

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ 8 MAI 1945 GUELMA

FACULTÉ : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA
TERRE ET DE L'UNIVERS

DÉPARTEMENT : SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Option: Hydrogéologie

Thème

**Essai de modélisation et de gestion des ressources en eau
dans la région de Guelma**

Présenté par :

- BOUDJENANA Bouchra
- ZITOUNI Ikhlas

Membres de jury :

Président	: Mr. BRAHMIA Ali	(M.C.A)	Université de Guelma
Examineur	: Mr. NOUAR Tahar	(Pr)	Université de Guelma
Promoteur	: Mr. GHRIEB Lassâad	(Pr)	Université de Guelma

Juin 2022

Résumé

La gestion intégrée des ressources en eau, demeure une meilleure solution pour préserver ces ressources dans une région pour les générations futures.

La présente étude a porté sur la gestion des ressources en eau des communes de Guelma, Boumahra, Belkheir, Djeballah khemissi, khezaras et Bouhachana dans la région de Guelma du Nord-Est Algérien, en utilisant le logiciel WEAP 21 comme outil d'aide à la décision. L'offre et la demande constituent une base de cette prise de décision.

Le choix de ces communes est fait sur la base de leur contribution à 100% dans les ressources en eau de la région.

Le modèle a été créé pour l'horizon 2021-2050 en adoptant l'augmentation du nombre d'habitant et l'extension des superficies des terres irriguées dans la région comme scénarios.

L'année 2021 a été choisie comme année de référence.

Après analyse et traitement des données on constate un stress hydrique dès l'année de référence 2021 avec un déficit de 16.15 hm^3 et ce dernier passera à plus de 20 hm^3 en 2050.

Une rationalisation de la gestion est nécessaire d'où des recommandations ont été avancées.

Mots clés : modélisation, Gestion intégrée, ressources en eau, commune, WEAP, scénario.

ملخص

يظل التسيير المدمج للموارد المائية حلاً أفضل للحفاظ على هذه الموارد في المنطقة للأجيال القادمة. ركزت هذه الدراسة على تسيير الموارد المائية في بلديات: قالمة، بلخير، جباله خميسي، خزراة و بوحشانة (ولاية قالمة شمال شرق الجزائر)، باستخدام برنامج WEAP 21. يشكل العرض والطلب الأساس لاتخاذ هذا القرار. اختيرت هذه البلديات على أساس مساهمتها بنسبة 100 ٪ في موارد المياه في المنطقة. تم إنشاء النموذج على المدى 2021-2050 باعتماد سيناريوهات الزيادة في عدد السكان وتوسيع مساحات الأراضي المروية في المنطقة مع اختيار 2021 كسنة مرجعية. بعد تحليل البيانات ومعالجتها، تم ملاحظة عجز مائي منذ السنة المرجعية 2021 قدره 18.56 هكتومتر مكعباً، مع ارتفاع هذا الأخير إلى أكثر من 23 هكتومتر مكعباً في عام 2050. تم طرح توصيات لترشيد وعقلنة تسيير الموارد المائية. **الكلمات المفتاحية:** نمذجة، إدارة متكاملة، موارد مائية، بلدية، WEAP، سيناريو.

Abstract

Integrated water resources management remains a better solution to preserve these resources in a region for future generations.

This study focused on the management of water resources in the municipalities of Guelma, Boumahra, Belkheir, Djeballah khemissi, khezaras and Bouhachana in the region of Guelma in the North-East of Algeria, using the WEAP 21 software as a tool to help decision. Supply and demand form a basis for this decision-making.

The choice of these municipalities is made on the basis of their 100% contribution to the water resources of the region.

The model was created for the horizon 2021-2050 by adopting the increase in the number of inhabitants and the extension of the areas of irrigated land in the region as scenarios. The year 2021 was chosen as the reference year.

After analysis and processing of the data, water stress is observed from the reference year 2021 with a deficit of 26.15 hm³ and the latter will increase to more than 20 hm³ in 2050.

A rationalization of the management is necessary from which recommendations have been put forward.

Keywords: modeling, integrated management, water resources, municipality, WEAP, scenario.

Remerciements

Nous remercions Dieu tout puissant qui nous a donné la volonté, la santé et la patience durant toutes ces années d'étude.

Nos plus vifs remerciements vont en premier lieu à notre promoteur, professeur GHRIEB Lassaad, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion. Merci infiniment pour vos conseils, votre soutien et votre confiance qui nous ont beaucoup aidé.

Nous remercions les membres de jury ; Dr BRAHMIA Ali en sa qualité de président et Pr NOUAR Tahar en sa qualité d'examineur qui ont accepté de juger et d'examiner notre travail.

Un remerciement particulier s'adresse à Mme BOUDJEBIEUR Essia de la direction des ressources en eau, et Mr MEKKAOUI Abdelhafid, pour le temps, les efforts et les conseils précieux qu'ils ont consacrés pour nous aider à élaborer ce travail.

Un spécial remerciement à tous les enseignants du département qui nous ont encadrés durant tout notre parcours universitaire.

Nos remerciements les plus chaleureux et les plus profonds s'adressent à nos familles pour leurs soutiens, leurs encouragements et leurs patiences.

Un remerciement particulier va à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



TABLE DES MATIÈRES

Résumé

Abstract

ملخص

Remerciements

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Etude bibliographique

Introduction3

1. Volume et pourcentage d'eau sur Terre 3

2. Cycle de l'eau 4

3. Différents types des ressources en eau..... 5

3.1. Précipitations (pluie, neige ...)..... 5

3.2. Les Ressources en eau de surface 6

a. Ruisseaux, rivières et fleuves 6

b. Les lacs et marais..... 6

3.3. Les ressources en eaux souterraines 7

3.3.1. Origines..... 7

4. Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) 7

4.1. Importance de la gestion intégrée des ressources en eau 8

4.2. Cycle de planification..... 9

4.3. Planification de travail et participation des parties prenantes 10

4.4. Plan GIRE préparé et approuvé..... 10

4.5. Gestion intégrée de l'eau par bassin versant 10

Chapitre II : Cadre générale de la zone d'étude

Introduction11

1. Cadre générale..... 11

1.1. Situation géographique de la zone d'étude..... 11

1.2. Contexte socio-économique 12

1.3. Cadre administratif..... 12

1.4. Contexte agricole..... 13

1.5. La Population 14

1.6. Caractéristiques géologiques..... 15

1.7. Caractéristiques hydroclimatologique..... 16

1.7.1. Paramètres météorologiques déterminants..... 17

1.7.1.1.Précipitation..... 17

a.	Précipitations moyennes mensuelles	17
b.	Précipitations moyennes saisonnières	18
	1.7.1.2.Température	19
a.	Variation des températures moyennes mensuelles.....	19
b.	Variation des températures moyennes saisonnières	19
	1.7.1.3.Diagramme pluviothermique.....	20
	1.7.1.4. Humidité	21
1.7.2.	Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP).....	22
1.7.3.	Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)	24
1.7.4.	Estimation du ruissellement (R).....	24
1.7.5.	Estimation de l'infiltration (I)	25
1.7.6.	Estimation du bilan hydrique	25
	1.7.6.1.Analyses du bilan hydrique	26
1.8.	Caractéristiques hydrogéologiques.....	29
1.8.1.	Identification des aquifères	31
1.8.1.1.	aquifère des alluvions de Guelma.....	31
a.	Coupe hydrogéologique d'orientation W – E.....	31
b.	Coupe hydrogéologique d'orientation N - S.....	32
2.	Ressources en eaux de la région.....	33
2.1.	Les eaux de surface	34
2.2.	Les eaux souterraines	34
2.3.	Ressources en eau non conventionnelle.....	36
2.4.	Les sources thermales de Guelma.....	36
Conclusion	36

Chapitre III : Gestion des ressources en eau par WEAP 21

Introduction	38
1.	Description du logiciel WEAP.....	38
1.1.	Acquisition du logiciel WEAP	39
1.2.	Structure du Logiciel WEAP	40
1.3.	Fonctionnement du logiciel WEAP.....	41
2.	Analyse et traitement des données dans la région d'étude par l'utilisation du logiciel WEAP 21.....	41
2.1.	Application du logiciel	42
2.1.1.	Création de la zone d'étude	42

2.1.2.	Numérisation des données nécessaires du compte courant	42
2.1.2.1.	Scenario de référence (SR)	43
a.	Scenario d'extension de terres irriguées (SETI)	44
b.	Augmentation de nombre d'habitants.....	44
3.	Exécution du modèle et affichage des résultats	44
3.1.	Sites de ressources d'eau	44
3.2.	Sites de demande	44
3.3.	Liens de transmission	45
3.4.	Liens de retour	45
3.5.	Compte actuel	45
3.6.	Niveau d'activité annuelle	45
3.7.	Demande en eau pour l'irrigation.....	46
4.	Résultats	47
4.1.	Augmentation du nombre d'habitants	47
4.2.	Extension des superficies de terres irriguées	47
4.3.	Demandes en eau	48
4.4.	Besoins totaux en eau	48
4.5.	Eau distribuée	49
4.6.	Demandes en eau non satisfaites.....	50
	Conclusion	50
	Conclusion générale	52

Liste des figures

Fig.1. Répartition de l'eau sur Terre	4
Fig.2. Cycle de l'eau.....	5
Fig.3. Cycle de planification du plan GIR	9
Fig.4. Situation géographique de la zone d'étude.	11
Fig.5. Répartition des surfaces des terres irriguées dans la zone d'étude	14
Fig.6. Répartition de la population dans les communes de la zone d'étude.....	15
Fig.7. Variation des précipitations moyennes mensuelles (mm). Station de Belkhir	17
Fig.8. Précipitations moyennes saisonnières en (%). Station de Belkheir	18
Fig.9. Variations des températures moyennes mensuelles de la station de Belkheir	19
Fig.10. Variation de la température moyenne saisonnière à la station de Belkheir	20
Fig.11. diagramme pluviothermique de la station de Belkhir	21
Fig.12. Humidité relative mensuelle (%). station de Belkheir	22
Fig.13. Variation de l'évapotranspiration potentielle dans la station de Belkheir	23
Fig.14. Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques	27
Fig.15. Représentation graphique du bilan hydrique C.W. Thornthwaite station Belkheir.	28
Fig.16 Coupe hydrogéologique au niveau de la plaine de Guelma.....	31
Fig.17. Coupe hydrogéologique dans la plaine de Guelma.....	32
Fig.18. Délimitation de la zone d'étude.....	33
Fig.19. licence d'activation du logiciel WEAP (Zitouni, 2022)	40
Fig.20. Les cinq affichages du modèle WEAP	40
Fig.21. Délimitation de la zone d'étude	42
Fig.22. Paramètres généraux du modèle	43
Fig.23. Schématisation des sites de demandes et des ressources en eau sur WEAP.....	45
Fig.24. Population de chaque site de demande Compte d'état actuel, 2021	46
Fig.25. Surface agricole de chaque site de demande Compte d'état actuel, 2021	46
Fig.26. Nombre d'habitant pour tous les scénarios.....	47
Fig.27. Superficies irriguées dans le bassin versant pour tous scénarios	47
Fig.28. Demandes totales en eau par scénario (2021-2050).....	48
Fig.29. Besoins totaux en eau par scénario (2021-2050)	49
Fig.30. Volume en eau distribué pour tous les usagers par scénario (2021-2050).....	49
Fig.31. Volume de demande en eau non satisfaite par scénario (2021-2050).....	50

Liste des tableaux

Tab.1. Découpage administratif et superficies des communes de la zone d'étude.....	12
Tab.2. répartition de population dans les communes de la zone d'étude	14
Tab.3. Répartition des précipitations mensuelles (mm) station de Belkheir (2003/2021)	17
Tab.4. Répartition saisonnière des précipitations station de Belkheir (2003/2021).....	18
Tab.5. températures moyennes mensuelles (°C) station de Belkheir (2003/2021).	19
Tab.6. Répartition saisonnière des températures moyennes station de Belkheir (2003/2021).	20
Tab.7. Moyennes mensuelles de l'humidité relative en % (2007/2017) station de Belkheir .	21
Tab.8. Résultats de l'ETP par la formule de Thorntwaite (2003/2021) station de Belkheir ..	23
Tab.9. Résultats de l'ETR dans la station de Belkhir (2003/2004-2020/2021).....	24
Tab.10. Résultats du ruissellement dans la station de Belkheir (2003/2021).....	25
Tab.11. Bilan d'eau C.W. Thornthwaite station de Belkheir (2003/2021).	26
Tab.12. Description géologique et hydrogéologique des formations de la région d'étude	30
Tab.13. Répartition des capacités d'eau souterraine par type 2010).....	35

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ABH :	Agence des Bassins Hydrographiques
AEP :	Alimentation en eau potable
BH :	Bilan Hydrique
BV :	Bassin Versant
CEG :	Collège d'Enseignement Général
DA :	Déficit Agricole
DDA :	Direction de Développement Agricole
DHW :	Direction de l'Hydraulique de la Wilaya
DPAT :	Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire
DSA :	Direction des Services Agricoles
ETP :	Evapotranspiration Potentielle
ETR :	Evapotranspiration Réelle
GIRE :	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
GPI :	Grand Périmètre Irrigué
GWP :	Partenariat Mondial de l'Eau
GWW :	Grounds Water Windows
hab. :	Habitant
I :	Infiltration
ONA :	Office National d'Assainissement
ONID :	Office National d'Irrigation et de Drainage
PNE :	Politique Nationale de l'Environnement
R :	Ruissellement
SBV :	Sous Bassin Versant
SEI :	Stockholm Environnement Institute
SETI :	Scénario d'extension de terres irriguées
SR :	Scenario de référence
STEP :	Station dépurative
WEAP :	Water Evaluation and Planning System



INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau, "l'or bleu", est l'élément le plus important de la vie. Cependant, bien qu'elle couvre environ 70 % de la surface de la Terre, les ressources en eau sont inégalement réparties dans l'espace et dans le temps. Cette situation est exacerbée et aggravée par les effets de la variabilité climatique et du changement climatique. De plus, la plupart de ces ressources sont mal gérées et manquent donc de protection. En conséquence, l'eau devient plus rare. Elle constitue donc un enjeu politique plus important, voire géopolitique. Dans ce contexte, sa gestion sera cruciale dans les années à venir, faute de quoi la rareté de l'eau restera l'une des principales préoccupations des acteurs du développement (ANDRIANARIVONY, 2016).

L'Algérie compte 17 bassins-versants. Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatiques. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants. La connaissance des ressources en eau est la condition nécessaire pour une bonne gestion. Les instruments de gestion sont un outil indispensable pour l'organisation des institutions juridiques, économiques et administratives de ladite gestion (Erhard Cassegrain & Margat, 1979).

L'Algérie est actuellement confrontée à un stress hydrique sévère. Les différents usagers nécessiteront inévitablement des arbitrages sévères de la part des pouvoirs publics, d'autant plus que la demande en eau potable (AEP) sera multipliée par environ 2,5 en 25 ans et représentera près de 40 % des ressources mobilisées vers 2025 (PNUD, 2009).

A cet égard, les gestionnaires ont essayé d'utiliser des méthodes modernes et de nouvelles techniques pour gérer et économiser de l'eau, en commençant par des approches de mobilisation de toutes les ressources à celles de la gestion intégrée en réunissant tous les acteurs et les usagers pour discuter d'une répartition assez équitable des ressources en eau. L'approche de concertation et de la sensibilisation ainsi que les modèles d'aide à la décision sont également envisagés. Les modèles numériques sont largement développés et utilisés ces dernières années par les auteurs pour surtout aider les gestionnaires à comprendre les comportements actuels et futurs des ressources en eau face aux différentes façons de gestion basés sur des hypothèses et scénario (Daifallah, 2017).

Le présent travail qui porte sur un essai de modélisation de la gestion des ressources en eau dans la région de Guelma a pour objectif de mettre en relief les différents aspects des ressources disponibles en eau afin de pouvoir ressortir des mesures techniques pour une gestion efficace et productive dans l'avenir.

Pour cela on a procédé à une confrontation entre les ressources existantes et les demandes actuelles et leur tendance future selon un scénario de référence et deux scénarios qui tiennent compte de l'effet de l'augmentation des superficies irriguées et de l'augmentation de la population, à l'aide du modèle WEAP. L'objectif est de mettre en évidence une éventuelle pénurie que la zone va subir dans les années à venir.

Pour ce faire, cet ouvrage est structuré comme suit :

- Une introduction générale,
- Chapitre I : traitant des notions de base et études analytiques des ressources en eau.
- Chapitre II : présente la zone d'étude (régionale et locale) et leur caractéristiques (géologique, hydrogéologique, hydroclimatique, et ressources hydriques),
- Chapitre III : se rapportera à la méthodologie d'étude, notamment sur l'approche par le logiciel WEAP 21 et abordera la modélisation des ressources en eau dans six communes du bassin versant de la région de Guelma à savoir : Guelma, Belkheir, Boumahra, Khezaras, Bouhachana et commune de Djeballah khemissi ainsi que leur gestion,
- En fin une conclusion générale.



Chapitre I

ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

L'eau est une ressource essentielle pour toutes les formes de vie sur la planète. La gestion de ces ressources naturelles est essentielle pour la vie de tous les organismes.

Les ressources en eau regroupent l'ensemble des eaux disponibles que l'on peut mobiliser, pour satisfaire en quantité et en qualité une demande donnée en un lieu donné, pendant une période appropriée.

Une grande partie de l'effort consacré à la gestion des ressources en eau vise à optimiser l'utilisation de l'eau et à minimiser l'impact environnemental de l'utilisation de l'eau dans l'environnement naturel.

La gestion réussie de toutes les ressources nécessite une connaissance précise des ressources disponibles, des utilisations pour lesquelles elles seront allouées, des besoins simultanés de ces ressources et des mesures et processus qui mesurent l'importance et la valeur des besoins et des mécanismes, afin de traduire les décisions politiques dans les actions pratiques.

Pour l'utilisation de l'eau en tant que ressource, cela devient particulièrement difficile, car plusieurs sources d'eau peuvent traverser les frontières nationales, et parmi les utilisations faites par l'eau, il y a beaucoup d'utilisations pour lesquelles il est difficile d'attribuer une valeur financière (aqua portail, 2020).

1. Volume et pourcentage d'eau sur Terre

Sur la Terre, il y a l'eau visible : l'eau de mer, l'eau contenue dans les calottes polaires, les lacs, les rivières, les nuages et la pluie ; et l'eau invisible : les eaux souterraines.

Si l'eau est très présente sur la terre, 97 % de la ressource est de l'eau salée et 2 % est bloquée sous forme de glace. Il ne reste qu'environ 1 % sous forme d'eau douce liquide.

Les eaux douces exploitées ont une origine continentale :

- Les eaux de précipitations : atmosphère ;
- Les eaux de surface : rivières, plans d'eau ;
- Les eaux souterraines : elles proviennent du sous-sol (aquifères ou roches réservoirs) captées par sources naturelles ou forages. Elles représentent 0,6 % de la ressource totale en eau.

L'eau dans l'atmosphère est renouvelée tous les neuf jours, au cours de ce cycle hydrologique - évaporation - condensation - pluie - ruissellement - et retour à l'océan. En moyenne il tombe un mètre cube d'eau par mètre carré, soit 814 mm³, sur lesquels 56 % sont évaporés par les forêts et les paysages naturels. C'est dans les 44 % restants que l'humanité va

puiser pour ses besoins, on parle d'eau agricole (dont 5 % par l'agriculture pluviale), d'eau industrielle et d'eau domestique (Wikipédia, 2022).

