



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère De l'Enseignement Supérieur et De la Recherche Scientifique

Université Abbès Laghrou Khenchela

Faculté des Sciences de la Nature Et de la Vie

Département Ecologie et Environnement

MEMOIRE

De fin d'étude pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADIMIQUE

FILIERE: Ecologie et environnement

OPTION: Protection des écosystèmes

Thème

**Contribution du SIG (WEAP) dans la
gestion des ressources en eau (cas de la
wilaya de Khenchela, Nord-Est Algérien)**

Présenté Par :

ZERDOUM Amel

BOULBIR Soria

Devant le jury

<i>-Président : Moudjari Zobir</i>	M.A.A	<i>Univ. Khenchela</i>
<i>-Encadreur: Dali Naouel</i>	M.A.A	<i>Univ. Khenchela</i>
<i>-Examinatrice: Dib Dounia</i>	M.A.A	<i>Univ. Khenchela</i>

Année 2017- 2018

Remerciement

Nous remercions le bon Dieu tout puissant de nous avoir accordé volonté et patience dans l'accomplissement de ce travail.

*Nos remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail en particulier :
A Mlle. Dali Naouel, pour avoir accepté de nous encadrer et de nous diriger, qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.*

*A Mr. Moudjari Zobir, pour l'honneur qu'il nous a fait en Présidant le jury de notre mémoire A Mme. Dib Dounia,
Pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

Nous n'oublions pas nos parents pour leur contribution, leur soutien leur patience.

Merci à tous et à toutes.

Dédicace

*Après cette réussite que fait la joie
À tous qui m'aime. Je dédie ce modeste travail avec vif plaisir à
ceux qui sont les plus proches à mon cœur, qui mon toujours
aimer et qui ont fait toute leurs force pour que je sois toujours
heureuse.*

*Mes très chers parents. Qui mon se tenus durant toute ma vie,
sans eux je serai rien.*

À mes frères

À mes sœurs

À mes petite anges Ghofrane Moundhir Monsaf Nourcine

*À mes amis Fatin Khawla Amina Touta Nouna Soria Meriem
Hajar Dikra Imen*

AMEL ZERDOUM

Dédicace

Je dédie ce modeste travail avec vif plaisir à ceux qui sont les plus proches à mon cœur, qui m'ont toujours aimée et qui ont fait toute leurs force pour que je sois toujours heureuse.

A Mes parents

A Mes frères : Ilhem Wissame Sara

A mes fidèles amies : Meriem Djamilia Nadia Asma Amel

A tous les enseignants que j'ai connus.

A ceux et à celles qu'ils ont l'esprit écologique dans le monde.

BOULBIR SORIA

Résumé



La gestion des ressources en eau en Algérie pose un problème épineux aux autorités. Les ressources disponibles sont en deçà des besoins. La vétusté des réseaux d'adduction et la capacité de stockage déficiente entravent la bonne distribution de l'eau aux consommateurs. La dotation journalière par habitant reste faible par rapport aux normes internationales.

Pour le cas de la wilaya de Khenchela (Est algérien), qui est une wilaya à vocation agro - pastorale, elle est dotée d'une réserve en eau superficielle et souterraine faible, ainsi qu'un réseau de distribution d'eau potable dégradé dont les pertes avoisinent les 50%.

Les multiples approches combinées aux modèles d'optimisation du système de gestion de l'eau permettent de fournir des éléments de réponse à cette problématique et d'asseoir une stratégie de l'eau, notamment dans le secteur agricole. A cet effet, le modèle WEAP (Water Evaluation and planning System) recommandé par la FAO s'avère une alternative incontournable en tant qu'outil de prévision des ressources en eau, simulant l'offre et la demande. La politique de la mobilisation intense des ressources en eau trouvera à court termes ses limites physiques et économiques, pour remédier à cette problématique il faut la conjuguer à une politique de gestion de la demande.

Mots clés : gestion, besoins, consommateurs, Khenchela, WEAP, offre, demande

Abstract

The management of water resources in Algeria poses a thorny problem to the authorities. The resources available are below what is needed. Obsolete water supply networks and inadequate storage capacity hinder the proper distribution of water to consumers. Daily per capita provision remains low by international standards.

In the case of the wilaya of Khenchela (Eastern Algeria), which is an agricultural wilaya, it has a low surface and underground water reserve, as well as a degraded drinking water distribution network with losses of around 50%.

The multiple approaches combined with the optimization models of the water management system make it possible to provide answers to this problem and to establish a water strategy, particularly in the agricultural sector. To this end, the WEAP (Water Evaluation and Planning System) model recommended by the FAO is proving to be an essential alternative as a water resources forecasting tool, simulating supply and demand. The policy of intensive mobilization of water resources will find its physical and economic limits in the short term; to remedy this problem, it must be combined with a demand management policy.

Keywords: management, needs, consumers, Khenchela, WEAP, supply, demand.

ملخص

تشكل إدارة الموارد المائية في الجزائر مشكلة شائكة بالنسبة للسلطات, لان الموارد المتاحة أقل من المتطلبات, وتعيق شبكات الإمداد المتداعية وسوء القدرة التخزينية التوزيع السليم للمياه للمستهلكين , لا يزال نصيب الفرد من الدخل اليومي منخفضاً وفقاً للمعايير الدولية.

في حالة ولاية خنشلة (شرق الجزائر) ، وهي ولاية ذات طابع زراعي ، يوجد بها احتياطي ضئيل من المياه السطحية و الجوفية ، وشبكة توزيع مياه الشرب بها متدهورة يقارب حجم خسائر المياه بها حوالي 50٪.

تتيح المقاربات المتعددة المقترنة بنماذج التحسين لنظام إدارة المياه توفير عناصر الاستجابة لهذه المشكلة ووضع إستراتيجية مائية ، خاصة في القطاع الزراعي .

ولهذه الغاية فان نموذج (WEAP) نظام تقييم و تخطيط المياه الذي أوصت به منظمة الأغذية و الزراعة الدولية هو بديل لا يمكن الاستغناء عنه كأداة للتنبؤ بالموارد المائية, ومحاكاة العرض والطلب. إن سياسة التعبئة المكثفة للموارد المائية سوف تجد على المدى القصير حدودها المادية والاقتصادية، ولعلاج هذه المشكلة، من الضروري دمجها مع سياسة إدارة الطلب.

الكلمات المفتاحية : إدارة ، احتياج، المستهلكين، خنشلة ، WEAP العرض، الطلب .

Liste des abréviations

AEP	: Alimentation en Eau Potable
ANRH	: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
ABH	: L'Agence de Bassin Hydrographique
ANDI	: Agence Nationale de Développement de l'Investissement
ANAT	: Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire
ANIRF	: Agence Nationale d'Intermédiation et de Régulation Foncière
APS	: Algérie Presse Service
BTP	: Bâtiment et Travaux Publics
CGG	: Compagnie Générale de Géophysique
CLW	: Collège Louise Wigman
C°	: Degré Celsius
DPAT	: Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire
DSP	: Directions de Santé et de la Population
DPAT	: Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire
DHWK	: La Direction d'Hydraulique de la Wilaya de Khenchela
DSA	: Direction des Services Agricoles
DPSB	: Direction de Programmation Suivie Budgétaire
ENATB	: Entreprise Nationale d'Ameublement et de Transformation du Bois
ENEH	: Entreprise Nationale des Etudes Hydrauliques
Etc	: Etcetera
ha	: Hectare
hab	: Habitant
eq/H	: équivalent par habitant
hab/Km²	: Habitant par kilomètre carré
Km	: Kilomètre

Km²	: Kilomètre carré
l/j/hab	: Litre par jour par habitant
m³	: Mètre cube
m³/j	: Mètre cube par jour
m³/an	: Mètre cube par année
m³/an/hab	: Mètre cube par année par habitant
m³/an/ha	: Mètre cube par année par hectare
PNE	: Plan National de L'eau
P	: Précipitation
SIG	: System d'information Géographique
SARL	: La Société à Responsabilité Limitée
SEI	: Stockholm Environment Institute
SAU	: Superficie Agricole Utile
STEP	: Station d'épuration
T max	: Température maximale
T min	: Température minimale
T moy	: Température moyenne
WEAP	: Water Evaluation and Planning System
%	: Pourcentage

N°	Liste des figures	Page
01	La situation géographique de la wilaya de Khenchela	05
02	La situation administrative de la wilaya de Khenchela.....	07
03	La géologie de la wilaya de Khenchela.....	08
04	La répartition des zones naturelles de la Wilaya de Khenchela.....	09
05	Les reliefs de la wilaya de Khenchela.....	11
06	Variation des températures moyennes mensuelles de la période (1994-2014).....	13
07	Les précipitations moyennes mensuelles de la wilaya de Khenchela (1994-2014).....	14
08	Carte des principales zones aquifères au niveau de la wilaya de Khenchela	21
09	Les cinq affichages du modèle WEAP.....	29
10	Fenêtre cartographie WEAP.....	30
11	Fenêtre basse de données.....	31
12	Carte de L'Algérie sur WEAP.....	34
13	Réglage du paramètre de temps sur WEAP.....	34
14	Schéma de modélisation de la distribution des ressources en eau au niveau de la wilaya de Khenchela.....	35
15	Création du scénario (capture d'écran).....	36
16	Fenêtre mode d'entrée des données (capture d'écran).....	37
17	Fenêtre « sites de demandes » avec les données et graphes (capture d'écran)	37
18	Fenêtre « eau souterraine » avec les données et graphes (capture d'écran)...	38
19	Fenêtre « Retenu locale » avec les données et graphes (capture d'écran).....	38
20	La demande en eau sans perte du scénario de référence.....	39
21	La demande en eau sans perte du scénario de référence.....	39
22	La demande en eau avec perte du scénario référence.....	40

23	La demande en eau avec perte du scénario référence.....	40
24	La demande en eau sans perte du scénario gestion de la demande.....	41
25	La demande en eau sans perte du scénario gestion de la demande.....	41
26	La demande en eau avec perte du scénario gestion de la demande.....	42
27	La demande en eau avec perte du scénario gestion de la demande.....	42
28	Demande en eau non satisfaite des Scénarios	43

N°	Liste des tableaux	Page
01	Les différents daïras de la wilaya de Khenchela.....	06
02	Les températures de la wilaya de Khenchela durant la période (1994-2014)	13
03	précipitations moyennes mensuelle durant la période (1994-2014).....	14
04	Densité de population par commune.....	15
05	La surface agricole utile et irriguée au niveau de la wilaya de Khenchela...	16
06	Unité industrielles dans la wilaya de Khenchela.....	17
07	Principales caractéristiques du barrage de Babar.....	22
08	Principales caractéristiques du barrage de Foum El-Guiss.....	23
09	Demande en eau pour les superficies irriguées au niveau de la wilaya de Khenchela.....	25
10	La dotation au niveau de la wilaya de Khenchela.....	26

Sommaire

Introduction générale	01
------------------------------------	----

Chapitre 1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1.1.	Situation géographique.....	05
1.2.	Découpage administratif.....	06
1.3.	Aperçu géologique.....	07
1.4.	Géomorphologie et relief.....	09
1.4.1.	Aperçu géomorphologique.....	09
1.4.2.	Le relief.....	10
1.5.	Hydrogéologie de la wilaya de Khenchela.....	12
1.6.	Hydro- climatologie	12
1.6.1	Le climat.....	12
1.6.2.	La température.....	12
1.6.3.	Les précipitations.....	13
1.7.	Aperçu socioéconomique	14
1.7.1.	Population.....	14
a	Donnée générale	14
b	Densité de la population par commune.....	15
1.7.2.	Agriculture.....	16
1.7.3.	Industrie.....	17
a	Nombre des zones d'activités et des zones industrielles.....	18
b	Principales activités installées dans ces zones.....	18

Chapitre 2

RESSOURCES ET DEMANDE EN EAU

2.1.	Ressources en eau.....	20
2.1.1.	Les ressources hydriques souterraines.....	20
a	L'aquifère du Quaternaire.....	20
b	L'aquifère du Miocène.....	20
c	L'aquifère du Crétacé.....	21
2.1.2.	Les ressources hydriques superficielles	22
a	Oued Gueiss.....	22
b	Barrage de Babar.....	22
c	Barrage de Foum El-Gueiss	22
2.1.3.	Les ressources hydriques non conventionnelles.....	23
a	La STEP de Khenchela.....	23
b	La STEP de Kais.....	24
c	La station de traitement de Babar.....	24
2.2.	La demande en eau	24
2.2.1.	Demande en eau pour l'irrigation.....	24
2.2.2.	Demande en eau industrielle.....	25
2.2.3.	Demande en eau domestique.....	26

Chapitre 3

MODELISATION DE LA WILAYA DE KHENCHELA SUR WEAP

3.1.	Présentation du logiciel WEAP.....	28
3.1.1.	Description du logiciel.....	28
3.1.2.	Les objectifs du logiciel.....	28
3.1.3.	Acquisition du logiciel.....	29
3.1.4.	Structure du logiciel.....	29
a	Cartographie.....	30
b	Base de données.....	30
c	Présentation des résultats.....	32

d	Représentation graphique	32
e	Bloc Notes.....	32
3.1.5.	Fonctionnement du Logiciel.....	32
a	Créer une zone d'étude.....	32
b	Créer les hypothèses clés et références.....	32
c	Proposer des scénarios.....	33
d	Saisir les données.....	33
e	Présenter les résultats.....	33
3.2.	Modélisation de la wilaya de Khenchela par WEAP.....	33
3.2.1.	Cartographie.....	33
a	Création du modèle.....	33
b	Réglage des paramètres généraux.....	34
c	Numérisations des éléments nécessaires dans le modèle.....	35
3.2.2.	Création des scénarios.....	35
a	Changement d'horizon de temps du secteur.....	35
b	Création du scénario 1: Référence.....	36
c	Application de la fonction pour le calcul du taux de croissance de la population	36
3.2.3.	Saisie des données.....	36
3.2.4.	Résultat et discussions	39
a	Scénario 1 : Référence (R)	39
b	Scénario 2 : Gestion de la demande (GD).....	41
c	Comparaison de la demande non satisfaite entre les deux scénarios.....	43
	Conclusion générale.....	44
	Références bibliographiques	
	Annexe	

INTRODUCTION GENERALE



L'eau est un élément vital pour toute société et un facteur prépondérant pour son sort économique. En Algérie, pays à climat généralement aride à semi-aride, la demande en eau, tant pour l'Alimentation en eau potable, que pour l'agriculture et l'industrie ne cesse de s'accroître d'année en année et par conséquent de plus en plus difficile à satisfaire par la conjugaison de la multiplicité des besoins face à leur vulnérabilité de la ressource aux changements climatiques (**Sergma, 2015**).

La politique engagée vise à créer un outil de décision à moyen terme, actualisable ultérieurement sans intervention extérieure, pour le développement et la gestion des ressources hydriques de l'Algérie. Elle s'articule autour des concepts suivants :

- Préciser l'étendue et la qualité des ressources hydriques y compris les ressources non conventionnelles.
- Evaluer les demandes en eau, aujourd'hui et à l'avenir.
- Dresser l'inventaire des infrastructures existantes et projetées, identifier de nouvelles potentialités et engager les actions pour leur mobilisation et transfert.
- Confronter, d'une manière dynamique, les ressources et les besoins et chiffrer les coûts et les bénéfices de chaque variante ainsi que son impact sur l'économie nationale.
- Examiner le cadre institutionnel et son adéquation pour la gestion et la protection de la ressource.

Face à des situations de pénuries ou de déficit chronique, les pouvoirs publics tentent de construire des ouvrages hydrauliques pour stocker les eaux pluviales pour pouvoir les mettre au service des usagers en temps opportun, en quantité suffisante et en qualité souhaitée. Cela se traduit par une programmation, préparée minutieusement, permettant de planifier les actions engagées (**Sergma, 2015**).

La politique algérienne de gestion de l'eau a été, depuis une dizaine d'années, davantage axée sur la mobilisation de nouvelles ressources que sur la recherche d'une meilleure utilisation des ressources déjà disponibles. La priorité a été donnée au développement de « l'offre » et non à la gestion de la demande (**Benblidia, 2011**). Alors que cette politique atteindra à plus ou moins long terme ses limites tant physiques qu'économiques. Les efforts à mener au cours des prochaines décennies doivent se focaliser sur une gestion de la demande.

La réduction des volumes de pertes en eau sur le réseau représente, pour le service de l'eau, un enjeu majeur qui s'inscrit pleinement dans la politique de développement durable. En effet, une stratégie de gestion des pertes efficace permet de réduire le volume prélevé sur la ressource, de réaliser les économies d'énergie liées à la production et à l'élévation du volume perdu, ou encore de limiter les risques de déstabilisation des sols liés à la persistance de fuites

dans certaines zones sensibles. La maîtrise des pertes en eau résulte de la mise en œuvre conjointe de travaux de renouvellement du réseau (patrimoine canalisations et branchements) et d'actions d'exploitation telles que la recherche de fuite ou la gestion des pressions **(Benamara, Chekima, 2015)**.

Pour le cas de la wilaya de Khenchela (Est algérien), qui est une wilaya à vocation agricole, elle est dotée d'une réserve en eau superficielle et souterraine faible, ainsi qu'un réseau de distribution d'eau potable dégradé dont les pertes avoisinent les 50%.

L'objectif de cette contribution consiste à étudier l'efficacité d'une politique de gestion des ressources en eau basée sur la maîtrise des pertes au niveau des réseaux d'alimentation en eau potable ainsi que les systèmes d'irrigation.

La démarche adoptée est basée sur l'application du modèle WEAP (Water Evaluation and planning System), développé par SEI (Stockholm Environment Institute) et recommandé par le FAO en tant qu'outil de prévision des ressources en eau, simulant l'offre et la demande.

Ce logiciel d'optimisation permettra de fournir des éléments de réponse à la problématique de la gestion de l'eau à l'échelle d'un bassin, notamment :

- évaluation des besoins en eau par chaque secteur d'utilisation.
- modélisation, simulation et optimisation de la gestion des ressources en eau.

Pour atteindre ces objectifs, le présent mémoire est structuré en quatre chapitres il débute par une introduction et s'achève par une conclusion. Les trois chapitres sont comme suit :

- Le premier chapitre, est consacré à une présentation de la zone d'étude.
- Le second chapitre, ressources et demande en eau.
- Dans le troisième chapitre est consacré à la modélisation de la wilaya de khenchela sur WEAP.

Chapitre 1

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE



1.1. Situation géographique

La wilaya de Khenchela est située à une distance de 550 km à l'est du capital (Alger). Située à l'est du pays, au sud-est du Constantinois, et au contrefort du mont des Aurès, la wilaya de Khenchela s'étend sur une superficie de 9.715 km² (DPSB Khenchela, 2016).

