



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université ABBES LAGHEROUR – Khenchela-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'écologie et environnement

MEMOIRE

Pour l'obtention du :

DIPLOME DE MASTER EN ECOLOGIE ET ENVIRONNEMENT

OPTION : PROTECTION DES ECOSYSTEMES

L'établissement des périmètres de protection des ouvrages de captage des eaux souterraines (El Hamma)

Présenté par :

Slimani Ahlam

Hoggas Amel

Devant le jury :

- **Président** M. ZIOUCH Omar Ramzi

MCB (université de Khenchela)

- **Examinatrice** : Mlle. HALIMI Samia

MCB (université de Khenchela)

- **Encadreur** M. .DAIFALLAH Tarek

MCB (université de Khenchela)

2017/2018



RESUME

L'eau est une matière première de grande importance pour la survie des êtres humains et de leur environnement. L'accroissement démographique dans la région de kenchela nécessite un besoin en eau de plus en plus croissant. Ce travail consiste à la détermination des périmètres de protection de quelques ouvrages de captages implantés dans la nappe de la plaine de Remila.

Trois forages situés dans la plaine de Remila ont été choisis afin de réaliser cette étude. Trois périmètres ont été réalisés pour chaque forage (périmètre immédiat, périmètre rapproché et périmètre éloigné) par la méthode de Wyssling puis à l'aide du logiciel Zappel. Ou on a pu réaliser des cartes de représentation sur Google Earth.

Les résultats obtenus montrent les longueurs des zones d'appel en amont des ouvrages varient entre 226 et 471m pour le périmètre immédiat, entre 277 et 752m pour le périmètre rapproché et des longueurs de 599 à 1249m pour le périmètre éloigné.

Les superficies de ces périmètres immédiats sont de l'ordre de 10 à 58 ha, elles sont de 19 à 116 ha pour les périmètres rapprochés et de 39 à 232 ha pour les périmètres éloignés.

L'approche cartographique montre que les périmètres de protection des trois forages ne contiennent aucune activité industrielle ou rejet municipal menaçant les eaux des forages actuellement, néanmoins quelques pratiques agricoles et de pâturage qui se trouvent dans les périmètres immédiats nécessitent un contrôle continu.

Mots-clés : Périmètres de protection, Plaine de Remila, méthode de Wyssling, logiciel Zappel.

Abstract

Water is a raw material of great importance for the survival of human beings and their environment. Population growth in the Khenchela region necessitates a growing need for water. This work consists in determining the protection perimeters of some wells located in the Remila plain aquifer.

Three wells located in the plain of Remila were chosen to carry out this study. Three perimeters were made for each one (immediate, influence and distant protection zones) using the

RESUME

Wyssling method and then using the Zappel software. Or we have been able to make representation maps on Google Earth.

The results obtained show lengths of the zones of influence in upstream at wells vary between 226 and 471m for the immediate perimeter, between 277 and 752m for the close perimeter and lengths of 599 to 1249m for the distant perimeter.

The areas of these immediate perimeters are of the order of 10 to 58 ha, they are of 19 to 116 ha for the close perimeters and 39 to 232 ha for the distant perimeters.

The cartographic approach shows that the protection perimeters of the three boreholes does not contain any industrial activity or municipal discharge menaces the waters of the wells at the present time, nevertheless some agricultural and pasture practices which are found in the immediate perimeters require continuous control.

Keywords: Protection perimeters, Remila plain aquifer, Wyssling method, Zappel software.

أهمية كبيرة
تحدد محيط الحماية
اختيار
ومحيط بعيد)
.Earth
ظهر
بين 277 752 للمحيط القريب
المحيطة
القريب 39 232 هكتار للمحيط البعيد.
يوضح منهج
محيط الحماية
مياه
ويبينهم.
المياه
هذه
سهل رميلا
طريقة Wyssling
المحيط البعيد.
عليها
بين 599 1249 للمحيط البعيد.
10 58 هكتار مساحتها 19 116 هكتار للمحيط
المحيط القريب
باحتوي
الزراعية
تصريف بلدية يهدد
المحيط

: محيط الحماية، عادي، رميلا، طريقة Wyssling Zappel

Remerciements

Au tout puissant Allah

A toi la louange, O la lumière des cieux ; de la terre et de ce qu'ils renferment.

Gloire a toi de nous avoir assisté de la lumière et en toute circonstance matin et soir.

Prophète Mohamed

Que les bénédiction et la paix de Dieu soient sur toi.

Nous te témoignons nos respects et notre gratitude pour tout ce que tu as fait

Pour le bien de respects et l'humanité.

Nous tenons à remercier vivement notre enseignant encadreur monsieur,

***Daifallah Tarek.** Pour sa patience et de son soutien durant le déroulement*

De ce travail qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance et notre profond respect.

Nous exprimons, aussi, toute nos gratitude et nos sincères

Remerciements aux membres du jury de la commission de suivie

*De ce Travail notamment, Monsieur **Omar Ramzi Ziouch** et **Halimi Samia***

Je voudrais également remercier tous mes enseignant du département

De biologie de l'université Abbes Laghrour khenchela.

Ahlam & Amel



DEDICACE

Avant tous je remercie Dieu de m'avoir guidé durant mes années d'étude et de m'avoir permis de réaliser ce travail.

Je dédie ce mémoire à mes chers parents ma mère

Et mon père pour leur patience, leur Amour, leur soutien et leurs encouragements

Mes frères et sœurs : Amin, Abed Alhak,

Dahbia, Houda, Khadija, Souad, Rayane, Takwa

A mon cher mari Mohammed

Et mon cher mari de ma sœurs Salah

Ainsi qu'a tous mes enseignants, et particulièrement mon

En cadreur: Daifallah Tarek.

Ames fidèle amies : Fatine, Fatma, Ismahane, Rofaida, Amel,

Souad, Habiba, Abta, Ibtissam, Ghahira, Soulaf, Sara, Somia, Latifa

Atouts les étudiants de ma promotion, a qui je souhaite beaucoup de succès.

En fin, je remercie mon binôme, Hoggas Amel, qui a contribué

à la réalisation de ce modeste travail

DEDICACE

Je dédie ce travail, comme preuve de respect, de gratitude

et de reconnaissance a :

Mon père : Abdallah et mes frères : Imad, Abdelaziz,

Khiredin qui a fait des sacrifices et crus en moi tout au long de mon parcours scolaire, a mes grands parents qui n'ont cessé

De prier pour moi, à mes tantes qui mont aidée dans mon projet.

Mon sœur : Siham, Anissa vous avez les plus chers pour moi

Et mon mari Mourad qui na jamais cessé de croire

En moi source d'amour et de tendresse pour son écoute, ses encouragement.

Mes meilleurs amis : Abla, Wissem, Ahlam, Afaf, Rahima,

Anel, Nadia, Sihem, Khawla, Imen, Mariem, Soria,

Chahra, Habiba pour leur aide, leur temps,

Leur encouragement, leur assistance et soutien.

Mon binôme Slimani Ahlam et mon très chère encadreur

Daifallah Tarek

Et tous mes enseignants et tous ceux qui mont aidé

Dans la réalisation de ce mémoire.

Amel

Table de matière

Liste de tableaux	I	
Liste de figures	II	
Liste des abréviations	III	
INTRODUCTION GENERALE	1	
chapitre I : description de la zone d'étude		
I	Caractéristiques Géographiques	3
I.2	Situation administrative	3
I.3	Situation démographique	4
I.3.1	La Population	4
I.4	Le milieu physique	4
I.4.1	Le relief	4
I.5	Le climat	7
I.6	hydrogéologie de la wilaya de Khenchela	8
I.7	Aperçu pédologique sur les principaux sols de la wilaya	9
II	Présentation générale de la zone d'étude	10
II.1	Situation Géographique	10
II.2	Relief	11
II.3	Climat	12
II.4	Hydrographie	12
chapitre II : contexte climatologique		
I	Introduction	13
II.1	Station retenue	14
II.2	L'étude des facteurs climatique	14
II.2.1	Le climat	14
II.2.2	Les précipitations	14
II.2.2.1	Répartition annuelle des précipitations	14
II.2.2.2	Variations moyennes mensuelles des précipitations	15
II.2.3	La température	16
II.2.3	Variations des températures moyennes annuelles	16
II.2.3.2	Variations de la température moyenne mensuelle	17
II.3	Caractérisation du climat	18

II.3.1	Le diagramme Ombrothermique	18
II.3.2	Indice d'aridité	19
II.3.2.1	Indice de Martonne	19
II.4	Estimation de l'évapotranspiration	20
II.4.1	Evapotranspiration potentielle (ETP)	20
II.4.2	Évapotranspiration réelle (ETR)	21
II.4.3	Evaluation de l'ETR par la méthode du bilan de Thornthwaite	22
II.4.4	Calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite	23
II.4.4.1	Interprétation du bilan hydrologique	24
II.4.5	Ruissellement R (mm)	25
II.4.6	L'infiltration I (mm)	25
II.5	Conclusion	26
Chapitre III : les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines		
III.1	Introduction	27
III	Généralités	27
III.2.1	l'eau souterraine	27
III.2.2	l'aquifère	27
III.2.3	les captages d'eau	28
III.3	la protection des eaux	28
III.3.1	protection de l'eau en Algérie	28
III.3.2	Définition des périmètres de protection	30
III.3.2.1	Objectif des périmètres de protection	30
III.3.2.2	périmètre de protection immédiate	31
III.3.2.	périmètre de protection rapprochée	32
III.3.2.4	périmètre de protection éloignée	33
III.3.3	périmètre de protection selon le type d'aquifère	34
III.3.3.1	Aquifère en roches meubles	34
III.3.3.2	Aquifère en roche karstique	35
III.3.3.3	Aquifères discontinus à porosité de fissures (Socle)	35
III.3.3.3.1	Emprise des périmètres de protection	35
III.3.3.4	Aquifères continus à porosité d'interstice (bassins Sédimentaires)	36