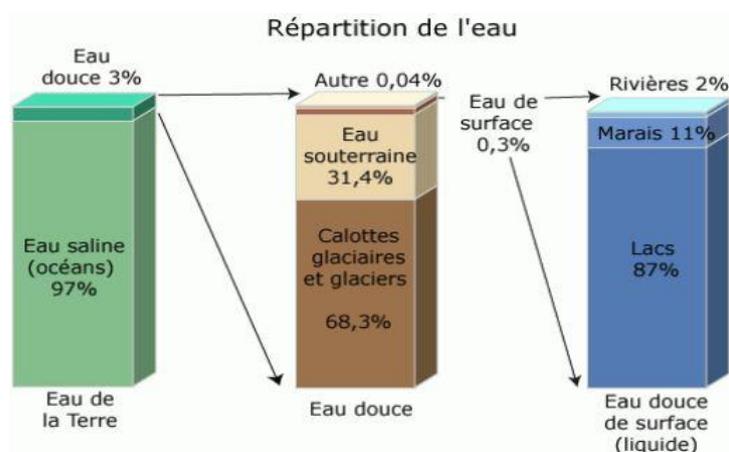


Fig.1. Répartition de l'eau sur Terre

2. Cycle de l'eau

Le début du cycle se fait toujours par la transformation de l'eau en vapeur au niveau des Plans d'eau libre (fleuve, rivière, lac, marais, océan et mer), au niveau du sol (évaporation), et au niveau des êtres vivants, en particulier les végétaux (transpiration) par évapotranspiration.

La vapeur monte donc dans l'atmosphère, se condense en nuage qui, sous certaines conditions de température et de pression se précipite et donne les précipitations, qui tombent à leur tour sur le globe terrestre. Si elles sont efficaces ou effectives, une partie se ruisselle et alimente les réseaux de surface, et une autre partie s'infiltré pour assurer l'humidification du sol et/ou la recharge de la nappe souterraine qui, à leur tour s'émerge au niveau des sources et le cycle recommence (figure 2) (intellego, 2016).

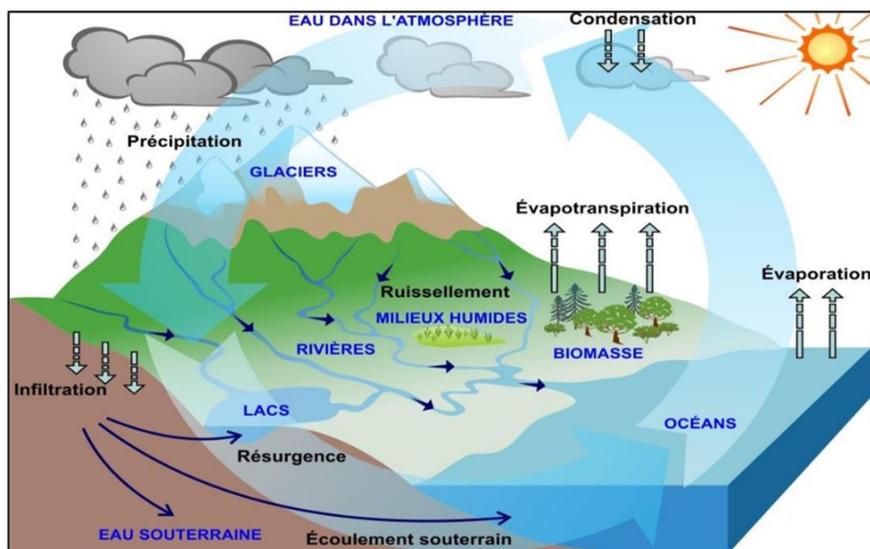


Fig.2. Cycle de l'eau (Source : <http://www.intellego.fr/>)

3. Différents types des ressources en eau

Dans la nature, on peut rencontrer les ressources en eau sous de très nombreuses formes à savoir, la précipitation, le torrent, le fleuve et rivière, le marais, le lac, le glacier et l'océan.

Dans ce chapitre nous allons détailler particulièrement les :

- Précipitations (pluies, ...etc.)
- Ressources en eau de surface (fleuves et rivières, lacs et marais, étangs et autres petites dépressions fermées à plan d'eau libre)
- Ressources en eau souterraines (les différentes nappes aquifères).
-

3.1. Précipitations (pluie, neige ...)

On définit comme précipitations toutes les eaux provenant de l'atmosphère qui tombent à la surface de la terre sous forme liquide et solide (pluie, grêle, neige...).

Les précipitations (pluies et neiges) arrivant à la surface de la terre constituent une grande partie des apports d'eau du sol.

Quand une pluie tombe au sol, trois processus prennent naissance :

- l'infiltration avec l'humidification du sol et la recharge des nappes ;
- le ruissellement de surface ;
- évapotranspiration.

Pour l'approvisionnement en eau, la pluie peut être captée directement avec un impluvium.

Les pluies sont mesurées en termes de hauteur de précipitation ou de hauteur de la lame d'eau qui s'accumulerait sur une surface horizontale si toutes les précipitations y étaient immobilisées.

La hauteur de précipitation est assimilée au volume total d'eau tombée, en mètres cubes, divisé par l'aire de la surface réceptrice évaluée en mètres carrés. Elle a la dimension d'une longueur et s'exprime habituellement en millimètres (Rasoamiadana, 1993).

3.2. Les Ressources en eau de surface

Les ressources en eau de surface sont constituées par l'ensemble des réservoirs des masses d'eau superficielles courante ou stagnante, douce, saumâtre et salée qui sont en contact direct avec l'atmosphère ou à plan d'eau libre. Elles incluent donc, les lacs et marais, les mers et océans les ruisseaux, les rivières et fleuves. Elles proviennent des précipitations efficaces sur le bassin versant récepteur et/ou de vidange des nappes souterraines au niveau des sources et suintements (MAHAMOUD D.2010) .

a. Ruisseaux, rivières et fleuves

Ce sont les principaux réseaux de surface où se produit généralement le ruissellement. Les écoulements peuvent être pérennes ou temporaires. Ils sont renforcés par les ruissellements des eaux de pluie en période de crue.

La connaissance des débits d'étiage de cours d'eau est très importante pour toute adduction d'eau (l'irrigation, AEPG, etc.). Cependant la construction des barrages nécessite des données (débit et hauteur d'eau) de crues. On peut procéder au jaugeage pour estimer les débits de ces réseaux de surface (MAHAMOUD D.2010) .

b. Les lacs et marais

Les lacs étendue d'eau interne (habituellement d'eau douce) dormante, plus grand qu'une mare ou qu'un étang, qui remplit une dépression sur la surface terrestre.

Un marais est une couche d'eau stagnante, en général peu profonde, et envahie par la végétation aquatique ou herbacée. C'est une zone humide. La végétation des marais est constituée d'espèces adaptées au milieu humide (Wikipédia, 2022).

3.3. Les ressources en eaux souterraines

Les eaux souterraines sont constituées par tous les réservoirs d'eaux contenues dans le sol et le sous-sol, dont les eaux adsorbées et pelliculaires non mobilisables ainsi que les eaux gravifiques ou gravitaires exploitables. Nous ne considérons ici que les eaux mobilisables ou eaux gravitaires qui circulent dans la zone saturée du sous-sol constituant les nappes souterraines.

Quant à la ressource en eau souterraine, elle constitue la quantité d'eau pouvant être extraite dans le sol ou sous-sol pendant une période donnée (Castany, 1982).

Pour évaluer leur potentialité, on procède souvent à des tests de productivité des puits et des forages avec des essais par pompage ou essais de débit. Ces essais peuvent être réalisés, soit par essai de puits ou pompage à courte durée, soit par pompage d'essai ou un pompage à longue durée opéré dans le puits ou forages, en vue de déterminer les caractéristiques et en particulier son débit, l'évolution du débit de l'ouvrage et du rabattement du niveau statique de la nappe (Castany, 1998).

3.3.1. Origines

La plupart des eaux souterraines ont pour origine les eaux pluviales (pluie ou neige). Si elles ne sont pas perdues par évaporation, transpiration ou écoulement, l'eau de ces sources peut s'infiltrer dans les sols. Les quantités d'eau des précipitations sont retenues très difficilement sur le sol sec formant un film sur la surface et dans les micropores des particules du sol. Aux niveaux intermédiaires, les films de l'eau recouvrent les particules solides, mais de l'air est encore présent dans les sols (vides).

Cette région s'appelle une zone non saturée ou zone d'aération, et l'eau présente est dite vadose. En profondeur et en présence de quantités adéquates d'eau, tous les vides sont remplis pour produire une zone de saturation, le niveau supérieur représente la nappe d'eau. L'eau présente dans une zone de saturation est appelée eau souterraine (Stanley E. Manahan, 2005).

4. Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)

La Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) ou en Anglais « Integrated Water Resources Management » (IWRM) a été promue par le Partenariat Mondial de l'Eau (GWP) en l'an 2000. C'est un processus favorisant le développement et la gestion coordonnés des ressources en eau, du sol et des ressources associées, permettant de maximiser les bénéfices économiques et sociaux, de façon équitable sans compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux (GWP, 2000). Ce programme est axé sur la gestion des bassins versants (ANDRIANARIVONY Andoniaina, 2016).

En Algérie, entre 1962 et 1995, l'État a mené une politique de l'eau basée d'abord sur une planification administrative centralisée de développement du secteur de l'eau qui a atteint ses limites.

La volonté politique de changement dans la manière de conduire désormais la gestion des ressources hydrauliques s'est exprimée dans le code des eaux, promulgué en 2005, définissant l'eau comme bien de la collectivité nationale.

En effet, l'Algérie organisa pour la première fois des assises nationales de l'eau en 1995. Depuis 1996, l'Algérie s'est fortement engagée dans la voie de la gestion intégrée des ressources en eau par la fondation d'une nouvelle politique nationale de l'Eau définie par l'Ordonnance n°96-13 du 15 juin 1996. Cette politique s'articulait autour des principes suivants :

- Unicité de la ressource
- Concertation
- Economie
- Ecologie
- L'universalité (Guergueb, Ferhat.2021) ·

4.1.Importance de la gestion intégrée des ressources en eau

L'eau est vitale à la survie, à la santé et à la dignité humaines et elle est une ressource fondamentale au développement humain. Les ressources en eau douce du monde sont sous pression croissante, déjà de nombreuses personnes manquent encore d'accès adéquat à l'approvisionnement en eau pour leurs besoins de base.

La croissance de la population, une activité économique en plein essor et des niveaux de vie améliorés mènent à une concurrence accrue et à des conflits pour une ressource en eau douce limitée.

Nous présentons quelques raisons pour lesquelles beaucoup de gens pensent que le monde fait face à une crise imminente de l'eau :

- Les ressources en eau sont sous la pression de la croissance démographique, de l'activité économique et de la concurrence grandissante pour l'eau entre les différents utilisateurs ;
- Les extractions d'eau ont augmenté à un rythme deux fois plus rapide que celui de la croissance de la population et actuellement un tiers de la population du monde vit dans des pays qui éprouvent un stress allant de moyen et élevé de l'eau ;

- La pollution augmente davantage la pénurie de l'eau en réduisant l'utilité de l'eau en aval ;

- Des imperfections dans la gestion de l'eau, une concentration sur la mise en valeur de nouvelles sources plutôt que de mieux gérer celles qui existent, et des approches sectorielles de gestion de l'eau du sommet à la base aboutissent en une mise en valeur et une gestion non coordonnée de la ressource. Une plus grande mise en valeur signifie de plus grands impacts sur l'environnement.

- Les préoccupations actuelles relatives à la variabilité du climat et au changement climatique exigent une gestion améliorée des ressources en eau pour faire face à des inondations et à des sécheresses plus intenses) (GWP, PNUD (2005) .

4.2.Cycle de planification

La planification est un processus logique qui atteint son efficacité maximale lorsqu'elle est perçue comme un cycle continu comme vous pouvez le voir dans la Figure 3.

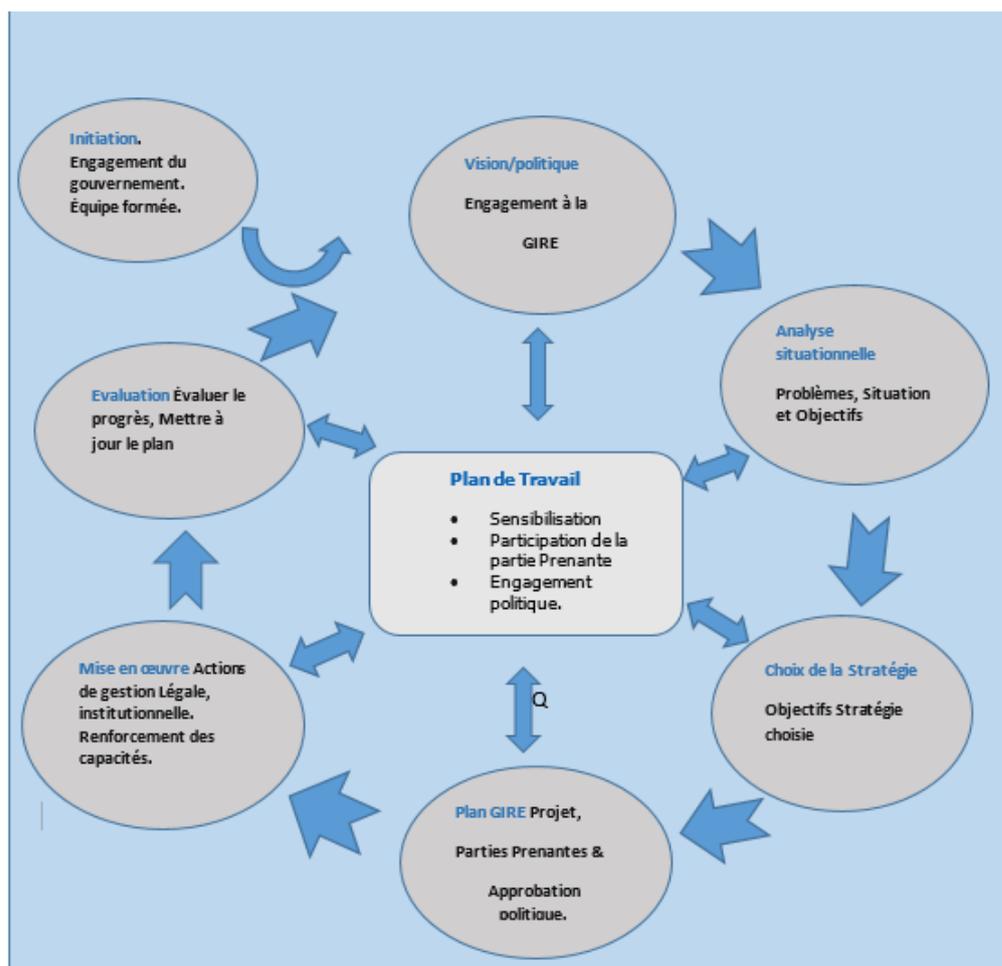


Fig.3. Cycle de planification du plan GIR (GWP, PNUD (2005) .

4.3. Planification de travail et participation des parties prenantes

Elle implique la volonté politique et le leadership des responsables ainsi que les autres parties prenantes. L'engagement de ces dernières est nécessaire dans la mesure où elles ont force à influencer la société dans la gestion de l'eau, à travers des efforts communs et/ou des changements de comportement. Ainsi, la planification demande l'identification et la mobilisation des principales parties prenantes, en dépit de leurs objectifs multiples et souvent contradictoires.

Les politiciens constituent un groupe spécial parmi ces parties prenantes étant donné qu'ils sont non seulement responsables de l'approbation des projets de société mais aussi les succès ou les échecs y afférents lui sont imputables.

A cet effet, la gestion du processus, le maintien de l'engagement politique, l'assurance d'une participation effective des parties prenantes et la sensibilisation sur les principes de la GIRE sont au cœur même de tout le processus de planification (ANDRIANARIVONY Andoniaina, 2016)

4.4. Plan GIRE préparé et approuvé

Sur la base de la vision, l'analyse situationnelle, et l'utilisation d'une stratégie des ressources en eau on peut préparer un Plan GIRE. Plusieurs ébauches peuvent être requises, pour réaliser non seulement des activités et un budget faisables et réalistes, mais aussi pour amener les politiques et les parties prenantes à se mettre d'accord sur les divers compromis et décisions. L'approbation par le gouvernement est essentielle à la mobilisation et à la mise en œuvre des ressources (GWP, PNUD (2005) .

4.5. Gestion intégrée de l'eau par bassin versant

La gestion intégrée de l'eau par bassin versant est un processus qui favorise la gestion coordonnée de l'eau et des ressources connexes à l'intérieur des limites d'un bassin versant en vue d'optimiser, de manière équitable, le bien-être socio-économique qui en résulte, sans pour autant compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux (Georges Gangbazo, 2004) .



Chapitre II

Cadre général de la zone d'étude

Introduction

Cette étude a concerné six communes sur un ensemble de dix-sept du bassin versant de Guelma. Les communes concernées sont : Guelma, Belkheir, Boumahra, Khezaras, Bouhachana et commune de Djeballah khemissi (Fig.4). Ce choix a été fait par rapport à la disponibilité des données en premier lieu et en second lieu parce que ces communes sont incluses à 100% dans le bassin versant de Guelma.

Notre zone d'étude constitue une partie intégrante de la wilaya de Guelma. A cet effet nous présentons dans ce chapitre le cadre générale de la wilaya de Guelma ainsi que les différentes ressources en eau dans la wilaya.

1. Cadre générale

1.1. Situation géographique de la zone d'étude

Sur le plan administratif, La wilaya de Guelma se situe à 116 km à l'est de Constantine, à 65 km au sud-ouest d'Annaba, à 77 km à l'Ouest de Souk Ahras et à 537 km à l'est d'Alger. Elle culmine à la côte de 290 m et recouvre une superficie de 4101 km² (A.B.H, 2005). La région occupe une position médiane entre le Nord du pays, les Hauts plateaux et le Sud.