De part, sa position géographique, la wilaya de Khenchela est entourée par les wilayas d'Oum el bouaghi à l'est, Batna et Biskra à l'ouest, El Oued au sud et Tébessa, dont les liens demeurent très étroits dans tous les domaines de l'activité économique et sociale, elle constitue également, un trait d'union non moins appréciable entre le Nord/ Est et le Sud du pays. Elle occupe une position géographique entre la chaîne steppique et les hauts plateaux, ce qui lui donne un caractère forestier agro-pastoral et saharien (DPSB Khenchela, 2016).



Figure 01. La situation géographique de la wilaya de Khenchela.

1.2. Découpage administratif

D'après **Boubelli (2009)**, La wilaya de Khenchela est issue de la refonte territoriale de 1984. Elle était rattachée entre 1977 et 1984 à trois wilaya différentes:

-Oum El Bouaghi pour l'ex Daïra de Khenchela.

-Tébessa pour la Daïra de Chachar.

-Batna pour la Daïra de Kais.

La wilaya de Khenchela compte 21 communes regroupées en 8 daïra, le tableau suivant représenté les différents daïra et leurs nombres de communes:

Tableau 01. Les différents daïras de la wilaya de Khenchela.

DAIRA	Commune	DAIRA	Commune
Khenchela	Khenchla	Bouhmama	Bouhmama
	Kaïs		Yabous
	Taouzient (Faïs)		Chélia
Kais	R'mila	Chechar	M'sara
	AïnTouila		Chechar
	M'toussa		Djellal
AïnTouila	El Hamma	Ouled Rechache	Kheïrane
	N'sigha		El Ouldja
	Tamza		El Mahmel
	Baghaïa	Zoui	
		Babar	Babar

(Source : DPSB Khenchela, 2016).

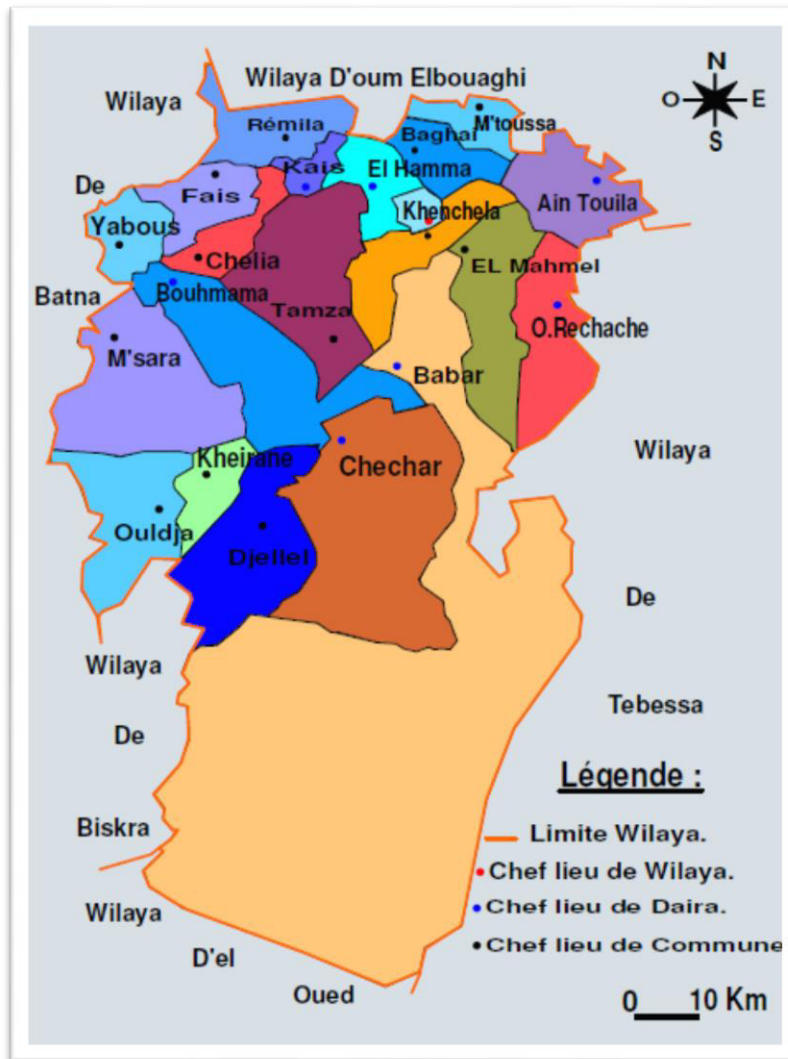


Figure 02. La situation administrative de la wilaya de Khenchela.

(Source : Boubli, 2009).

1.3. Aperçu géologique

D'après **Khabthane (2010)**, La région de Khenchela est caractérisée par trois (03) zones naturelles qui peuvent être distinguer comme suit:

- Au Nord : c'est le bassin miocène de Timgad et de Douffana. C'est une zone plate, steppique qui correspond à la bordure méridionale de la grande dépression de Garat El Taref.
- les parties occidentales et centrales constituent la terminaison périclinale Nord/Est de la chaîne des Aurès, région caractérisée par les Diapirs triasiques.
- La zone méridionale au Sud constitue les monts des Nememchas ; et plus au Sud, c'est la zone plate qui correspond à la bordure septentrionale du pays des chotts.

Du point de vue tectonique, le territoire de la wilaya de Khenchela est situé au Nord de la flexure sud atlasique. Les reliefs montagneux sont très accidentés par des failles. On rencontre deux principales familles :

La première correspond aux plus grande failles de direction Est/Ouest à Nord-Est/ Sud-Ouest. La seconde celle des plus petites et dont la direction est de Nord-Ouest/Sud – Est. Ces deux types de failles sont verticaux. Il est à noter que les Diapirs ou dômes triasiques, qui se rencontrent dans la partie orientale, empruntent généralement les zones de failles et de faible résistance pour remonter à la surface du sol et affleurer. Du point de vue lithologie et pétrographie, on rencontre des calcaires, des marnes, des argiles, du gypse, des sables, des grès et des conglomérats.

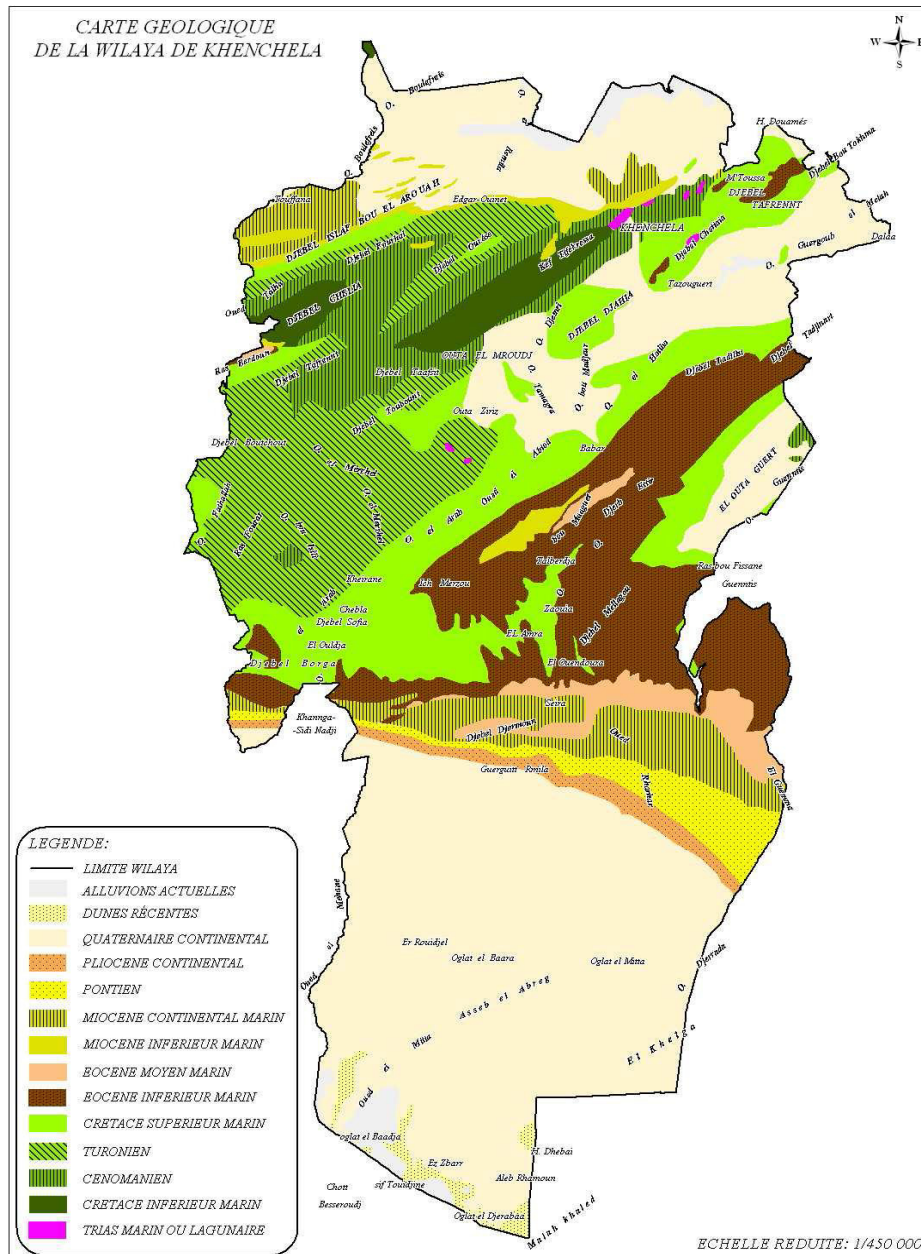


Figure 03. La géologie de la wilaya de Khenchela.

(Source : ANGCM, 2010)

1.4. Géomorphologie et relief

1.4.1. Aperçu géomorphologique

Le territoire de la région de Khenchela est situé dans une zone de transition entre le domaine atlasique, assez plissé au Nord et la plate forme saharienne au Sud. Le contact entre ces deux domaines est très brutal ; est marqué par un grand accident tectonique, appelé « flexure Sud-atlasique » (Khabthane, 2010).

D'après Khabthane (2010), Dans la wilaya, on rencontre deux grands ensembles sédimentaires :

- Un ensemble souple affecté par des plis ayant généralement une direction Sud-ouest/Nord est.
- Un ensemble rigide affecté par des failles.

La structure physique de la wilaya est très hétérogène. Elle se caractérise par trois régions naturelles distinctes :

- Les Hautes plaines au Nord : Couvrent 15% du territoire, c'est une région de plaines à fortes potentialités hydriques qui offrent de grandes possibilités pour le développement agricole.
- La Zone montagneuse : Occupe les parties centrale et Ouest de la wilaya avec 36% du territoire (les massifs des Aurès et les Monts des Nememchas).
- Les parcours steppiques et sahariens : Couvrent la moitié Sud de la wilaya avec 49% de la superficie totale (région à vocation pastorale).

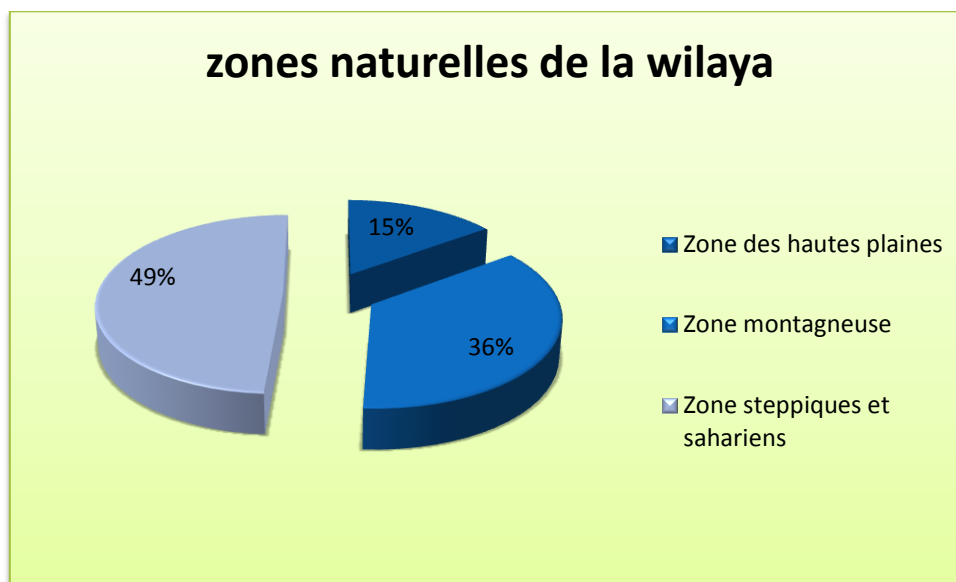


Figure 04. La répartition des zones naturelles de la Wilaya de Khenchela.

(Source : DPAT Khenchela, 2014)

1.4.2. Le relief

D'après **DPAT Khenchela (2014)**, Le relief de la wilaya de Khenchela, est composé de quatre grands ensembles géographiques.

- les montagnes

On les rencontre essentiellement dans la zone Ouest de la wilaya (les Aurès) ; dans la zone centrale (les monts des Nememchas) et au Nord - Est (Ain -Touila).

- les plateaux

Ils sont situés au Nord /Est (plateau de O.Rechache) et s'étendent sur les communes de Mahmel et de Ouled Rechache.

- Les plaines

Elles sont Situées au Nord et Nord /Ouest de la wilaya, elles comprennent Remila, Bouhmama et M'toussa. Il est à noter que ces deux derniers ensembles sont parfois appelés les hautes plaines.

- les parcours steppiques et les dépressions

Ils sont situés dans la partie méridionale de la wilaya. Ils se caractérisent par des terres sablonneuses et par la présence de chotts. Ces derniers constituent ainsi le point de convergence exutoire des oueds drainant le Sud de la wilaya.

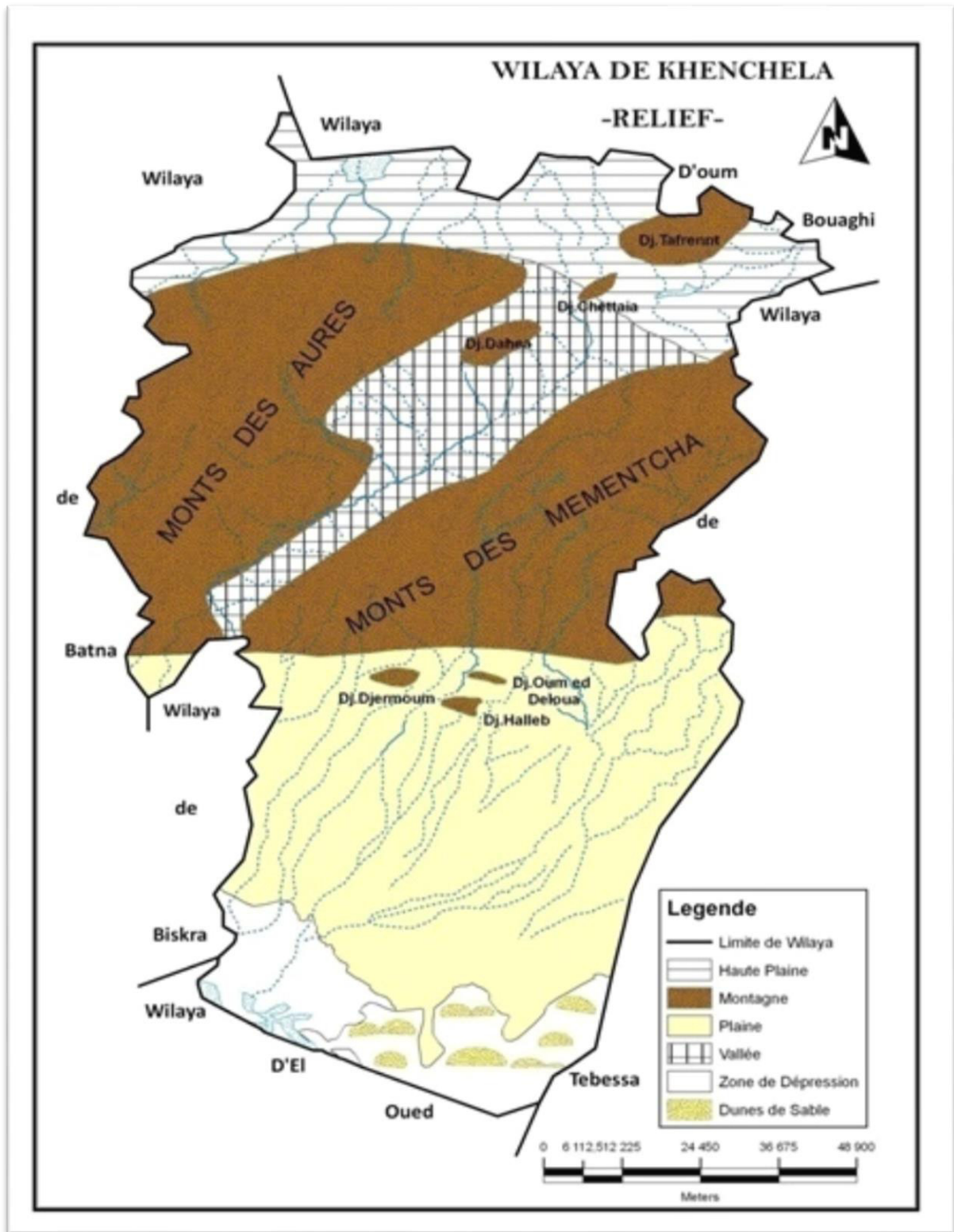


Figure 05. Les reliefs de la wilaya de Khenchela.

(Source : DSP Khenchela, 2015)

1.5. Hydrogéologie de la wilaya de Khenchela

L'étude hydrogéologique repose sur l'identification du système aquifère, sa géométrie, ses limites et son alimentation. L'ensemble du système d'écoulement souterrain est défini par la piézométrie des différentes structures et unités géologiques représentées par quatre types de nappes qui constituent le système aquifère de Khenchela (**Chaffai, 2013**).

-La nappe superficielle : Il s'agit des nappes phréatiques dont la profondeur moyenne varie de 5 à 30 m et sont exploitées essentiellement par des puits (**Chaffai, 2013**).

-La nappe des plaines d'effondrement : Comblées par un remplissage d'alluvions importantes alimentées par les précipitations et les oueds qui les traversent. Leurs profondeurs variant de 100 à 200 m et son d'âge miopliocène. Dans ces plaines d'effondrement on peut associer les nappes des calcaires fissurés du Turonien et du Miocène dont la profondeur dépasse les 300m (**Chaffai, 2013**).

-La nappe des calcaires fissurés : L'épaisseur de certaines formations carbonatées dépassent les 250m et constituent la nappe des calcaires maestrichtiens (**Chaffai, 2013**).

-La nappe des formations continentales : Localisées essentiellement dans la région Sud de la wilaya, leurs profondeurs varient de 200 à 600m (**Chaffai, 2013**).

