle après la carte des zones potentiels

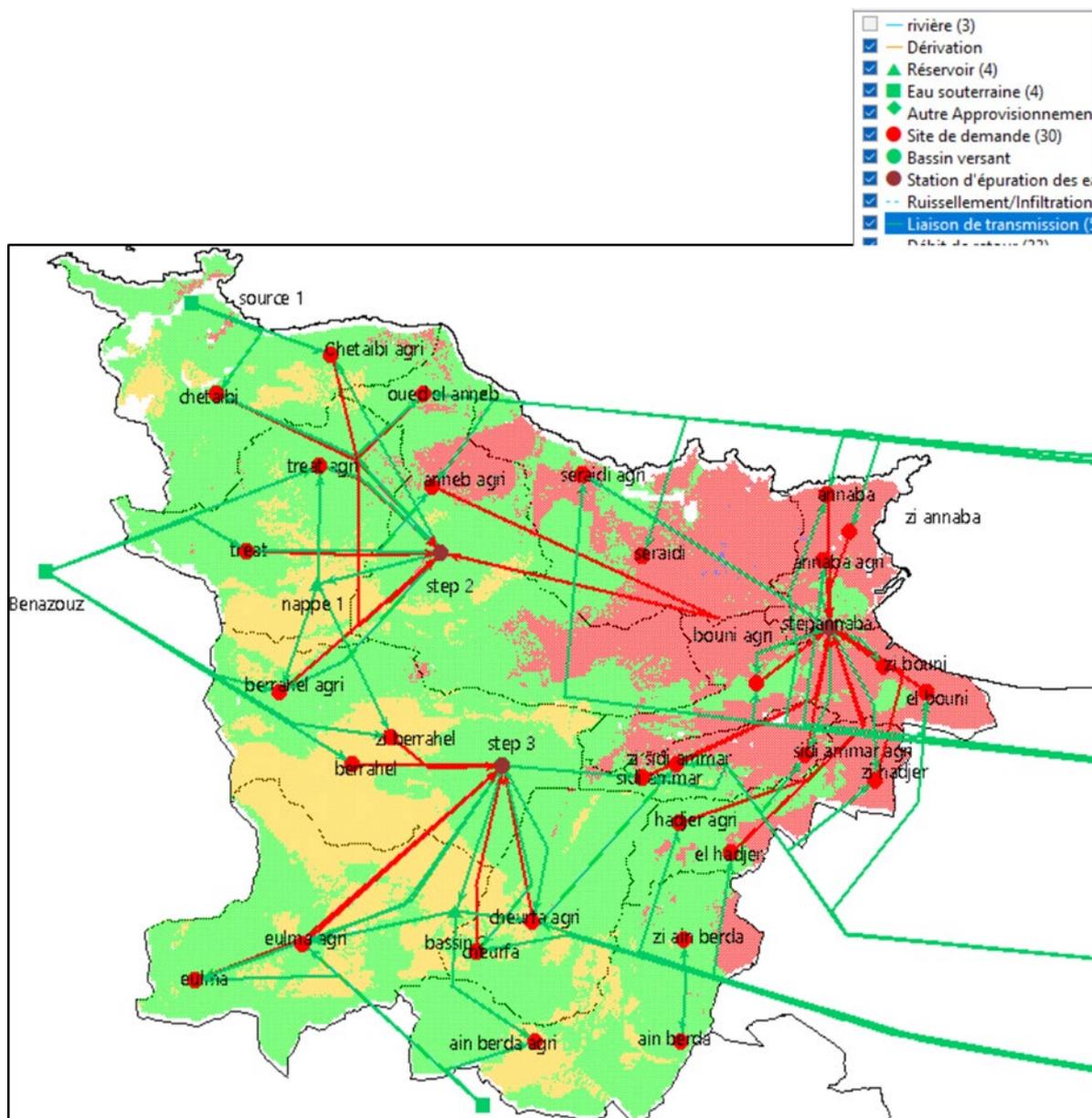


Figure IV. 16 :Les zones potentielles dans le WEAP

La figure ci-dessus montre l'emplacement des nouvelles stations d'épuration (STEP) ainsi que des bassins de stockage d'eau. La mise en service des STEP est prévue pour 2035 pour la STEP 2, et pour 2040 pour la seconde station. Ces stations et bassins ont pour rôle d'alimenter les zones agricoles et industrielles de la wilaya d'Annaba. En parallèle, ils contribuent également à la recharge des nappes souterraines grâce à l'infiltration des eaux traitées comme la nappe de Ben Azouz