III.3.3.4.1	Nappe captive	36
III.3.3.4.1	Emprise des périmètres de protection	36
III.3.4	les critères de délimitation des zones de protection	37
III.3.4.1	le pouvoir épurateur du sol	37
III.3.4.2	le rabattement	37
III.3.4.3	Temps du transfert	38
III.3.4.4	La distance	38
III.3.4.5	Les limites d'écoulement	38
III.4	Elaboration des périmètres de protection	38
III.4.1	périmètre de protection immédiate	38
III.4.2	périmètre de protection rapprochée	39
III.4.3	périmètre de protection éloignée	40
III.4.4	Réglementation des activités à l'intérieur des périmètres	41
III.5	Méthodes de calcul de l'isochrone 50 j	42
III.5.1	Sauty et Thiery	42
III.5.2	Hofmann et Lillich	42
III.5.3	Wyssling	42
III.5.3.1	Grandeurs spécifiques (hydrogéologiques)	42
III.5.3.2	Grandeurs à calculer	43
III.6	Mesures de protection	44
III.6.1	Protection qualitative	44
III.6.2	Protection quantitative	45
III.7	Conclusion	45
Chapitre IV : étude hydrodynamique		
IV.1	Introduction	46
IV.2	Objectif	46
IV.3	Dénomination du puits	46
IV.4	L'essai de pompage	47
IV.4.1	Les paramètres hydrodynamiques	48
IV.4.1.1	Transmissivité (T)	48
IV.4.1.2	Coefficient d'emménagement (S)	48
IV.4.1.3	Perméabilité (K)	48
IV.5	Conclusion	48

Chapitre V : estimation de la vulnérabilité et calcul des isochrones		
V.1	Détermination de la vulnérabilité	50
V.2	Estimation des vulnérabilités et calcul des isochrones	54
V.2.1	Estimation de vulnérabilité : F07	54
V.2.2	Calcul des Isochrones F07	55
V.2.3	Estimation de vulnérabilité F11	56
V.2.4	Calcul des Isochrones F11	57
V.2.5	Estimation de vulnérabilité F14	58
V.2.6	Calcul des Isochrones F14	58
V.3	Utilisation du logiciel pour la détermination des périmètres de protection des forages d'eau	60
V.4	Résultats de calculs	60
V.5	Conclusion	64
conclusion générale		66
Annexe		IV
Référence bibliographie		V
Résumé		VI

Liste des Tableaux

Numéro	Titre	Page
1	Les caractéristiques de station pluviométrique retenue dans l'analyse	14
2	Répartitions de la précipitation moyenne mensuelle d'el Hamma entre la période (1997-2017)	15
3	Répartitions de la température moyenne mensuelle d'el Hamma période (1997-2017)	17
4	valure de précipitations-températures.(Pluviothermique) kenchela (1997-2017)	19
5	Bilan hydrologique moyen (1997/2017) à la station d'El Hamma par la méthode de Thornthwaite	23
6	Taille des périmètres de protection standard dans le socle	35
7	.Taille des périmètres de protection standard en nappe captive	37
8	Coordonnée décimal de des sites des essais par pompage	46
9	Tableau récapitulatif des paramètres hydrodynamiques	49
10	Critères de vulnérabilité avec leurs notes pondérées	54
11	Correspondance entre la note pondérée et la classe de vulnérabilité	54
12	Synthèse des données pour le forage F07	55
13	Résultats de calcul manuel des paramètres des isochrones de forage F07	56
14	Synthèse des données pour le forage F11	57
15	Résultats de calcul manuel des paramètres des isochrones de forage F11	58
16	Synthèse des données pour le forage F14	58
17	Résultats de calcul manuel des paramètres des isochrones de forage F14	59
18	Superficies des périmètres de protection (en ha) pour les forages étudiés	64
19	Vulnérabilités des forages étudiés.	65

Liste des figures

Numéro	Titre	Page
1	Situation géographique de la Wilaya de Khenchela	4
2	Figure 2. La répartition des zones naturelles de la Wilaya de Khenchela	5
3	Les reliefs de la Wilaya de Khenchela	7
4	Figure 4. Carte des principales zones aquifères	8
5	Carte illustrant la situation géographique de la zone d'étude	11
6	Histogramme de variation de précipitation annuelle de la station d'el Hamma au période de 20 ans (1997-2017)	15
7	Courbe de variation des précipitations moyennes mensuelles de la station d'El Hamma (1997-2017)	16
8	Évolution des températures moyenne annuelles à la station d'El Hamma (1997-2017)	17
9	Courbe de variation des températures moyennes mensuelles de la station d'El Hamma (1997-2017)	18
10	10. Diagramme ombrothermique	19
11	Représentation graphique du bilan d'eau de Thornthwaite de la station d'El Hamma (1997/2017)	24
12	Les zones des périmètres de protection des eaux	30
13	Le périmètre de protection immédiate (S.I.A.E.P)	32
14	Le périmètre de protection rapprochée	33
15	Le périmètre de protection éloignée	34
16	Organigramme d'élaboration de la zone de protection immédiate	39
17	Organigramme d'élaboration de la zone de protection rapprochée	40
18	Organigramme d'élaboration de la zone de protection éloignée	41
19	Schéma d'écoulement avec les grandeurs utilisées dans la méthode	44
20	Caret de localisation des coordonnées décimales des puits étudiés. (Photo Google Earth)	47
21	Logigramme d'évaluation de la vulnérabilité	51
22	Détermination de la zone d'appel et des isochrones (F07) par le logiciel ZAPPEL	61
23	Détermination de la zone d'appel et des isochrones (F11) par le logiciel	62

	ZAPPEL	
24	24. Détermination de la zone d'appel et des isochrones (F14) par le logiciel ZAPPEL	62
25	Représentation des périmètres sur Google Earth	63

Liste des abréviations

ANRH.	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
C°.	Degré Celsius.
ETP.	Evapotranspiration potentiel (mm).
ETR.	Evapotranspiration réelle (mm).
R.	Ruissellement
I.	Infiltration
K.	Coefficient de correction cultural
RFU.	Réserve Facilement Utilisable
BH.	Bilan Hydrique
DA.	Déficit Agricole
EX.	L'Excédent
E.	Est.
Q.	Débit.
N.	Nord.
SMK.	Station Météorique de Khenchela.
Pr.	Précipitation annuelle (mm).
T.	Température.
%.	Pourcentages.
Km².	Kilomètre carré.
m	Mètre.
m³.	Mètre cube.



Introduction

INTRODUCTION GENERALE

Avec le développement socio-économique d'une part, et la forte pression démographique et urbanistique d'autre part, la demande en eau ne cesse pas de s'accroître. La rareté des ressources en eau et la forte irrégularité aussi bien spatiale, que temporelle ainsi que la diversité des sources de pollution incitent l'adaptation des mesures préventives visant une gestion durable et optimale.

La pérennisation de ressources souterraines nécessite donc la mise en place des périmètres de protection destinés à éviter les pollutions diverses pouvant altérer la qualité des nappes phréatiques

En Algérie, comme partout dans le monde, d'ailleurs, les activités industrielles et métallurgiques, rejettent dans l'environnement une grande variété d'éléments traces métalliques. Tous ces facteurs anthropiques rendent les eaux souterraines très vulnérables aux pollutions. En effet, on connaît malheureusement de nombreux cas de contaminations de nappes qui ont eu des incidences nuisibles sur la santé des populations, ou nécessite l'abandon définitif des captages .Il s'agit de définir la localisation et caractéristique une méthodologie de dimensionnement de zones de protection de captages d'eaux souterraines contre toute forme de pollution, et elle doit pouvoir être effectuée dans les principales situations hydrogéologiques .Les périmètres de protection sont un sujet d'actualité traité par les scientifiques dans le monde au profit de la recherche d'une part, et des collectivités locales d'autre part, pour une bonne gestion de la ressource hydrique. Plusieurs études ont été développées dans ce sens présentant des méthodes de délimitation de ces périmètres ainsi que les aires d'alimentation. Ces études et méthodes permettent de préserver la ressource de la dégradation notamment anthropique et par conséquent protéger le consommateur. C'est pourquoi une stratégie globale de protection des ressources en eau potable apparait comme une des responsabilités primordiales des collectivités qui se doivent délivrer une eau conforme aux normes sanitaires. Bien que l'eau puisse être traitée par différentes filières avant d'être distribuée, il apparaît important de protéger au mieux les ressources (sources, puits, forages.....etc.) de toute pollution extérieure. Pour cela, l'établissement des périmètres de protection autour des captages d'eau est indispensable pour la préservation des ressources d'eau contre la pollution.