1.6. Climatologie

1.6.1. Le climat

Le climat est l'ensemble des actions de l'atmosphère (température, pluie, vent,...).

L'irrégularité spatio-temporelle du climat de la région peut avoir des conséquences plus ou moins graves sur la production agricole et les facteurs climatiques sont les plus difficiles à modifier de façon notable (**Ramade, 2003**).

Pour étudier le climat de la zone d'étude, nous avons exploité les données climatiques qui ont été recueillies au niveau de la station météorologique d'El-hamma (khenchela), située à une altitude de 890 m (**Attia, 2015**).

1.6.1.1. La température

La température représente un facteur limitant de toute première, car elle contrôle l'ensemble des phénomènes métabolique condition de ce fait la répartition de totale des espaces et de communautés d'être vivant dans la biosphère (**Ramade, 2003**).

La wilaya de Khenchela se caractérise par trois zones climatiques différentes :(**Attia2015**)

- Dans les hautes plaines, le climat est froid, rigoureux en hiver et chaud en été.
- Dans les zones montagneuses, le climat est très rude en hiver et tempéré en été.
- Dans les parcours sahariens, le climat est doux en hiver, chaud et sec en été.

L'analyse des données du tableau 2 montre que ; le mois le plus froid est janvier avec une température moyenne de 6.69°C, tandis que le mois le plus chaud est juillet avec une température moyenne de 26,80°C, la température moyenne annuelle est de 15,90°C.

Tableau 02. Les températures de la wilaya de Khenchela durant la période (1994-2014).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
T max(C°)	11.14	11.84	16.1	19.15	24.92	30.67	34.74	33.78	27.59	22.19	16.15	11.19
T min(C°)	2.2	2.87	4.92	9.3	11.44	15	18.18	17.68	15.43	11.27	9	3.19
T moy(C°)	6.69	7.35	10.51	14.4	18.81	22.83	26.78	25.73	21.51	16.73	12.57	7.55

(Source : station météorologique d'ElHamma, 2015)

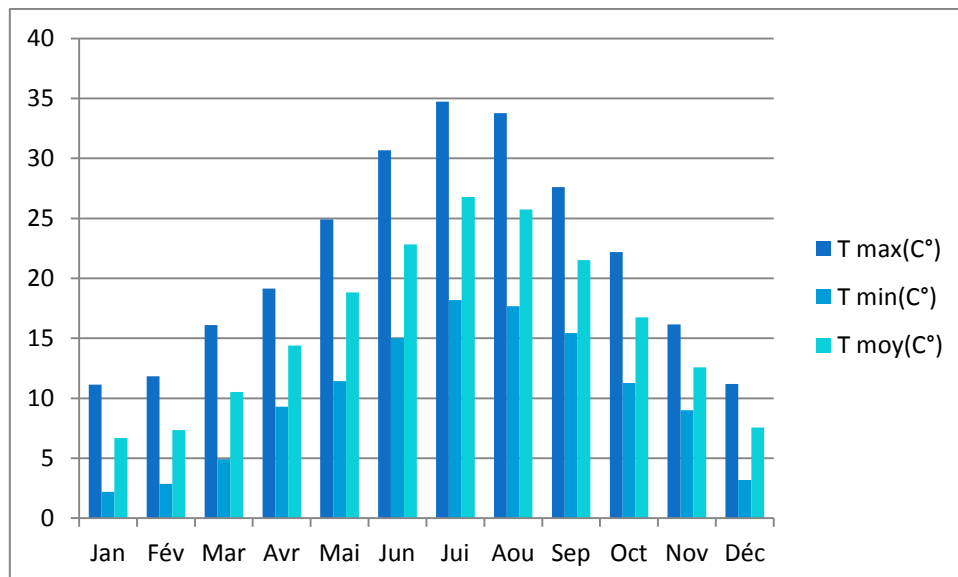


Figure 06. Variation des températures moyennes mensuelles de la période (1994-2014).

1.6.1.2. Les précipitations

Une précipitation, dans le sens météorologique, regroupe des produits, sous une forme liquide ou solide, issus de la condensation de la vapeur d'eau. Les produits tombent des nuages ou bien encore ils sont déposés par l'air humide sur le sol. Ces précipitations finissent par constituer un réseau hydrographique.

Les variations climatiques d'une année à l'autre, de même que les changements des conditions climatiques moyennes, sont souvent perçus à travers l'analyse des séries pluviométriques.

Nous intéressons dans cette étude surtout aux précipitations liquides (pluies), qui constituent le facteur primordiale dans le comportement hydrogéologique, de la région elles sont relativement importantes, variables et irrégulières d'une année a autre (**Bouali, Berkane, 2015**).

L'examen des données montre que ; la quantité totale chutée est de 476,94 mm Le mois le plus pluvieux est Mai avec 59.5 mm, alors que le mois le plus sec est juillet 16 mm.

Tableau 03. Précipitations moyennes mensuelle durant la période (1994-2014).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
P mm	46.4	34.3	36.3	46.1	59.5	30.1	16	36.5	58.6	39	35.1	40.9

(Source : station météorologique d'Elhamma, 2015)

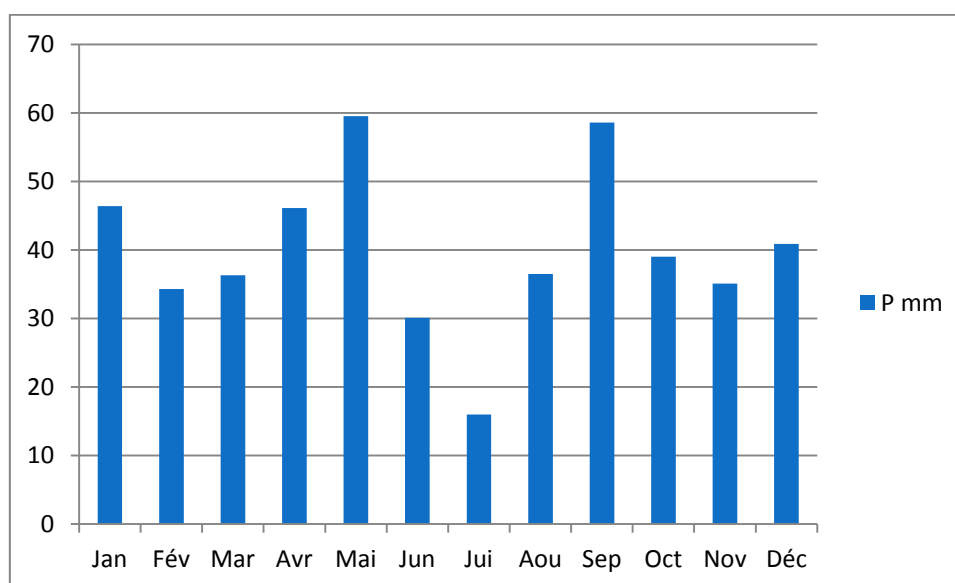


Figure 07. Les précipitations moyennes mensuelles de la wilaya de Khenchela (1994-2014).

1.7. Aperçu socioéconomique

1.7.1. Population

La wilaya de Khenchela a connu un très fort accroissement démographique au cours de ces quatre dernières décennies, sa population a été multipliée par trois. En effet sa population totale est passée de 117000 habitants en 2002, 119400 habitants en 2004, 123790 en 2014 et à 458 710 habitants en 2016 (DPAT Khenchela, 2016).

a- Donnée générale

Répartition de la population par strate :

Strate	Nombre	%
- Population urbaine	299.736	65,3%
- Population Rurale	158.974	34,6%

- Population agglomérée	363.960	79,3%
-------------------------	---------	-------

(Source : DPAT Khenchela, 2016)

Quelques indices de comportement :

- Taux brut de natalité : 2,60%
- Taux brut de mortalité : 0,39 %
- Taux d'accroissement naturel : 2,21 %

(Source : DPAT Khenchela, 2016)

Population et activités

La population totale de la wilaya est estimée à 395 400 habitants (2008).

- Taux de croissance de la population : 1,8%
- Population active (2008) : 132.910 hab.
- Population occupée (2008) : 119.720hab.
- Répartition de la population occupée :

- Agriculture : 41%
- Industrie : 10%
- BTP : 11%
- Services : 38%

(Source : DPAT Khenchela, 2016)

b- Densité de la population par commune

Au plan social, il est révélé au niveau de l'occupation de l'espace de la wilaya une inégale répartition des densités des populations qui est traduit par une forte concentration au niveau des pôles urbains, à savoir khenchela, kais, Mahmal (**Tableau 04**).

Tableau 04. Densité de population par commune.

Communes	Surface (km ²)	Population Totale	Densité (hab/km ²)	Taux d'accroissement Moy (%) (1998/2008)
Khenchela	32	132 350	4 135,93	2,3
El-Hamma	168	14 310	85,17	1,2
Ensiha	163	10 970	67,30	1,6
Baghai	136	7 890	58,01	0,4
Tamza	385	9 710	25,22	0,0
A.Touila	302	19 900	64,89	1,3
M'Toussa	118	6 930	58,72	0,8
Kais	56	40 910	730,53	1,8
Taouzient	167	12 710	76,10	1,0
Rémila	243	6 430	26,46	-0,2
Bouhmama	409	12 580	30,75	1,0

Yabous	157	12 270	78,15	1,6
Chelia	152	5 850	38,48	0,2
M'sara	570	4 880	8,56	-0,2
Chechar	922	32 650	35,41	2,5
Djellal	378	3 570	9,44	-1,7
Kheirane	400	6 740	16,85	0,7
Ouldja	366	3 480	9,50	-0,7
O.Rechache	285	29 300	102,80	1,0
Mahmel	371	45 300	122,10	2,5
Baber	3 935	39 980	10,16	2,2
TOTAL WILAYA	9 715	458 710	47,21	1,7

(Source : DPAT khenchela, 2016)

1.7.2. Agriculture

D'après **Hydraulique Khenchela (2016)**, La wilaya de Khenchela a une vocation purement agricole. Les terres agricoles ce répartie comme suit :

- Surface agricole totale : 962 234 ha
- Prairies : 50 ha
- Surface agricole irriguée : 58940 ha
- Surface agricole en sec : 193195 ha
- Superficie forestière: 146303 ha
- Terre improductif non affectées à l'irrigation : 91060 ha.

Tableau 05. La surface agricole utile et irriguée au niveau de la wilaya de Khenchela.

Communes	Superficie agricole utile (ha)	Surface agricole irriguée (ha)
Khenchela	318 100	360
El-Hamma	16 511	1779
Ensigna	15 769	1326
Baghai	13 399	2347
Tamza	38 280	2190
A.Touila	29 882	1021
M'Toussa	11 488	1198
Kais	4898	770
Taouzient	16 556	1026
Rémila	24 247	4525
Bouhmama	40 676	2608
Yabous	18 670	577
Chelia	15 090	1181
M'sara	56 926	889

Chechar	91 504	1087
Djellal	37 708	290
Kheirane	39 879	934
Ouldja	36 525	305
O.Rechache	28 077	16 100
Mahmel	36 339	2191
Baber	392 810	31 254
Totale	248 204	58 940

(Source : Hydraulique Khenchela, 2018)

1.7.3. Industrie

Le tissu industriel est pauvre, concentré dans le chef lieu de la wilaya de Khenchela. Le tableau ci-dessous est l'inventaire des principales unités industrielles, et leur implantation.

Toutes ces unités ont bien entendu ,traversés des périodes plus ou moins difficiles. On marque L'absence de l'industrie agricole (Kebbach, 2011).

Tableau 06. Unité industrielles dans la wilaya de Khenchela.

Lieu d'implantation	Commune	Caractéristiques Nom	Nature /Type
Khenchela	Khenchela	ENATB	Transformation du bois
//	//	SARL Ait Hadj Mohamed	Fabrication carreaux granito
//	//	Unité Aourassi Moussa	Production des matelas
//	//	Unité de la Fabrication des bouchant de bouteille	Production des bouchant
Khenchela	//	Unité des pièces mécaniques	Fabrication des pièces détachées
//	//	Moulin El Hdbausfane	Production de la semoule et ses dérivées
//	//	Fabrication de la farine	Moulin des trois épis
O.Rechache	O.Rechache	Moulin Ras Elma	Production de la semoule
Remila	Remila	Usine de brique El Aourassi Menssori	Production de brique
Tamza	Tamza	SONAREM	Production de ciment baryté
Taouzient	Taouzient	Unité de Fabrication de carrelage	Fabrication de carrelage

(Source : Kebbach, 2011)

a- Nombre des zones d'activités et des zones industrielles :

- (01) zone industrielle.

- (06) zones d'activité.

Zone industrielle

Dénomination de la zone	Superficie (ha)	Lots créés	Lots attribués	Lots disponibles	Superficie disponible (ha)
Khenchela	68.72	43	43	0	0

Zones d'activités

Dénomination de la zone	Superficie (ha)	Lots créés	Lots attribués	Lots disponibles	Superficie disponible (ha)
AIN TOUILA	8,46	48	11	37	6,11
BOUHMAMA	10	0	0	0	0
R'MILA	11,55	0	0	0	11,55
EL MEHMAL	8,27	70	23	47	6,02
N'SIGHA	8,06	41	3	38	7,62
BAGHAI	100	0	0	0	100
BABAR	100	0	0	0	100

(Source : ANIRF, 2013)

b- Principales activités installées dans ces zones:

-Industrie : 7,97 %.

-BTP : 14,27 %.

-Tertiaire : 40,85 %.

(Source : DPAT Khenchela, 2016)

Chapitre 2

RESSOURCES ET DEMANDE EN EAU



2.1. Ressources en eau

2.1.1. Les ressources hydriques souterraines

D'après **ANDI**. Les estimations en eaux souterraines de la wilaya ont été établies par l'ANAT sur la base des caractéristiques de nombreux forages. Trois nappes ont été différenciées, et ce grâce à leurs profondeurs moyennes :

- La nappe phréatique (en moyenne inférieure à 100 m de profondeur) est captée par plusieurs forages répartis à travers la wilaya (Nord, Est et Sud). Cette nappe alimente plusieurs sources d'intérêt local (Ain El Fedj, Ain Karma, Ain Frengal), le point d'exurgence de ces sources est généralement une faille ou une fracture.
- Une nappe moyenne (des grès miocènes) sa profondeur varie de 100 à 300 m est captée par des nombreux forages à travers la wilaya.
- Une troisième nappe peut être différenciée par sa profondeur qui varie de 300 à 600 m (nappe profonde) ; cette nappe concerne exclusivement le Sud de la wilaya.

La wilaya de Khenchela comporte trois systèmes aquifères :

a. L'aquifère du Quaternaire

Cet aquifère possède des propriétés hydrauliques et hydrodynamiques qui diffèrent d'un secteur à un autre. La puissance des sédiments Quaternaire accumulés et reconnus dans la plaine de Gareat El Tarf, laisse présager que le bassin aurait fonctionné comme une cuvette d'effondrement, et que les couches sous-jacentes ont; une position synclinale (**Durozoïy, 1949**).

Le Quaternaire jouit d'un pouvoir de percolation important imputé probablement et en grande partie à la nature lithologique des terrains superficiels. Ce privilège lui confère, le surcroît d'une alimentation indirecte, latérale à partir des massifs bordiers et par drainage des eaux de la nappe des calcaires maestrichtiens, un approvisionnement direct par les eaux de pluie récoltées sur tout l'impluvium (**Dali, 2009**).

b. L'aquifère du Miocène

S'allonge le long de la bordure sud du bassin avec une allure synclinale délimitée sous le recouvrement Quaternaire. Son extension limitée au Nord et se termine en biseau (**CGG, 1970**).

Il est constitué essentiellement de bancs gréseux avec des intercalations argilo-marneuse peu épaisses, constituent en réalité une roche assez dure et peu perméable.

De ce fait, Cette formation n'est pas suffisante pour qu'une nappe continue puisse s'y développer et ne présente qu'un intérêt local (Dali, 2009).

c. L'aquifère du Crétacé

Le maestrichtien supérieur d'une puissance de l'ordre de 150 m est constitué de calcaire blanc, fissuré, Ces calcaires sont visible aux Djebels, Tafrent, Boutoukhma et Fedjidjet (Dali, 2009).

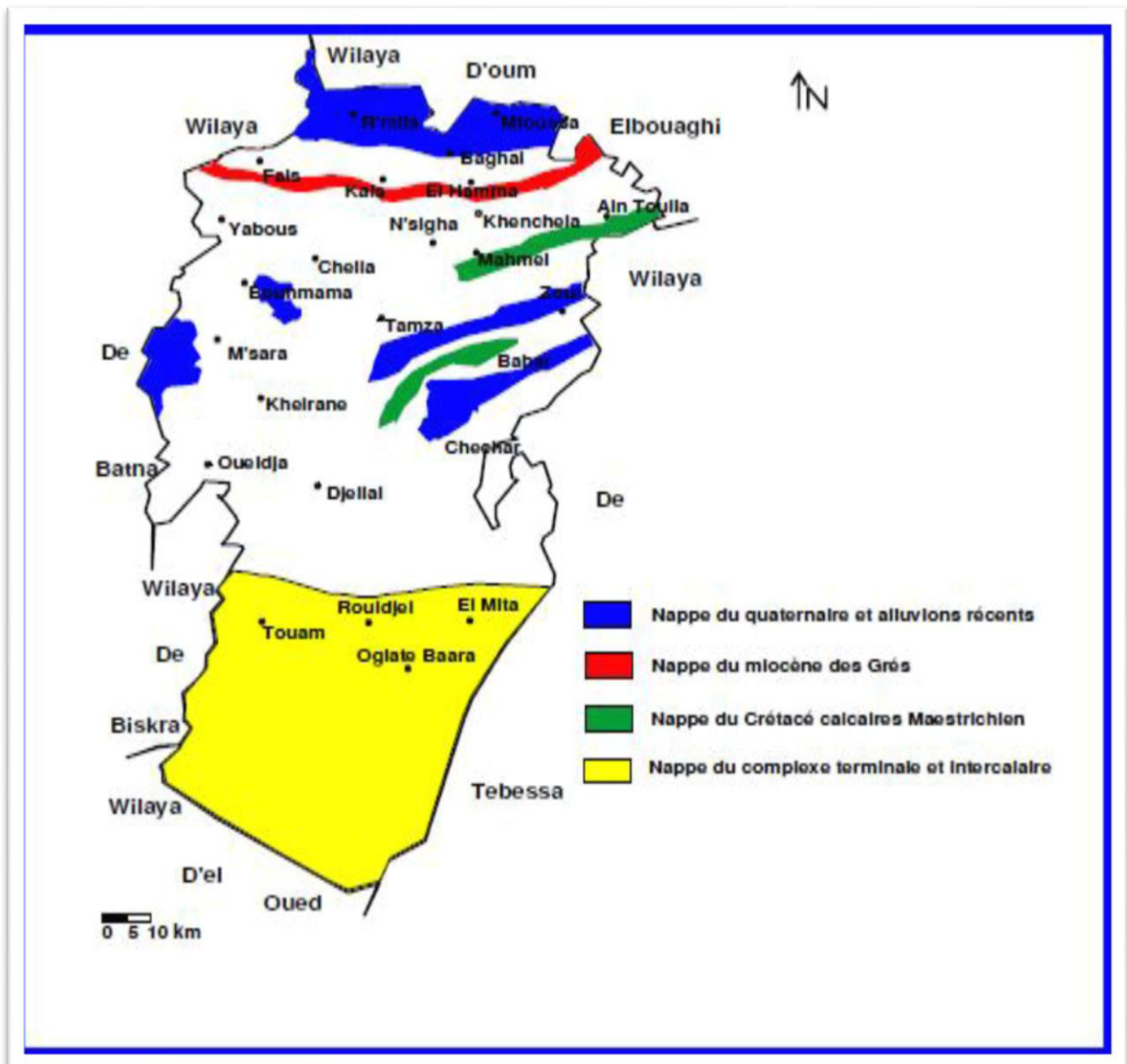


Figure 08. Carte des principales zones aquifères au niveau de la wilaya de Khenchela.