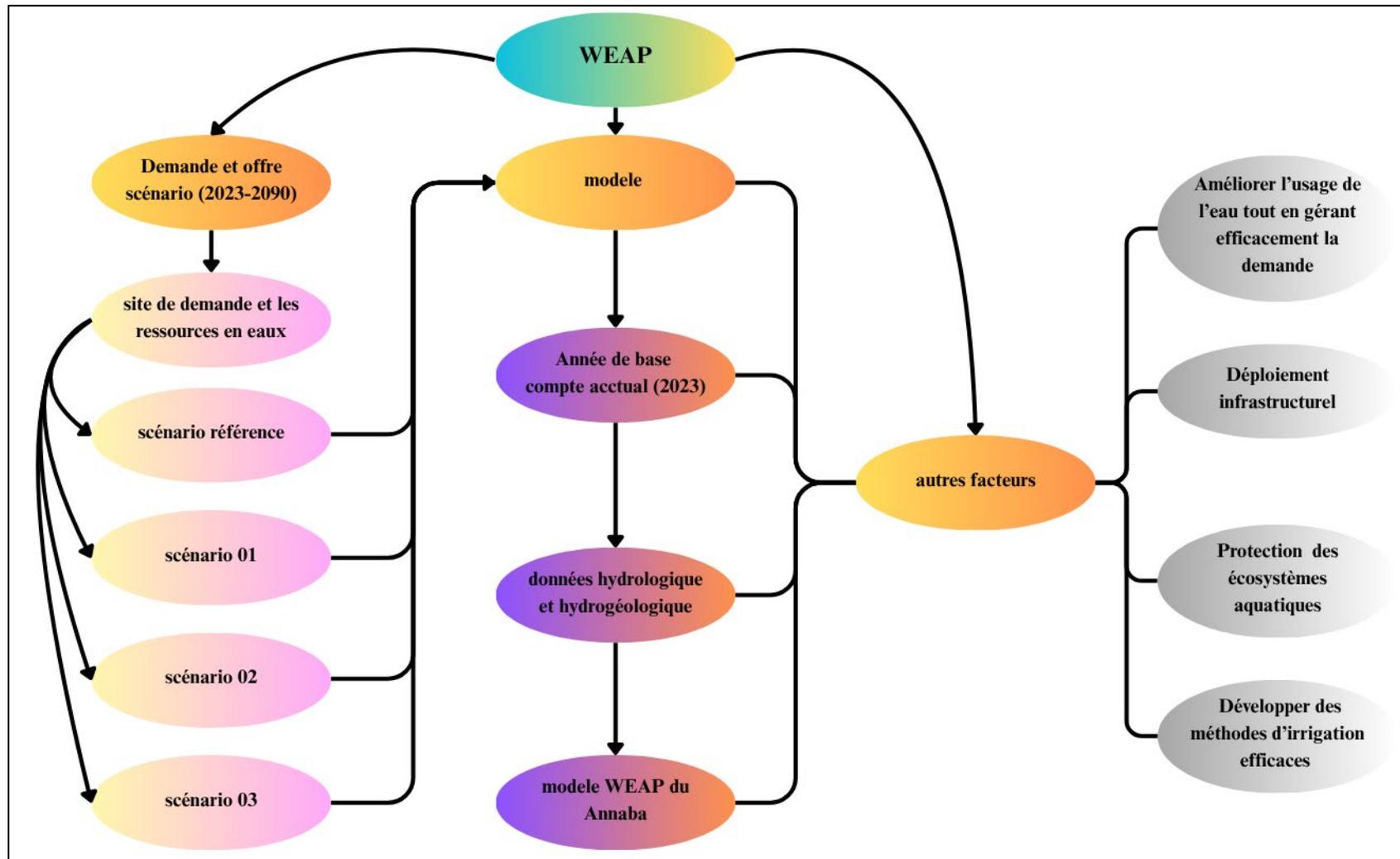


Figure IV. 17: Disposition des données de base et scénarios du modèle WEAP d'Annaba