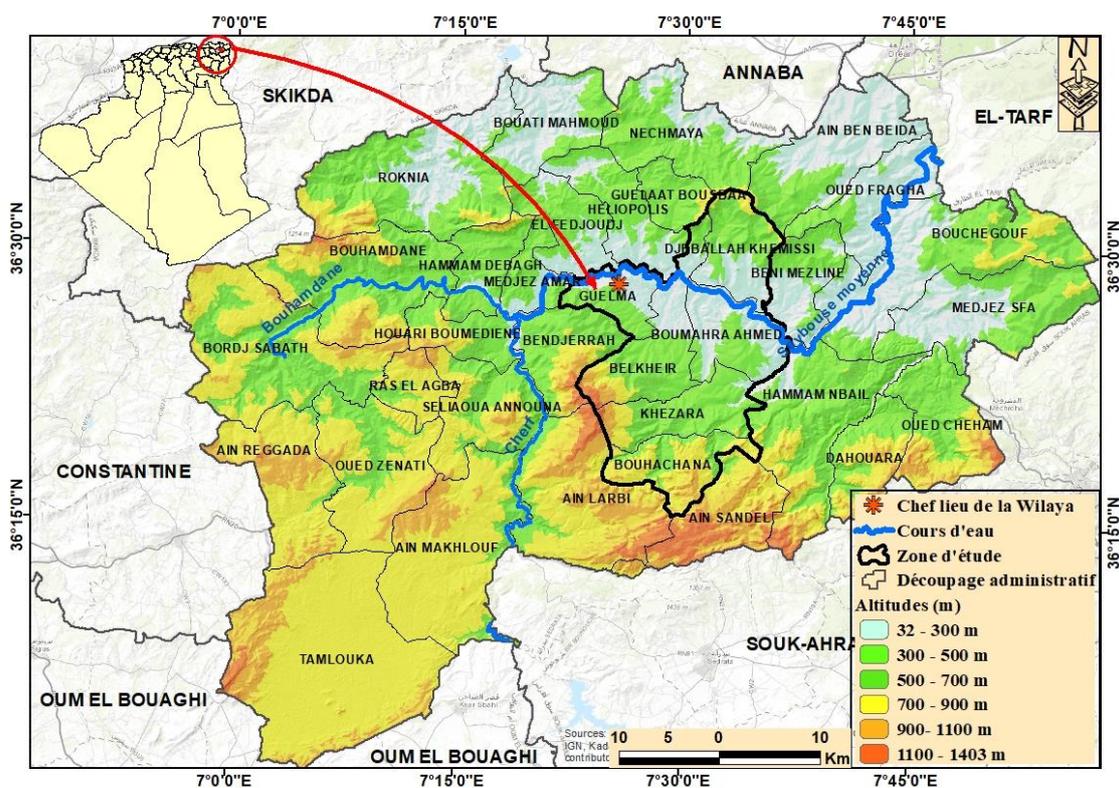


Fig.4. Situation géographique de la zone d'étude (Boudjenana et Zitouni, 2022).

1.2. Contexte socio-économique

La région de Guelma est une zone à vocation agro-sylvo-pastorale (une Surface agricole totale de 266 000 ha et une surface agricole utile de 187 338 ha pour une superficie totale de 3 686,84 km²). Le territoire est fortement montagneux (38% de la superficie totale).

Les montagnes et bassins versants de Houara, Mahouna, Débar et la forêt de Béni salah offrent d'importantes opportunités de développement rural. Sur une superficie forestière de 105.295 ha (28,45 %), les forêts (calcaires et denses) occupent une superficie de 29 950 ha dont 24 437 ha en chêne-liège d'où des opportunités de traitement, d'exploitation et de transformation de liège (DPAT, 2006).

1.3. Cadre administratif

Selon le découpage administratif et superficies des Daïras de la wilaya de Guelma. La Wilaya de Guelma comprend 10 Daïras englobant 34 communes l'une d'un niveau intermédiaire d'urbanisation, et l'autre semi urbaines et des communes rurales (ONA, 2017).

Le tableau suivant présente les communes concernées par cette étude

Tab.1. Découpage administratif et superficies des communes de la zone d'étude (ONA, 017)

Wilaya	Daïra	Communes	Superficie (km ²)
Guelma	Guelma	Guelma	45.00
	Guelaât Bou Sbaâ	Boumahra Ahmed	71.25
		Djeballah Khémissi	66.62
		Belkheir	94.00
	Khezaras	Khezaras	71.22
		Bouhachana	63.62
Total 06 communes :			411,71 Km²

1.4.Contexte agricole

La région de Guelma totalise une superficie agricole de 370.013 ha dont 187.400 ha de superficie agricole utile (ONID) où les céréales occupent annuellement 45 % (186 122 ha) suivi par les cultures maraichères et industrielles (30%) le reste étant réparti entre les différentes espèces arboricoles. (Slatni, 2014).

La surface réservée pour les cultures céréalières est répartie en 93630 ha de blé dur, 26455 ha de blé tendre, 47195 ha d'orge et 6160 ha d'avoine. Pour les cultures maraichères, la superficie réservée est de 586,79 ha, les légumes secs sont limités à 425 ha, l'oignon est représenté par plus de 30 ha et l'arboriculture est présentée sur 24197 ha. La surface réservée pour la plantation de tomates industrielles pendant la saison agricole 2011/2012 est de l'ordre de 3000 ha, avec une production de tomates qui a dépassé les 2 millions de quintaux et un rendement de 600 quintaux à l'hectare (DSA, 2012).

Pour les cultures fourragères, la superficie totale réservée est de 13574 ha. Les fourrages naturels occupent des superficies relativement importantes que les fourrages artificiels qui ont une superficie de 919 ha en 2007.

La figure ci-dessous montre les superficies des terres irriguées de quatre communes sur six étudiées et qui sont alimentées par la Seybouse. Ces dernières se répartissent comme suit ::

Guelma : 1000 ha

Belkheir : 2400 Ha

Boumahra Ahmed : 1200 ha

Djeballah Khemissi : 500 ha (ONID, 2022).

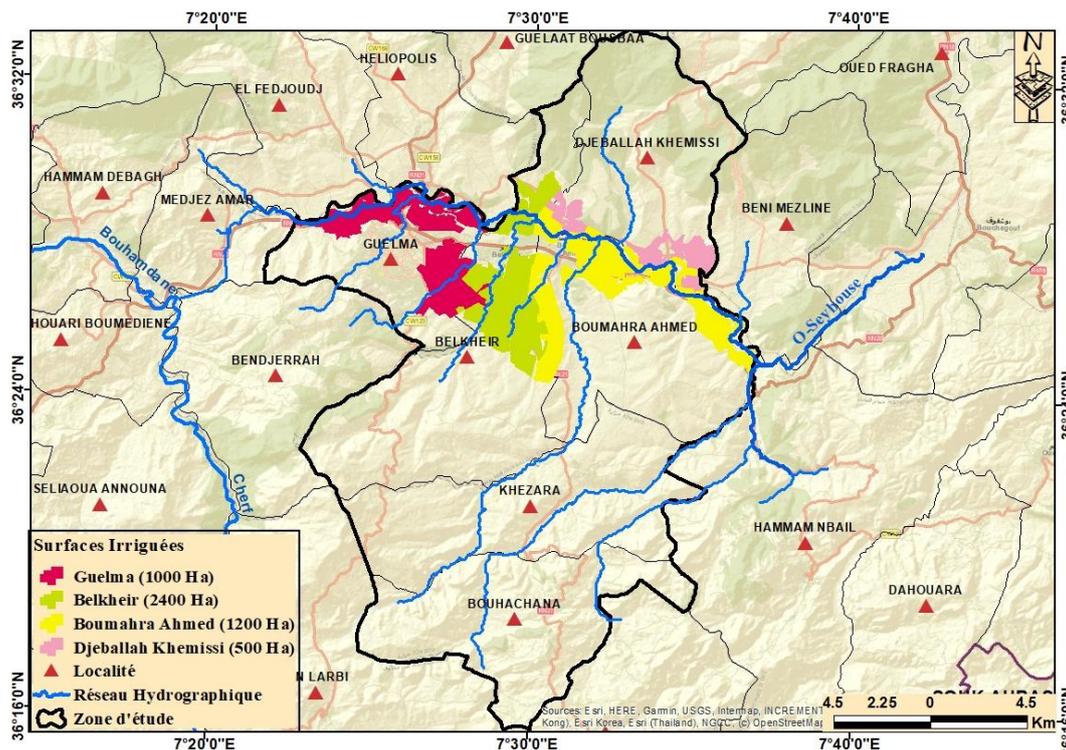


Fig.5. Répartition des surfaces des terres irriguées dans la zone d'étude (Boudjenana & Zitouni, 2022)

1.5.La Population

Pour une superficie de 3686,84 km² la wilaya de Guelma compte 506.007 habitants, Les communes les plus peuplées sont situées à proximité de l'oued Seybouse au centre de la région de plus de 10 000 habitants et au niveau des petits villages et communes est moins concentrée de moins de 7000 habitants (Aissaoui, 2018).

Tab.2. répartition de population dans les communes de la zone d'étude (APC Guelma,2021)

Commune	Population 2021
Guelma	142811
Boumahra Ahmed	21075
Djeballa khemissi	5303
Belkheir	20857
Khezara	12269
Bouhachana	6613

La figure suivante représente la répartition de la population dans les six communes ; zone d'étude :

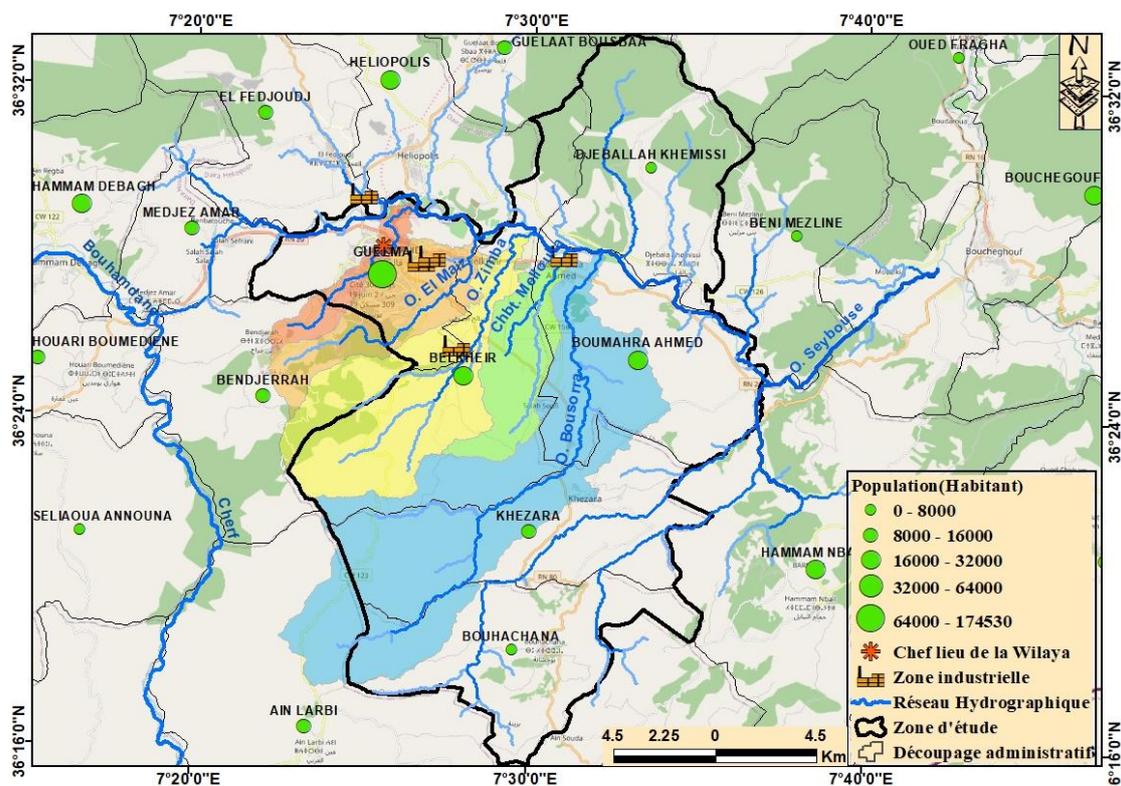


Fig.6. Répartition de la population dans les communes de la zone d'étude (Boudjenana & Zitouni, 2022)

1.6. Caractéristiques géologiques

La géologie d'une région permet d'identifier la susceptibilité ou non de constituer des aquifères à partir de la lithologie des formations ; ainsi que la détermination des relations pouvant exister entre eux.

La région de Guelma fait partie du domaine externe de la chaîne alpine de l'Algérie orientale, elle est caractérisée par des formations âgées du Trias au Quaternaire, présentant ainsi une lithologie très variée.

La géologie du bassin de Guelma comprend :

- une formation néritique autochtone d'âge crétacé, composé principalement par une formation calcaire épaisse et massive (Toubal, 1984) ;
- une nappe tellienne composée de marnes et calcaire du Crétacé,

- une formation du flysch mauritanien d'Ain Berda, l'âge varie du Cénomaniens à l'Oligocène, est composée de divers lithologie : brèche, de la marne, schiste, calcaire et de grès micacé ;
 - la Dorsale Kabyle est composée de deux unités : unité inférieure (Néocomien à Eocène) constituée de formations pélagiques et une unité supérieure (de l'Eocène à l'Oligocène) composée de formations à caractère néritique ;
 - le flysch Massylien du crétacé est constitué de grès, schiste et marnes ;
 - et enfin le flysch numidien composé de grès d'âge Oligo-miocène.

La majeure partie de ces roches sédimentaires est recouverte par des formations du Miocène, du Pliocène et par une couverture quaternaire de sable, de gravier et d'alluvions. La formation triasique est observée quelques kilomètres au sud de la ville Bouchegouf.

Du point de vue géomorphologique, la région d'étude correspond à une dépression à valeur de bassin allongé d'Est en Ouest dans laquelle se sont accumulés des dépôts du Néogène et du Quaternaire.

Ce bassin est adossé au nord comme au sud à des reliefs appartenant pour l'essentiel au domaine tellien constitué de marnes et de carbonates d'âge méso-cénozoïque et dont la sédimentation de mer ouverte, s'est effectuée en domaine pélagique (unités telliennes). Les formations néritiques constantinoises qui représentent la terminaison orientale du domaine, apparaissent à la faveur de fenêtres, à Djebel Débar, à l'est de Hammam Ouled Ali, à Héliopolis et à Nador. D'ouest en est ces formations carbonatées constituent le substratum des nappes telliennes de Guelma (Aissaoui, 2018).

1.7. Caractéristiques hydroclimatologique

L'étude climatique permet de mieux connaître et de définir les caractéristiques des eaux de surface et des eaux souterraines, car le comportement des cours d'eau est conditionné par des paramètres principaux qui régissent l'alimentation et le déficit. Ces paramètres sont la pluviométrie et la température. Leur étude consiste à donner un aperçu sur leur répartition dans le temps et dans l'espace, qui permet d'établir le bilan hydrique et par conséquent d'estimer le taux d'infiltration, l'évaporation, l'évapotranspiration.

1.7.1. Paramètres météorologiques déterminants

Plus que d'autres facteurs, le climat est le plus déterminant des ressources en eau. Les précipitations, les températures, le vent, l'humidité, l'évapotranspiration et d'autres phénomènes atmosphériques constituent le climat de Guelma. Pour cette étude nous avons utilisé les données climatiques de la station de Belkhir ; pour une période commune de 18 ans (2003/2004-2020/2021)

1.7.1.1. Précipitation

a. Précipitations moyennes mensuelles

Pour caractériser les pluies en une station observée, il est nécessaire de calculer la hauteur des pluies moyennes pour chaque mois de l'année afin de mieux mettre en évidence la répartition des précipitations. C'est ce que montre le tableau suivant :

Tab.3. Répartition des précipitations mensuelles (mm) à la station de Belkhir (2003/2004-2020/2021)

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jui	July	Aout
P (mm)	44.14	52.29	72.49	79.27	82.91	69.62	84.53	49.27	40.03	18.41	3.52	17.4

L'histogramme des précipitations mensuelles (figure 7), montre la variation des précipitations d'un mois à un autre. Le mois de Mars est le plus pluvieux avec des précipitations qui atteignent une hauteur de 84.53 mm, par contre, le mois de Juillet correspond au mois le plus sec de l'année (3.52 mm).

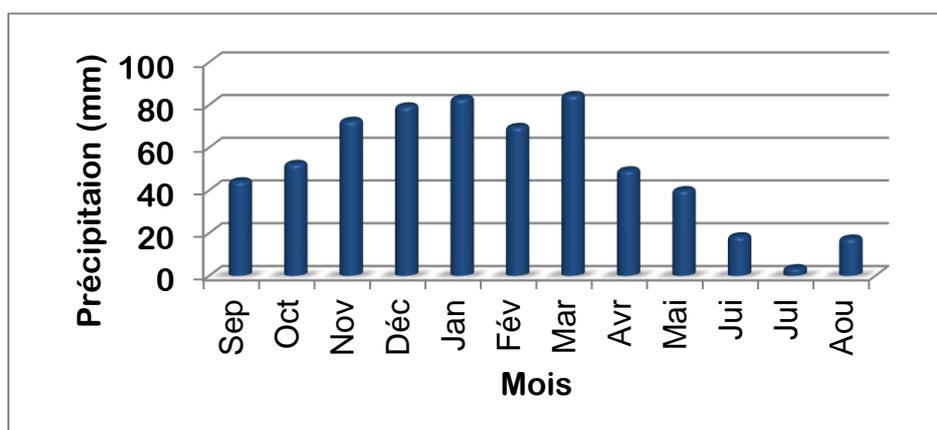


Fig.7. Variation des précipitations moyennes mensuelles (mm). Station de Belkhir (2003/2004-2020/2021)

b. Précipitations moyennes saisonnières

Pour donner une idée sur la distribution de la lame d'eau précipitée durant une année et selon les quatre saisons, une étude des précipitations saisonnières est nécessaire.

Tab.4. Répartition saisonnière des précipitations à la station de Belkheir (2003/2004-2020/2021)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté			Total
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
P (mm)	168.92			231.81			173.83			39.33			613.89
P (%)	27.51			37.76			28.32			6.41			100

D'après la figure ci-dessous, on remarque que :

La saison hivernale est la plus pluvieuse, avec une moyenne de 231.81 mm soit 37.76 % des pluies totales annuelles.

L'automne et le printemps sont les saisons où la pluviométrie est moyenne de 168.92 mm (27.51%) et 173.83 mm (28.32%) respectivement.

L'été qui est la saison la plus sèche où la pluviométrie est faible avec une moyenne de 39.33 mm soit 6.41 % de la totalité des pluies.

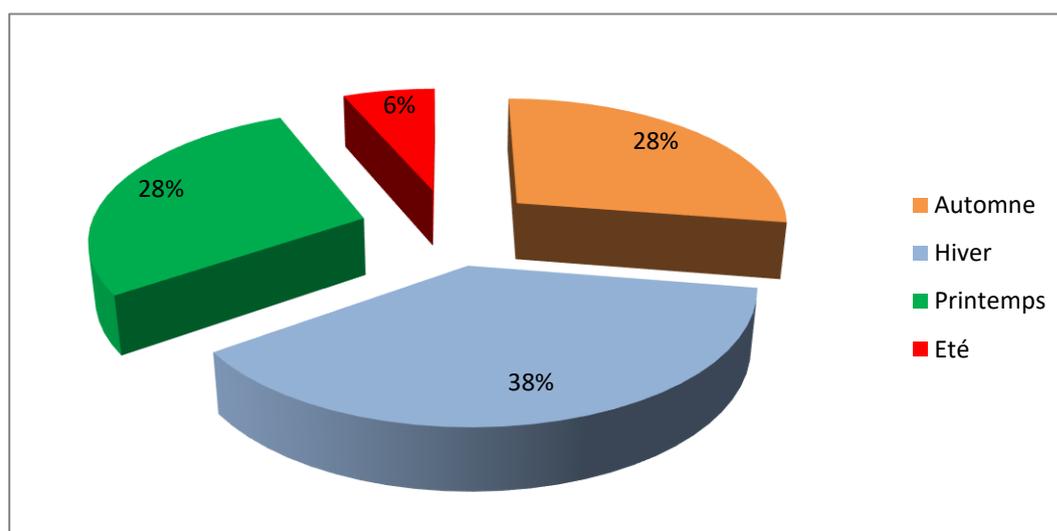


Fig.8. Précipitations moyennes saisonnières en (%). Station de Belkheir
(2003/2004-2020/2021)

1.7.1.2. Température

En hydrologie, la température est un facteur très important qui sert aux estimations et au bon fonctionnement du cycle de l'eau.