(Source : DHWK, 2013)

2.1.2. Les ressources hydriques superficielles

a- Oued Gueiss

C'est un oued permanent qui ouvre un long couloir dans l'Aurès ; il sort du Djebel Noughiss, il vaise jeter dans la Gareat El Tarf sous le nom d'Oued Marouf. Draine une superficie de 144 km². Une station de jaugeage : Fom El Gueiss, en amont de l'oued permet d'estimer son débit moyen annuel Pour une période de 33 ans (1970-2005), il est de 0.253 m³/s. La potentialité de l'oued est de 8 hm³.

b- Barrage de Babar

Le barrage de Babar se situe dans le territoire de la wilaya de Khenchela à 42 Km du sud-ouest du chef-lieu de la wilaya et à 12Km du village le plus proche (commune de Babar). Le barrage a été mis en service en 1995, Suivant les coordonnées Lambert X=892.00 ; Y=216.00 et Z=930. Ce barrage, actuellement en service, est marqué par une capacité de stockage de 41 hm³ et d'un degré d'envasement qui atteint 16,6 % (**Hydraulique khenchela, 2018**).

Tableau 07. Principales caractéristiques du barrage de Babar.

La capacité de retenue	41,33 hm ³
Apport moyen annuel	20 hm ³
Volume régularisable	12,33 hm ³
Volume actuel	36, 940 hm ³
Envasement annuelle	0,682 m ² /an
Cote de la prise	925 m
Hauteur du barrage	37 m
Longueur en crête du barrage	673 m
Longueur du barrage au pied	235 m
Cote retenu normale	940 m
Superficie de la retenue	378 Has
Profondeur maximale de la retenue	33 m
Profondeur moyenne de la retenue	10,9 m
Longueur maximale du plan d'eau	2 km
Longueur moyenne du plan d'eau	0,76 km
Longueur de la retenue	5 km
Longueur de la ligne côtière	22,3 km

(Source : **Hydraulique Khenchela, 2016**)

c- Barrage de Foum El-Guieiss

Le réseau du barrage de Foum El-Guieiss est situé à 19 Km à l'ouest de Khenchela et à 1.5 Km (Sud-est) du chef-lieu de la commune de Kais. Il est destiné uniquement à l'irrigation de la haute plaine de Remila (Lakhdari, 2012).

Le site est absolument magnifique , situé entre les communes d'El Hamma et de Kais ,dans la wilaya de Khenchela. Envasé à 99%,ce barrage d'une capacité réelle de 2,5 millions m³.

Les principales caractéristiques du barrage de Foum El-Guieiss sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 08. Principales caractéristiques du barrage de Foum El-Guieiss.

Affluents	Barrage Foum El-Guieiss
Type	Enrochements avec masque en béton
Déversoir	A seuil libre non vanne
Sources d'approvisionnement en eau	Oued El-Gueiss et ses affluents
Capacité initiale	2,5 hm ³
Capacité après surélévation 2005	0,605 hm ³
Apport moyens annuelle	11,3 hm ³
Précipitation moyens annuelle 2011	515,1 m /m
Envasement annuelle	0,03 hm ³
Cote retenu normal	961,90 M
Surface du plan d'eau à la RN	12,84 ha
Surface bassin versant	156 Km ²
Périmètre	57K m
Longueur	17,5 Km
L'altitude	1013 m
L'irrigation totale	7493 ha
Evaporation annuelle en 2011	0,4706 hm ³

(Source : fiche technique de barrage)

2.1.3. Les ressources hydriques non conventionnelles

a- La STEP de Khenchela

En les chiffres l'unité de Khenchela de charge de l'exploitation, et de la gestion des réseaux d'évacuation sanitaires pour 07 communes sur une longueur de 663.428 km et une station d'épuration d'une capacité globale de 192 000 eq/H soit un volume nominal de 23 000 m³/j et également quatre lagunes.

Année de mise en service	2007
Capacité	Année 2016 : 192.000eq/H

b- La STEP de Kais

Au pied du mont de Chelia, la station d'épuration de Kais, dans la commune de Yabous, a pour impact d'épurer 2,5 millions de m³/an, pour l'irrigation de 100 ha à l'horizon 2015 et 4,4 million m³ à l'irrigation de 150 ha à l'horizon 2035 (**MRE Khenchela**).

Année de mise en service	2015
Capacité	Année 2016 : 60.000 eq/H

c- La station de traitement de Babar

La municipalité de Babar bénéficie d'une station de traitement des eaux d'une capacité de 17 200 m³ par jour, en plus de deux réservoirs d'une capacité totale de 7000 m³, dans les municipalités de Babar et de Khairan. La capacité du barrage de Babar est actuellement estimée à 38 millions de m³, dont 12 millions seront utilisés 6 millions serviront à l'irrigation et le reste à l'approvisionnement des habitants de Babar, Chechar, Khiran, Al Walja, Tamza, Jalal et El Mehmel en eau potable, au total de 90 000 habitants. L'entrée en service du barrage de Babar d'ici la fin de l'année 2016 assurera l'approvisionnement régulier et quotidien en eau pour la population.

2.2. La demande en eau

Les besoins en eau se rapportent aux qualités nécessaires à utiliser pour assurer l'application des fonctions requises pour divers usages, usage domestique et public, usage industriel et usage agricole. Ces besoins sont estimés quantitativement suivants des normes unitaires tenant compte des paramètres :

- Socio-économique, il s'agit du degré de croissance urbaine, démographique et niveau de vie des populations ; pour estimer l'AEP.
- En ce qui concerne l'industrie c'est le type d'industrie, processus technologique et volume de production.
- Biophysique, concernant l'irrigation (déficit d'apport d'eau par rapport aux besoins physiques des plantes).

Notant que la demande en eau c'est la quantité d'eau qu'il faut mobiliser au niveau de la ressource pour couvrir le « besoin ». Entre la demande et besoins s'intercalent les pertes ou gaspillage du système de mobilisation de la quantité d'eau de tel ou tel usage.

2.2.1. Demande en eau pour l'irrigation

La détermination de la surface irriguée dans la wilaya de Khenchela est difficile comme il est le cas du reste de l'Algérie dans la mesure où les données varient selon les sources qui ne sont pas coordonnées entre elles. Pour éviter toute contradiction on c'est basé sur les données de la DSA de Khenchela.

Les demandes en eau des surfaces irriguées comprennent d'abord le besoin en eau des plantes, à laquelle s'additionnent les besoins en lessivage, les pertes en eau dans les systèmes d'irrigation, d'abord à la parcelle, ensuite dans le réseau de transport. La somme des besoins et des pertes constituera la demande en eau de l'agriculture. Pour l'estimation des besoins on considère une dotation théorique de 4500 m³/an/ha c'est la dotation admise par l'ANRH pour notre bassin. Les besoins en eau d'irrigation sont estimés actuellement à plus de 23.5 hm³/an. Avec un taux de pertes d'eau pendant le transport de 20% et une efficacité qui est estimée à 60 % (ANRH, 2010).

La surface agricole irriguée dans la wilaya de Khenchela atteint 60.000 hectares dont la moitié est constitué de terres céréalières (APS).

Tableau 09. Demande en eau pour les superficies irriguées au niveau de la wilaya de Khenchela.

Commune	SAU	Superficie irriguée(Ha)	Dotation (m ³ /an/ha)	Besoin en eau (m ³ /an)	Demande en eau (m ³ /an)
Kais	3173	212	4500	954000	1602720
Remila	19700	658	4500	2961000	4974480
Tamza	9912	670	4500	3015000	5065200
El Hamma	9694	167	4500	751500	1262520
Ensigna	8409	320	4500	144000	2419200
Baghai	11514	345	4500	1552500	2608200
M'toussa	9700	181	4500	814500	1368360
Ain Touila	14351	117	4500	526500	884520

2.2.2. Demande en eau industrielle

La wilaya de Khenchela a une capacité industrielle modeste. Pour estimer la demande en eau industrielle nous avons eue recours aux données fournies par l'ABH.

Le problème posé concernant l'estimation de la demande en eau industrielle c'est que certaines industries s'approvisionnent aux réseaux urbains et d'autres par leurs propres moyens, dans des proportions difficiles à déterminer.

2.2.3. Demande en eau domestique

Les besoins en eau domestique pour l'année 2007 sont estimés à plus de 62 hm³ pour une population totale de 453002 habitants.

-Si on rajoute 30% (donnée par le PNE) des pertes proviennent des fuites dans les canalisations, la demande en eau domestique sera de 81 hm³ (Dali, 2009).

Tableau 10. La dotation au niveau de la wilaya de Khenchela.

Communes	Nombre d'habitant	Dotation journalier (l/j/hab)	Dotation annuelle (m ³ /an/hab)
KHENCHELA	132 350	153	55,845
El-Hamma	14 310	140	51,1
Ensigna	10 970	86	31,39
Baghai	7 890	125	45,625
Tamza	9 710	100	36,5
A.Touila	19 900	130	47,45
M'Toussa	6 930	120	43,8
Kais	40 910	150	54,75
Taouzient	12 710	140	51,1
Rémila	6 430	130	47,45
Bouhmama	12 580	90	32,85
Yabous	12 270	97	35,405
Chelia	5 850	110	40,15
M'sara	4 880	100	36,5
Chechar	32 650	130	47,45
Djellal	3 570	100	36,5
Kheirane	6 740	80	29,2
Ouldja	3 480	75	27,375
O.Rechache	29 300	100	36,5
Mahmel	45 300	80	29,2
BABAR	39 980	150	54,75
TOTAL WILAYA	458 710	113,619048	43,2090476

(Source : DPSB, 2016)

Chapitre 3

MODELISATION DES RESSOURCES HYDRIQUE DE LA WILAYA DE KHENCHELA SUR WEAP



3.1. Présentation du logiciel WEAP

WEAP est un outil de planification intégrée des ressources en eau pour microordinateurs.

Il fournit une structure compréhensive, flexible et d'utilisation facile pour les analyses des politiques. Un nombre croissant de professionnels de l'eau ont trouvé WEAP un ajout utile à leur boîte à outils de modèles, bases de données, feuilles de calculs et autres logiciels (SEI, 2007).

3.1.1. Description du logiciel

Le logiciel WEAP est déjà utilisé dans divers pays, y compris les États-Unis, le Mexique, le Brésil, l'Allemagne, le Ghana, le Burkina Faso, Madagascar et la Thaïlande. WEAP ou «Water Evaluation and planning System » est créé par Stockholm Environment Institute (SEI) à Tellus Institute 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 (ENEH).

3.1.2. Les objectifs du logiciel

D'après Rakotondrabe (2006), WEAP place l'évaluation des problèmes spécifiques de l'eau dans un cadre global. Il intègre plusieurs dimensions : entre les besoins et l'approvisionnement, entre la quantité et la qualité de l'eau, et entre 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 d'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. Pour atteindre ces objectifs, il faut avoir le modèle.

3.1.3. Acquisition du logiciel

Le logiciel WEAP est téléchargeable sur site : <http://www.weap21.org>. Il est fonctionnel excepté que le dispositif «économiser données » est handicapé. Une version démo du logiciel est accessible à tout le monde. Par contre, pour le fonctionnel, il faut obtenir un permis ou licence d'utilisation pour les types d'utilisateur. Pour l'obtention, il faut remplir et envoyer un formulaire (**Rakotondrabe, 2006**).

L'SEI (Stockholm Environment Institute) envoie par e-mail le nom d'utilisateur et un code d'enregistrement, les instructions pour activer le logiciel WEAP et pour permettre le dispositif "économiser données" fonctionnel. Il est préférable que l'ordinateur soit relié à l'internet car le WEAP a un forum d'utilisateur sur le site <http://forums.seib.org/weap>. Il faut un pseudo et un mot de passe pour entrer dans ce forum. Le forum peut aider l'utilisateur pendant la mise en marche du logiciel, le traitement de données et la mise à jour du logiciel. Le permis d'utilisation est valide pour une durée déterminée. A noter que l'IES peut publier des travaux de modélisation sous WEAP et souhaite avoir une version de la présente modélisation (**Rakotondrabe, 2006**).

3.1.4. Structure du logiciel

WEAP se possède cinq présentations principales : représentation cartographique et graphique, affichage des données et des résultats, présentation des notes et observations. Ces affichages sont présentés par des icônes graphiques sur la "barre d'affichage", située à côté gauche de l'écran. En cliquant sur l'une de ces icônes, une présentation voulue est affichée. Ces cinq affichages sont présentés ci-dessous (**Rakotondrabe, 2006**).

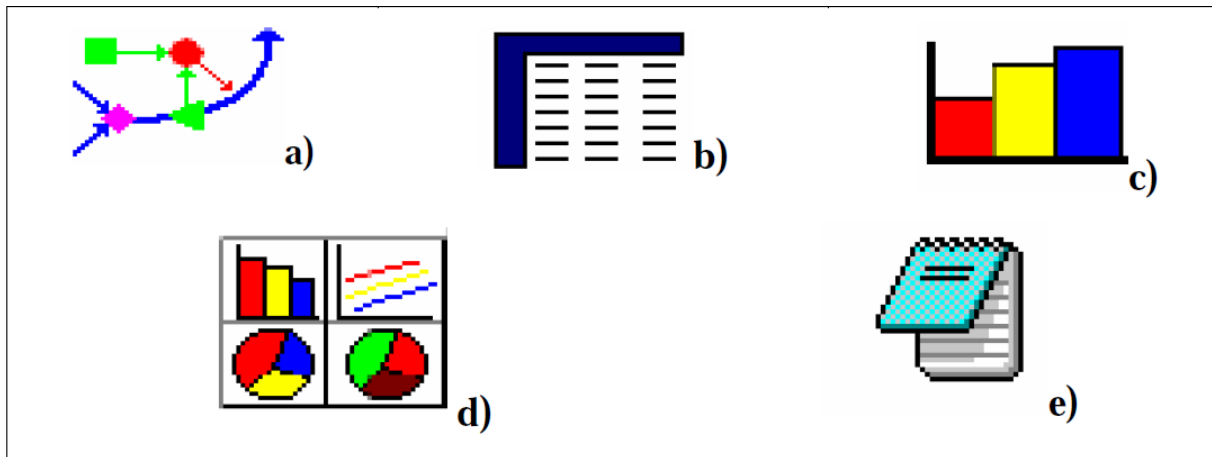


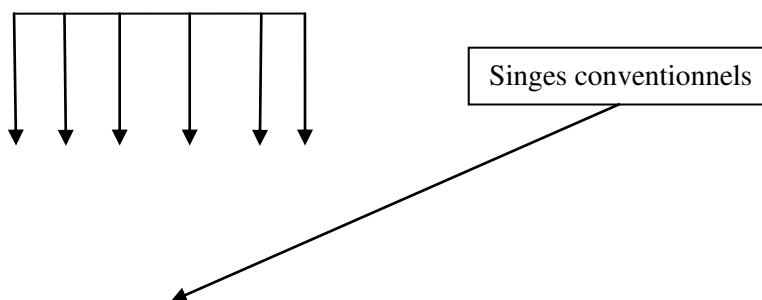
Figure 9. Les cinq affichages du modèle WEAP.

a- Cartographie

C'est le point de commencement pour toutes les activités dans WEAP (**Figure 9.a**). Elle sert à créer, éditer ou aussi ajouter des couches ArcView ou d'autres SIG standard de la zone d'étude comme couche de fond. Ainsi, on peut accéder rapidement à l'analyse des données et à l'affichage des résultats pour n'importe quel noeud en cliquant sur l'objet qui nous intéresse (**Messahel, 2005**).

Les objets sont montrés dans la 2ème fenêtre gauche avec les signes conventionnels utilisés.

Les 6 menus



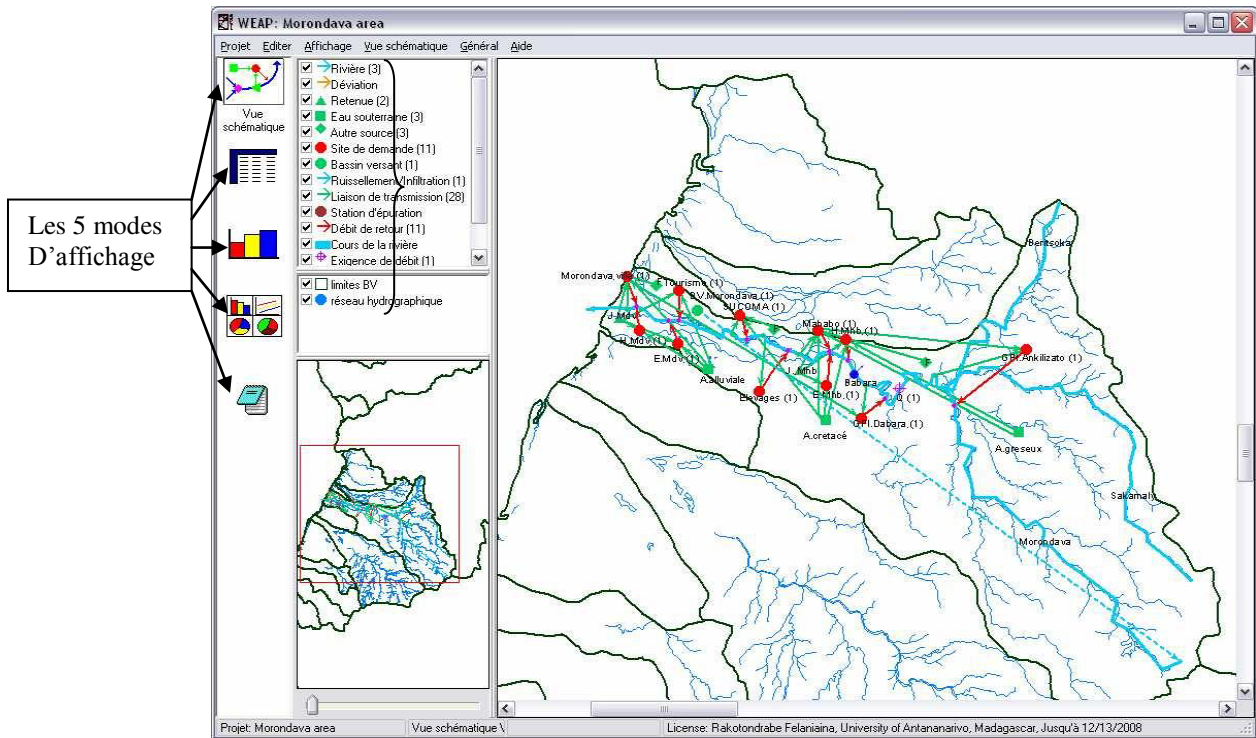


Figure 10. Fenêtre cartographie WEAP.