Notre étude s'articule sur Cinq chapitres, Le premier chapitre concerne une description de la zone d'étude, dans cette partie nous avons défini les caractéristiques géographiques, Socio-économiques et géologiques de la région d'étude. Nous abordons en deuxième chapitre le

INTRODUCTION GENERALE

contexte climatologique de la région ayant pour but de dégager les caractéristiques climatiques, d'établir le bilan hydrologique. Le troisième chapitre se base sur les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines, consistera une étude bibliographique générale sur les périmètres de protection des eaux souterraines. Nous présentons dans le quatrième chapitre les Etude Hydrodynamique de la zone d'étude, e la détermination des paramètres hydrodynamiques (transmissivité, perméabilité perte de charge).et dans le cinquième chapitre se base sur les Estimations de la Vulnérabilité et calcul des Isochrones, Nous avons estimé la vulnérabilité et calculé les isochrones par la méthode de WYSSLING, pour établir les périmètres de protection des forages du secteur d'étude. Enfin nous terminons notre travail par une conclusion.



Chapitre I

description de la zone d'étude

I. CARACTERISTIQUES GEOGRAPHIQUES

I.1. Situation géographique de la région de Khenchela

La région de Khenchela est située au Nord de l'Algérie, au Sud-Est du constantinois ; au contrefort du mont des Aurès entre 34° 06' 36'' et 35° 41' 21'' latitudes Nord ; et entre 06° 34' 12'' et 07° 35' 56 '' de longitudes Est, située à une altitude moyenne de 1122 m. Distance de 570 Km de la capitale Alger .Sa superficie est de 9811 Km² (superficie agricole est de 963.014 Ha); 50% actives dans les zones agricoles [DSA. 2015].

I.2. Situation administrative:

La Wilaya de Khenchela est issue de la refonte territoriale de 1984. Elle était rattachée entre 1977 et 1984 à trois Wilayas différentes :

- Oum El Bouaghi pour l'ex Daïra de Khenchela ;
- Tebessa pour la Daïra de Chechar ;
- Batna pour la Daïra de Kais.

Actuellement le territoire de la Wilaya est composé de 21 communes regroupées en huit (08) Daïras (dont 05 Daïras créés en 1990) : Khenchela, El-Hamma, N'sigha, Tamza, Baghai, Ain-Touila, M'touss, Bouhmama, Chélia, M'sara, Yabous, Babar, Chechar, Djelal, Khirein, Ouldja, O. Rachache, Mahmel, Kais, Taoiziant, Remila (DHWK. 2012) (Figure 01).



Source: Khenchela ANDIA 2013

Figure 1. Situation géographique de la Wilaya de Khenchela

I.3. Situation démographique :

I.3.1. La Population :

La population totale de la Wilaya est estimée à 414.550 habitants au 31/12/2011(ANDI. 2013).

I.4. Le milieu physique:

I.4.1. Le relief:

Le relief: est la résultante de la combinaison entre deux facteurs: l'altitude et la pente. Le relief de la Wilaya de Khenchela est composé de quatre (04) grands ensembles géographiques (DPAT. 2012).

- Les montagnes: Ces reliefs on les retrouve au Nord-Ouest sur le massif des Aurès représentés par : Djebel -Aidel (2092 m), Djebel -Chentgomma (2115 m), Djebel -Bezez (2141

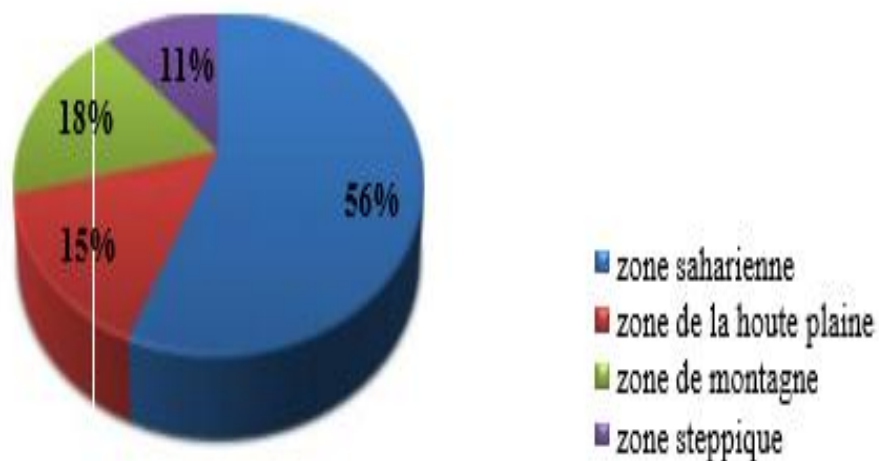
m) et à l'Est dans les massifs de Nememcha représentés par Djebel -Bouzendag (1390 m), Djebel -Sguiguine (1453 m), Djebel -Tedliste (1507 m). On retrouve les massifs de Djebel -Djahfa (1707 m) (Gaagai. 2009).

- Les plateaux : Ils sont situés au Nord-Est (plateaux d'Ouled Rechache) et s'étendent sur les communes de Mahmel et d'Ouled Rachache.

- Les plaines: Situées au Nord et Nord-Ouest de la Wilaya, elles comprennent Remila, Bouhmama et M'toussa. Il a est noté que ces deux derniers ensembles sont parfois appelés les hautes plaines.

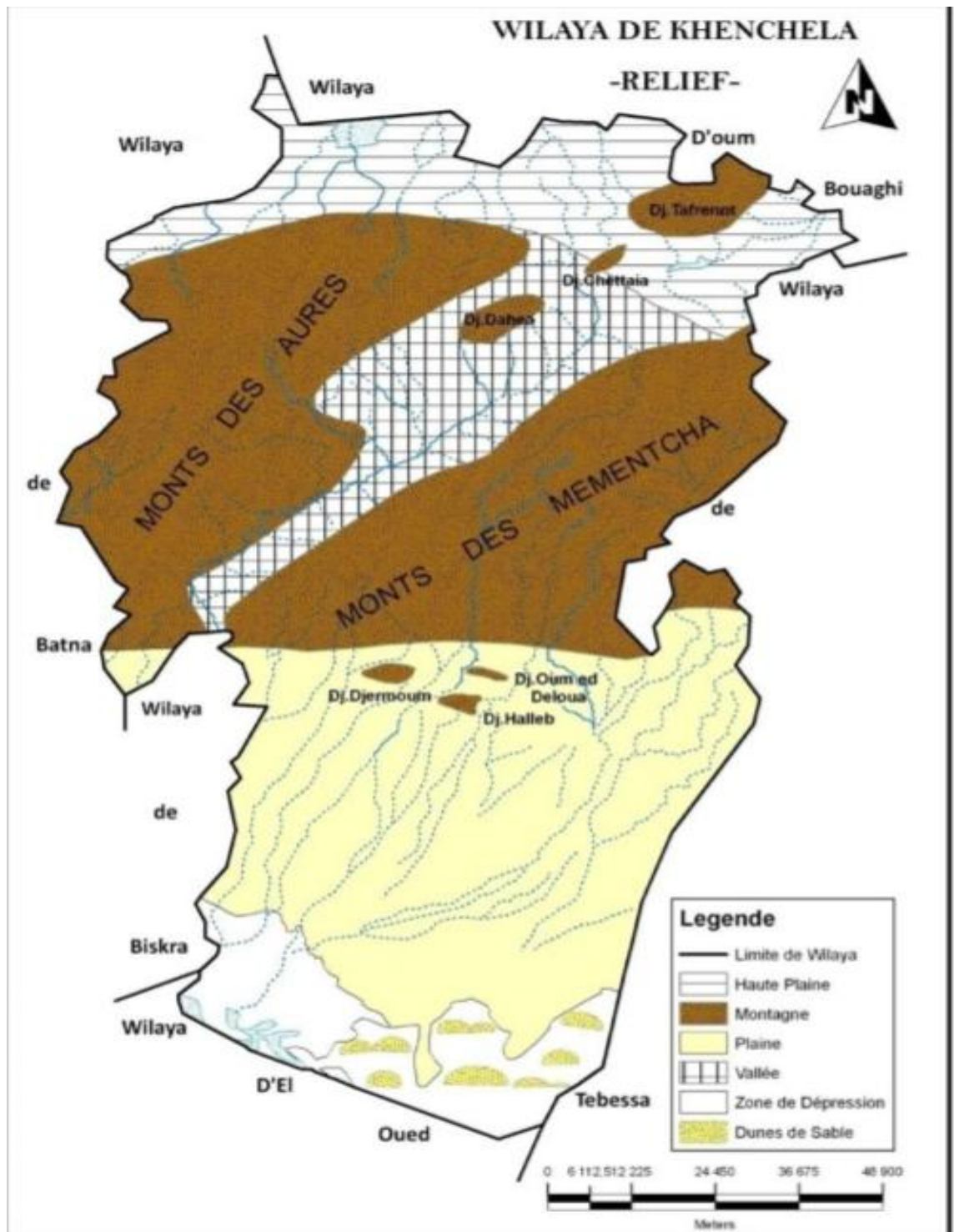
-Les parcours steppiques et les dépressions : Ils sont situés dans la partie méridionale de la Wilaya. Ils se caractérisent par des terres sablonneuses et par la présence de chotts. Ces derniers constituent ainsi le point de convergence exutoire des Oueds drainant le Sud de la Wilaya.

zones naturelles de la Wilaya de Khenchela



Source : DPAT W. Khenchela 2012

Figure 2. La répartition des zones naturelles de la Wilaya de Khenchela



Source : DPAT(2012)

Figure 3. Les reliefs de la Wilaya de Khenchela

I.5. Le climat:

La Wilaya de Khenchela se caractérise par trois climats :

- Un climat très rude en hiver, modéré en été dans les régions montagneuses centrales;
- Un climat modéré en hiver, chaud et sec en été dans les steppes sahraouies du Sud ;
- Un climat très froid en hiver, sec en été dans les hautes steppes au Nord.