III. les principales recommandations de gestion des ressources en eau dans la wilaya d'Annaba

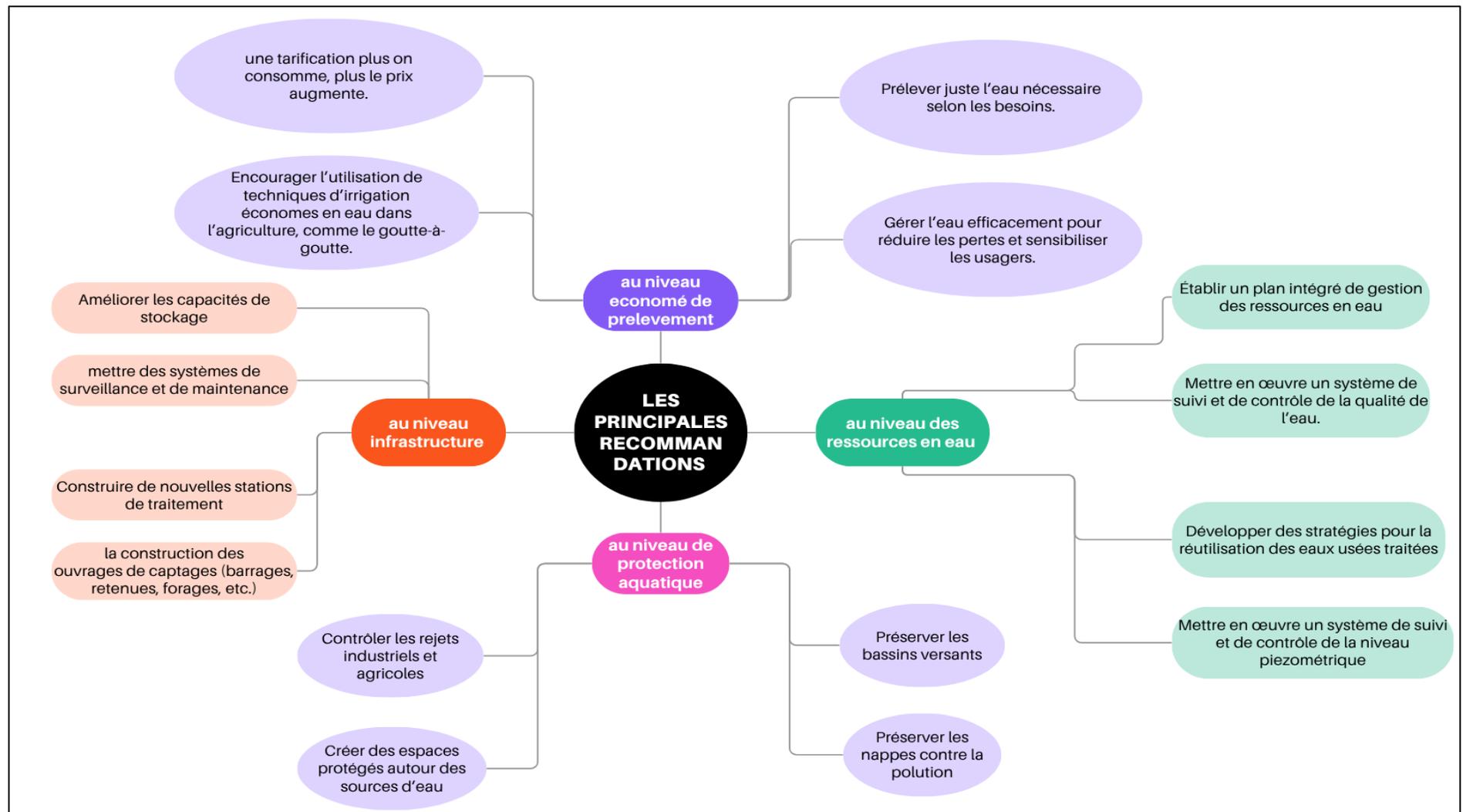


Figure IV. 18: Les principales recommandations de gestion des ressources en eau dans la wilaya d'Annaba

Conclusion

Les résultats de cette étude, réalisés à l'aide de l'outil WEAP, montrent que la demande en eau connaîtra une augmentation dans les années à venir. Cette augmentation nécessitera de nouvelles stratégies pour équilibrer l'offre et la demande. Parmi ces stratégies la construction de grands bassins avec une potentialité très élevée. La priorité principale est de protéger et préserver les sources d'eau contre la pollution.

Conclusion générale

Conclusion générale

Une bonne gestion de l'eau durable dépend de la planification, des règles claires et de l'équilibre entre les différents besoins.

La Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) propose des stratégies globales qui prennent en compte non seulement les besoins en eau des populations humaines, mais aussi les exigences environnementales et économiques. L'objectif est de réconcilier les besoins humains avec la préservation de l'environnement.

L'estimation montre que les besoins de la wilaya d'Annaba augmentent avec le temps, le volume d'eau peut atteindre les 55.72 Mm³/an en 2060 cette augmentation dans les communes comme (Annaba, El Bouni, Sidi Ammar) atteindre les 3 Mm³

Les résultats ont mis en évidence la vulnérabilité des ressources en eau dans la wilaya. Pour lutter contre ce déficit, il est proposé d'appliquer des lois strictes et des principes de gestion rigoureux. Il est également important de sensibiliser la population et d'organiser des formations au sein des institutions afin de faciliter une gestion efficace de l'eau.