L'analyse des températures est basée sur des observations effectuées au niveau de la station.

a. Variation des températures moyennes mensuelles

La valeur maximale des températures est observée au mois de Juillet avec une valeur de l'ordre de 28.2 C°, par contre la valeur minimale ne dépasse pas 9.4 C°, elle est observée au mois de Février.

Tab.5. températures moyennes mensuelles (°C) à la Station de Belkheir (2003/2004-2020/2021).

Mois	Sep	Oct.	Nov.	Déc	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jui	Julye	Aout
T (C°)	23.2	18.6	13.1	10.3	10.7	9.4	13.0	15.8	18.1	23.0	28.2	25.3

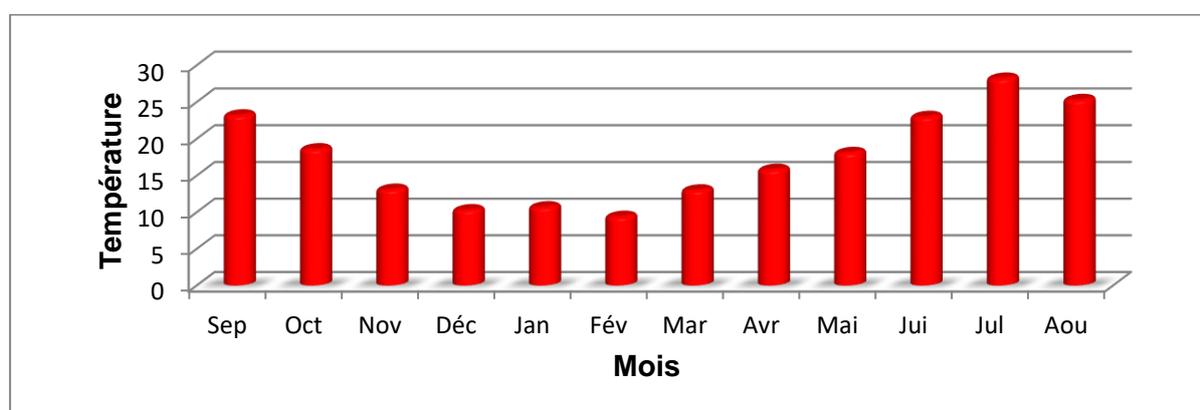


Fig.9. Variations des températures moyennes mensuelles de la station de Belkheir (2003/2004-2020/2021)

b. Variation des températures moyennes saisonnières

D'après les données ci-dessous, on remarque que le maximum de température enregistrée durant l'été (la saison la plus chaude) et le minimum durant la saison hivernale (la saison la plus froide).

Tab.6. Répartition saisonnière des températures moyennes à la station de Belkheir
(2003/2004-2020/2021)

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
T (°C)	18.3			10.13			15.63			25.5		

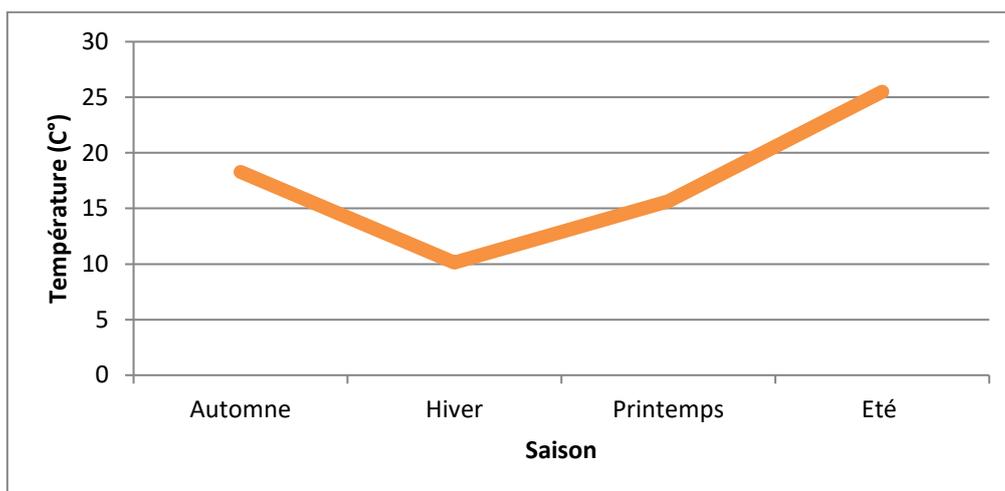


Fig.10. Variation de la température moyenne saisonnière à la station de Belkheir
(2003/2004-2020/2021)

1.7.1.3. Diagramme pluviothermique

Ce diagramme permet de déterminer les saisons sèches et humides.

On établit le diagramme pluviothermique en combinant les températures et les précipitations moyennes mensuelles correspondantes à la même période d'observation à condition que P soit égal à $2T$ (courbe de Gaussien et Bagnouls).

Les variations mensuelles des précipitations durant cette période permettent de distinguer deux périodes :

- Une période de sécheresse ; s'étend du mois de novembre jusqu' à la fin du mois de mars.
- Une période pluvieuse ; allant du mois d'avril jusqu'au mois d'octobre.

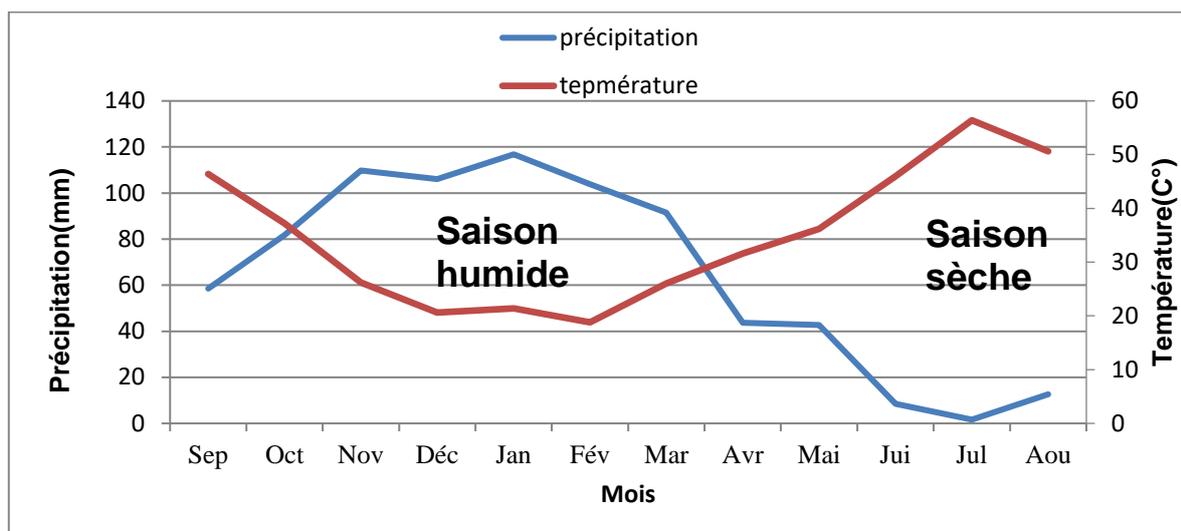


Fig.11. diagramme pluviothermique de la station de Belkhir (2003/2004-2020/2021)

1.7.1.4. Humidité

L'humidité relative de l'air correspond au rapport de la tension de vapeur réelle observée à la tension de valeur saturante à la même température.

Pour l'examen des valeurs de l'humidité moyenne mensuelle, on s'est référé aux données de la station de Belkheir pour une période de 10 ans (2007/2008-2016/2017).

D'après les données des moyennes d'humidité relative mensuelle de cette station sur la période (2007/2008-2016/2017), on constate que l'humidité atteint son maximum en hiver (mois de Janvier) ; et le minimum est enregistré en mois d'juillet.

Tab.7. Moyennes mensuelles de l'humidité relative en % (2007/2008-2016/2017). Station de Belkheir

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou
Humidité (%)	68.19	74.92	73.93	77	77.52	74.77	74.48	72.36	67.95	60.29	55.39	56.34

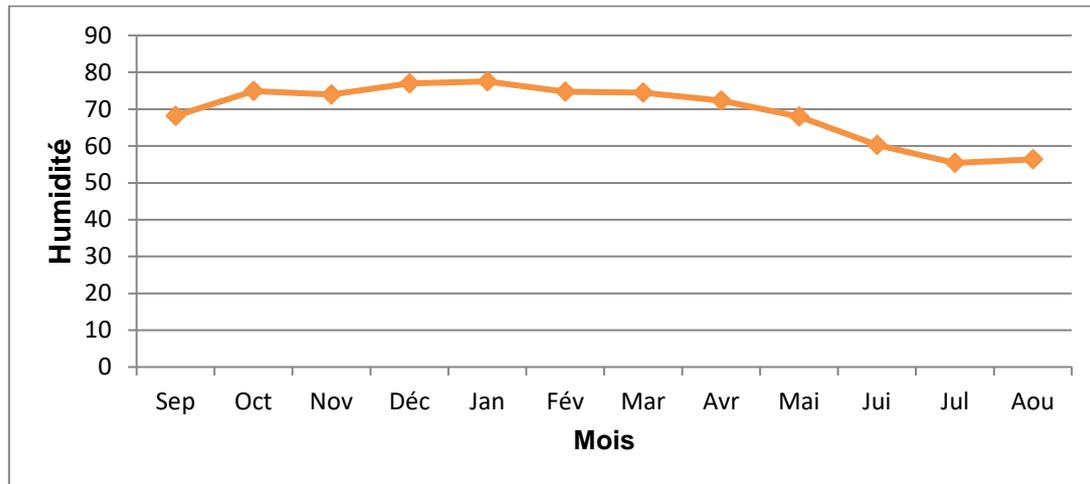


Fig.12. Humidité relative mensuelle (%) ; station de Belkheir (2007/2008-2016/2017).

Bilan d'eau

1.7.2. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentielle selon C.W. Thornthwaite tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle. La méthode de Thornthwaite permet à partir des données de base (précipitations (mm), température (°C), le coefficient thermique mensuel (k), et l'indice thermique mensuel (I) de calculer l'évapotranspiration potentielle ETP selon la relation suivante :

$$ETP \text{ (mm/mois)} = 16 (10T / I)^a \cdot k$$

$$I = \sum i$$

$$i = (T/5)^{1.514}$$

$$a = (1.6/100) I + 0.5$$

Les résultats obtenus sont reportés sur le tableau suivant :

Tab.8. Résultats de l'ETP par la formule de Thorntwaite (2003/2004-2020/2021) station de Belkheir.

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jul	Aou	Totale
K	1.05	0.91	0.75	0.70	0.73	0.78	1.02	1.15	1.32	1.33	1.35	1.24	-
I	10.2	7.3	4.3	3.0	3.2	2.6	4.2	5.7	7	10.1	13.7	11.6	82.9
ETP (mm)	110	63.7	27.6	16.6	18.6	15.7	37.1	59.7	87.8	137.1	202	152.2	928.2

En examinant les variations de l'évapotranspiration potentielle, on remarque que l'ETP est plus intense pendant la période sèche (surtout le mois de juillet, il a atteint 202 mm) et diminue pendant la période humide (la saison hivernale).

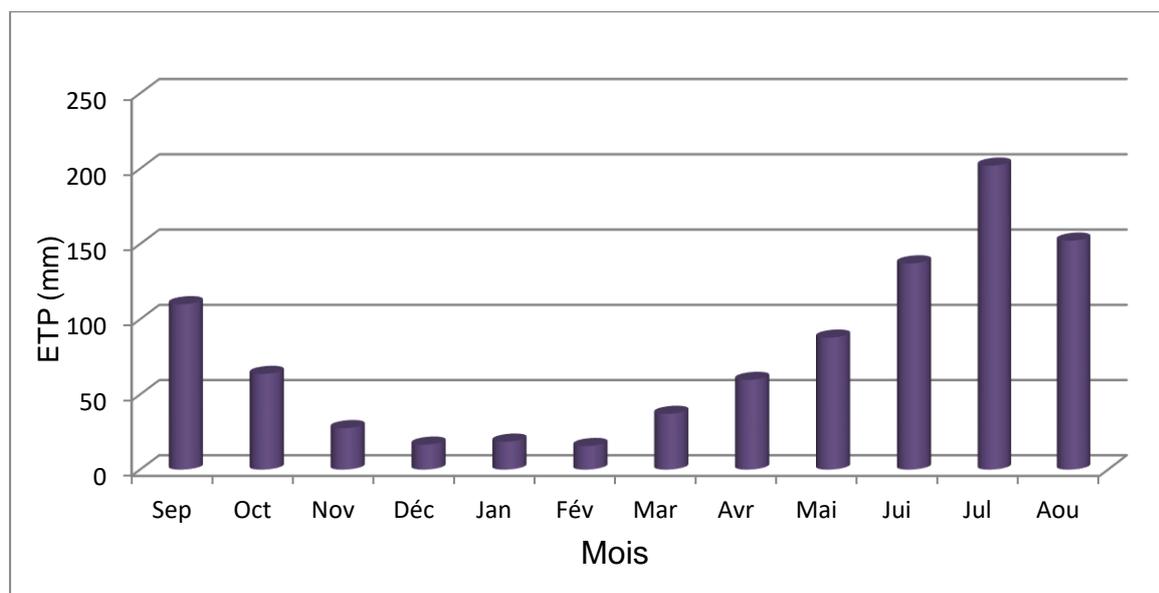


Fig.13. Variation de l'évapotranspiration potentielle dans la station de Belkheir

(2003/2004-2020/2021)

1.7.3. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

C'est la somme des processus de l'évaporation et la transpiration de l'eau sur une surface donnée et pendant une période définie, les paramètres agissant sur ce processus sont la température de l'air, la température de l'eau, le degré d'humidité du sol, le rayonnement solaire, le vent et la pression atmosphérique.

On peut l'estimer avec la formule de L. TURC (1961) :

$$ETR = P / (0.9 + P^2 / L^2)^{1/2} \text{ (mm/an)}$$

Avec :

$$L = 300 + 25T + 0.05 T^3 \text{ (facteur qui tient compte des échanges de chaleur).}$$

P : Précipitation moyenne annuelle en mm.

T : Température moyenne annuelle en °C.

Tab.9. Résultats de l'ETR dans la station de Belkhir (2003/2004-2020/2021)

P (mm)	ETR (mm)	ETR (%)
6.13.89	440.7	71.79

1.7.4. Estimation du ruissellement (R)

On entend par ruissellement, l'écoulement par gravité à la surface du sol, suivant la pente du terrain et dans le réseau hydrographique des eaux météoriques. Une infime partie de cette eau sera soumise à l'infiltration qui alimentera les nappes souterraines.

Pour matérialiser la valeur du ruissellement nous allons appliquer la méthode approchée de Tixeront-Berkaloff, qui s'écrit ;

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

Avec :

- R : ruissellement (mm)

- P : précipitation moyenne mensuelle (mm)

- ETP : évapotranspiration potentielle (mm)

Tab.10. Résultats du ruissellement dans la station de Belkheir

(2003/2004-2020/2021).

P (mm)	ETP (mm)	R (mm)	R (%)
613.89	928.2	89.5	14.58

1.7.5. Estimation de l'infiltration (I)

$$P = ETR + R + I$$

$$\text{Donc: } I = P - R - ETR$$

$$I = 613.89 - 89.5 - 440.7 = 83.69 \text{ mm}$$

$$I = 13.63(\%)$$

1.7.6. Estimation du bilan hydrique

Le bilan hydrique est fonction de plusieurs facteurs du système hydrologique tels que les précipitations, le ruissellement, l'infiltration et l'évapotranspiration potentielle et réelle.

Le bilan hydrologique naturel peut se calculer par la formule suivante (Castany 1982) :

$$P = ETR + R + I$$

Avec :

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : l'évapotranspiration annuelle (mm).

R : ruissellement moyen annuel (mm).

I : infiltration moyenne annuelle (mm).

1.7.6.1. Analyses du bilan hydrique

Tab.11. Bilan d'eau selon la méthode de C.W. Thornthwaite de la station de Belkheir (2003/2004-2020/2021).

	Tp	IT	K	ETPC	Pr	BH	RFU	ETR	Def	Exc
S	23.20	10.2	1.05	110.0	44.14	-65.9	0.0	44.1	65.9	0.0
O	18.60	7.3	0.91	63.7	52.29	-11.4	0.0	52.3	11.4	0.0
N	13.10	4.3	0.75	27.6	72.49	44.8	44.8	27.6	0.0	0.0
D	10.30	3.0	0.70	16.6	79.27	62.6	100.0	16.6	0.0	7.5
J	10.70	3.2	0.73	18.6	82.91	64.3	100.0	18.6	0.0	64.3
F	9.40	2.6	0.78	15.7	69.62	53.9	100.0	15.7	0.0	53.9
M	13.00	4.2	1.02	37.1	84.53	47.5	100.0	37.1	0.0	47.5
A	15.80	5.7	1.15	59.7	49.27	-10.4	89.6	59.7	0.0	0.0
M	18.10	7.0	1.32	87.8	40.03	-47.8	41.8	87.8	0.0	0.0
J	23.00	10.1	1.33	137.1	18.41	-118.7	0.0	60.2	77.0	0.0
J	28.20	13.7	1.35	202.0	3.52	-198.5	0.0	3.5	198.5	0.0
A	25.30	11.6	1.24	152.2	17.4	-134.8	0.0	17.4	134.8	0.0
Annuel	17.4	83.0		928.2	613.9	-314.3		440.7	487.5	173.2

- T : température mensuelle en C°.
- i : indice thermique
- k : coefficient de latitude
- ETP : évapotranspiration potentielle en (mm)
- BH : Bilan Hydrique

- Pr : précipitation mensuelle en (mm)
- RFU : réserve facilement utilisable en (mm)
- ETR : évapotranspiration réelle en (mm)
- Def : déficit agricole en (mm)
- EXC : excédent en (mm)