Cette diversité climatique a donné à la Wilaya un penchant naturel multiple conférant des spécificités touristiques non négligeables. (*Bouali, H. Berkane, W. 2015*)

a. Les températures :

- La moyenne de tout le minimum: - 2 C°.
- La moyenne de maximum: +24 C°.
- Le minimum absolu observé: - 4, 8 C°.
- Le maximum absolu observé: +42 C°.

Les maximums absolus observés pendant la saison estivale sont très élevés, ce qui engendre une forte évaporation pendant cette saison. (*Bouali, H. Berkane, W. 2015*)

b. Les précipitations :

Les régions montagneuses du Nord-Ouest (DJ. Chélia et DJ. Aidel) reçoit entre 700 et 1200mm de pluies par an et du Sud (les parcours sahariens) reçoit moins de 200 mm de pluies par an (Oued EL Meita) ; le reste du territoire de la Wilaya est compris entre les isohyètes 200 et 600mm (de pluies par an).

Il a été relevé que le mois de mars est le plus humide (reçoit le plus de pluies) alors, que le mois de juillet est le plus sec (reçoit le moins de pluies).

En général, les pluies de printemps sont plus importantes (une moyenne de 60,33 mm) que celles de l'automne qui ont une moyenne de 43,67 mm. (*Bouali, H. Berkane, W 2015*)

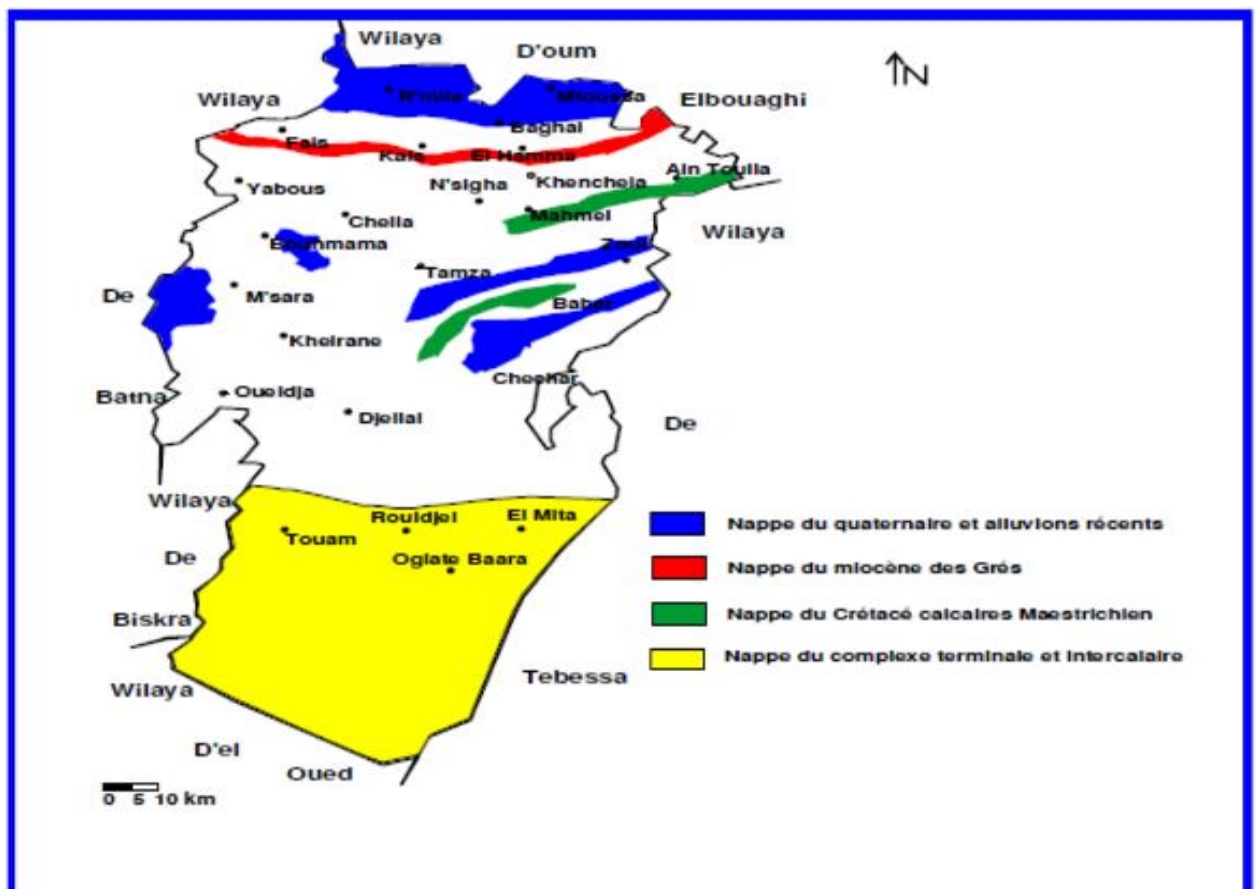
I.6.hydrogéologie de la wilaya de Khenchela

Les estimations en eau souterraine de la wilaya ont été établies par l'ANAT sur la base des caractéristiques de nombreux forages. Trois (03) nappes ont été différenciées et ce grâce à leurs profondeurs moyennes :

A. La nappe libre (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, AinKrim, Ain Frengal), le point d'exurgence de ces sources est généralement une faille ou une fracture.

B. Une nappe moyenne (des grès miocènes): sa profondeur varie de 100 à 300 m est elle aussi, captée par de 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. (*Slimani, F. Ayadi, S. 2017*)



Source : (D.H.W.K)

Figure 4. Carte des principales zones aquifères

I.7. Aperçu pédologique sur les principaux sols de la wilaya:

Compte tenu de la diversité des caractéristiques morphologiques, lithologiques, et climatiques du territoire de la wilaya, il en résulte un large éventail de sols, dont la formation est conditionnée par la couverture végétale. La carte pédologique de l'Algérie, confrontées par des études ponctuelles plus récentes permet de cerner d'une manière assez générale les principaux sols rencontrés au niveau de la région. Les cartes des sols, dressée à ce jour font ressortir les classes de sols suivantes. (*Takouachet, L. Ghouzlane, W. 2015*)

* Les sols calcaires humifères :

Ils sont rencontrés sur les monts et les piémonts de l'Aurès, à une altitude comprise entre 1 000 et 1500 mètres.

* Les sols insaturés humifères :

Ces sols sont rencontrés sur les reliefs les plus élevés (plus de 1500 mètres d'altitude) de l'Aurès. Ils sont occupés par des forêts.

* Les sols calciques :

Ces sols sont rencontrés sur les bas des piémonts, et sur les hautes plaines, longeant la route qui mène de Khenchela à Fais en passant par Kais et Remila. Ils s'étendent à l'Est jusqu'à Ain Touila et au Sud jusqu'à Babar en partant de Khenchela.

* Les sols éoliens d'ablation :

Ces sols sont rencontrés au Sud de la wilaya, sur les piémonts des monts de Nementchas, dont l'altitude est située entre 200 et 500 mètres.

* Les sols éoliens d'accumulation :

Ces sont localisés uniquement dans la zone sud de la wilaya, près du chott Melghir (Sols sablonneux). Les sols alluviaux basiques

Ces sols sont localisés sur des zones de changement de pente, c'est-à-dire les zones où la pente devient plus douce. On les rencontre principalement dans les plaines entourant les dépressions (dépression de Gareat et Tarf, cuvette du bas Sahara, et la dépression de Tazougart), mais aussi au niveau des vallées encaissées, de Bouhmama et de la plaine Guentis.

* Les sols salins ou solontchak

Ces sols caractérisent les dépressions, sont rencontrés au niveau des zones d'accumulation.

Ils sont le résultat d'une hydrologie à écoulement endoréique ou de la présence de roches triasique (gypse : roche saline).