(Source : DocPlayer.fr)

b- Base de données

C'est l'endroit pour la création des structures, du modèle et des suppositions de données

(Figure 9.b). Pour l'affichage des données, l'écran est divisé en quatre carreaux (Figure 11) :

-**Sur la partie supérieure**, un lien hiérarchique (menu lien) est employé pour créer et organiser des structures de données dans six suppositions principales : principale clé, sites de demandes, hydrologie, approvisionnement et ressources, qualité de l'eau et d'autres suppositions.

Par exemple, cliquer sur « site de demande » la branche lien du côté gauche de l'écran, les données pour tous les emplacements de demande apparaissent sur le côté droit de l'écran.

-**Sur la gauche inférieure**, un schéma du secteur apparaît. En cliquant sur l'élément qui apparaît sur le schéma, il sera accentué dans le lien et des données seront montrées dans les tables de saisie de données vers la droite. Quand on clique sur une branche dans le lien, l'élément associé clignotera brièvement.

-**Sur la partie droite supérieure**, une table de saisie de données apparaisse. Cette table sert à écrire les expressions qui définissent les comptes courants, pour éditer des données et pour créer le modèle des rapports.

Au-dessus de ce tableau de saisie de données, il y a un ensemble de boutons donnant l'accès aux différentes catégories de variables liées à chaque branche.

-Au dessus tableau de saisie de données, un cadre de résultats apparaît, il représente graphiquement les données saisies dans la table de saisie de données. Sur le coté droit, il y a un barre d'outil pour changer la forme du diagramme (couleurs, effets3D, grilles, nombre de positions décimales, etc....) (Messahel, 2005).

Les données numériques peuvent être transféré directement dans Microsoft Excel.

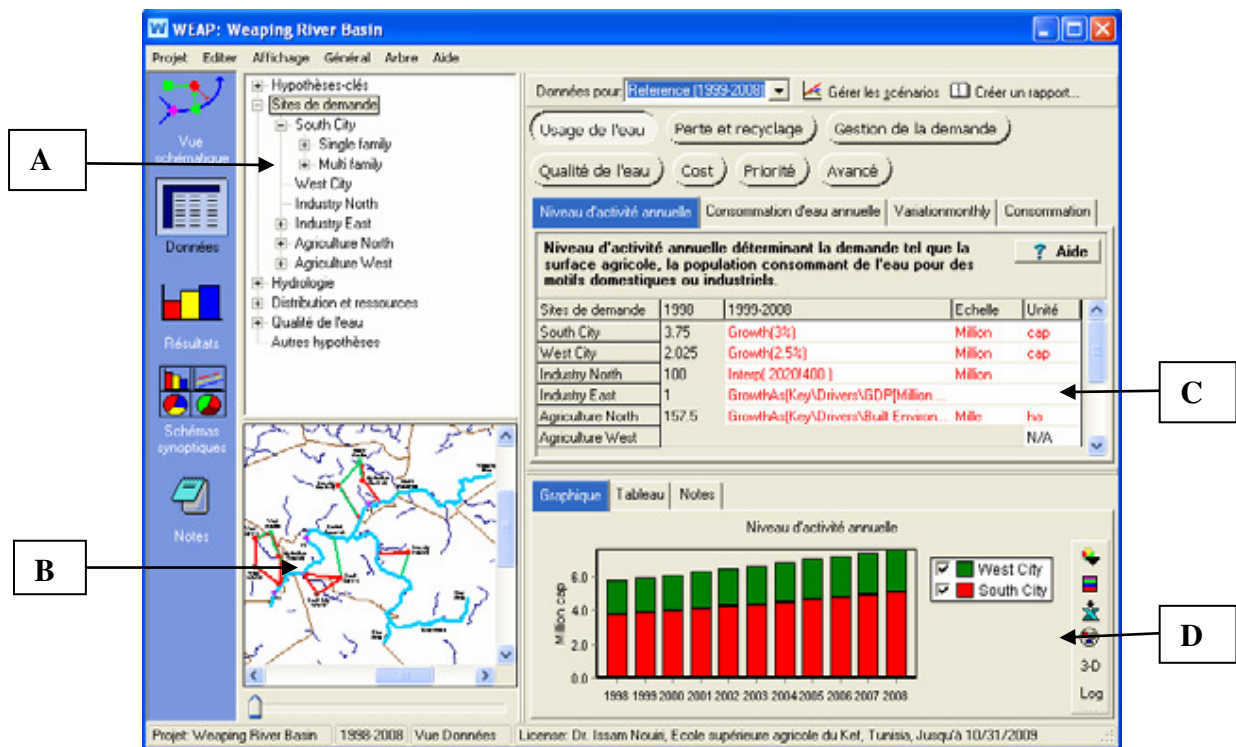


Figure 11. Fenêtre basse de données.

c- Présentation des résultats

C'est le menu qui permet d'afficher de façon détaillé et flexible toutes les sortes de modèles (Figure 9.c), dans les diagrammes, les tables et le menu schéma. Cette présentation peut montrer une grande variété de diagrammes et de tables couvrant chaque aspect du système : demandes, approvisionnement et chargements environnementaux .Les résultats peuvent être exportés dans l'Excel (Rakotondrabe, 2006).

d- Représentation graphique

La représentation graphique (Figure9.d) est employée pour grouper l'ensemble des diagrammes "Favoris" et les tables (créés dans le menu résultat). Avec cette représentation, on peut examiner simultanément les différents aspects importants du système, tels que les demandes, le niveau de stockage, etc. Les graphes peuvent être copiés dans Word (Rakotondrabe, 2006).

e- Bloc Notes

L'écran de notes est un outil simple de traitement de texte (**Figure 9.e**) avec lequel on peut écrire des informations documentaires et des références pour chaque branche du lien. On peut importer les notes vers le texte (Microsoft Word) (**Rakotondrabe, 2006**).

3.1.5. Fonctionnement du Logiciel

WEAP fonctionne donc suivant cinq étapes.

a- Créer une 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) en particulier ArcWiev. Cette carte va servir comme fond des dessins des éléments nécessaires pour pouvoir faire la simulation tels que :

les emplacements urbains, les rivières, les sources d'eaux souterraines, les réservoirs, les barrages, les industries, les sites agricoles et les autres types d'emplacement selon l'étude.

b- Créer les hypothèses clés et références

Puisque le logiciel pourrait faire une simulation basée sur le calcul de la demande et l'approvisionnement en eau, l'écoulement, l'infiltration, le stockage, et le traitement général de pollution, la qualité de l'eau, etc.... Il est donc primordial de créer la base de données avec les différentes hypothèses clés et les différents scénarios.

- Hypothèses clés

Ce sont des variables définies par l'utilisateur du logiciel qui servent de clés principales pour faire l'analyse. Dans notre étude, nous avons quatre hypothèses clés servant comme données de base pour le logiciel utilisation d'eau domestique, besoins en eau pour l'irrigation, pourcentage mensuel d'utilisation d'eau domestique, taux de croissance de la population pour l'année du scénario futur.

- Références

Il est nécessaire d'avoir une année ou une période de référence pour servir de modèle.

Toutes les données à utiliser doivent être comprises entre cette année ou période de référence.

c- Proposer des scénarios

Dans WEAP, le scénario typique est composé de trois étapes une année de compte courant choisie comme année de référence du modèle dont on ajoute les données ou une période, un scénario de Référence établi à partir du compte courant et sert pour simuler l'évolution, probable du système sans interposition, des autres scénarios pour évaluer les effets des changements socioéconomiques, changements climatiques probables pour l'année ou projet futur.

d- Saisir les données

Les données sont à saisir en cliquant droite après avoir créé les éléments dans les zones d'études (placer les emplacements urbains, industriels, élevages,...) ou en passant dans le menu d'affichage de la base de données.

e- Présenter les résultats

Les résultats se présentent sous forme de graphe et (ou) de tableau. On aura deux résultats à comparer: les résultats de l'année de référence et de l'année de scénario Gestion de la Demande.

3.2. Modélisation de la wilaya de khenchela par WEAP

3.2.1. Cartographie

a- Création du modèle

Dans WEAP, il existe déjà une carte du monde où on peut choisir et créer la zone d'étude. En sélectionnant la carte d'Algérie puis on ajoute la limite de la wilaya de Khenchela ensuite le réseau hydrographique.

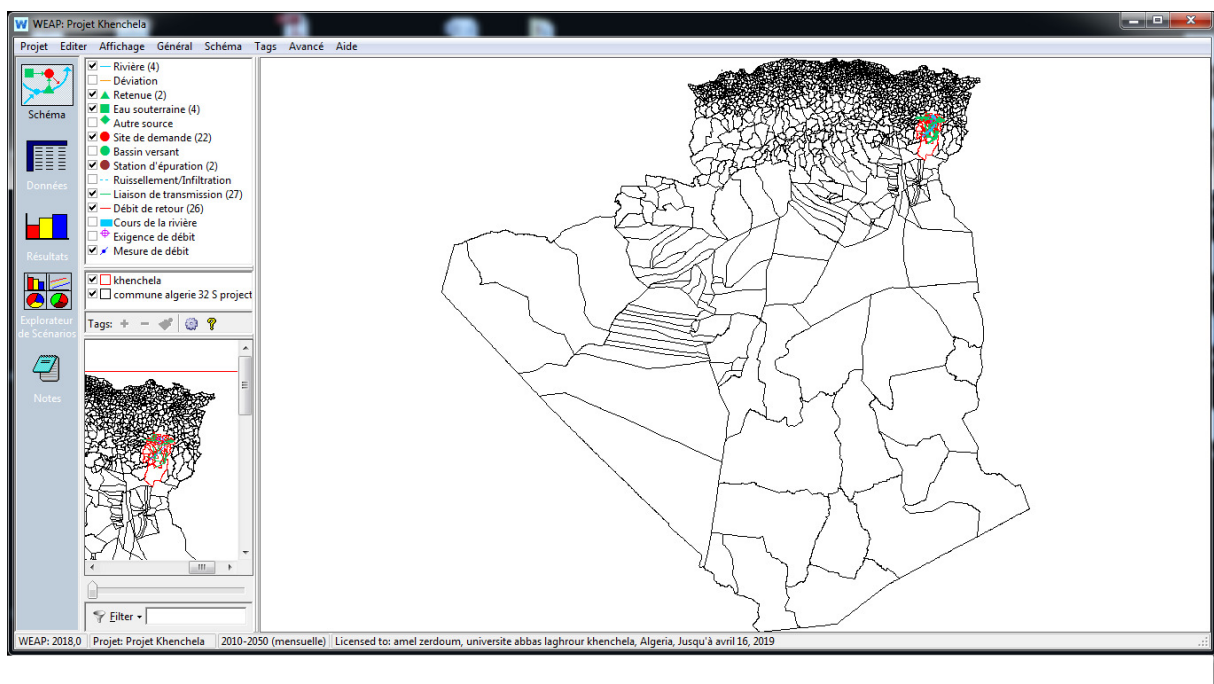


Figure 12. Carte de L'Algérie sur WEAP.

b- Réglage des paramètres généraux

Dans cette partie, les paramètres temps devraient être réglés. Créer une année de comptes courants pour le projet. Dans cette étude, nous limitons entre 2010 – 2050 pour toutes informations sur le système (sites de demandes, données d'approvisionnement,...).

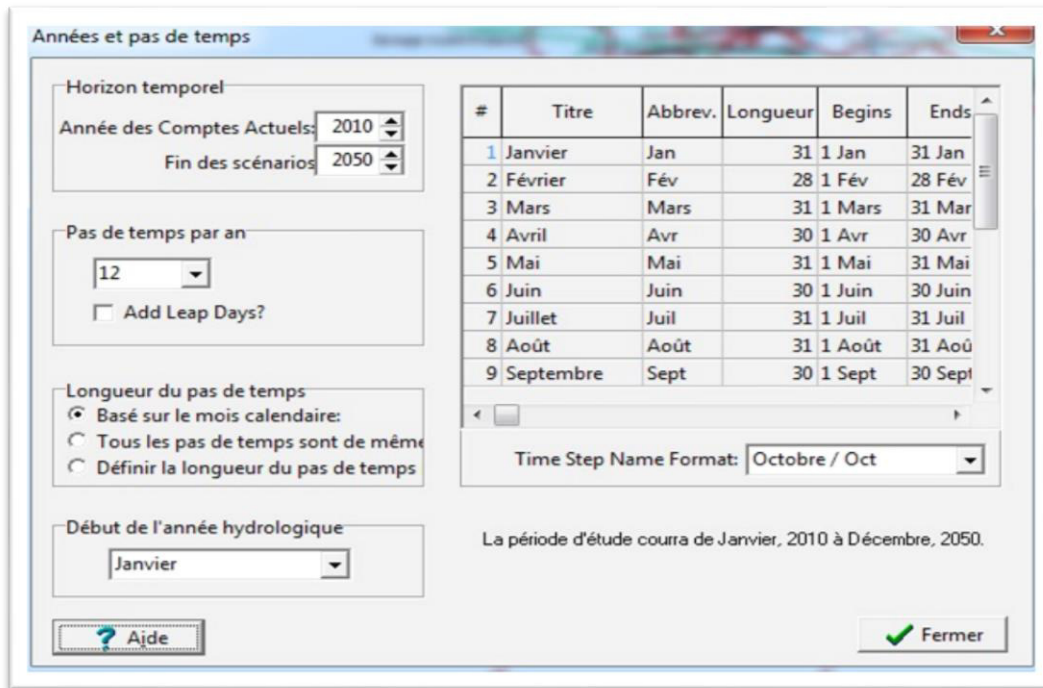


Figure 13. Réglage du paramètre de temps sur WEAP (capture d'écran).

c- Numérisations des éléments nécessaires dans le modèle

On numérise les rivières, les emplacements urbains, la zone de l'agriculture. Et on saisit les données nécessaires pour chaque utilisateur en cliquant droit sur les emplacements numérisés.

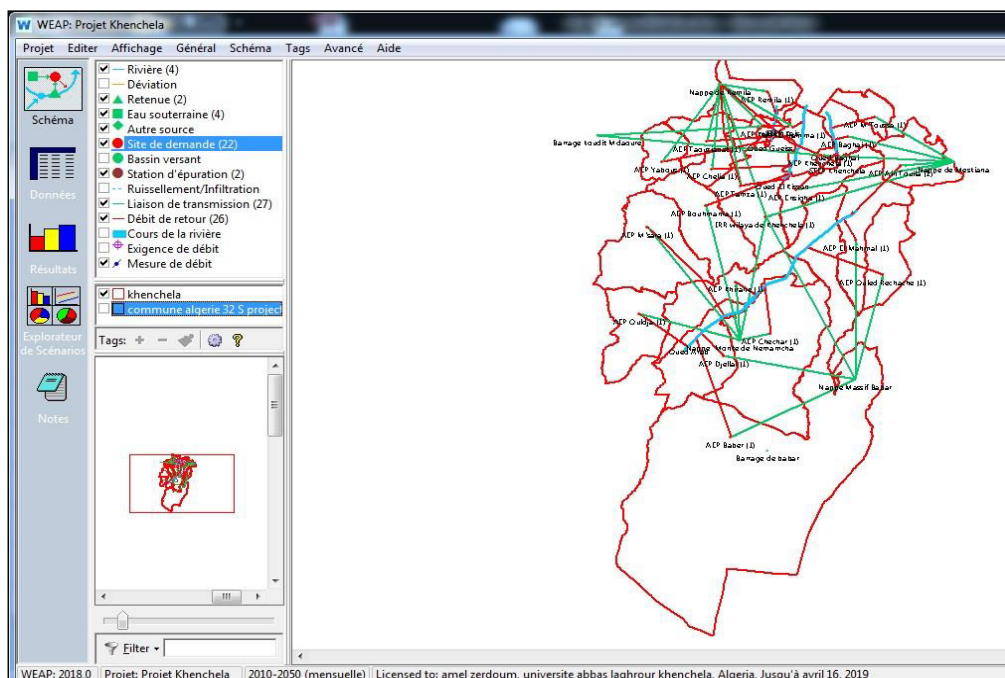


Figure 14. Schéma de modélisation de la distribution des ressources en eau au niveau de la wilaya de Khenchela (capture d'écran).

3.2.2. Création des scénarios

a- Changement d'horizon de temps du secteur

Le compte courant est créé depuis que nous avons créé la zone d'étude. On change juste l'année de la fin des scénarios. En choisissant comme compte courant 2010 et année de fin des scénarios 2050.

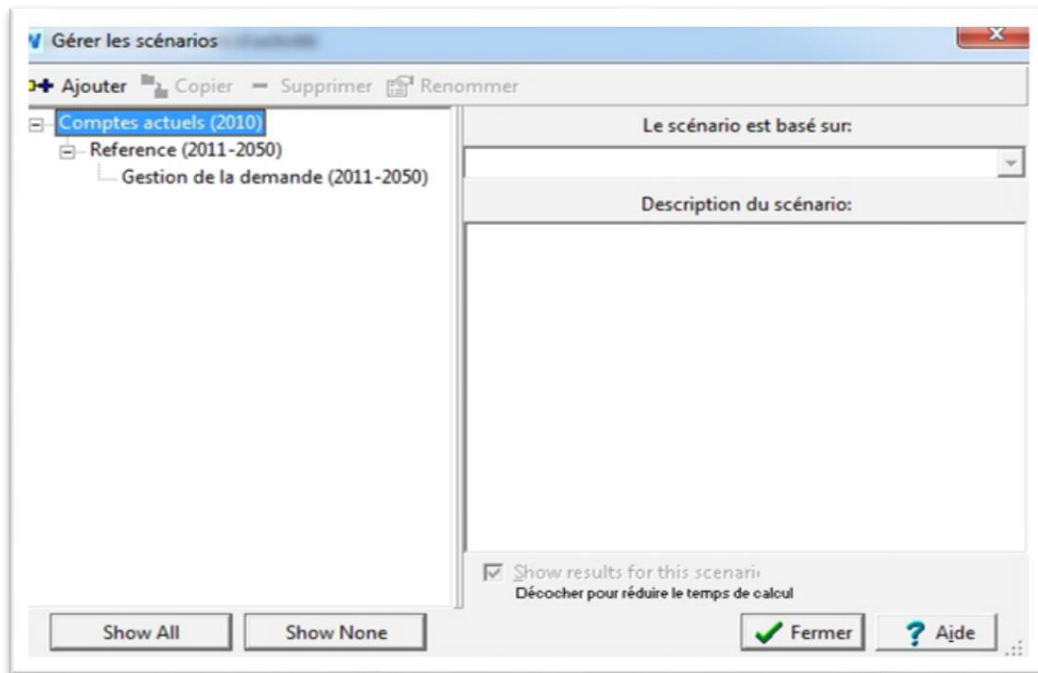


Figure 15. Création du scénario (capture d'écran).

b- Création du scénario 1: Référence

Le scénario Référence est un scénario hérité du compte courant. Il faut changer sa description pour refléter son rôle réel. Pour cela, quelques valeurs déjà activées dans le compte courant devraient être changées.

c- Application de la fonction pour le calcul du taux de croissance de la population

Le taux de croissance de la population à 1,7% est ramené dans l'option « constructeur d'expression » fonction «Taux de croissance », puis utiliser l'hypothèse clé correspondante « Taux de croissance de la population pour l'année du scénario futur ».