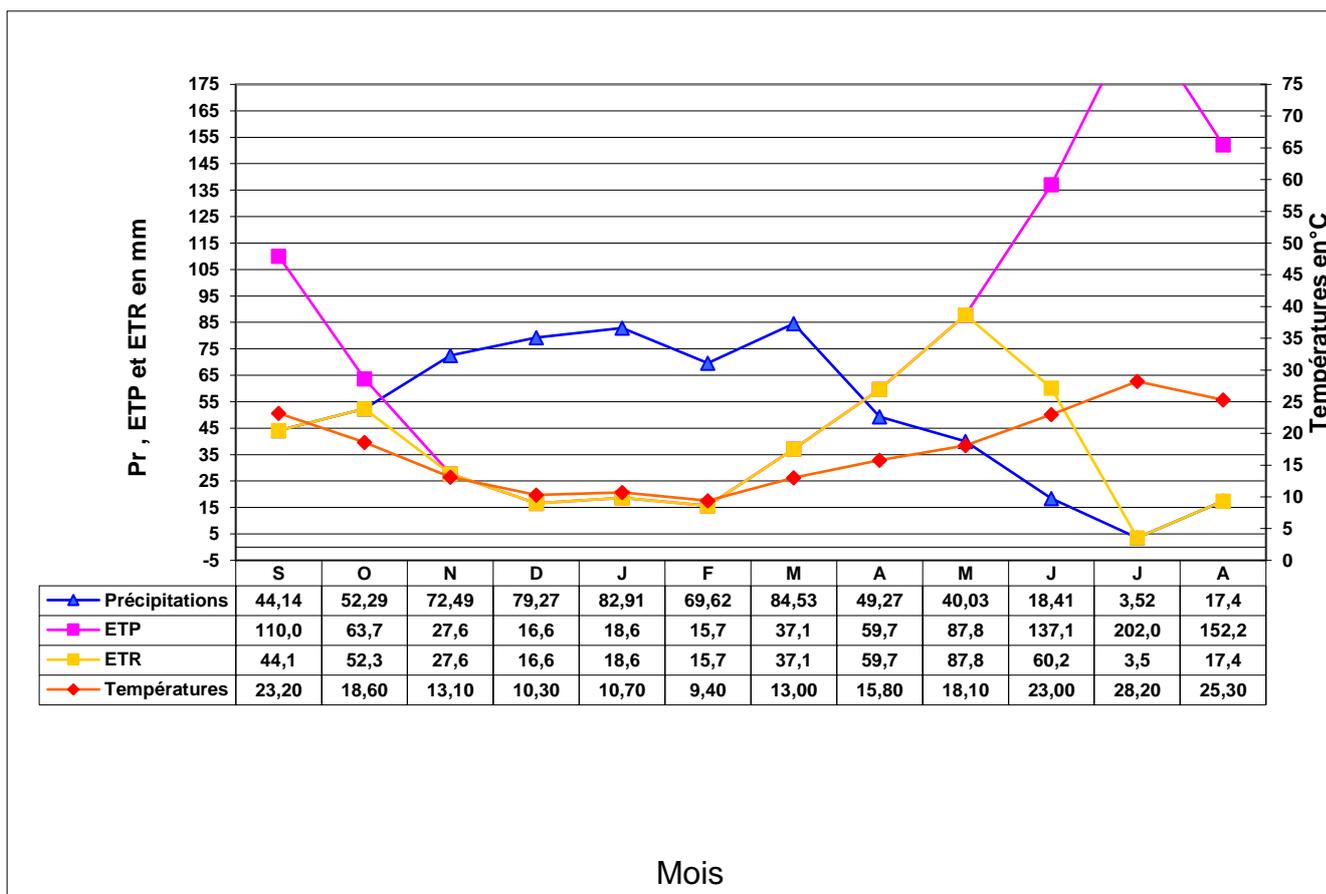


Fig.14. Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques

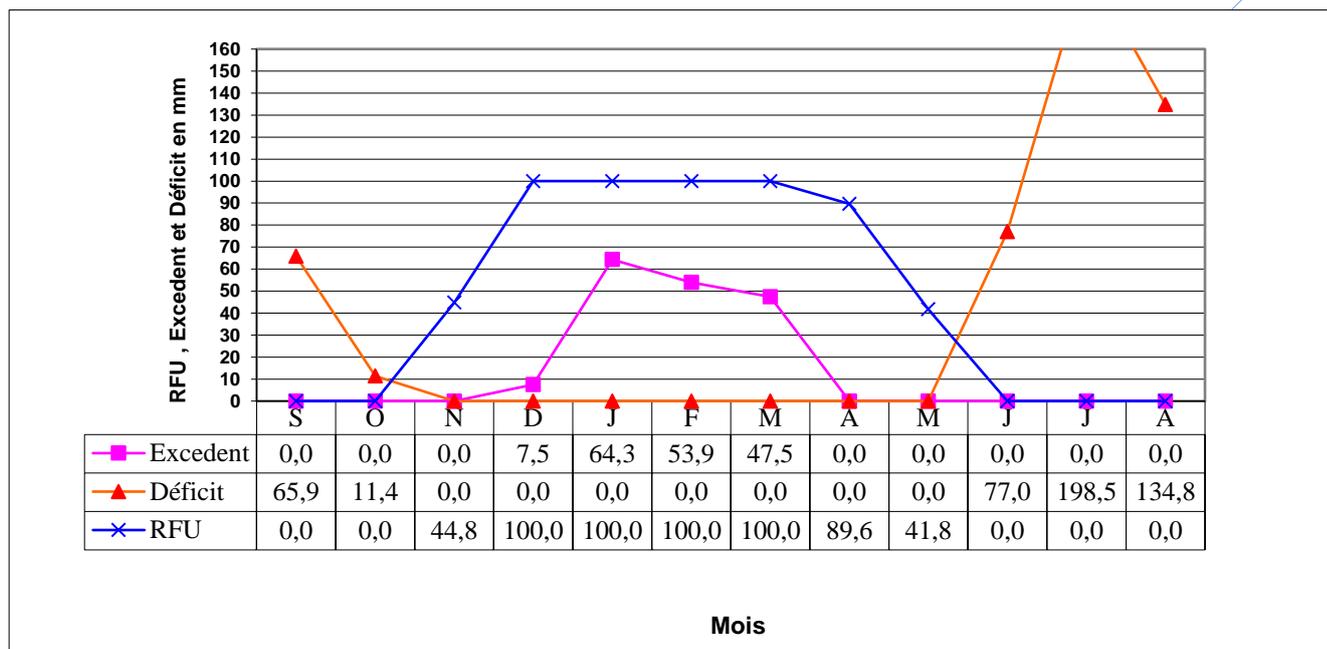


Fig.15. Représentation graphique du bilan hydrique selon la méthode de

C.W. Thornthwaite de la station de Belkheir (2003/2004-2020/2021).

Les résultats obtenus à partir du bilan hydrologique de la station de Belkheir et présentés respectivement dans le tableau et les graphiques ci-dessus, permettent de tirer les observations suivantes :

- La région de Guelma reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 613.89 mm et une température moyenne annuelle de l'ordre de 17.4 C°.
- L'évapotranspiration potentielle (ETP) total est de l'ordre de 928.2 mm, où L'ETP atteint son minimum au mois de Février (15.7 mm) et son maximum au mois de Juillet (202 mm).
- L'Evapotranspiration réelle (ETR) totale est de 440.7 mm.
- La reconstitution de la RFU atteint son maximum (saturation : 100 mm) au mois de Décembre et reste ainsi jusqu'au mois de Mars puis elle commence à s'épuiser pour se vider complètement au mois de Juin.
- Le déficit agricole est égal à 487.5 mm.
- L'écoulement (excédent) commence au mois de Décembre et se termine en mois de Mars avec un maximum au mois de janvier et un minimum vers la fin de la période d'écoulement (L'excédent annuel est égal à 173.2 mm)

1.8. Caractéristiques hydrogéologiques

Les études hydrogéologiques permettent d'identifier les systèmes aquifères, leur géométrie, les conditions aux limites et leur alimentation et leurs propriétés lithologiques, ainsi que la distribution et la circulation des eaux souterraines dans les sols et les roches, en tenant compte de leur interaction avec les conditions géologiques et les eaux de surface.

En se basant sur la description géologique des terrains ainsi que les caractéristiques Hydrogéologiques de chaque formation, on a pu établir le tableau suivant, qui synthétise et combine les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques de chaque étage.

Le couplage des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des formations de la région d'étude, a permis de distinguer un ensemble du remplissage mio plio-quadernaire, capable de constituer deux réservoirs d'eau :

- le réservoir de la nappe superficielle, représenté par des alluvions, constituées essentiellement par des sables, cailloutis, galets, limons et conglomérats ;
- le réservoir de la nappe des hautes terrasses, représenté par des galets, conglomérats, limons et sable.

Tab.12. Description géologique et hydrogéologique des formations de la région d'étude (Mouassa, 2007)

Ere	System	Lithologie	Epaisseur (m)	Intérêt hydrogéologique	
				Perméabilité	Type de la nappe
Quaternaire	Récent	Alluvions actuelles : Galets, calcaires, Limon, travertins -Alluvions anciennes :	15	Perméabilité	Nappe de la basse Terrasse – Nappe de la moyenne Terrasse – Nappe de la haute Terrasse
		1. Basse terrasse : sables, Cailloutis, limons. 2. Moyenne terrasse :	30-50		
3. Haute terrasse : galets, Conglomérats, limons. Sables	100				
	Ancien	Tufs calcaires	-	Perméable	/

Tertiaire	Moi-Pliocène	Argile a gypse	-	Imperméable	Substratum
	Pliocène	Travertins	-	Perméable	Nappe des travertins

1.8.1. Identification des aquifères

L'étude des propriétés de l'aquifère nécessite l'établissement de profils hydrogéologiques pour représenter toutes les couches traversées par les forages et la compréhension de la géométrie de l'aquifère et de son évolution spatiale (latérale et verticale).

La plaine de Guelma possède deux systèmes aquifères proéminents : un au centre « Aquifère alluvial à Guelma » et un autre « Aquifère calcaire à Hammam Bradaa ».

1.8.1.1.aquifère des alluvions de Guelma

a. Coupe hydrogéologique d'orientation W – E

La coupe suivante est marquée par l'existence des matériaux en profondeur, les alluvions Quaternaires fins, en couverture se poursuit d'Est en Ouest, jusqu'à l'arrivée aux travertins, l'épaisseur de la couche des alluvions atteint le maximum au niveau du forage BA5 avec 110 m en total (en négligeant la mince lentille d'argile)

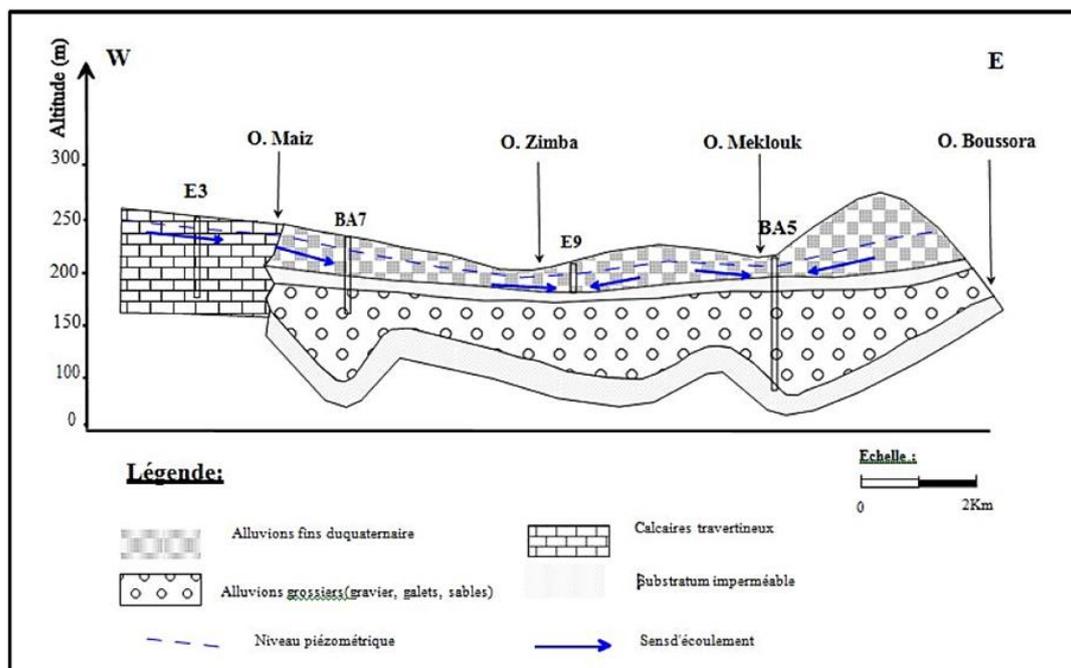


Fig.16 Coupe hydrogéologique au niveau de la plaine de Guelma (Gaud, 1974)

b. Coupe hydrogéologique d'orientation N - S

Localisée à l'Est de la ville de Belkheir, d'orientation Nord-Sud montre la liaison entre la basse terrasse et la nappe de la haute terrasse qui se fait par la moyenne Terrasse. On y observe presque les mêmes ensembles aquifères qui se prolongent vers le Sud. Cependant on peut faire les remarques suivantes :

- 1) - Les alluvions grossières (cailloutis, sable) qui forment les basses terrasses sont plus épaisses (15 m environ).
- 2) - Les moyennes terrasses sont formées de sables fins d'une épaisseur de 25 à 35 m, mais cette fois-ci on remarque la présence d'un horizon argileux d'une épaisseur moyenne de l'ordre de 8 m qui s'intercale dans les alluvions.
- 3) - Les hautes terrasses sont plus importantes 100 m d'épaisseur en moyenne (elles atteignent 110 m au piézomètre). Cette couche est formée de dépôts plio-quaternaires grossiers. Il s'agit de Cailloutis et de graviers avec des petites lentilles d'argile de faible épaisseur.
- 4) - Le substratum est toujours Miocène marneux et présente un sous-bassement au centre de la plaine (c'est l'ancien lit probable de la Seybouse).
- 5) - Les calcaires travertins eux sont absents et reculent au Sud de la plaine vers les monts de Mahouna (*Mouchara.N 2009*).

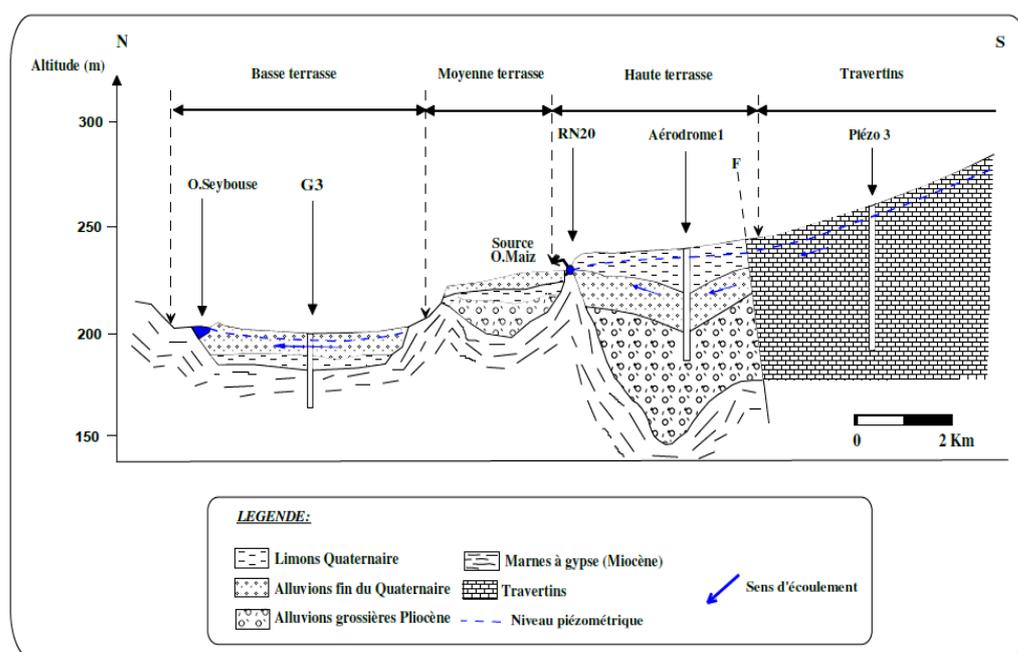


Fig.17. Coupe hydrogéologique dans la plaine de Guelma, montrant la présence des Aquifères (alluvionnaire et fissuré) et la relation alluvions-travertins (Gaud, 1974)

2. Ressources en eaux de la région

La connaissance des ressources en eau est la condition nécessaire pour une bonne gestion. Les instruments de gestion sont un outil indispensable pour l'organisation des institutions juridiques, économiques et administratives de ladite gestion (Erhard Cassegrain & Margat, 1979).

Les ressources en eau en Algérie proviennent des eaux de surface, des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables (ou faiblement) et des eaux conventionnelles. Suite à sa situation géographique, le bassin de la moyenne Seybouse où se localise notre région d'étude serait marqué par des étiages prononcés avec souvent des débits nuls en été et des crues fortes et rapides en saison humides. Ces crues favorisent l'érosion des sols à l'amont du sous bassin et provoquent des inondations à l'aval. Par ailleurs, l'occurrence d'épisodes secs de durées plus ou moins longues est également une donnée structurelle essentielle de régimes hydrologiques de la production agricole en mesure de contribuer à la satisfaction des besoins nutritionnels d'une population en croissance rapide (Guettaf, 2015).

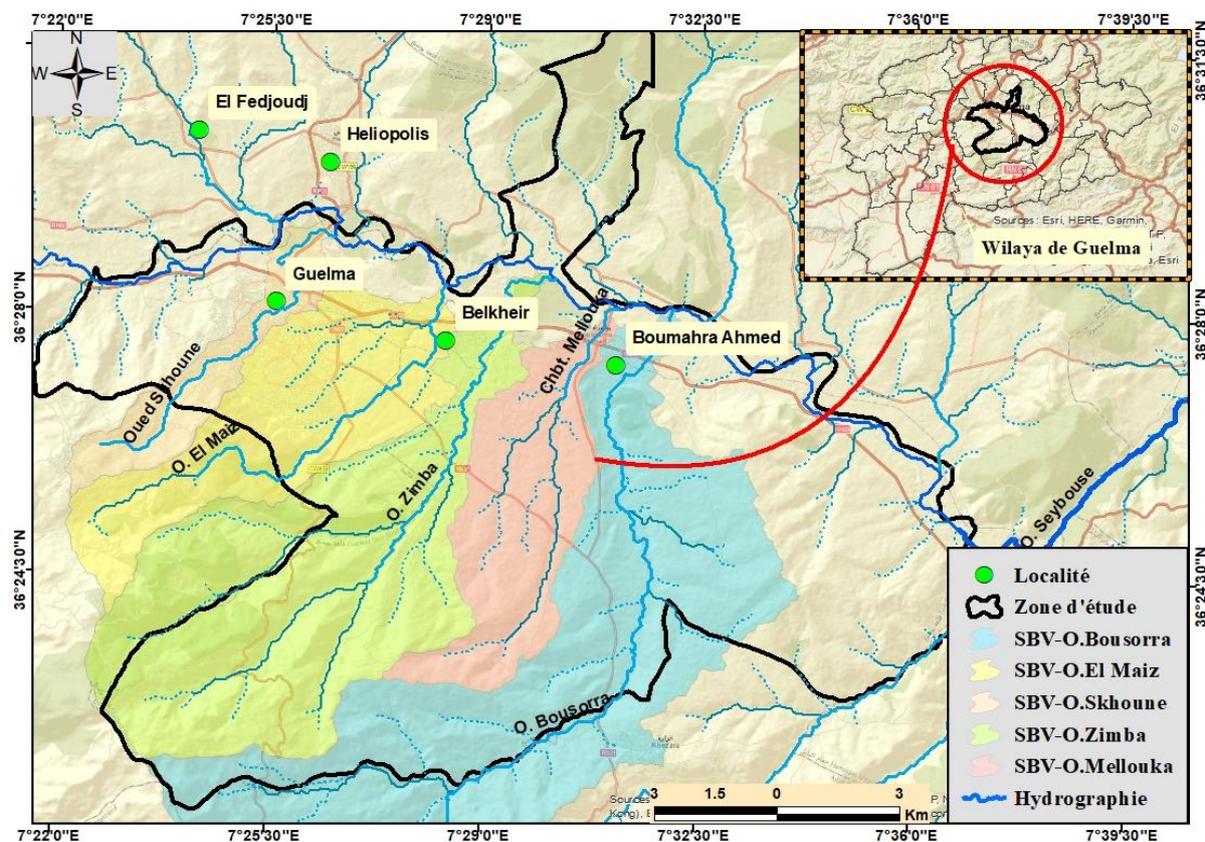


Fig.18. Délimitation de la zone d'étude

2.1. Les eaux de surface

D'après les informations recueillies de la Direction de l'Hydraulique de la Wilaya de Guelma, la ressource en eau de surface provient essentiellement de l'oued Seybouse et ses principaux affluents, qui sont alimentés principalement par les eaux pluviales.