* Les roches mères

Ces roches, est le résultat d'une érosion intense due a une conjugaison de facteurs négatifs (Relief montagneux, intensité des pluies, substratum tendre et à une absence de couvert végétal pérenne) affleurent notamment les monts des Nementchas

II. Présentation générale de la zone d'étude

II.1. Situation Géographique :

La zone d'étude elle est délimitée :

- Au Nord par Ain Zitoune
- Au Sud par la commune d'El Hamma
- A l'Est par la commune BAGHAI
- A l'Ouest par les communes de KAIS et Rémila

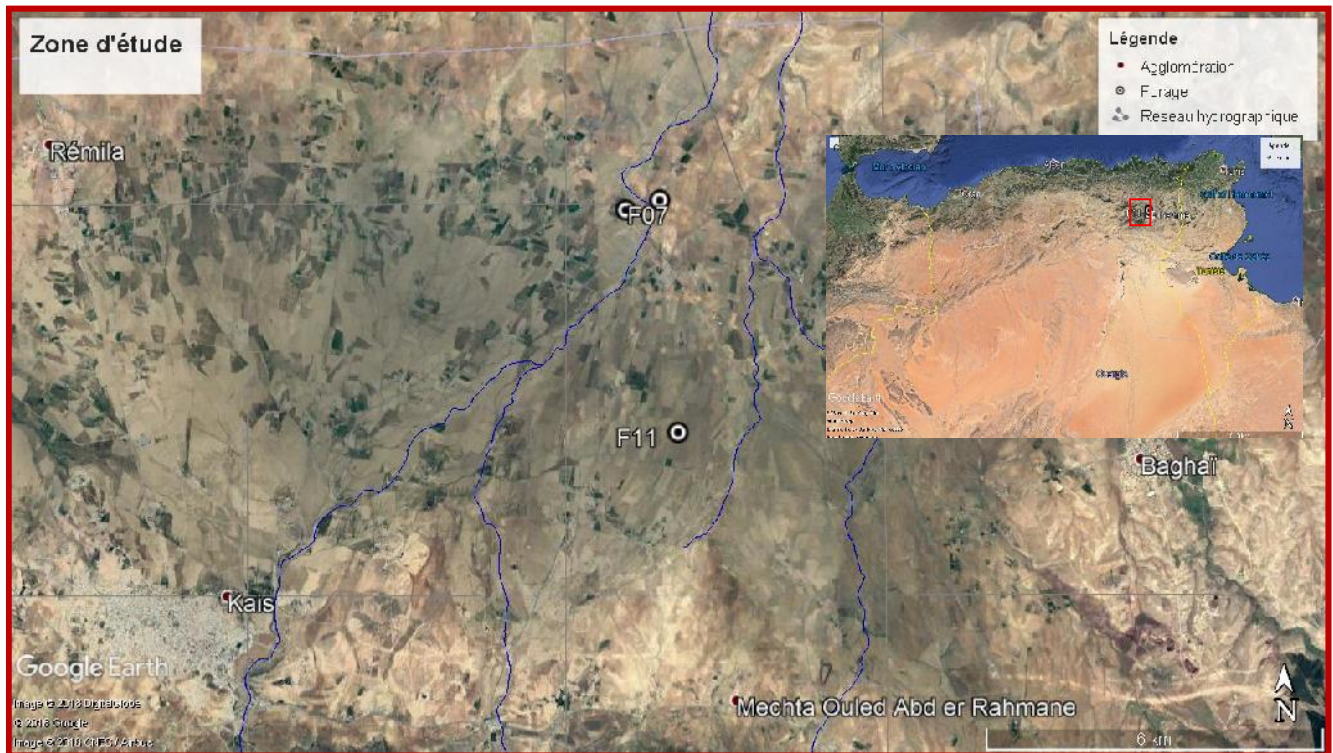


Figure 5 : Carte illustrant la situation géographique de la zone d'étude

II .2. Relief :

La terminaison périclinale des Aurès qui couvre la partie Sud de la commune d'El Hamma et la partie centrale de la commune de Khenchela, forme la plus grande part de l'élément montagneux et se décompose en fait, en deux (02) sous unités : - Une première ligne de crête massive, située au Sud (Djebel Tiferkassa et Ras Serdoun), culminant à 1 500 – 1 700 m, selon une orientation SW-NE, s'interrompt à l'Ouest de la ville de Khenchela. Le contact entre les sommets et les reliefs situés en contrebas s'effectue par l'intermédiaire de versants convexo-concaves qui sont le siège de nombreux ravins. – Une deuxième ligne de relief, matérialisée par les Kefs El Kalâa et Akar, disposés SW-NE et le massif du Djebel Kharroub d'orientation NW-SE que prolonge le massif d'El Menchar disposé lui W-E, moins imposante par son volume et ses altitudes, se détache en direction du Nord sous la forme d'un V. Une zone de hautes plaines qui, dans la partie Nord de la commune d'El Hamma correspond à un vaste glacis qui prend

naissance au pied des Djebels Kharoub et El Menchar à 900 m – 950 m d'altitude et s'abaisse en direction du Nord où les altitudes sont de l'ordre de 850 m (*PDT*)

II .3.Climat :

Le climat de la région d'étude est de type semi-aride avec une composante d'altitude influencée par les courants d'air froid et humide en provenance des massifs des Aurès (maximum des précipitations en Hiver et au Printemps, couverture neigeuse peu durable mais parfois importante, saison sèche à orage brutaux en Eté, effet de barrage des reliefs, favorisant les précipitations.

Un climat très froid en hiver, sec en été dans les hautes steppes au nord. (*PDT*)

II .4. Hydrographie :

La région caractérisé par un réseau hydrographique au régime d'écoulement d'oued El Menzel et oued Hammam Essalihine, ces ressources superficielle toutefois prévois la réalisation des petits barrages, une retenue de 3,5 hm³ sur oued Menzel dans la commune. Concernent les eaux souterraines sont constituées par la nappe des grés du miocène dont les capacités sont méconnues. (*PDT*)

Chapitre II

Contexte climatologique

Introduction

La climatologie s'intéresse à l'analyse quantitative à plus long terme de la moyenne des Paramètres requis pour caractériser les états de l'atmosphère, principalement la température de l'air, la lame d'eau précipitée, la durée d'insolation, la direction et la vitesse du vent. Le climat représente donc le « temps moyen » en un lieu donné.

Le climat dépend principalement de facteurs cosmiques et de facteurs géographiques et, secondairement, de facteurs locaux).

De point de vue climatique, la wilaya de Khenchela se caractérise par un climat continental, semi-aride à hiver froid et été chaud et sec. Les caractéristiques climatiques de la zone d'étude sont celles de la station météorologique de Khenchela.

L'étude des données climatiques permettant d'analyser les facteurs du climat de cette zone qui Nous renseignera sur :

- 1 -Le type du climat ;
- 2- Les caractéristiques de bilan hydrique du bassin versant ;
- 3- La structure de variation temporelle des termes du bilan (Pluies, évaporation) ;
- 4- Le comportement hydro-climatologique du bassin versant.

Les paramètres climatologiques sont soit mesurés sur le terrain (précipitations, températures) Soit calculés par des formules (ETP, ETR, R, I)

L'Algérie est caractérisée par une variabilité climatique liée aux irrégularités topographiques et aux influences opposées de la Méditerranée et du Sahara.

La station pluviométrique d'El Hamma qui a servi pour l'étude des paramètres Climatiques. Les données analysées correspondent à des hauteurs mensuelles et annuelles des Pluies et des températures qui ont été recueillies par l'Office National de Météorologie (ONM).

II.1. Station retenue

Pour caractériser la nature des variations climatiques mensuelles et interannuelles dans notre région d'étude nous avons choisi la station météorologique d'El Hamma. Nous disposons pour cette station des données, étalant sur une durée de 20 ans d'observation

Tableau 1. Les caractéristiques de station pluviométrique retenue dans l'analyse

Station	Coordonnées (m)			Période de mesure	Paramètres mesurées
	X	Y	Z		
El Hamma	890	250	983	1997/2017	P et T

(SMH 1997/2017)

II.2. L'étude des facteurs climatique.

II.2.1. 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, F. 2003**).

II.2.2. Les précipitations

Les précipitations représentent toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre sous forme liquide ou solide. L'analyse de leurs caractéristiques constitue le point de départ pour toute étude des ressources en eau (aménagement de bassins versant, irrigation, drainage, assainissement). Elles sont caractérisées par une grande variabilité dans l'espace et dans le temps, aussi bien à l'échelle annuelle qu'à celle d'un événement pluvieux.

Les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale dans l'alternance de la saison sèche, qui joue un rôle régulateur des activités biologiques

(**Ramade, F. 1984**).