3.2.3. Saisie des données

Avec un clic droit sur l'un des éléments des sites de demandes numérisées sur la carte de la zone, une fenêtre de dialogue apparaît avec tous les informations nécessaires. En cliquant sur l'une de ces fenêtres, on peut passer directement à l'affichage de la base des données puis faire la saisie de celle-ci (Figure16).

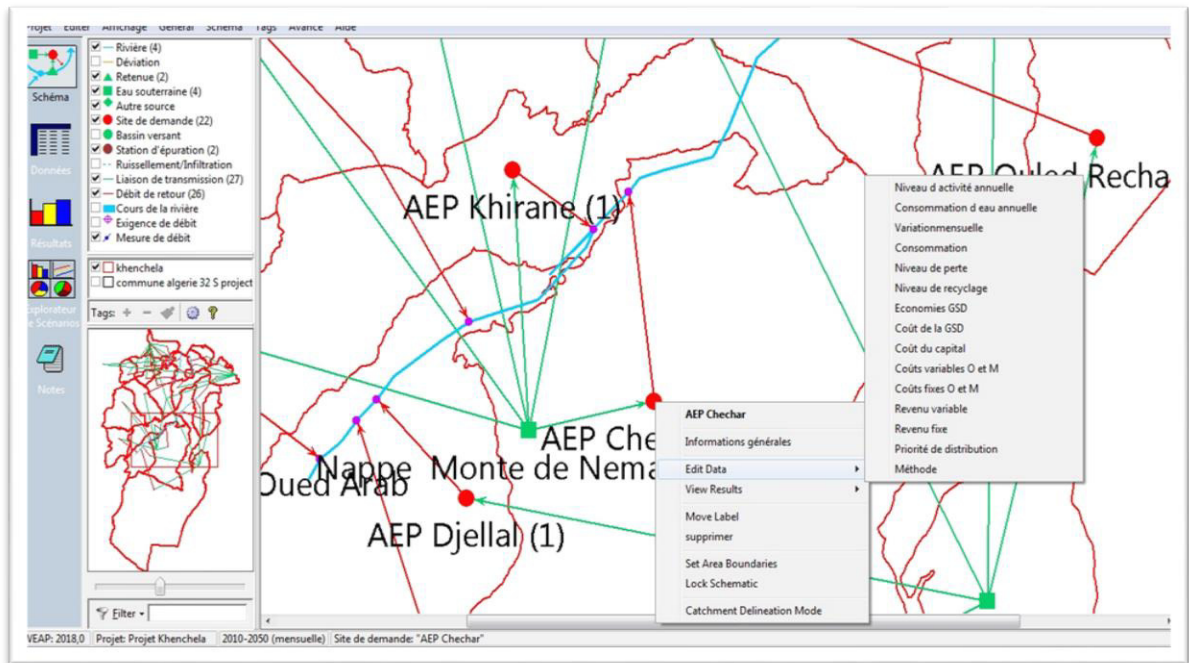


Figure 16. Fenêtre mode d'entrée des données (capture d'écran).

La figure ci-dessous (**Figure 17**) montre les exemples de présentation des données des sites de demandes et du graphe correspondant.

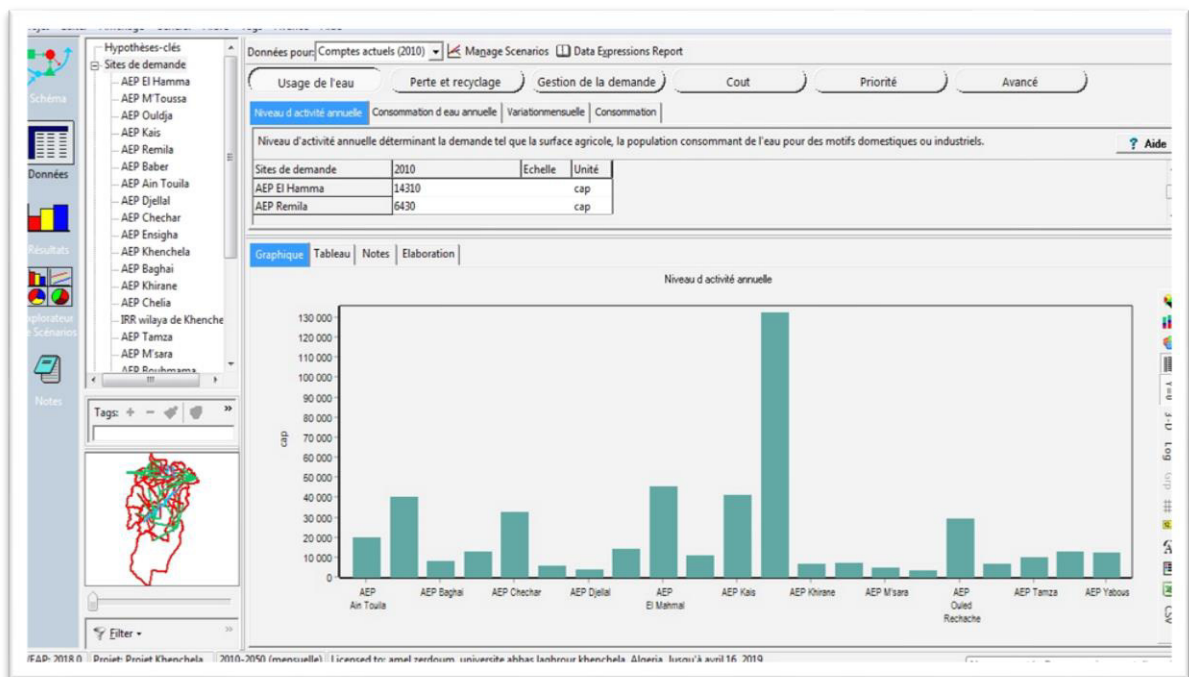


Figure 17. Fenêtre « sites de demandes » avec les données et les graphes (capture d'écran).

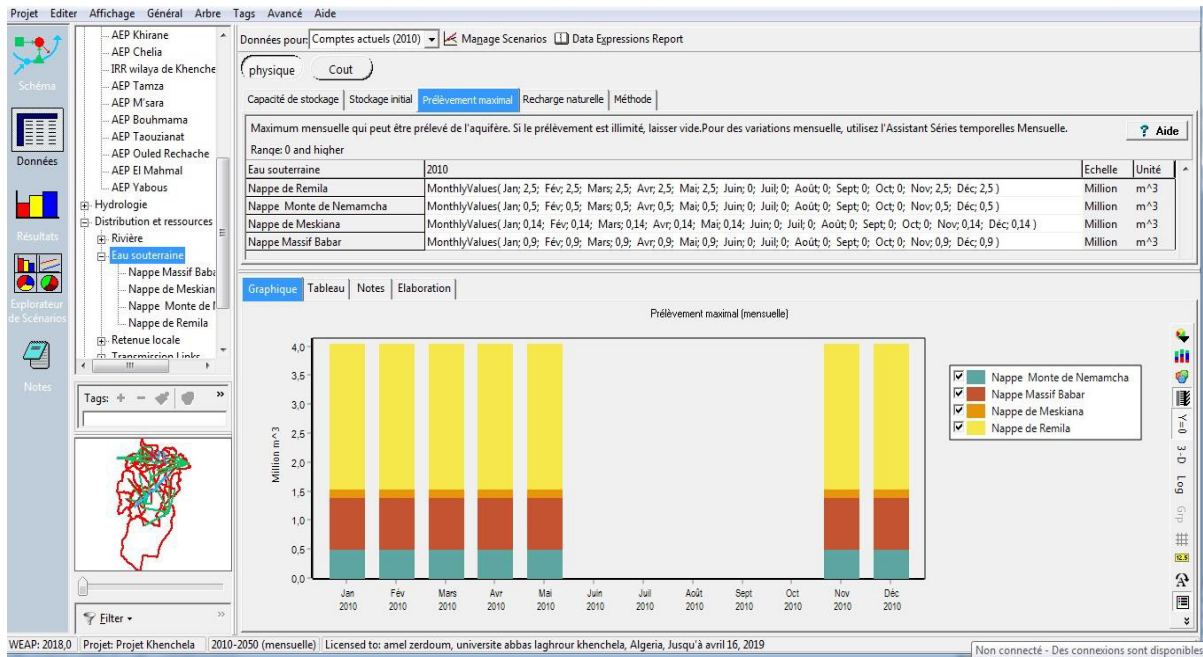


Figure 18. Fenêtre « eau souterraine » avec les données et les graphes (capture d'écran).

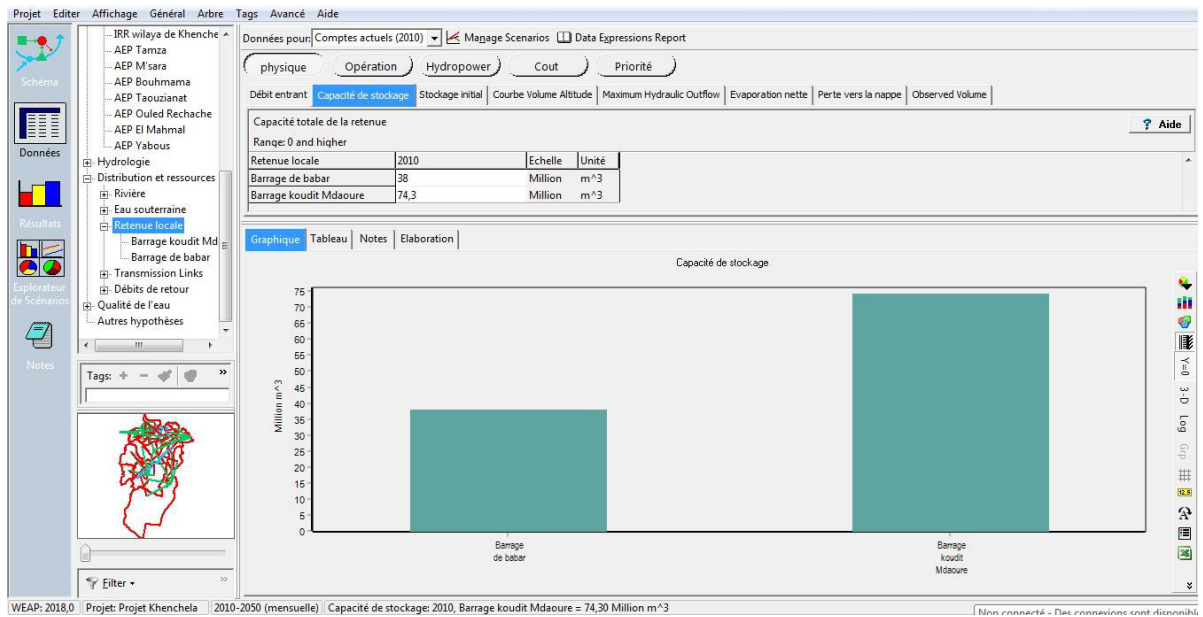


Figure 19. Fenêtre « Retenu locale » avec les données et les graphes (capture d'écran).

Les résultats de l'application du modèle WEAP dans la wilaya de Khenchela sont présentés sous formes cartographique et graphes, en considérant le scénario Référence (2011). L'horizon de projection futur considéré est 2050.

3.2.4. Résultat et discussions

a- Scénario 1 : Référence (R)

- Evaluation de la demande en eau

Les graphes ci-dessous (**Figure 22**) montrent la demande en eau pour chaque site de demande, sans perte pour le scénario Référence (**R**), on constate une augmentation progressive de demande en eau à usage agricole de 286,7 Mm³ en 2010 à 310,8 Mm³ en 2050.

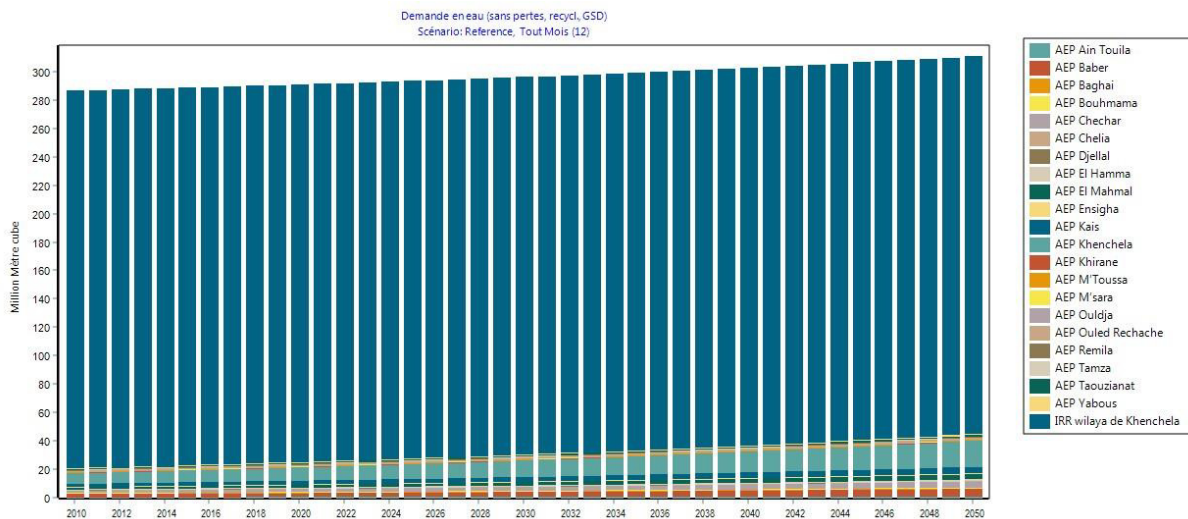


Figure 20. La demande en eau sans perte du scénario Référence.

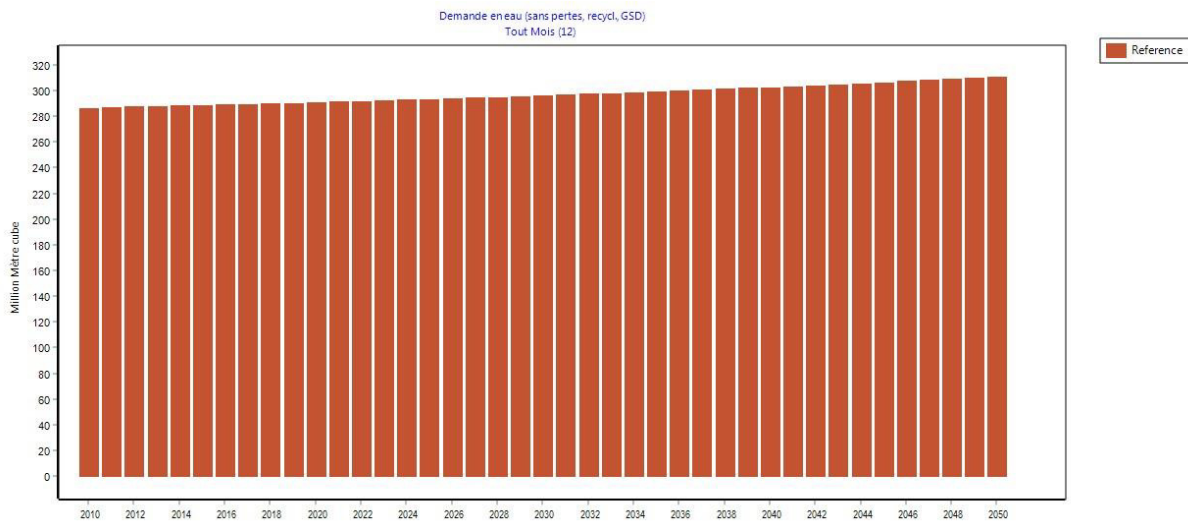
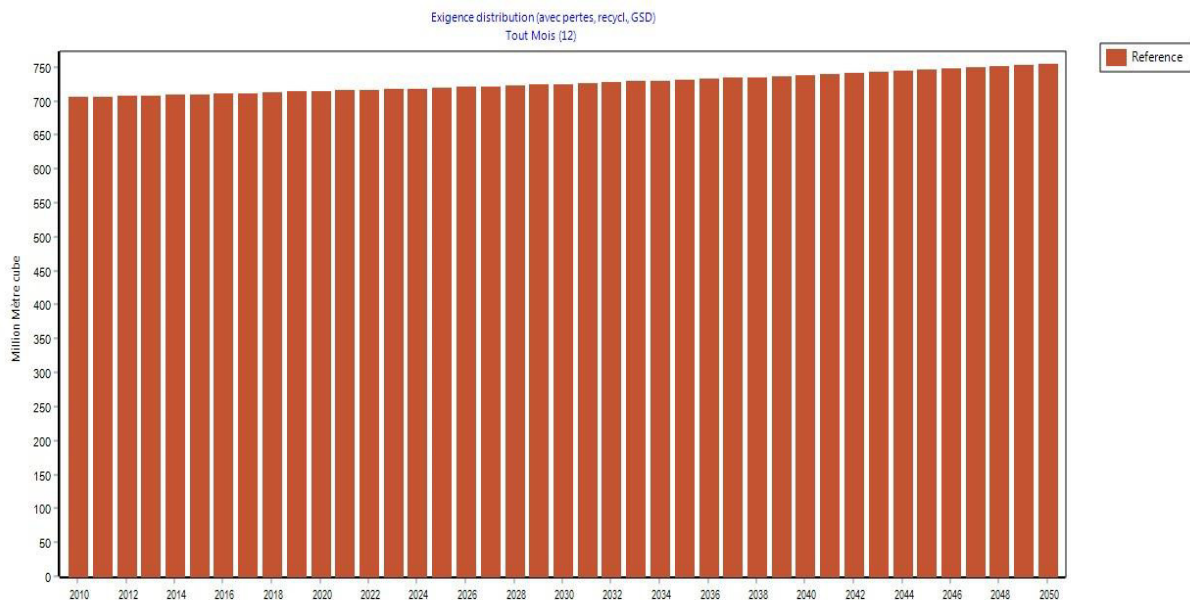
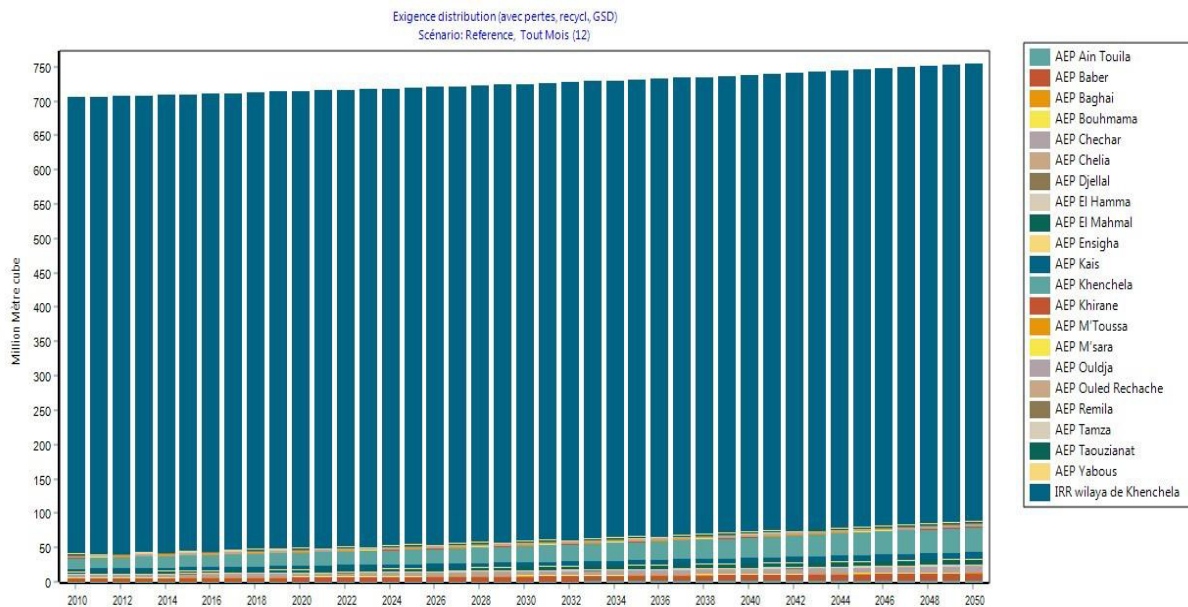


Figure 21. La demande en eau sans perte du scénario Référence.