- Oued Seybouse qui traverse la plaine de Guelma ; Bouchegouf sur plus de 45 Km du sud au Nord-Est avec un apport total estimé à 408 Hm³/an à la station Boudaroua. Il reçoit les écoulements de ses principaux affluents issus des versants Nord et Sud de la vallée (oued Bradaa, oued Boufar, oued Halia, oued Bou Sorra, oued Zimba).
- Oued Bouhamdene qui prend naissance au niveau la commune de Bouhamdane à l'Ouest de la wilaya avec un apport de 96 Hm³/an à la station Medjez Amar II.
- Oued Charef prend sa source au sud de la wilaya son apport est estimé à 107 Hm³/an à la Station Medjez Amar I.

Sur l'ensemble du bassin de la Seybouse, il a été initié une politique qui a permis la réalisation d'ouvrages hydrauliques permettant la régularisation d'une partie importante des eaux d'écoulement superficiel. Mais cette mobilisation reste encore insuffisante et a obligé les pouvoirs publics à recourir aux transferts entre les bassins limitrophes à travers des barrages existants ou à construire.

Ainsi, deux grands barrages (Hammam Debagh sur l'oued Bouhamdane) le volume total est de 220 hm³ dont 55 hm³ représentent le volume régularisé destiné à l'irrigation du périmètre Guelma-Bouchegouf de 10000 ha et Medjez El Bgar sur l'oued Cherf d'un volume total de 2,861 hm³ avec un volume régularisé de 1,90 hm³ destiné à l'irrigation du périmètre de 400 ha sont en exploitation. Un autre barrage a été programmé pour 2013 et destiné à l'irrigation : Koudiat Haricha (oued Cherf) au niveau de la commune de Sellaoua, avec une capacité de 80 hm³, et un volume régularisable de 60 hm³ (Guettaf, 2015)

2.2. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines constituent une part importante du patrimoine hydraulique du bassin. Elles présentent des avantages certains sur le plan de la couverture des besoins par rapport aux eaux de surface, en raison de leur régularité et de leurs faibles couts de mobilisation comparativement aux eaux de surface. Il s'agit aussi d'une ressource moins vulnérable aux aléas climatiques et à la pollution et mieux répartie géographiquement.

Ces ressources en eau souterraine constituent une des réserves accumulées depuis de longues années et une richesse qui se reconstitue d'année en année grâce à l'infiltration des eaux de pluie. A l'échelle du bassin de Guelma, on peut distinguer plusieurs nappes caractérisées par une large répartition dans l'espace, contribuant ainsi au développement du bassin en assurant l'approvisionnement en eau potable d'une grande partie des centres urbains et ruraux et en participant à la mise en valeur de grandes superficies irriguées au moyen de multiples stations de pompage. Parmi ces nappes, on peut citer la nappe alluviale de Guelma. A l'échelle étendue sur l'ensemble de la wilaya, on recense près de 1590 points d'eau dont 83 forages qui présentent une moyenne de 48 hm³ destinés à l'AEP avec 62 forages (87,5%) l'irrigation agricole avec 10 forages (8,3 %) et l'usage industrielle avec seulement 07 Forages (4,2%) (Guettaf, 2015).

Aussi nous relevons d'autres nappes souterraines, celle de Héliopolis et la nappe de Oued H'lia à usage divers à partir de 467 points traditionnels et 1040 sources en milieu rural. L'ensemble des eaux souterraines totalisent un volume mobilisé de 91,85 hm³/an (DDA, 2010).

Tab.13. Répartition des capacités d'eau souterraine par type (Direction du développement agricole dans les zones arides et semi arides, Guelma, 2010)

Désignation volume	Nombre	E million m ³ /An
Puits	22	0,80
Sources captées et/ou aménagées	19	1,30
Forages (AEP +Irrigation +Industriels)	78	20
Ensemble	119	22,10

Remarque

- Nombre de sources non aménagées : 300.
- Volume produit : 9 millions m³/an.

2.3. Ressources en eau non conventionnelle

La station d'épuration STEP de Guelma existante couvre actuellement 32000 m³/j d'eau épurée soit 12 hm³/an du chef-lieu de la commune. L'utilisation de cette eau recyclée rejetée au niveau d'oued Seybouse est une opportunité afin d'augmenter la superficie irrigable des zones à haute potentialité agricole non ciblées par l'étude initiale du périmètre Guelma-Boucheouf (Bled Gaffar, Khezaras, Ksar Laatache) à 1700 Ha (DHW Guelma, 2010).

2.4. Les sources thermales de Guelma

Ces derniers couvrent des calcaires blancs d'âge Yprésien

– Lutétien inférieur : L'eau chaude sort à travers les fissures de calcaires. Ces eaux viennent au jour à la faveur d'une faille ou pli-faille marquée par la présence des marnes crétacées au voisinage immédiat des sources en contact avec des terrains éocènes.

- la source thermale de Hammam Belhachani : l'eau chaude sort à travers les fissures de calcaires à la faveur d'une faille ou pli-faille marquée par la présence des marnes crétacées au voisinage immédiat des sources en contact avec des terrains éocènes.

- la source thermale de Hammam Guerfa : l'eau sort dans des travertins et des tufs hydrothermaux du Quaternaire.

- la source thermale de Hammam N'Bails : les eaux chaudes viennent au jour à la faveur d'importants accidents tectoniques.

- la source thermale de Hammam Ouled Ali : les sources chaudes sortent au niveau de la ligne de fracture.

- la source thermale de Hammam Meskhoutine : elle émerge dans des travertins quaternaires déposés par les eaux chaudes.

3. Conclusion

Le présent chapitre a concerné la présentation de la zone d'étude par rapport au cadre régionale. L'étude a concerné six communes sur 17 du bassin versant de Guelma.

La région de Guelma totalise une superficie agricole de 370.013 ha dont 187.400 ha de superficie agricole utile.

Pour une superficie de 3686,84 km² la wilaya de Guelma compte 506.007 habitants, Les communes les plus peuplées sont situées à proximité de l'oued Seybouse au centre de la région. Le nombre total des habitants dans les six communes étudiées est de 208928 habitants.

La région de Guelma reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 613.89 mm avec une température moyenne annuelle de l'ordre de 17.4 C°.

Le couplage des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des formations de la région d'étude, a permis de distinguer un ensemble du remplissage moi-plio-quadernaire, capable de constituer deux réservoirs d'eau :

- le réservoir de la nappe superficielle, représenté par des alluvions, constituées essentiellement par des sables, cailloutis, galets, limons et conglomérats ;
- le réservoir de la nappe des hautes terrasses, représenté par des galets, conglomérats, limons et sable.

Les ressources en eau dans la région proviennent des :

- des eaux de surface essentiellement de l'oued Seybouse et ses principaux affluents, qui sont alimentés principalement par les eaux pluviales en plus des ouvrages hydrauliques (Barrage Bouhamdane)
- des eaux souterraines issues de trois nappes (Guelma, Héliopolis et H'lia) et captées par des forages et des puits ;
- des eaux non conventionnelles (STEP de Guelma)
- sources thermales.



Chapitre III

Gestion des ressources en eau par WEAP 21

Introduction

Face à l'abaissement rapide des ressources hydrique dans la région, l'Algérie mène une politique pour optimiser la gestion des ressources en eau depuis quelques années, dans le but d'atteindre la durabilité économique et écologique.

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

Le sous bassin de la Seybouse a connu un développement démographique et industriel intense face à une gestion de ressources en eau insuffisante, ancienne et limitée.

L'objet global de ce travail est de faire un essai de modélisation et de gestion des ressources en eau dans la région de Guelma. A partir de cette étude, un scénario de l'état actuelle et d'année futur va être élaboré avec un model informatique (outil de simulation), dans notre cas nous allons utiliser le model WEAP21.

Dans cette étude, nous avons choisis le modèle WEAP21 pour établir une gestion intégrée et durable des ressources en eau d'une partie du bassin versant de la région de Guelma au Nord-est Algérien. Cette étude a concerné les communes de Guelma, Belkheir, Boumahra, Khezaras, Bouhachana et commune de Djeballah khemissi et qui sont incluses à 100% dans le dit bassin.

En effet, la capacité et le côté pratique de ce logiciel permet une plus grande exploitation et ainsi une modélisation plus probante.

Ce chapitre comporte deux partie ; une première décrivant la présentation du logiciel WEAP 21 utilisé dans l'élaboration de ce travail et une deuxième traitant la modélisation et la gestion des ressources en eaux dans la région d'étude.

1. Description du logiciel WEAP

WEAP ou « Water Evaluation and planning System » est créé par Stockholm Environment Institute (SEI) à Tellus Institue 11 Arlington Street, Boston, MA U2116-3411 USA par les chercheurs : Jack Seiber, Water Systems Modeler ; Chris Swartz, Research Associate et Annette Huber – Lee, Director Water Program Stockholm Environment Institute. (Directeur du Programme sur l'Eau de l'Institut de l'Environnement de Stockholm) (WEAP user guide, 2015)

WEAP place l'évaluation des problèmes spécifiques de l'eau dans un cadre global. Il intègre plusieurs dimensions : les besoins et l'approvisionnement, entre la quantité et la qualité de l'eau, et les objectifs de développement économique et les contraintes environnementales.

Les objectifs de ce système d'évaluation et de planification de l'eau (WEAP) sont :

- d'incorporer ces dimensions dans un outil pratique pour des ressources en eau avec la projection future ;
- d'examiner des stratégies alternatives de développement et de gestion de l'eau ;
- de fournir un système de base de données pour la demande ou besoin en eau et les informations de maintien d'approvisionnement ;
- de prévoir certaines situations des ressources en eau en simulant la demande, les ressources exploitables, les écoulements et stockage, et les sources de pollutions, les traitements et décharges ;
- d'analyser le développement socio-économique en évaluant une gamme complète des options de développement et de gestion de l'eau, et en tenant compte des utilisations multiples et concurrentes des systèmes aquatiques (MESSAHEL, 2005).

Le WEAP utilise une approche intégrée permettant de simuler les interactions entre des variables explicatives naturelles (précipitations, évapotranspiration, ruissellement, etc.) avec des composants d'aménagements (réservoirs, pompage, etc.), permettant d'aboutir à une vision globale de plusieurs facteurs pertinents à la gestion des ressources en eau (Droogers et al., 2011).

1.1.Acquisition du logiciel WEAP

Le logiciel WEAP est téléchargeable gratuitement sur internet. L'activation du logiciel nécessite l'obtention d'une licence d'utilisation envoyée par l'institut d'environnement à Stockholm.

En effet après la demande, un nom d'utilisateur et un code d'activation nous a été envoyé. (Fig.19)



Fig.19. licence d'activation du logiciel WEAP (Zitouni, 2022)

1.2. Structure du Logiciel WEAP

WEAP consiste à modéliser la gestion des ressources en eau avec cinq principaux affichages :

- affichage des schémas ou cartographie
- affichage des données
- affichage des résultats
- affichage des schémas synoptiques ou graphiques
- affichage des notes.

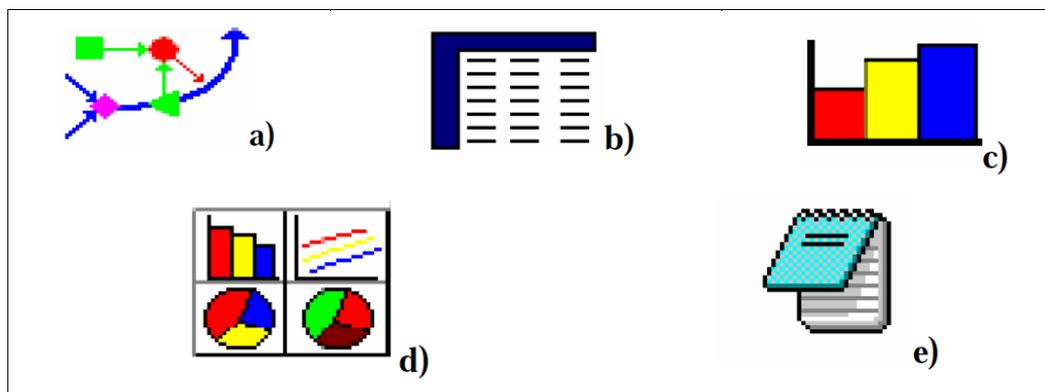


Fig.20. Les cinq affichages du modèle WEAP (Tutorial, 2008)

1.3.Fonctionnement du logiciel WEAP

- Création de la zone d'étude : Dans cette partie, il s'agit de créer une carte de la zone d'étude. On peut utiliser des cartes traitées avec des logiciels de traitement cartographique (SIG).
- Création d'un compte courant : Le but de la création de ce compte, consiste à calibrer le modèle pour reproduire la situation hydrique du bassin en une année donnée.

- Création de scénario : L'analyse de scénario est un élément central de WEAP (SEI, 2007).

Il s'agit de :

- Scénario de référence : prend les données du compte courant dans la période de projet spécifiée, et l'utilisé comme point de comparaison pour d'autres scénarios. Un scénario de référence est établi pour simuler la même évolution du système sans intervention humaine ni changements climatiques.
 - -Scénarios alternatifs : dans lesquels des changements des données du système peuvent être réalisées. Ils servent à évaluer l'impact du développement et de la gestion divers options qui vise à maximiser l'eau fournie à des sites de demandes, selon un ensemble d'utilisateurs (MCCARTNEY *et al.* 2009). Ou bien d'évaluer les effets des changements des politiques et/ou des technologies.
- Présenter les résultats : Les résultats se présentent sous forme de graphe et (ou) de tableau.

2. Analyse et traitement des données dans la région d'étude par l'utilisation du logiciel WEAP 21

La méthodologie adoptée dans cette étude a reposé en première étape sur la collecte et l'analyse des données hydrologiques et de la demande en eau ainsi que les données physiques et hydrauliques dans la région de Guelma. Des données de différentes formes (numériques, cartographiques, alphabétiques) et de différentes sources (études, bases de données, sites web) sont utilisées. Des outils de traitements sont aussi utilisés pour adapter toutes les données aux formats demandés par l'environnement WEAP.

2.1. Application du logiciel

2.1.1. Création de la zone d'étude

Comme couche fond nous avons inséré la carte du découpage administratif de l'Algérie en commune sous forme de Shape file et dessus on a ajouté la limite de la zone d'étude (Fig21) ainsi que le réseau hydrographique, sous format Shape file.

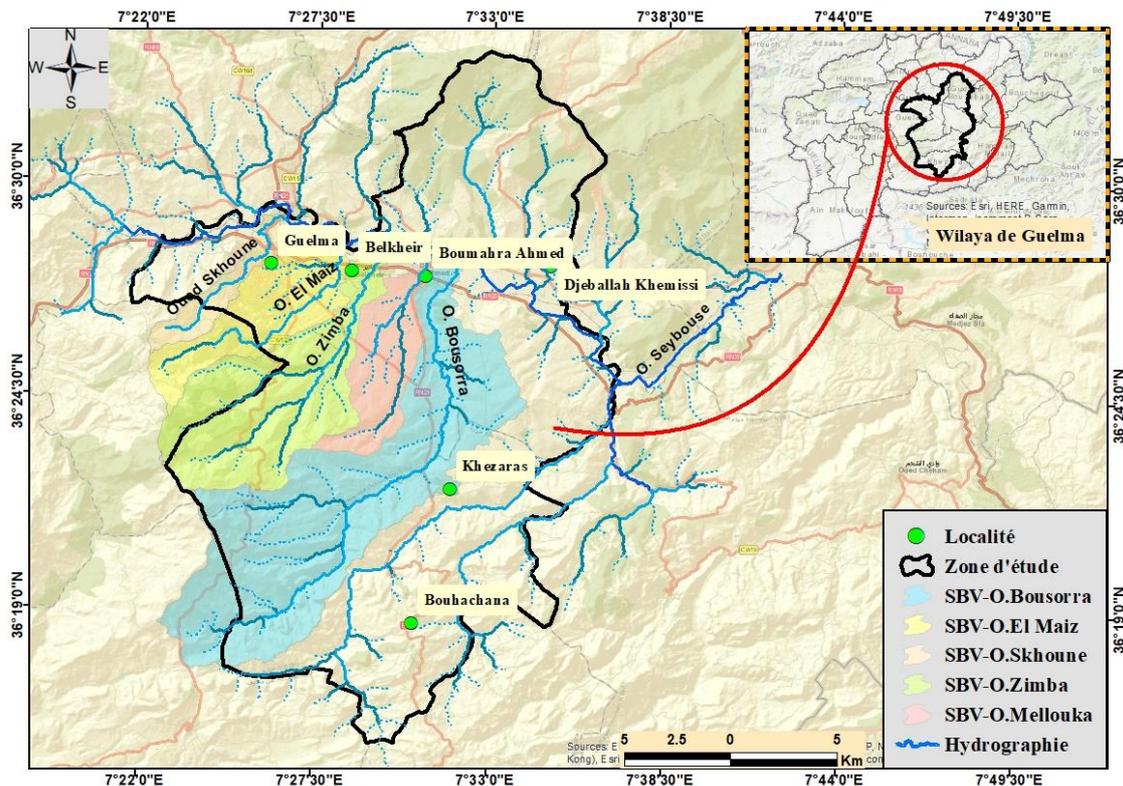


Fig.21. Délimitation de la zone d'étude

2.1.2. Numérisation des données nécessaires du compte courant

La formulation et l'application des modèles dépendent d'un élément important qui est la disponibilité de données. Pour la création de ce compte, On numérise la totalité des ressources en eau souterraines, de surface et les sites de demande, et on saisit les données nécessaires pour chaque utilisateur en cliquant droit sur les emplacements numérisés. Les données utilisées sont recueillies à partir du rapport de l'actualisation du PNE, et de plusieurs administrations.

Les données collectées et portées sur WEAP pour la création du compte actuel sont :

- sites de demandes avec leur emplacement : urbains (ville), zone de culture,
- la distribution et ressources : eaux souterraines exploitées, barrages, tracés de rivières, lieux de captage (site de l'offre),

- les données hydrologiques concernent le type de l'année hydrologique : très sec, sec, normale, humide ou très humide

2.1.2.1.Scenario de référence (SR)

La barre d'outils située en haut du gestionnaire de scénarios nous permet d'ajouter, de copier, de supprimer et de renommer des scénarios. La situation actuelle (2021) est étendue à l'avenir (2021-2050). Le compte courant est créé depuis la zone d'étude. On change juste l'année de la fin des scénarios. Ce qui donne comme compte courant l'année 2021 et on choisit l'année 2050 comme fin des scénarios. Aucun changement majeur n'est imposé dans ce scénario. La croissance de la population estimée entre les deux derniers recensements nationaux effectuée par l'office national de statistiques en 1998 et 2008. Par conséquent, l'augmentation de la demande de terres irriguées a été estimée à 1.2% (DPAT), pour la simulation de ce scénario.

La figure suivante montre les paramètres choisis pour l'élaboration des scénarios futurs

Années et pas de temps

Horizon temporel

Année des Comptes Actuels: 2021

Fin des scénarios: 2050

Pas de temps par an

12

Ajouter les jours bissextiles?