II.2.2.1. Répartition annuelle des précipitations

Le régime pluviométrique joue un rôle prépondérant dans l'hydrochimie par le lessivage des terrains. Plus la pluviométrie est forte, plus la solubilité des sels minéraux est grande

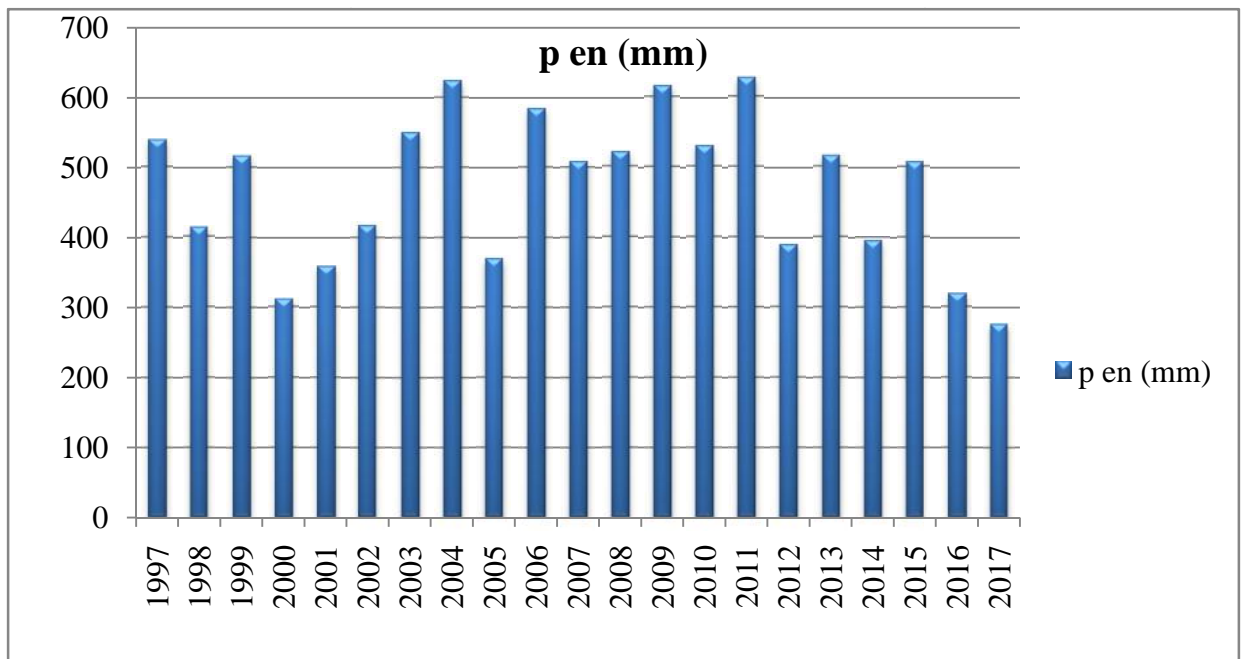


Figure 6. Histogramme de variation de précipitation annuelle de la station d’el Hamma (1997-2017)

On remarque qu’il y’a une irrégularité de la répartition annuelle des précipitations,

L’année la plus pluvieuse étant 2011, avec une hauteur annuelle de plus de 626.3mm

Et l’année la plus sèche étant 2017 avec une hauteur annuelle de plus de 276mm

II.2.2.2. Variations moyennes mensuelles des précipitations

Tableau 2. Répartitions de la précipitation moyenne mensuelle d’el Hamma entre la période (1997-2017)

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	aou
P moyennes mensuelles en mm	52.9	39.8	39.4	39.4	37.5	33.5	40.2	45.9	63.3	27.3	15.7	35

(SMH 1997-2017)

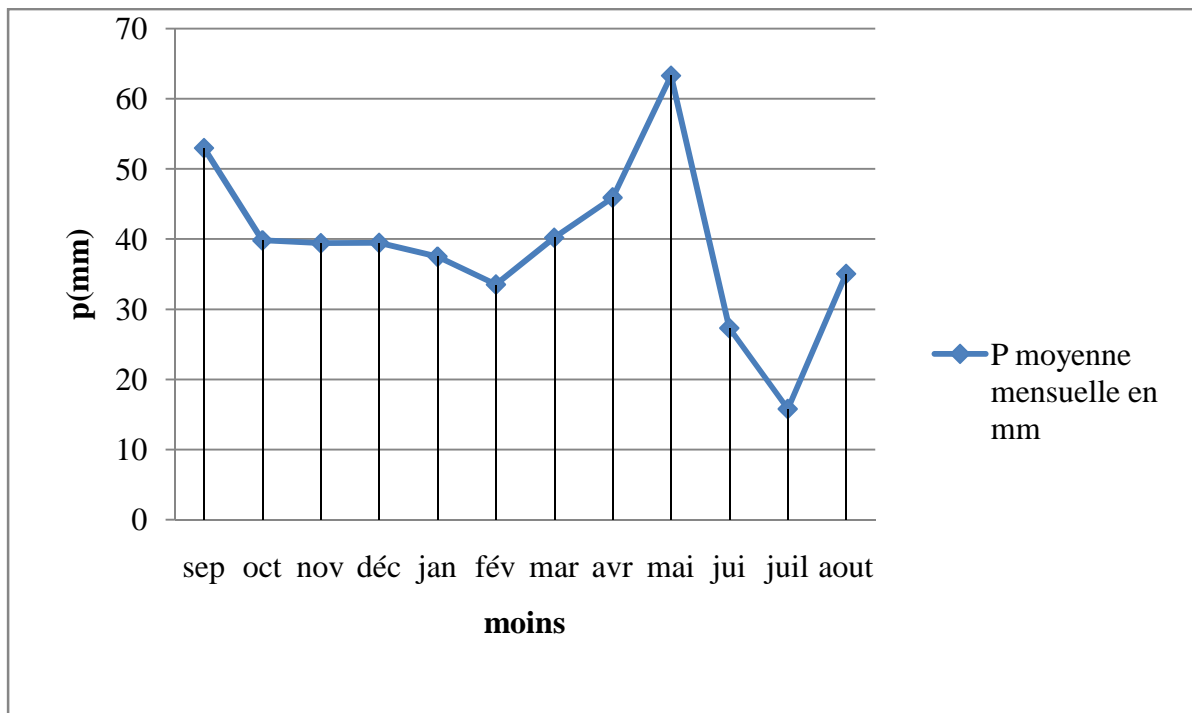


Figure 7. Courbe de variation des précipitations moyennes mensuelles de la station d'El Hama (1997-2017)

La courbe des variations des moyennes mensuelles des précipitations, sur une période de 20 ans (1997/2017), montre que le mois de septembre est le plus pluvieux, avec 62 mm, alors que le mois de juillet est le plus sec, avec 13 mm

II.2.3. La température

La température constitue un élément majeur qui conditionne le climat d'une région. Elle permet de déterminer l'évapotranspiration et le déficit de l'écoulement, elle intervient dans l'établissement de bilan hydrologique (**Ramade, F. 1981**)

II.2.3.1 Variations des températures moyenne annuelles

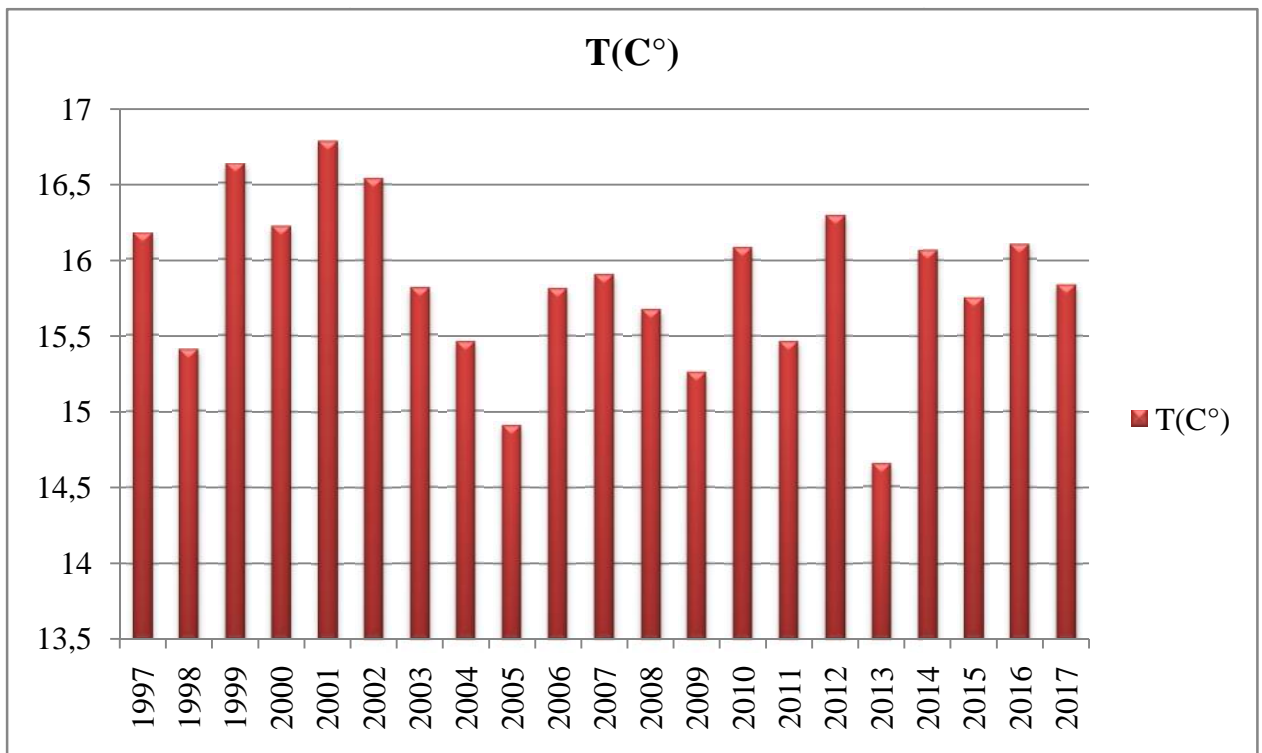


Figure 8. Évolution des températures moyenne annuelle à la station d'El Hamma (1997-2017)

Les histogrammes représentant la variation annuelle de la température, sur une période de 20 ans (1997//2016), montre que l'année la plus chaude est l'année 2001 avec une moyenne de 16,78 °C, et l'année la plus froide est l'année 2013/2014, avec une moyenne de 14,65 °C. Signalons que la température moyenne interannuelle est de l'ordre de 18,51 °C.