Nous avons proposé quelques principes pour la lutte contre l'augmentation future de la demande en eau :

- ✓ Exploiter le potentiel du littoral La mise en service de nouvelles stations de dessalement de l'eau de mer (SDEM) constitue une solution durable, notamment grâce à la façade maritime étendue de la wilaya.
- ✓ Optimiser la gestion et la distribution Une gestion active et rationnelle des ressources en eau doit permettre de réduire les pertes dans les réseaux, tout en maîtrisant la demande à travers des campagnes de sensibilisation auprès des principaux utilisateurs.
- ✓ Protection des bassins versants et les nappes souterraines par l'aménagement des bassins versants notamment à travers la conservation des sols, plantations utiles et économique, la régénération du couvert végétal
- ✓ Développer des techniques de recharge artificielle des nappes phréatiques.
- ✓ Limiter la surexploitation des nappes souterraines en mettant en place des systèmes de surveillance et de maintenance.

- ✓ Installer des stations de traitement des eaux pour l'irrigation et l'industrie, ainsi que des stations de dessalement pour l'approvisionnement de la population.
- ✓ Des tarifs plus élevés pour les personnes qui consomment beaucoup d'eau : plus la consommation est importante, plus les tarifs augmentent.
- ✓ Améliorer la connaissance des ressources en eau grâce à des recherches géophysiques, afin d'optimiser leur gestion et améliorer la distribution
- ✓ Engager des programmes de dépollution
- ✓ Le pays investit dans des systèmes d'irrigation plus efficaces, comme l'irrigation goutte-à-goutte, pour réduire la consommation d'eau dans l'agriculture, qui représente environ 70% de la demande en eau (FAO, 2018)

(OMRANI Ahmed.2018)

Dans notre modèle WEAP les solutions proposées sont

- ✓ Les techniques de recharge artificielle consistent à créer des bassins dans des zones à fort potentiel de recharge
- ✓ Construire de nouvelles stations d'épuration et augmenter le volume d'eau distribué provenant des stations de dessalement

Ce travail vise à répondre aux divers objectifs définis au cours de cette étude.

**Référence
bibliographie**

- [1]. **Aoun-Sebaiti et al. (2013)**. Simulation of water supply and water demand in the valley of Seybouse (East Algeria)
- [2]. **Benoune A., Laouar L., Ramoul H, (1986)**. Essai d'aménagement d'une commune sublittorale (cas d'El Hadjar). Mém d'ing. Univ Constantine. 123 p.
- [3]. **Boudoukha A. et Messaid B, (2014)**. Caractérisation électrique des formations aquifères de l'Est algérien. Courrier du Savoir, Vol. 18
- [4]. **BOULGHOBRA, (2017)**. Protection de la ville de Skikda contre l'inondation Essai de "P.P.R.I", Mémoire de magister, Université de Batna.
- [5]. **COTE. M, (1998a.)** Les régions bioclimatiques de l'Est algérien, Rhumel, n°6, p. 57
- [6]. **DERRADJI Tahani, (2023)**. régionalisation et cartographie des précipitations et des indices de sécheresse dans les bassins versants du Nord-Est algérien (Constantinois-Seybouse-Mellègue).
- [7]. **DJORFI Samir, 2012**. Analyse, approche de gestion et de réhabilitation des sites pollués de la région de Annaba, Nord-est algérien.
- [8]. **H. CHAFFAI 1, L. DJABRI 2, S. LAMROUS 2. 2005**. Reserves hydriques de la wilaya d'Annaba. Inventaire, evaluation et besoins futurs en ressources en eau
- [9]. **Habiba MAJOURI, Azzedine HANI DE, Larbi DJABRI, 2018**. Salinity and modelling of the Annaba aquifer system North-East of Algeria
- [10]. **LEKOUI Sami, (2010)**. Évaluation du risque lié aux sites pollués en milieu urbain et industriel (annaba, algérie)
- [11]. **MEBARKI. A, (2005)**. Hydrologie des bassins de l'est Algérien : ressources en eau, Aménagement et environnement, Thèse de doctorat d'état (Géographie et Aménagement du Territoire, option Hydrologie).
- [12]. **MEGHOUACHE LEILA. (2017)**. Introduction aux Système d'information géographique
- [13]. **MONOGRAPHIE, (2023)**. Annuaire statistique de la Wilaya d'Annaba
- [14]. **OMRANI Ahmed, (2018) :** Modélisation de la demande en eau par l'utilisation de l'outil d'aide à la décision WEAP, Cas de la wilaya de Skikda.
- [15]. **REGABER BY CRETIRIA, 2024**. Irrigation goutte à goutte : la solution pour une agriculture durable.
- [16]. **SAOULI Rim Amina, 2018**. Thematic cartography of Annaba (Algeria) through decision support tools (GIS and remote sensing)

[17]. **Unwater, (2018).** PROGRÈS EN MATIÈRE DE GESTION INTÉGRÉE DES RESSOURCES EN EAU

[18]. **Vila J.M, 1980.** La chaîne alpine d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens, Th. Doct. Es-scie. Nat. Univ. Pierre et Marie - Curie, Paris VI, pp. 282-296.