Longueur du pas de temps

Basé sur le mois calendaire:

Tous les pas de temps sont de même

Définir la longueur du pas de temps

Début de l'année hydrologique

Janvier

[? Aide](#)

#	Titre	Abbrev.	Longueur	Begins	Ends
1	Janvier	Jan	31	1 Jan	31 Jan
2	Février	Fév	28	1 Fév	28 Fév
3	Mars	Mars	31	1 Mars	31 Mar
4	Avril	Avr	30	1 Avr	30 Avr
5	Mai	Mai	31	1 Mai	31 Mai
6	Juin	Juin	30	1 Juin	30 Juin
7	Juillet	Juil	31	1 Juil	31 Juil
8	Août	Août	31	1 Août	31 Août
9	Septembre	Sept	30	1 Sept	30 Sept

Time Step Name Format: Octobre / Oct

La période d'étude courra de Janvier, 2021 à Décembre, 2050.

[Fermer](#)

Fig.22. Paramètres généraux du modèle

Dans cette étude nous avons adopté les deux scénarios suivants :

- Extension des terres irriguées, suite à sa faible exploitation par rapport à la surface agricole utile disponible dans la zone d'étude.
- Augmentation du nombre d'habitants

a. Scenario d'extension de terres irriguées (SETI)

Dans ce scenario, nous avons défini une augmentation du taux des surfaces des terres irriguées de 50 % chaque 10 ans, ce taux inspiré de l'objectif du service hydro agricole de la wilaya de Guelma dans le projet quinquennale 2014-2019 (DSA, 2020).

b. Augmentation de nombre d'habitants

Ce scenario est construit pour voir l'impact d'un fort accroissement de la population sur la demande en eau. Il s'agit d'affecter à la population un taux d'accroissement de 3% au lieu de 1,2%.

L'évolution des demandes en eau sont liées directement à l'accroissement du nombre des usagers, et l'extension des superficies de terres irriguées (désigné par niveau d'activité annuelle).

3. Exécution du modèle et affichage des résultats

La modélisation par le modèle WEAP 21 nécessite un paramétrage selon les objectifs voulus :

3.1.Sites de ressources d'eau

On commence par le traçage du réseau hydrographique de l'oued Seybouse et de bien placer le premier site des eaux superficielles en l'occurrence le barrage de Bouhamdane en plus des retenues collinaires. Le deuxième site c'est les eaux souterraines concrétisées par la contribution des nappes dans la région à savoir Guelma, Héliopolis et la nappe de Oued H'lia et enfin les eaux non-conventionnelles matérialisées par la station d'épuration des eaux usées Guelma.

3.2.Sites de demande

Les sites de demande sont ajoutés dans la vue « schématique », ici on a créé 2 sites de demande. Ce sont :

- Toutes les agglomérations existantes dans les six communes,
- Site agricole pour chaque commune.

3.3.Liens de transmission

Pour satisfaire la demande finale sur les sites de demande on a les liaisons de transport qui fournissent de l'eau de surface, des eaux souterraines et d'autres approvisionnements.

Liens de retour

Dans cette partie on modélise le débit de retour à partir de l'eau usée venant des sites de demande et dirigées vers l'oued. On signale que 20% uniquement des eaux récupérées sont utilisées.

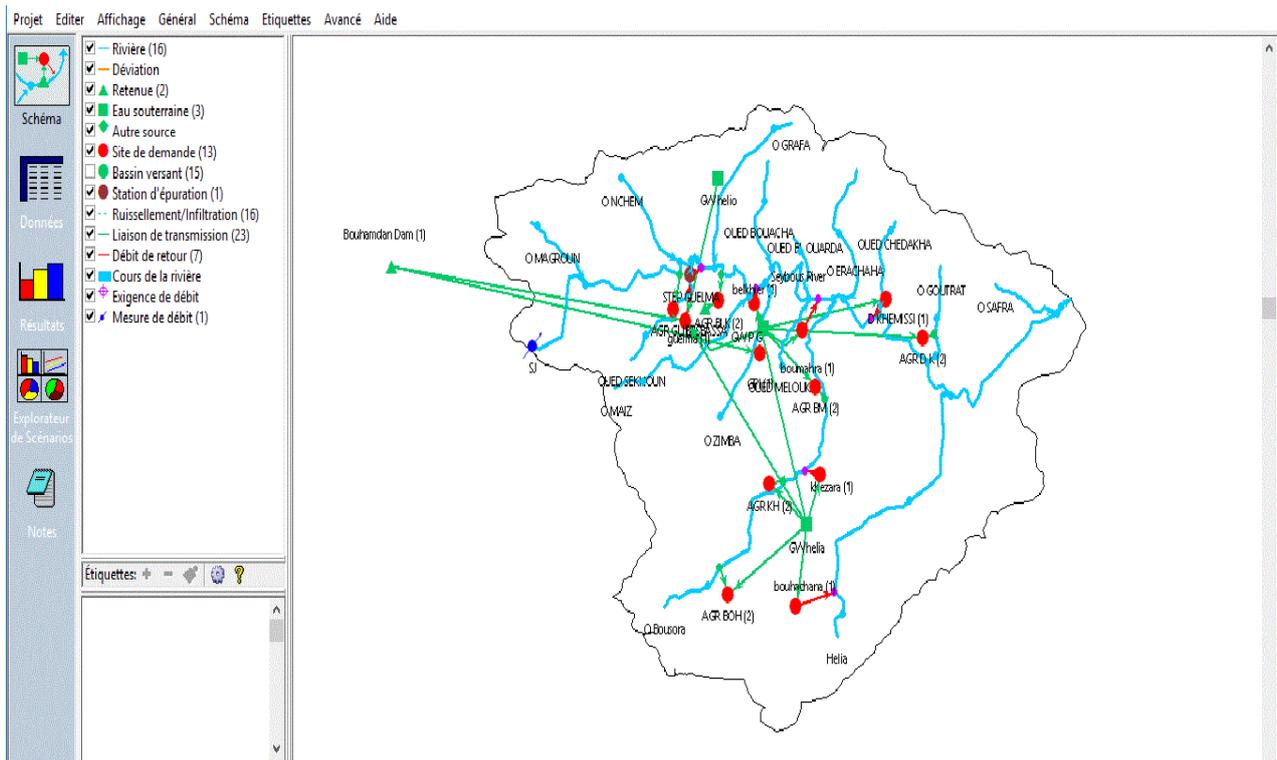


Fig.23. Schématisation des sites de demandes et des ressources en eau sur WEAP

3.4.Compte actuel

Dans cette étape tout le système d'information, les données de la demande et de la distribution de l'eau sont saisies dans l'année de l'état actuel (année de référence) 2021 qui va servir comme compte d'état actuel, à partir duquel les scénarios sont construits.

3.5.Niveau d'activité annuelle

A ce niveau du modèle on doit déterminer la demande en eau par secteur. Les sites de demande domestique sont représentés par le nombre d'habitant actuel, calculé par le logiciel WEAP en utilisant le nombre d'habitant de l'année 2021, d'après le recensement national de

2008 et le taux d'accroissement. La figure ci-dessous montre la population de chaque site de demande (Fig. 24).

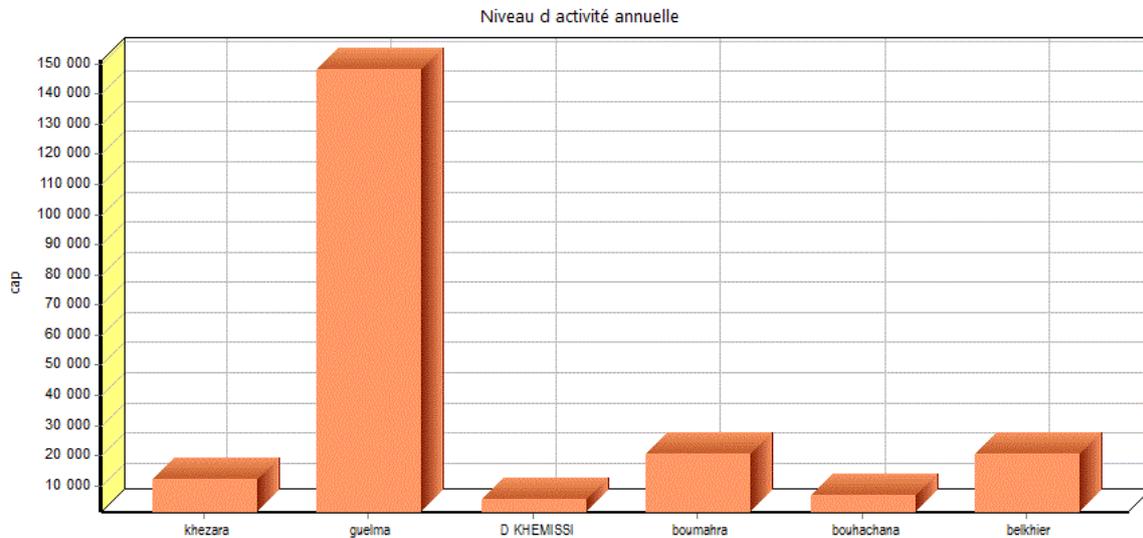


Fig.24. Population de chaque site de demande (niveau d'activité annuelle par personne).
Compte d'état actuel, 2021

3.6.Demande en eau pour l'irrigation

Pendant cette étape on introduit les superficies des terres irriguées de la zone d'étude pour le compte d'état actuel.

La dotation de l'Algérie est estimée à 5000 m³/ha (Zella, 2006).

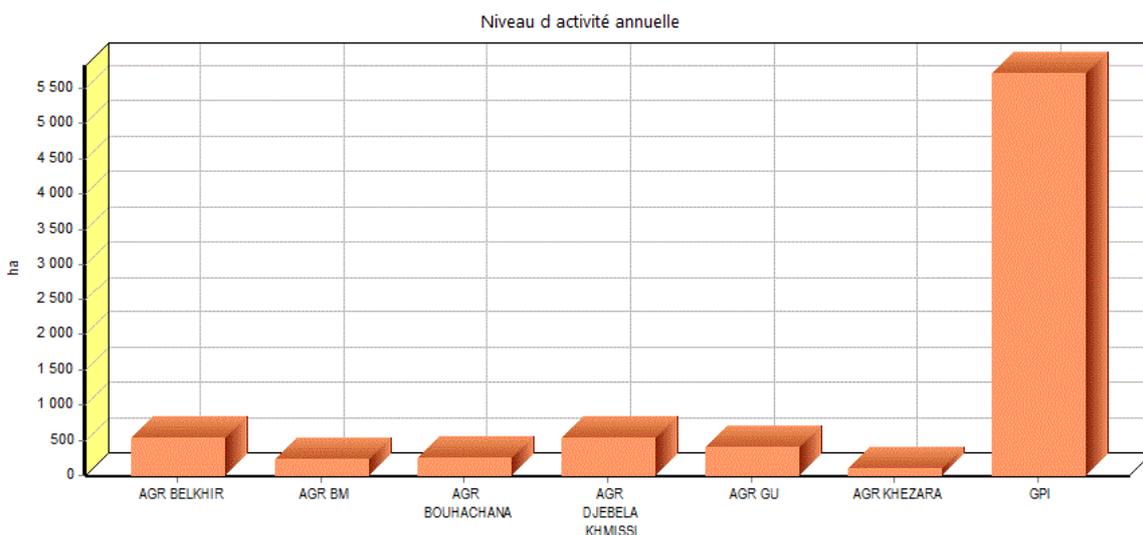


Fig.25. Surface agricole de chaque site de demande (niveau d'activité annuelle par ha).
Compte d'état actuel, 2021

4. Résultats

L'accroissement de la demande en eau est étroitement lié à l'augmentation de nombre d'habitant en plus de l'extension des superficies des terres irriguées.

4.1. Augmentation du nombre d'habitants

D'après le graphe ci-dessous, on remarque que le nombre d'habitant dans les six communes étudiées et pour les deux scénarios passe de 210668 en 2021 à 6191773 habitants en 2050 (Fig. 26).

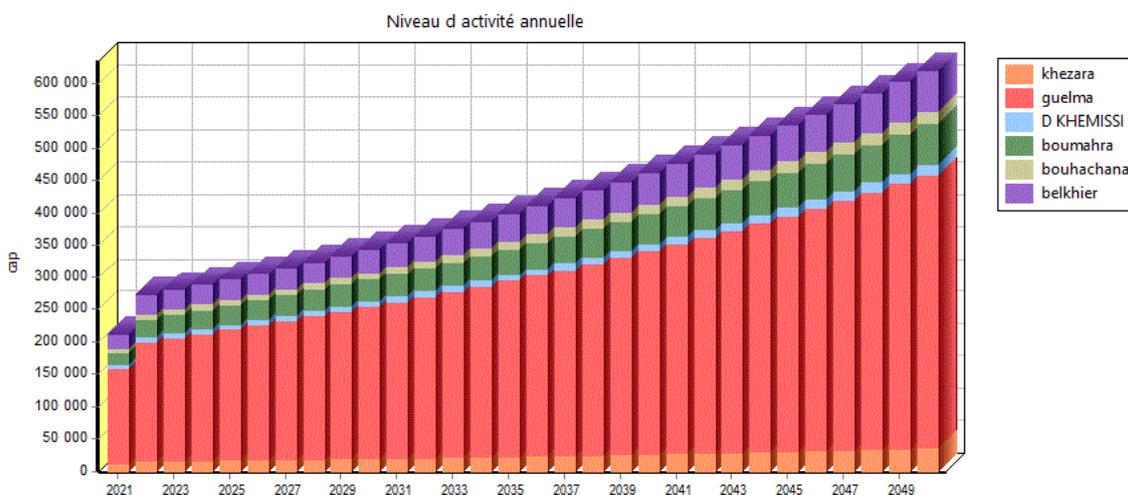


Fig.26. Nombre d'habitant (deux scénarios)

4.2. Extension des superficies des terres irriguées

La figure 27 montre une nette augmentation des superficies des terres irriguées à travers les six communes étudiées et pour les deux scénarios, passant de 7587ha (soit 21.74 % de la SAU) en 2021 à 15247 ha, soit (43.71% de SAU) en 2050 (Fig. 27).

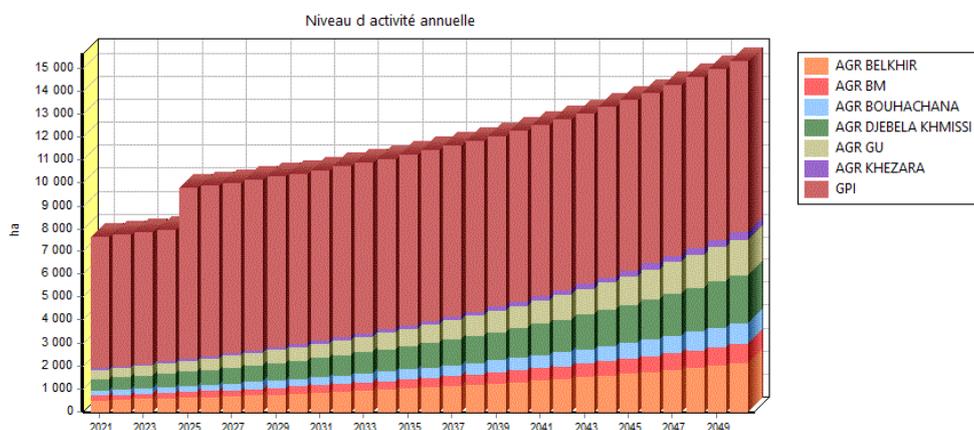


Fig.27. Superficies irriguées dans le bassin versant pour tous scénarios

4.3. Demandes en eau

La demande totale en eau (y compris les pertes) constitue un élément de base dans l'établissement du modèle. Les résultats obtenus montrent une hausse très accentuée dans la zone d'étude passant d'un volume de 58,24 hm³ en 2021 à 97,37 hm³ en 2050. Cependant cette augmentation reste faible pour le scénario de référence (SR), allant de 58,24 hm³ en 2021 à 66,27 hm³

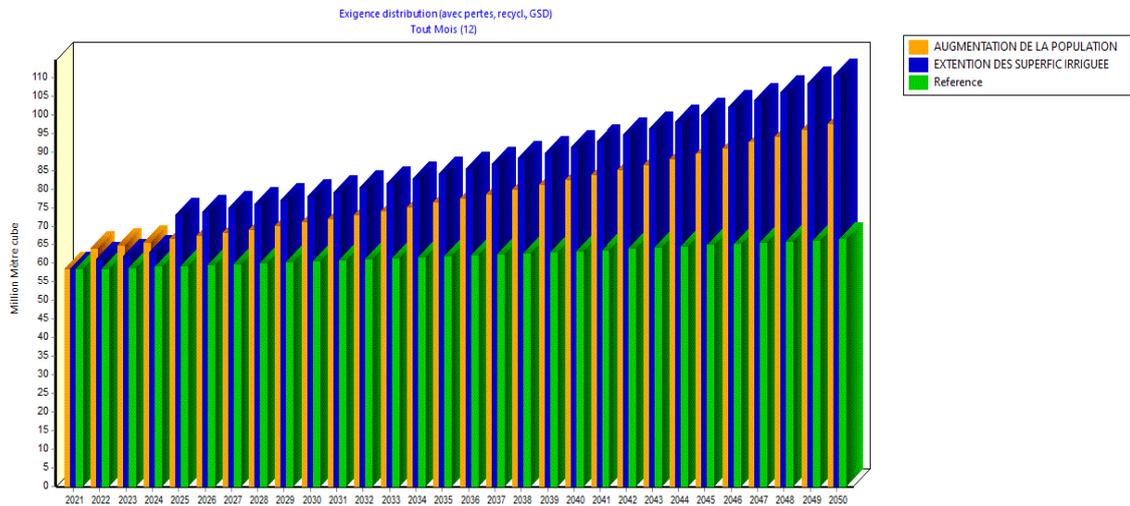


Fig.28. Demandes totales en eau par scénario (2021-2050)

4.4. Besoins totaux en eau

D'après les résultats obtenus, pour les besoins totaux en eau, on constate une augmentation considérable allant d'un volume de 44.80 hm³ à plus de 89.05 hm³ pour les deux scénarios adoptés et principalement le scénario de l'extension des superficies irriguées. L'augmentation des besoins en eau pour le scénario de référence est légère allant d'un volume de 44.80 hm³ en 2021 à 50.52 hm³ en 2050, suite à une augmentation modérée de la population (Fig. 29).