II.2.3.2 Variations de la température moyenne mensuelle

Tableau 3. Répartitions de la température moyenne mensuelle d'el Hamma période (1997-2017)

mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mar	avr	mai	jui	juil	aou
TC° moyenne mensuelle	21.4	16.9	10.9	7.2	6.4	7.4	10.6	13.9	18.4	23.4	26.9	26.2

(SMH 1997-2017)

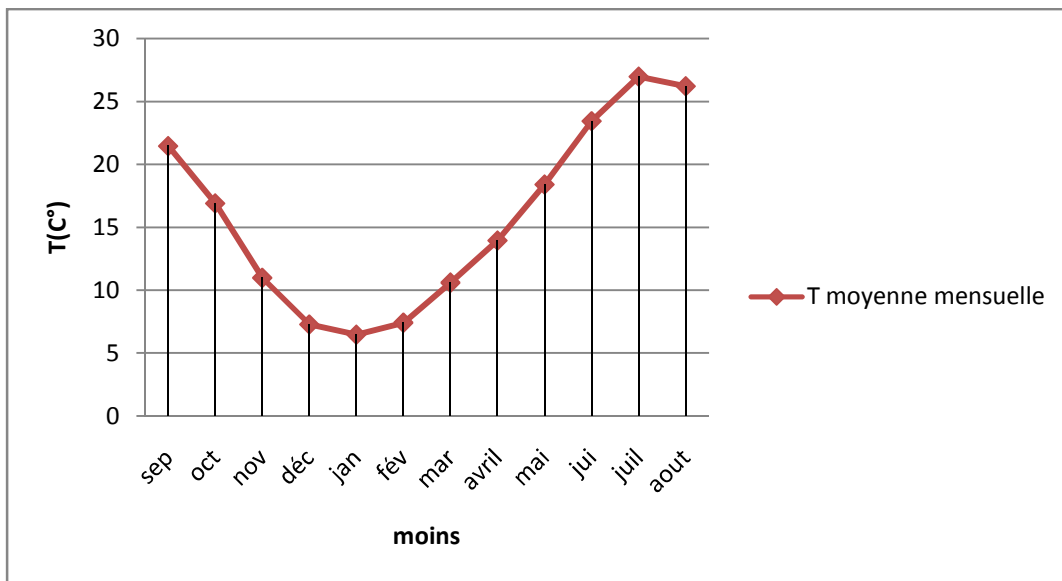


Figure 9. Courbe de variation des températures moyennes mensuelles de la station d'El Hamma (1997-2017)

L'examen des valeurs du tableau montre que le mois le plus froid est le mois de janvier avec 6,48°C, tandis que le mois le plus chaud est juillet avec 26,97°C.

II.3 Caractérisation du climat

La combinaison de deux principaux facteurs climatiques: la température et les précipitations permettent de déterminer les périodes sèches et humides ainsi que la localisation de l'étage bioclimatique bien définie d'une région donnée à l'aide d'indices ou de diagramme ombrothermique et du coefficient pluviométrique d'EMBERGER (**Berkani, C. 2010**). Ceux qui sont les plus couramment utilisés sont les suivants :

II.3.1 Le diagramme Ombrothermique

D'après la courbe Ombrothermique, on peut distinguer la période humide et la période sèche. Selon Gausson une période sèche est une période pendant laquelle les précipitations totales inférieures ou égales au double de la température : $P \leq 2T$ période sèche.

Une période humide est une période pendant laquelle les précipitations totales égales au double des températures : $P = 2T$

Avec ; P : précipitations moyenne mensuelle en mm

T : température moyenne mensuelle en °C.

Tableau 4. valeur de précipitations-températures.(Pluiothermique) kenchela (1997-2017)

	jan	fév	mar	avr	mai	jui	juil	aou	sep	oct	nov	Déc
P	37.	33.5	40.2	45.9	63.3	27.3	15.7	35.0	52.9	39.8	39.4	39.4
	5	2	1	3	1	1	8	4	8	2	1	6
T(c°)	6.4	7.43	10.6	13.9	18.4	23.4	26.9	26.2	21.4	16.9	10.9	7.29
	8		1	5	0	4	7	1	6	0	9	

(SMH 1997-2017)

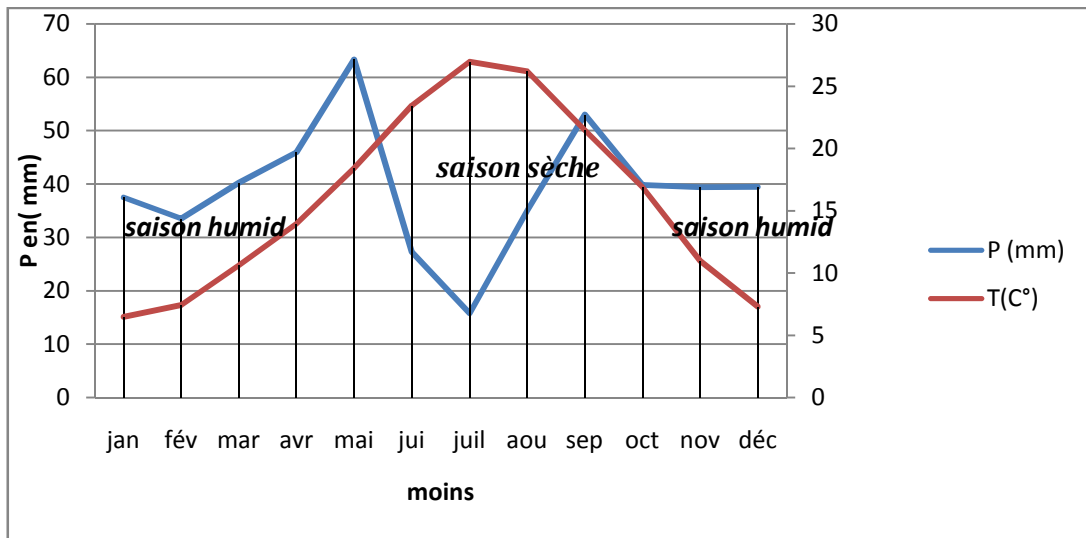


Figure 10. Diagramme ombrothermique

On constate que la région de notre étude présente une période humide, plus au moins Longue, débutant au mois de octobre et qui se termine au mois de Mai et une période Sèche qui s’étende de fin de mois de mai au début de mois de Septembre

II.3.2. Indice d’aridité

L’aridité peut exprimer quantitativement par différents indices d’aridités Conventionnels et empiriques, la plupart est un simple rapport hygrothermique fondé principalement sur des grandeurs moyennes des précipitations et des températures qui utilisés Pour définir les degrés d’aridité et les conditions de l’écoulement fluvial (Lakhdari, S. 2012)

II.3.2.1. Indice de Martonne

En 1926, Emmanuel de Martonne élabore un système de classification des climats par une méthode statistique. Il utilisa un indice qui se base sur le régime des précipitations et des

températures pour caractériser le climat d'une région. Il est calculé par la relation suivante (Gouidia, 2008)

$$I = P/T + 10$$

Avec

I : indice d'aridité annuelle.

P : précipitations moyennes annuelles en mm.

T : températures moyennes annuelles en °C

Suivant les valeurs de (I), de Martonne a établi la classification suivante :

$I < 5$: climat hyperaride

$5 < I < 7,5$: climat désertique

$7,5 < I < 10$: climat steppique

$10 < I < 20$: climat semi-aride

$20 < I < 30$: climat tempéré.

$I > 30$: climat humide

Dans notre cas, la moyenne des précipitations interannuelles est : **470.33mm** Alors que la température moyenne annuelle est de : **15.84 °C**

Ce qui donne : **I=18.20**

Nous avons trouvé que la valeur de (I) est comprise entre 10 et 20, ce qui permet de dire que la station d'el Hamma bénéficie d'un climat semi-aride

II.4. Estimation de l'évapotranspiration

Par définition, le terme évapotranspiration désigne la quantité d'eau rejetée dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau par évaporation directe à partir du sol et par transpiration des organes aériens des plantes.