- Evaluation de l'exigence de distribution pour le scénario Référence (R)

Les graphes ci-dessous montrent l'exigence de distribution pour chaque site de demande, avec pertes pour le scénario Référence (R), pour l'usage agricole elle augmente de 705,9 Mm³ en 2010 à 754,2 Mm³ en 2050.



La période de référence du modèle de gestion utilisée est comprise entre 2010 et 2050, avec un pas de temps mensuel en prenant l'année 2010 comme année de base. C'est un scénario de simulation de l'évolution du système déjà crée dans le compte courant sans intervention

humaine ni changement climatique, nous préservons les paramètres des structure déjà existant en 2010. Pour l'évolution de la taille de la population s'inscrivent dans la continuité des taux calculés sur la période 1998 – 2008.

b- Scénario 2 : Gestion de la Demande (GD)

Evaluation de la demande en eau

Les graphes ci-dessous montrent la quantité d'eau et l'évolution des eaux distribuées pour chaque site de demande pour le scénario Gestion de la Demande (GD) (Figure 24).

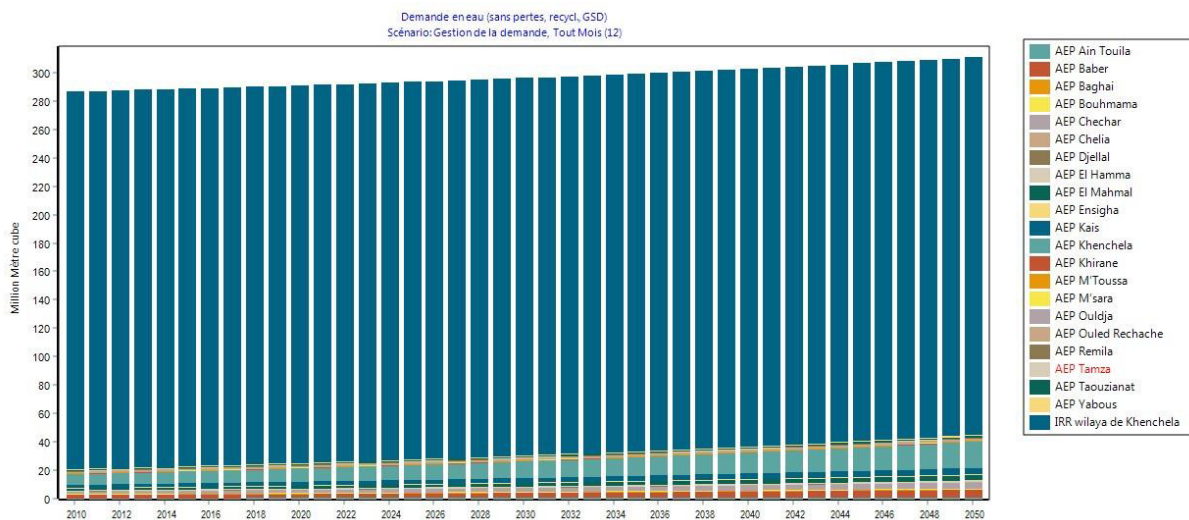


Figure 24. La demande en eau sans perte du scénario Gestion de la Demande.

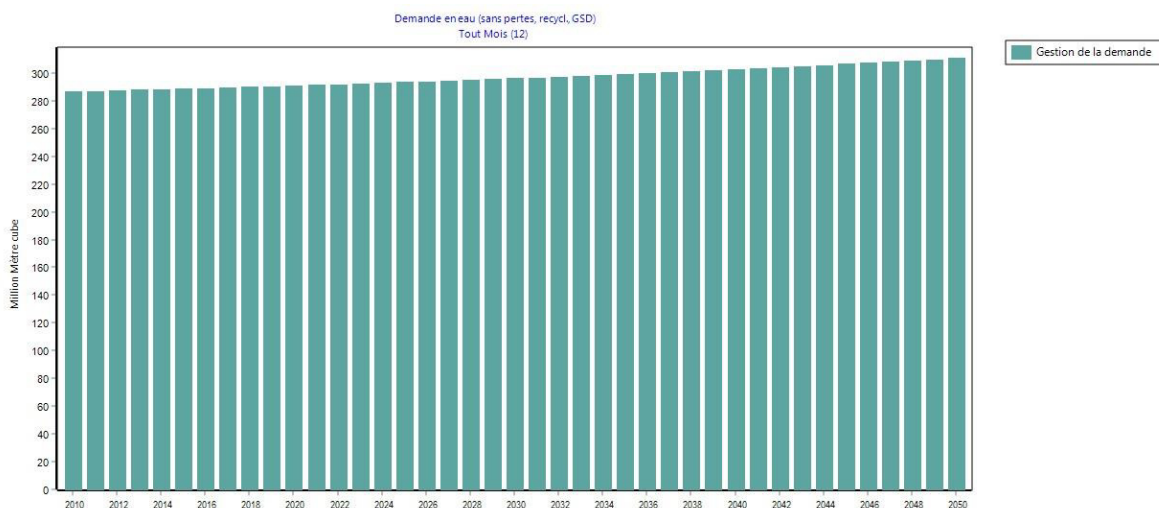


Figure 25. La demande en eau sans perte du scénario Gestion de la Demande.

Evaluation de l'exigence de distribution

Les graphes ci-dessous (**Figure 26**) montrent l'exigence de distribution pour chaque site de demande, avec pertes pour le scénario Gestion de la Demande où on trouve une diminution de demande de l'usage agricole de 586,7 Mm³ en 2010 à 386,2 Mm³ en 2050.

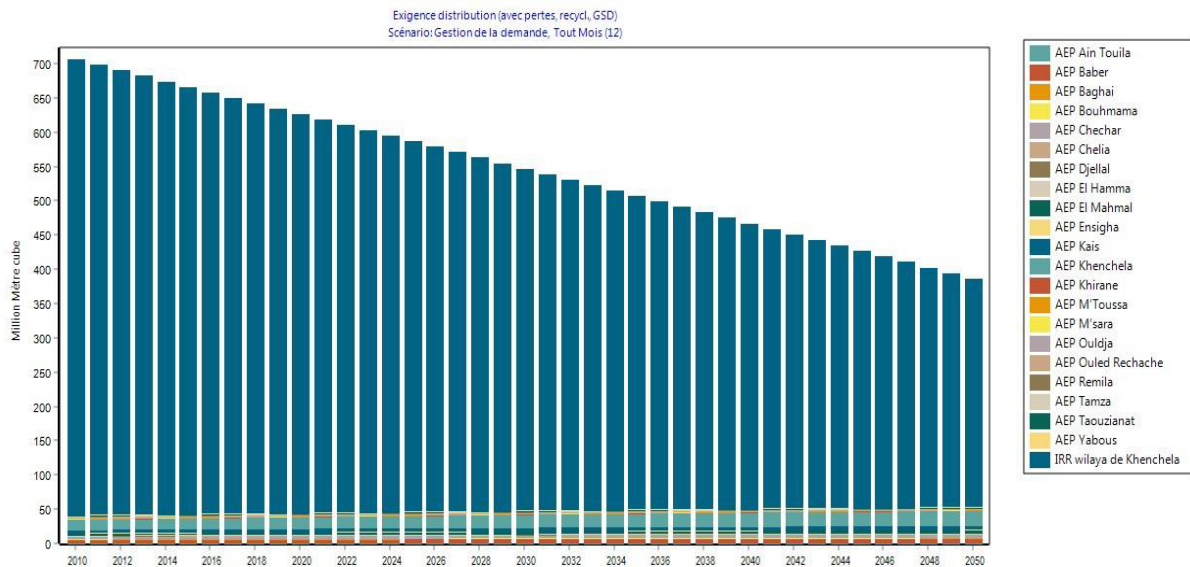


Figure 26. La demande en eau avec perte pour le scénario Gestion de la Demande.

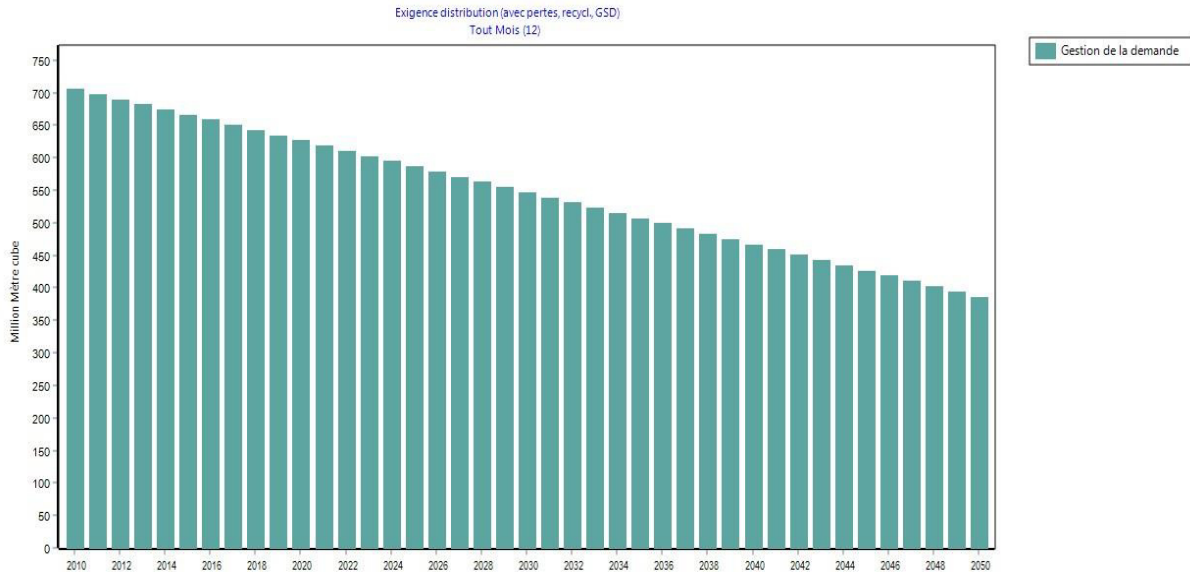


Figure 27. La demande en eau avec pertes pour le scénario Gestion de la Demande.

Ce scénario consiste à maintenir l'offre de l'eau telle qu'elle est dans le scénario Référence et de changer la demande en eau des différents secteurs comme suit :

- une baisse au niveau des pertes aux réseaux de distribution des eaux potables de 45% à 20% en 2050.

- une baisse de la perte d'eau à la parcelle à 10 % en 2050 au lieu de 45% à 2010, par la mise en œuvre des techniques d'irrigation plus efficace (technique de goutte à goutte ou technique du pivot avec une distribution basse au niveau des racines végétales).

c. Comparaison de la demande en eau non satisfaite entre les deux scénarios

Pour le scénario Référence la demande non satisfaite augmente au cours des années à venir pour atteindre en 2050 un volume de 722,4 Mm³. Alors que pour le scénario Gestion de la Demande, elle diminuera pour atteindre 354,4 en 2050 à cause de la diminution des pertes au niveau des réseaux de distribution d'eau.

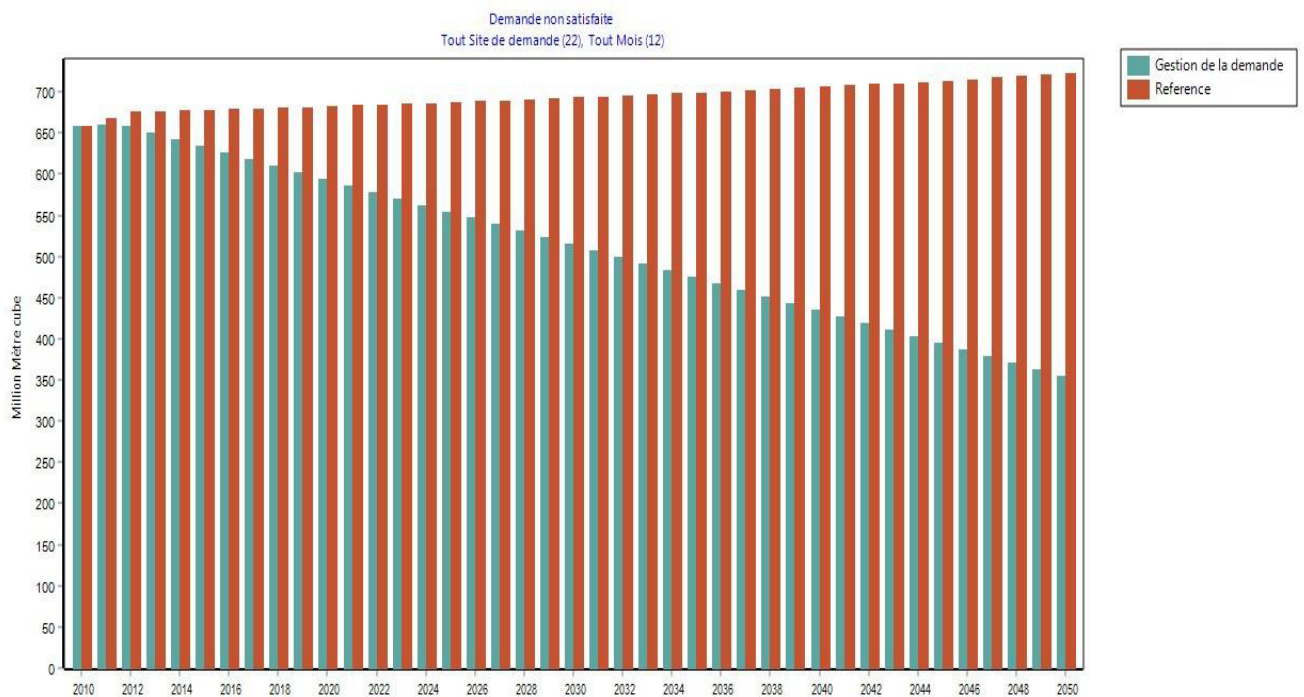


Figure 28. Demande en eau non satisfaite pour le scénario Référence et le scénario Gestion de la Demande.

CONCLUSION GENERALE



La wilaya de Khenchela est située à une distance de 550 Km à l'est du capital (Alger) et au contrefort du mont des Aurès, s'étend sur une superficie de 9.715 Km² et compte 21 communes regroupées en 8 daïras.

La structure physique de la wilaya se caractérise par trois régions naturelles :

- Les Hautes plaines au Nord
- La Zone montagneuse
- Les parcours steppiques

Le climat de cette région est méditerranéen, semi-aride, se caractérise par trois zones climatiques différentes :

- Dans les hautes plaines, le climat est froid, rigoureux en hiver et chaud en été.
- Dans les zones montagneuses, le climat est très rude en hiver et tempéré en été.
- Dans les parcours sahariens, le climat est doux en hiver, chaud et sec en été.

Les précipitations sont assez variables et irrégulières, avec une moyenne de 476,94 mm, le mois le plus pluvieux est mai avec 59.5 mm, alors que le mois le plus sec est juillet avec 16 mm.

La population totale de la wilaya est estimée à 395 400 habitants (recensement 2008) et le taux de croissance de la population 1,7%.

L'identification des formations en eau souterraines montre l'existence de trois formations aquifères :

- L'aquifère du Quaternaire : Cet aquifère possède des propriétés hydrauliques et hydrodynamiques qui diffèrent d'un secteur à un autre (plaine de Gareat El Tarf).
- L'aquifère du Miocène : il est constitué essentiellement de bancs gréseux avec des intercalations argilo-marneuse peu épaisses, constituent en réalité une roche assez dure et peu perméable.
- L'aquifère du Crétacé : associé aux calcaires du Maestrichtien supérieur.

Pour les ressources en eau superficielles elles sont comme suit :

- Barrage de Babar : capacité de stockage de 41 hm³ et degré d'envasement qui atteint 16,6%
- Barrage de Foum El-Guiness : capacité réelle de 2,5 millions m³ avec un envasement à 99%

Pour les eaux non conventionnelles il s'agit de :

- La STEP de Khenchela : une station d'épuration d'une capacité globale de 192 000 eq/H soit un volume nominal de 23 000 m³ /j.
- La STEP de Kais : pour impact d'épurer 2,5 millions de m³/an, pour l'irrigation de 100 ha à l'horizon 2015 et 4,4 million m³ à l'irrigation de 150 ha à l'horizon 2035.