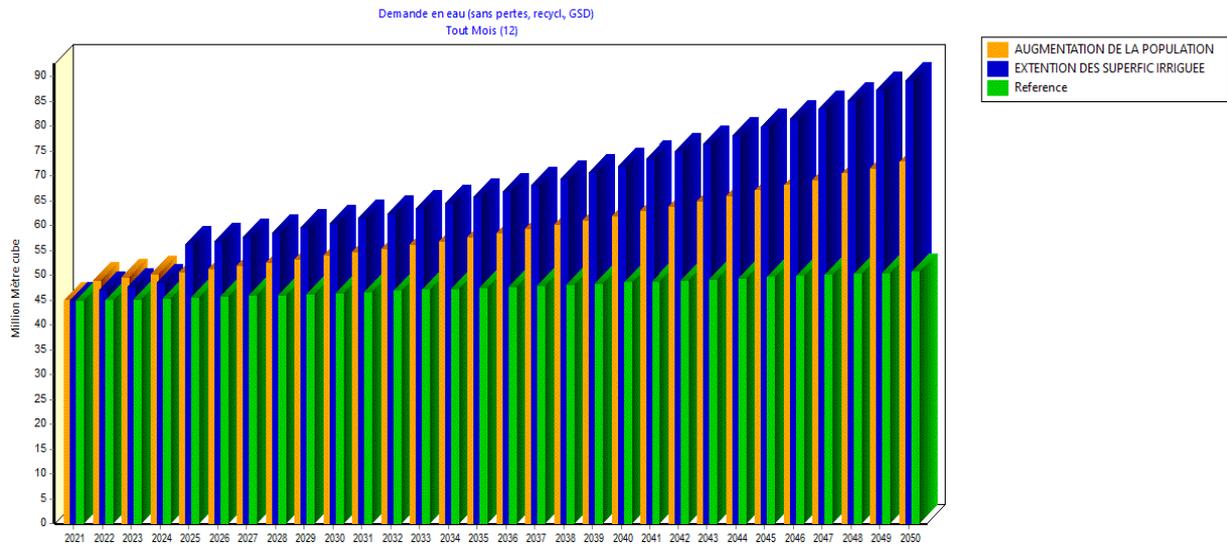


Fig.29. Besoins totaux en eau par scénario (2021-2050)

4.5.Eau distribuée

La figure ci-dessous relative au volume d’eau distribué pour tous les usagers, révèle un passage très important, d’un volume d’environ 32.09 hm³ en 2021 à 91.72 hm³ en 2050 pour tous les scénarios adoptés. Cette augmentation de volume commence à prendre de l’ampleur (60.67 hm³) à partir de l’année 2021, ce qui peut s’expliquer par la prévision d’atteindre un périmètre d’irrigation de 1700 ha dans la commune de Khezaras. (Fig. 30). Pour le scénario de référence on enregistre une faible augmentation de la distribution, à cause de la faible augmentation de la population, allant de 32.09 hm³ en 2021 à 58.44 hm³ en 2050.

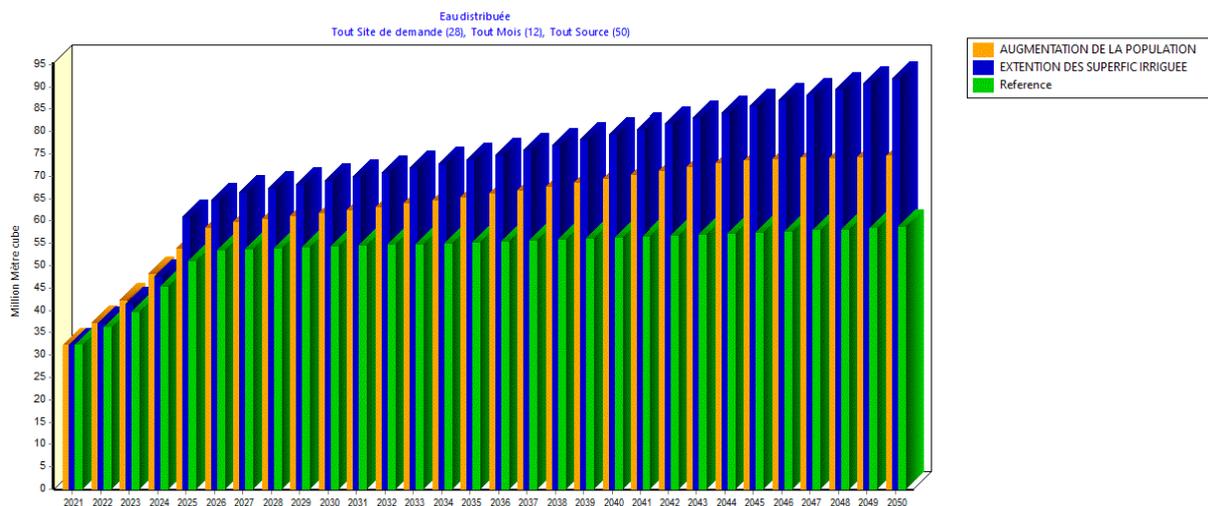


Fig.30. Volume en eau distribué pour tous les usagers par scénario (2021-2050)

4.6. Demandes en eau non satisfaites

D'après la figure ci-dessous, on remarque que le volume d'eau non satisfaite est estimé à 26.15 hm³ au cours de l'année de référence 2021. A partir de cette année on constate une diminution jusqu'à l'an 2025 où s'amorce un changement se traduisant par une augmentation du déficit interprétée par un manque de 18.56 hm³ pour le scénario de l'extension des terres irriguées et 23.13 hm³ pour le scénario de l'augmentation de la population à la fin de la période de simulation (2050). (Fig. 31).

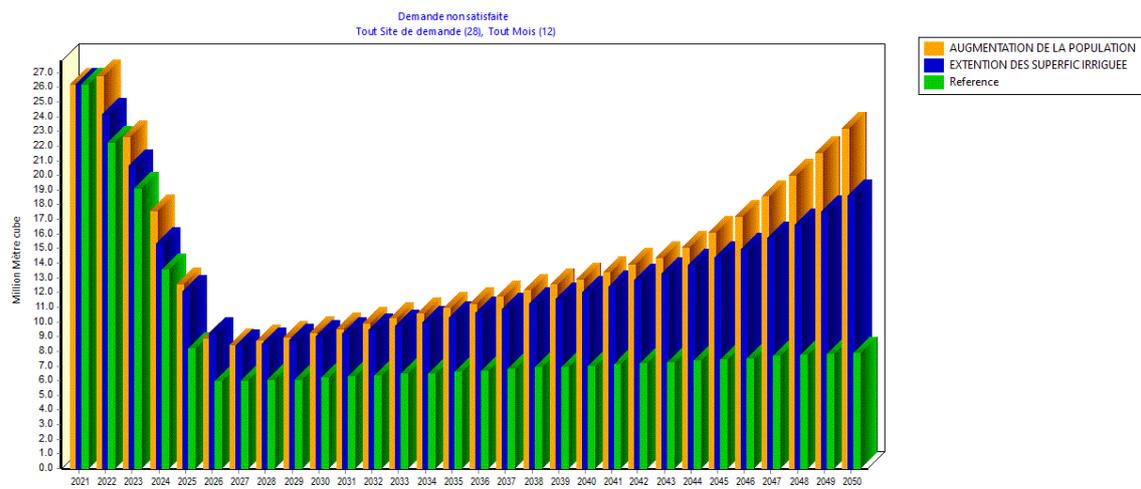


Fig.31. Volume de demande en eau non satisfaite par scénario (2021-2050)

5. Conclusion

La région d'étude a connu ces dernières années un grand développement socio-économique ce qui a engendré des répercussions néfastes sur les ressources en eau.

Pour bien simuler l'évolution de ces ressources et de faire des prévisions d'ici jusqu'à l'an 2050, et pour une bonne gestion, nous avons utilisé le logiciel WEAP 21.

Les résultats obtenus pour les six communes étudiées ont montré que ces régions sont déjà en stress hydrique, ils souffrent de rareté de l'eau et sensibles aux conditions de sécheresse.

On note que la demande en eau a doublé pour les différents secteurs utilisateurs de l'eau (AEP, AEA). La quantité de demande non satisfaite en eau est supérieure à l'eau fournie ; Les ressources disponibles telles que les précipitations et les infrastructures de collecte et de stockage de l'eau sortante, y compris les réservoirs d'eau souterraine naturels, n'ont pas réussi à répondre aux besoins actuels et futurs dans la zone d'étude.

Les scénarios de changement climatique et d'extension des périmètres irrigués retenus pour cette étude, montrent un stress hydrique dès l'année de référence 2021 avec un déficit de 18.56 hm³ et ce dernier passera à plus de 23 hm³ en 2050.



CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

La gestion intégrée s'impose aujourd'hui comme une approche incontournable pour une gestion durable des ressources en eau et une base nécessaire à toute politique raisonnée de l'eau.

Le présent travail avait pour objectif l'étude prospective de la balance offre-demande en eau dans la région de Guelma. Pour cela le logiciel WEAP 21 a été utilisé comme outil d'aide à la décision. L'étude a concerné six communes qui sont incluses à 100% dans le bassin versant. Au terme de ce travail, nous pouvons tirer de la présente étude les points essentiels suivants :

Pour une superficie de 3686,84 km² la wilaya de Guelma compte 506.007 habitants, Les communes les plus peuplées sont situées à proximité de l'oued Seybouse au centre de la région. Le nombre total des habitants dans les six communes étudiées est de 208928 habitants.

La région de Guelma fait partie du domaine externe de la chaîne alpine de l'Algérie orientale, elle est caractérisée par des formations âgées du Trias au Quaternaire, présentant ainsi une lithologie très variée.

La région de Guelma reçoit des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 613.89 mm et une température moyenne annuelle de l'ordre de 17.4 C°.

L'évapotranspiration potentielle (ETP) total est de l'ordre de 928.2 mm, où L'ETP atteint son minimum au mois de Février (15.7 mm) et son maximum au mois de Juillet (202 mm). L'Evapotranspiration réelle (ETR) totale est de 440.7 mm. Le déficit agricole est égal à 487.5 mm. L'écoulement (excédent) commence au mois de Décembre et termine en mois de Mars avec un maximum au mois de janvier et un minimum vers la fin de la période d'écoulement (L'excédent annuel est égal à 173.2 mm).

Le couplage des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques des formations de la région d'étude, a permis de distinguer un ensemble du remplissage mio-plio-quaternaire, capable de constituer deux réservoirs d'eau :

- le réservoir de la nappe superficielle, représenté par des alluvions, constituées essentiellement par des sables, cailloutis, galets, limons et conglomérats ;
- le réservoir de la nappe des hautes terrasses, représenté par des galets, conglomérats, limons et sable.

Les ressources en eau dans la région proviennent des :

- des eaux de surface essentiellement de l'oued Seybouse et ses principaux affluents, qui sont alimentés principalement par les eaux pluviales en plus des ouvrages hydrauliques (Barrage Bouhamdane)
- des eaux souterraines issues de trois nappes (Guelma, Héliopolis et H'lia) et captées par des forages et des puits ;

Conclusion générale

- des eaux non conventionnelles (STEP de Guelma)
- sources thermales.

Les résultats du modèle suggèrent que les ressources en eau dans les six communes étudiées sont vulnérables à des facteurs tels que la croissance démographique (6191773 habitants en 2050) et l'extension des terres irriguées (15247 ha en 2050), alors que la demande en eau augmente rapidement (97,37 en 2050).

Au rythme actuel, la demande non satisfaite croît de manière exponentielle (18.56 hm³ en 2050) en particulier pour l'agriculture dans les années à venir, alors que les ressources en eau ont tendance à diminuer ou à rester les mêmes. Il est donc nécessaire de rechercher des solutions immédiates et durables à ce risque.

Recommandations

Pour pallier au déficit d'eau dans la région, on recommande de :

- Augmenter la capacité de stockage, minimiser les pertes et explorer d'autres réservoirs beaucoup plus rentables
- Mobiliser de nouvelles ressources, qui donne des possibilités d'amélioration par rapport à la situation actuelle tel que :
 - ✓ Utilisation agricole des eaux usées épurées avec un traitement tertiaire
 - ✓ Utilisation industrielle des eaux usées épurées
 - ✓ Encourager le recyclage des eaux industrielles,
 - ✓ La compensation du déficit par le dessalement de l'eau de mer et l'économie de l'eau ;
 - ✓ Réalisation de nouveaux barrages.



RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

A.B.H., (2005) : A.B.H., 2005 Les cahiers de l'agence. Les eaux souterraines dans le bassin de la Seybouse, Rapport interne 1- 46.

A.K.AZZEDINE, (2006): AZZEDINE ABDEL KRIM. « Suivi du rendement épuratoire de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Guelma ». Mémoire de master .université de Guelma (Algérie), 2016. 124p.

Aissaoui Marwa (2018) : Aissaoui marwa. 2018. CARACTERISTIQUES HYDRO CHIMIQUES DES EAUX DEL'OUED SEYBOUSE ET SES AFFLUENTS DANS LA REGION DE GUELMA - QUANTIFICATION DU DEGRE DE LA POLLUTION, 179p.

ANDRIANARIVONY Andoniaina, (2016) : ANDRIANARIVONY Andoniaina, 2016. «MODELISATION HYDROLOGIQUE PAR WEA21 POUR UNE GESTION INTEGREES DES RESSOURCES EN EAU : CAS DU BASSIN VERSANT DE LA LOKHO (Nord-Est de Madagascar), 106p.

Aquaportail, (2020) : <https://www.aquaportail.com/definition-13084-ressources-en-eau.html>.

Bedou Y, (2014) : Bedou Y, 2014 Evaluation de la toxicité des eaux usée traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon (allium cepa) thèse de doctorat, université Badji Moukhtar Annaba, Algerie, 113 pages.

Bedou Y, (2014) : Evaluation de la toxicité des eaux usée traitées par la station d'épuration deGuelma et son impact sur l'oignon (allium cepa) thèse de doctorat, université Badji Moukhtar Annaba, Algerie, 113 pages.

CASTANY (1982) : « Principes et méthodes de l'Hydrogéologie », Edition Dunod, 238p.

CASTANY (1998) : «Hydrogéologie-Principes & méthodes », Edition Dunod, 236p.

DDA. 2010 : Direction du Développement Agricole dans les Zones Arides et Semi Arides, 2010

DPAT. (2006) : DPAT, 2006 Direction de Planification et d'Aménagement du Territoire de Guelma

Droogers et Bastiaanssen. (2002): Droogers, P ; Bastiaanssen, W. 2002. Irrigation performance using hydrological and remote sensing modeling. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 128(1) :11-18.

Erhard C. A., Margat, J. (1979) : Introduction à l'économie générale de l'eau. BRGM, Orléans, France.46p.

Gaud B. (1976) : Gaud B., (1976). Etude hydrogéologique de la nappe alluvionnaire de Guelma. Rapport interne. 318-333.

Georges Gangbazo, (2004) : MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT (2004). La gestion intégrée de l'eau par bassin versant : concepts et application ENV/2004/0062, 58 p.

Guergueb, Ferhat. (2021) : Dr.Guergueb Mebarek, Dr Ferhat Abderrazak La gestion des eaux en Algérie : Vers un nouveau paradigme-Water management in Algeria : Towards a new

Références bibliographiques

paradigm Journal of Advanced Economic Research / V : 06 (ISS : 01) / 2021.PISSN : 2572-0198 / EISSN : 2676 -1572. 13p (304-315).

Guettaf, (2015) : GUETTAF Mohamed Caractérisation hydrochimique et évaluation des indicateurs de pollution dans l'environnement : cas de l'oued Seybouse et ses affluents dans le sous bassin de Guelma (Nord-Est Algérien), 150 pages.

GWP, PNUD. (2005) : GWP, PNUD (2005) : « Plans de gestion intégrée des ressources en eau », Manuel de formation et guide opérationnel, Mars 2005, 72p.

HOCINE SOUAAD, (2016) : CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA QUALITE PHYSICO-CHEMIQUE DES EAUX DE SURFACES DE L'OUED SEYBOUSE, 96p.

Intellego, (2016) : <http://www.intellego.fr/>, consulté le 22 Juillet 2016.

Kiniouar, (2017) : Hocine Kiniouar Analyse multicritère et caractérisation du modèle de gestion intégrée des ressources en eau de la vallée du Rhumel, 164p.

MAHAMOUD Daroussi. (2010) : MAHAMOUD. D. (2010) : « Modélisation avec WEAP21 en vue d'une gestion intégrée des ressources en eau du bassin versant lacustre d'Alaotra », Mémoire DEA, Option : Génie minéral, ESPA, Université d'Antananarivo, 75p.

Maou.A,(2022) : Mme Maou. A. Cours hydrologie 1 (option : hydrogéologie appliquée + géologie de l'ingénieur). https://iast.univsetif.dz/documents/Cours/Hydrogeologie1_BassinVersant_MaouA.pdf . 4p .

MCCARTNEY et al. (2009) : Matthew McCartney¹, Yosif A. Ibrahim², Yilma Sileshi³ and Seleshi Bekele Awulachew¹ Application of the Water Evaluation and Planning (WEAP) Model to Simulate Current and Future Water Demand in the Blue Nile, 78-88p .

Messahel m. (2005) : Messahel M., Benhafid M.S., Ouled Hocine C. Efficacité des systèmes d'irrigation en Algérie. In: Lamaddalena N. (ed.), Lebdi F. (ed.), Todorovic M. (ed.), Bogliotti C. (ed.). Irrigation systems performance. Bari : CIHEAM, 2005. p. 61-78 (Options Méditerranéennes : Série B. Etudes et Recherches ; n. 52).

Mongi SGHAIER, all. (2006) : Mongi SGHAIER*, Naceur MAHDHI*, Monder FETOUI*, Ounalli NIHAYA*.La gestion intégrée des ressources en eau à l'échelle de bassin versant en zones arides : Proposition méthodologique et applications. NEW MEDIT N. 4/2006. Jel classification : Q250, O210.

Mouchara N. (2009) : Impacts des lâchées de barrage Hammam Debagh sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont (Nord Est Algérien). Mémoire de Magistère. Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie, 141p.

ONA, (2017) : ONA, 201 offices nationaux de l'assainissement.

P. Droogers et all. (2011) : P. Droogers, W. Terink, J. Hunink, J.H. Kauffman & G.W.J. van Lynden 2011. Options de gestion de l'eau verte dans le bassin du Sebou, Maroc – Analyse avantages-coûts utilisant le modèle WEAP. Green Water Credits Report M2a; ISRIC – World Soil Information. 36 p.

Références bibliographiques

R. Clarke, J. King, (2004) : R. Clarke, J. King, 'The atlas of Water', Earthscan Publications, 2004. ISBN: 1-565849183 . Read more : https://www.lenntech.fr/francais/eaux_souterraines/references.htm#ixzz7W7mpk4HP .

SEI, (2008) : SEI, (2008) : “WEAP: système d’évaluation et de planification des ressources en eau,” Tutorial: a stand-alone modules collection to help learn WEAP software. Tellus Institute, Boston .

SEI,(2007) : SEI, (2007) : “WEAP: user’s guide for WEAP21,” Stockholm Environment Institute, Boston .

Slatni Ibtissem, (2014) : Slatni Ibtissem, 2014. Etude de la destruction ou la perturbation des espèces végétales par la Pollution DSA, 2012 Direction des services agricoles, 87p.

Stanley E. Manahan, (2005) : Stanley E. Manahan, ‘Environmental Chemistry – Eight edition’, CRC Press, 2005. ISBN: 1-566706335 Read more: <https://www.lenntech.fr/francais/eaux-souterraines/references.htm#ixzz7W7mMLmJL>.

Toubal. (1984) : Toubal, E. Radziszewski, M. Asmani, M. Ourak, B. Nongaillard 1984 CARACTERISATION DU SANG PAR ULTRASONS HAUTES FREQUENCES. Journal de Physique IV, 1992, 02(C1), pp.C1-771-C1-774. <10.1051/jp4:19921168>. <jpa-00251128> .

WEAP User Guides (2015) : WEAP User Guides [http : //www.weap21.org/](http://www.weap21.org/), consulté le 12 Décembre 2015.

wikipedia,(2022) : https://fr.wikipedia.org/wiki/Ressource_hydrique .

ZELLA, (2006) : L. ZELLA 1, D. SMADHI, 2006. GESTION DE L’EAU DANS LES OASIS ALGERIENNES, Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface Larhyss/Journal n°05, Juin Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n° 05, Juin 2006, pp.149-156.