-La station de traitement de Babar : station de traitement des eaux d'une capacité de 17 200 m³ par jour, en plus de deux réservoirs d'une capacité totale de 7 000 m³, dont 12 millions seront utilisés 6 millions serviront à l'irrigation.

Les besoins en eau domestique pour l'année 2007 sont estimés à plus de 62 hm³ pour une population totale de 453002 habitants, la demande en eau domestique sera de 81 hm³.

L'augmentation de l'utilisation de l'eau dans l'agriculture dans la wilaya de Khenchela est principalement due aux techniques d'irrigation traditionnelles avec des pertes de 60%.

Le modèle WEAP est utilisé pour étudier le développement futur de l'équilibre entre demande et offre en eau, à partir de deux scénarios. Un scénario nommé Référence établi pour simuler l'évolution de l'hydro système sans intervention des acteurs ou modification des besoins unitaires. Un second scénario nommé Gestion de la Demande et qui consiste à diminuer les pertes au niveau des réseaux de distribution d'eau (AEP et IRR).

L'évaluation des simulation des deux scénarios simulé sur WEAP permet de constater que les efforts de mobilisation des ressources en eau atteindront leurs limites physiques et économiques et que la concentration doit s'orienter vers une politique de gestion de la demande en eau avec la diminution du gaspillage d'eau provoqué par les pertes au niveau des réseaux de distribution d'eau.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES



- Attia.A., 2015.**Contribution à l'étude hydrogéologique et hydro chimique des eaux souterraines des aquifères de Khenchela : cas de Tamza station météorologique d'El Hamma, Mémoire de Master. Institut de sciences de la nature et de la vie ,Université de Khenchela. Algérie, 39p.
- Benamara. D. et Chekima. A., 2015.** Diagnostic et étude des pertes d'eau potable dans le reseau d'alimentation en eau potable ; cas ville d'el-oued (w.el-oued), Mémoire de Master. Faculté des sciences et technologie, universite hamma lakhdar el-oued. Algérie ,60p.
- Benblidia. M., 2011.**L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique. Plan Bleu, Centre d'Activités Régionales PNUE/PAM, Etude nationale, Algérie, 9-12.
- Bouali.H. et Berkane.W., 2015.** Contribution à l'étude hydro chimique des eaux souterraines de la plaine de Mellagou, (Bouhmama N-W Khenchela) , Mémoire de Master. Institut de sciences de la nature et de la vie ,Université de Khenchela. Algérie ,82p.
- Boubli.S., 2009.** Identification et mise en évidence des formations hydrogéologique de La wilaya de Khenchela (Nord-est Algérien) analyse et synthèse de données, Mémoire de Magister. Université d'Annaba. Algérie ,110p.
- Chaffai.H et al., 2013.** Hydrogéologie d'un système aquifère en zone semi-aride cas de la région de Khenchela, Algérie.
- Dali. N., 2009.** Ressources et gestion intégrée des eaux du bassin de Gareat El Tarf (W. Khenchela), Mémoire de magister. Université d'Annaba. Algérie, 132p.
- DPAT ,2012.** Service des statistiques monographiques de la wilaya de Khenchela. Direction de planification et d'aménagement des territoires.
- DPSB, 2016.** Annuaire statistique. Direction de Programmation Suivie Budgétaire. Khenchela. Algérie.
- DUROZOY. G., 1960.** Etude géologique de la région de chateaudun du Rhumel. Thèse en science Alger.
- Hydraulique khenchela, 2018.** Fiche technique de barrage Babar.
- Kebbach. R., 2011.** Mécanisme de Salinisation des eaux Souterraines cas de la Plaine alluviale de Rémila (Wilaya de Khenchela) , Mémoire de Master. Institut de sciences de la nature et de la vie ,Université de Khenchela. Algérie ,81p.
- Khabthan. H., 2010.** Contribution à L'étude du comportement éco-physiologique du genre Tamarix dans différents biotopes des zones arides de la région de khenchela. Mémoire de Magister. Université de Constantine. Algérie , 152p.

- Lakhdarai. S., 2012.** Etude De La Qualité Des Eaux De Bassin Versant De Foum El Gueiss (Wilaya De Khenchela) ,Mémoire de Magister. Institut de sciences de la nature et de la vie ,Université de Khenchela. Algérie, 110p.
- Messahel. B., 2005.** Efficience des systèmes d'irrigation en Algérie. Communication dans le cadre de la 5ème Journée de recherche en sciences sociales à Agro Sup .Dijon, les 8 et France , 24p.
- Rakotondrabe., 2006.** Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements Climatiques, modélisation par le logiciel WEAP 21 : cas du bassin versant de Morondava (Sud-ouest de Madagascar) ,Mémoire de recherches pour l'obtention du diplôme d'études approfondies. Ecole supérieure polytechnique d'Antananarivo, université d'Antananarivo, 85p.
- Ramade.F.,1984.** Élément écologique : écologie fondamentale, édit, Dunod, Paris, 397p.
- S E I, 2008** Stockholm Environment Institute, Tutorial de WEAP, Guide Utilisateur de WEAP (Système d'évaluation et de planification des ressources en eau).
- Sergma. A., 2015.** Optimisation de la gestion de la petite et moyenne hydraulique en zone de montagne, cas du périmètre de KACHOUT (Wilaya de Mascara).Modélisation par le logiciel WEAP 21, Mémoire de Master. Institut de sciences de la nature et de la vie, UNIVERSITE Mustapha Stambouli de Mascara, 51p.

ANNEXES



Annexe 1 : Les Tableau des précipitations et des températures (max et min) et des Humidité et les vents

1997

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité moy
	min	max				
janvier	3.9	12.3	27	87	26	66
février	4.8	14.7	89	87.6	25	63.7
mars	3.4	15.3	17	91	20	62.7
avril	6.6	18.1	29	125	28	59.4
mai	13.6	26.9	54	249	34	49
juin	18.7	33.7	9	192	43	42.9
juillet	19.3	34.5	22	312	34	45.4
aout	18.2	31.6	38	238	30	54.1
septembre	15.5	25.3	73	126	26	68.9
octobre	11.9	21.1	50	116	23	66.8
novembre	7.1	15.3	75	94	33	70.05
décembre	4.1	12.2	55	79	24	69

1998

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité moy
	min	max				
janvier	0.21	11.3	06	79	27	67.1
février	2.6	13.1	31	65	25	67.9
mars	3.7	14.6	61	104	24	64
avril	7.9	20	59	171	29	59.8
mai	10.2	22.6	57	130	29	70.9
juin	16.3	30.7	28	260	31	45.7
juillet	18.9	35.1	00	308	24	37
aoute	17.9	35.6	30	230	33	48.2
septembre	16.6	29.7	44	218	30	52.38
octobre	9.8	20.3	34	95	20	65.6
novembre	58	14.7	42	87	21	66.4
décembre	1.6	10.06	21	80	23	71.9

1999

Paramètre mois	Température(C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité moy
	min	max				
janvier	3.1	11	48.4	63	24	75.5
février	1.4	9.1	14	68	23	71.8
mars	4.5	15.6	23	118	26	64.1
avril	7.9	21	21	183	36	57.4
mai	14.2	29.1	64	267	27	44.9
juin	18.1	33.5	30	277	32	38.5
juillet	18.8	34.2	17	299	33	38.2
août	22.2	36.7	86	331	31	35.8
septembre	17.2	29.3	26	205	31	52.4
octobre	14.1	24.6	42	184	28	53
novembre	6.1	14.2	89	89	34	68.3
décembre	2.7	10.5	56	72	24	74.4

2000

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité moy
	min	max				
janvier	-0.5	9.1	10	61.5	15	69.5
février	2.7	13.3	4.1	95.9	25	60.1
mars	5.4	17.4	14.6	130	29	59.7
avril	9.4	22.1	10.3	222	39	52
mai	14.1	26.7	81	179	30	55.7
juin	15.2	29.2	60.4	169.2	24	52.8
juillet	18.9	35.3	1.2	279.5	23	36.8
août	18.8	33.7	9.7	947.6	21	36.6
septembre	15.6	28.6	47.2	159.6	26	54.2
octobre	10.5	20.6	34.7	107.8	38	66.4
novembre	7.2	17.6	17.7	98.6	22	57.9
décembre	04	14.4	20.1	68.8	29	67.8

2001

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité moy
	min	max				
janvier	2.8	13.1	17.8	64.6	24	73.2
février	2	13.2	15.4	76.9	25	67.9
mars	9.2	22.2	4.3	169.2	30	50.1
avril	7	20	32.4	120.8	22	64
mai	12.2	24.1	97.4	164.1	36	64
juin	16	31.8	1.4	207	24	47
juillet	20.2	36.2	6.5	274	27	35.5
août	18.8	34	16.5	224.6	40	41
septembre	15.8	28.1	81	110.7	27	65.16
octobre	14.9	26.5	26.6	153.2	29	54.7
novembre	6.8	15.4	38.7	58.4	36	70.3
décembre	1.8	10.8	19.4	47.3	22	71.7

2002

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité moy
	min	max				
janvier	0.8	11.8	9.9	47.6	21	70.6
février	5.4	15.3	14.9	71.2	22	68.1
mars	11.1	18.1	12.1	124	29	55.7
avril	8.2	20.4	26.8	145.6	34	51.9
mai	11.1	26.3	22.2	159.6	28	44
juin	16.1	32.3	13.1	235.2	29	38
juillet	18.6	33.8	27.4	225.7	32	49.15
août	18.3	31.7	128.6	187.3	41	52.5
septembre	15	26.7	28	135.7	39	25.46
octobre	11.9	23.5	20	138	31	51
novembre	7.9	15.2	84.5	115.8	46	66.6
décembre	4.7	12.8	29.5		26	70.6

2003

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité moy
	min	max				
janvier	2.8	10	110	59	34	71.66
février	1.6	9.9	66	43.5	33	72.03
mars	4.6	14.6	26.2	61.4	21	68.1
avril	8.4	19.1	88.8	101.9	29	66.7
mai	11.5	21.9	17.6	157.3	31	56.5
juin	16.3	31.8	41.7	183.9	25	46.3
juillet	20.5	36.7	11	289	26	34.4
août	19.8	34	5.9	260.4	25	36.6
septembre	15.2	27.2	37.9	143	36	62.7
octobre	13.8	23.9	81.8	162.5	26	59.8
novembre	6.5	16.1	19	75.9	26	71.1
décembre	2.4	10.8	44.3	60.7	25	72.8

2004

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité Moy
	min	max				
janvier	2.2	11.3	29	63	20	69.9
février	3.7	14.9	3.9	106.4	34	59.2
mars	5.8	16.9	41.8	112.9	27	62.4
avril	6.6	18.3	53.6	90.6	26	66.2
mai	9.1	20.7	146.7	105.9	31	14.8
juin	13.9	28.4	66.2	138.3	22	56.5
juillet	17.4	33.5	5.2	250.3	27	40.7
août	19.8	34.9	14.5	240.2	25	41.9
septembre	14.1	27.5	24.6	129.8	23	57.2
octobre	13.1	26.9	15	174	22	48.7
novembre	5	13.2	112.5	34	23	81.3
décembre	3.7	10	110.6	56.1	27	78.4

2005

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité Moy
	min	max				
janvier	-0.4	8.8	5	37.4	28	75.7
février	0.9	7.8	43	48.3	26	73.1
mars	5.7	15.9	35.9	121.8	35	61.8
avril	7.6	18.9	36.4	124.6	27	61.1
mai	12	27.6	14.9	202.3	22	50.5
juin	16.3	30.1	46.1	211.9	36	54.1
juillet	19.8	36	10.8	209.3	31	40.9
août	12.4	33	19.9	185.7	28	46.7
septembre	13.7	22.9	42.2	143.1	26	57.1
octobre	11.2	23.2	43.2	101.7	26	61
novembre	6.3	16.3	24.8	103.6	29	61.1
décembre	2.3	9.9	46.1	42.8	23	75.5

2006

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité moy
	min	max				
janvier	0.6	7.9	88.7	40	29	75.5
février	1.7	11.1	43.1	56.7	22	69.8
mars	4.7	17.6	10.5	123.7	29	61.1
avril	9.1	22.6	46.7	147.4	35	58
mai	15.7	26.4	148.7	131.5	26	62.7
juin	17.2	31	11	286.4	29	41.6
juillet	17.6	33.4	41.1	235.5	28	41.7
août	17.6	32.2	47	190.3	24	48.1
septembre	13.6	27.1	22.2	152.2	24	55.1
octobre	12.7	25.5	36.6	162.6	24	54.4
novembre	2.7	17.2	11.8	68.2	18	65.8
décembre	3.2	11.1	76.2	34.1	17	81.2

2007

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité Moy
	min	max				
janvier	2.7	13.8	8.1	58.8	21	68.9
février	4.2	13.5	17.4	69.6	25	69.7
mars	3.6	13.3	103.1	61.7	25	70.9
avril	7.9	17.9	76.7	77.3	26	71.3
mai	11.2	24.3	30.4	129.9	24	57.5
août	17.9	32	38.1	260.5	23	42.7
juin	17.9	34.6	12	214.4	22	37
juillet	18.8	33.8	20.7	266	31	38.8
septembre	14.8	28	122.4	135.5	26	56.8
octobre	11.6	21.9	16.8	117.1	29	61.1
novembre	5	15.1	13.4	80.6	28	64.6
décembre	2.6	10.6	49.1	52.2	29	71.7

2008

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité Moy
	min	max				
janvier	1.8	12.6	23.1	56.8	32	71
février	2	14.2	7.7	51	20	65
mars	4.5	15.8	27.8	92.8	25	61.2
avril	7.8	21.6	14.5	167.2	30	50.2
mai	12.5	24.8	102.7	172	31	55.3
juin	14.9	29.5	6.5	187.1	28	49.4
juillet	20.1	35.9	26.8	293.8	30	38
août	19	33.9	57.8	225.6	18	47.8
septembre	15.8	27.5	93.7	163.8	19	55.8
octobre	11.3	21.3	96.2	74.7	19	70.7
novembre	4.7	13.6	15.2	81.5	36	69.7
décembre	1.4	10.2	48.5	43.1	44	74.8

2009

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité Moy
	min	max				
janvier	2.1	10.2	145.3	51.2	24	75.4
février	1.5	10.2	17.8			68.4
mars	3.6	14.7	74.9			65.9
avril	5	15.4	149.6	76.3	28	72.4
mai	9.9	23.7	53.4	177.7	23	62.4
juin	14	31.4	6.3	183.6	24	50.1
juillet	19.6	36.6	20.7	262.2	30	47.1
août	18.3	33.6	29.7	247	24	60.1
septembre	14.6	25.3	72.7	116.4	26	71.1
octobre	10	20.9	17.9	97.2	25	69.2
novembre	6.3	18.7	3.6	95.9	23	60.1
décembre	5.1	15.4	23	105.9	32	63.2

2010

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité moy
	min	max				
janvier	2.5	12.3	30.1	79.6	30	68.2
février	4.6	14.8	15	110.6	39	61.3
mars	5.6	18.2	15.5	119	33	60
avril	8.9	21	84	127	17	65.9
mai	9.7	22.7	87.4	125.9	28	60.8
juin	15	30.4	25.3	200.4	36	50.7
juillet	18.3	34.4	17	247.3	23	48
août	18.5	34.2	42.7	248.8	22	51.6
septembre	14.5	27.7	70.6	171	28	58.7
octobre	10.4	22.5	36.7	139.1	25	66.9
novembre	6.2	16	73.2	82.7	35	60.6
décembre	3.3	14.3	31.6	83.9	31	60.9

2011

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité moy
	min	max				
janvier	2.5	13.1	26.9	54.6	19	68.2
février	1.5	10.4	86.2	41	21	75.8
mars	4.1	14.4	98.8	66.8	43	72.7
avril	7.9	20.5	46.3	79.5	32	68.5
mai	9.9	22.8	128.5	88.7	20	65.9
juin	14.1	28	57.6	100.4	18	60.2
juillet	19.2	34.4	28.1	237.8	21	46.7
août	18.6	34.5	15.4	253.5	18	44.8
septembre	16.3	30.5	18.1	162.4	21	55.5
octobre	10	20.6	64.9	90.2	20	69.5
novembre	7	16	13.2	60.8	32	71.5
décembre	3.1	11.8	42.3	51	18	73.9

2012

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité moy
	min	max				
janvier	1.2	10.2	26.7	49.7	19	75
février	-1	7.6	66.1	40.2	18	75.9
mars	4.1	15.9	31.5	95.9	23	63.4
avril	7.7	19.8	42.4	117	26	60.3
mai	11	26.2	46.4	171.8	24	54
juin	17.7	34.4	16.2	295.8	24	43.6
juillet	19.8	36.3	3.4	353.5	26	41.6
août	20.4	36.7	24.4	277	22	33.7
septembre	15.4	28.4	73.2	198	26	57.7
octobre	12.6	24.8	25.9	141.8	27	58.4
novembre	7.7	18.6	27.1	81.8	22	62.4
décembre	2.2	13.4	5	62.9	19	61.3

2013

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent (m/s)	Humidité moy
	min	max				
janvier	2.6	11.4	37.4	73.5	4.1	63.1
février	1.1	10.8	22.3	77.8	4.7	63
mars	6.3	17.8	50	110.8	4.5	58
avril	8.2	22	37.2	121.8	4.51	55
mai	10.5	24.8	38.1	138.8	3.6	56.5
juin	13.3	29.9	0.4	198.9	2.9	42.8
juillet	18.5	34.2	39.8	206.3	2.6	42.9
août	17.3	32.2	57.4	207.3	2.9	47.2
septembre	16.1	27.4	134.8	123.7	1.9	56.1
octobre	2.6	11.4	37.4	73.5	2.2	53.7
novembre	5.6	14.3	31.7	59.4	4	66.7
décembre	2.1	11.1	28.6	29	2	57.5

2014

Paramètre mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent (m/s)	Humidité moy
	min	max				
janvier	2.6	12.3	47.4	64.9	3.4	67.1
février	3.2	14.4	38	86.5	3.3	63.8
mars	3.7	13	79.1	67.8	4.1	72.5
avril	7.1	20.7	0.1	130.7	4.1	54.8
mai	10.6	25.4	32.3	165.1	3.8	54
juin	15.4	29.7	49.3	202.7	3.6	48.6
juillet	18.7	34.6	00	288	3.7	38.8
août	19.5	35.6	24	246.2	2.7	43.9
septembre	17.7	31.2	30	105.5	3.2	50.4
octobre	12.8	24.8	15.6	158.9	3.4	52.1
novembre	8.1	19	36.6	129.2	3.9	58.4
décembre	2.8	10.7	68.5	55.4	3.9	78.2