II.4.1 Evapotranspiration potentielle (ETP)

Thornthwaite, en 1948 est le premier à introduire le concept d'évapotranspiration potentielle, dans un contexte de classification du climat : « Il y a une distinction entre le volume

d'eau qui est effectivement évapotranspiré et celui qui pourrait être évapotranspiré, s'il était disponible. Lorsque la disponibilité en eau augmente, l'évapotranspiration atteint un maximum qui dépend uniquement du climat. C'est ce que nous pourrions appeler l'évapotranspiration potentielle', en distinction de l'évapotranspiration réelle »

Pour estimer l'évapotranspiration potentielle l'agronome américain G.W. Thornthwaite proposa en 1948.une formule basée essentiellement sur les températures de l'air :

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

Où :

ETP : Evapotranspiration potentielle mensuelle en mm

T : température moyenne mensuelle du mois considéré en °C

a: Coefficient calculé par la formule suivante:

$$a = 1.6 (I/100) + 0,5 \text{ donc } a=1.67$$

I = la somme des indices thermiques mensuels $I = \sum i$

i : indice thermique mensuel $i = (T / 5) 1.514$

K : Coefficient de correction, qui dépend de la latitude.

II.4.2 Évapotranspiration réelle (ETR)

Plusieurs formules ont été proposées pour l'estimation de l'évapotranspiration réelle

ETR .La hauteur des précipitations et les températures moyennes mensuelles forment les bases de ces formules.

Formule de TURC

Cette formule est applicable à tous les climats, elle est fonction des précipitations et des Températures moyennes annuelles.

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

ETR: évapotranspiration réelle (mm/an)

P: hauteur annuelle de la pluie (mm)

L : un paramètre calculé en fonction de la température selon la formule :

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

T: température moyenne annuelle (°c)

P=471mm,

T=15.84C°,

L=895

On a donc un **ETR de 436.11 mm**

II.4.3 Evaluation de l'ETR par la méthode du bilan de Thornthwaite :

Le bilan hydrique est établi pour un lieu et une période donnés par comparaison entre les apports et les pertes en eau dans ce lieu et pour cette période. Il tient aussi compte de la constitution de réserves et des prélèvements ultérieurs sur ces réserves. Les apports d'eau sont effectués par les précipitations. Les pertes sont essentiellement dues à la combinaison de l'évaporation et la transpiration des plantes, que l'on désigne sous le terme d'évapotranspiration. Les deux grandeurs sont évaluées en quantité d'eau par unité de surface, mais elles sont généralement traduites en hauteurs d'eau, l'unité la plus utilisées étant le millimètre. Ces deux grandeurs étant ainsi physiquement homogènes, on peut les comparer en calculant soit leur différence (Précipitations moins évaporation), soit leur rapport (Précipitations sur Eva.). Le bilan est évidemment positif lorsque la différence est positive ou que le rapport est supérieur à un. On choisit l'un ou l'autre expression en fonction de commodités ou de diverses. L'écoulement à partir d'une unité de surface sera compté dans les pertes. L'infiltration est considérée comme une mise en réserve sous forme de nappes souterraines ou d'eau capillaire dans le sol. Les précipitations solides constituent des réserves immédiatement constituées. Elles ont une durée variable, inter-saisonnière dans le cas des tapis neigeux, inter-saisonnière et interannuelle dans le cas des glaciers, voire inter-séculaire dans le cas de calottes polaires ou des grandes masses de très hautes

La détermination de l'ETR en fonction de L'ETP et de la quantité d'eau disponible (Pluie+RFU), ETR peut être évalué par l'établissement du bilan comme par l'application de certaines formules empiriques .ce paramètre peut être calculé d'après G.Thornthwaite en utilisant les conditions suivantes :

- Si $ETP=P$; il y a existence d'une évapotranspiration réelle ETR, la réserve RFU ne se modifie pas et aucune infiltration est produite en direction de nappe.
- Si $ETP > P$; on a $ETR=P+RFU$.un déficit apparait une partie de l'RFU sera sollicitée jusqu'à la compensation de l'ETR .l'évapotranspiration agit donc sur le sol.
- Si $ETP < P$; alors $ETR=ETP.RFU$ pourra atteindre son maximum au-delà duquel, il y aura une infiltration vers la nappe.

II.4.4. Calcul du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite

L'étude du bilan hydrologique permet de déterminer la répartition des eaux de précipitation entre les différents composants de ce bilan à savoir l'écoulement, l'infiltration et l'évapotranspiration, Elle est basée sur la notion de réserve d'eau facilement utilisable (RFU)

Tableau 5. Bilan hydrologique moyen (1997/2017) à la station d'El Hamma par la méthode de Thornthwaite

mois	jan	fév	mar	avr	mai	jui	juil	aou	sep	oct	nov	déc	tot
P (mm)	37.5	33.5	40.2	45.3	63.3	27.3	15.7	35	52.9	37.9	39.2	42.2	471
Tc°	6.4	7.4	10.6	13.9	18.4	23.4	26.9	26.2	21.4	16.9	10.9	7.2	15.8
i	1.4	1.8	3.1	4.7	7.1	10.3	12.7	12.2	8.9	6.3	3.2	1.7	73.4
K	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.84	
ETP (mm)	10.0 5	12.6 8	27.8 9	45.8 2	86.9 1	130.7 7	162.2 8	153. 61	92.6 8	57.5 6	23.4 1	12.4 7	816. 13
BH	27.4 5	20.8 2	12.3 1	- 0.52	- 23.6	- 103.4	- 146.5	- 118.	- 39.7	- 19.6	15.7 9	29.7 3	- 346.
RFU (mm)	72.9 7	93.7 9	106. 1	105. 58	81.9 8	00	00	00	00	00	15.7 9	45.4 3	
ETR (mm)	10.0 5	12.6 8	27.8 9	45.3	63.3	27.3	15.7	35	52.9	37.9	23.4	12.4 7	363. 89
DA	00	00	00	0.52	23.6 1	103.4 7	145.5 8	118. 61	39.7 8	19.6 9	15.7 9	29.7 3	496. 77
EXC	27.4 5	20.8 2	12.3 1	00	00	00	00	00	00	00	15.8	29.7 3	106. 11

DA: le déficit agricole est le déficit entre ETP et ETR donc : $DA=ETP-ETR$

EXC: l'exidant c'est la quantité d'eau pouvant s'écouler lorsque l'ETP et RFU sont satisfaits donc:

$$EXC=P-ETR$$

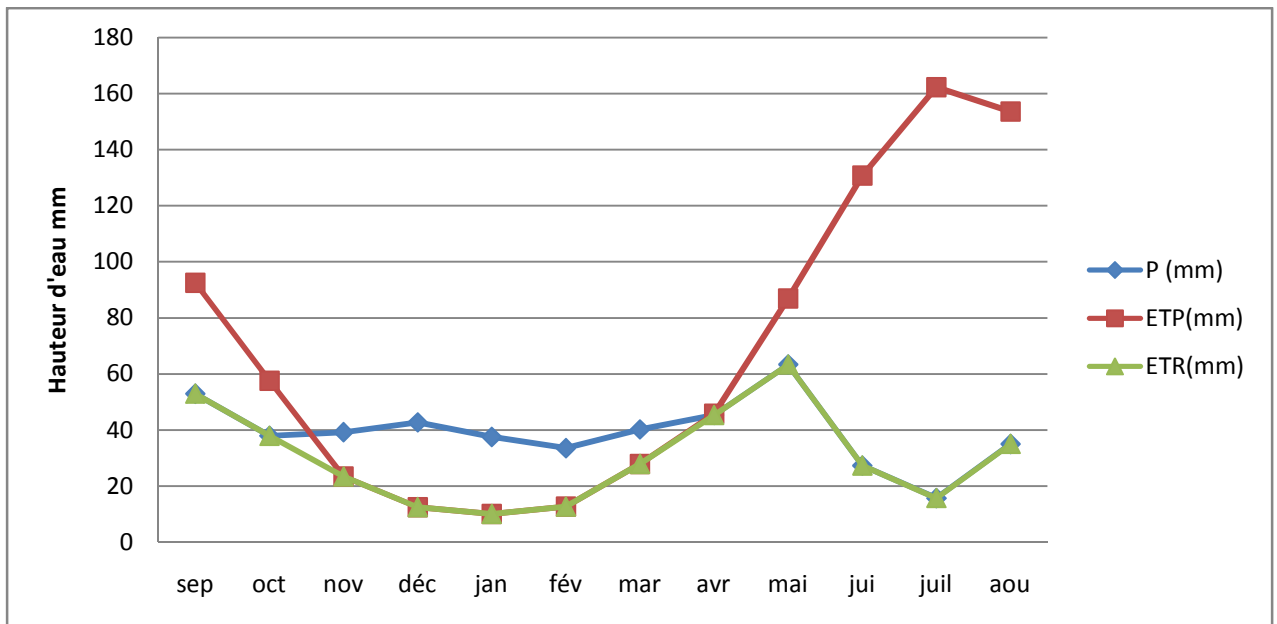


Figure 11. Représentation graphique du bilan d'eau de Thornthwaite de la station d'El Hamma (1997/2017)

II.4.4.1. Interprétation du bilan hydrologique

Après avoir calculé le bilan d'eau de la station d'El Hamma et d'après la représentation graphique du bilan selon la méthode de Thornthwaite (Fig.11), on constate que Le bilan d'eau établi par la méthode de Thornthwaite a montré que l'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (162,28 mm) et son minimum au mois de Janvier (10,05 mm)

L'observation du graphe du bilan hydrologique nous permet de dire qu'il existe deux périodes la première est déficitaire où l'ETP est importante à partir de mois d'avril jusqu'au mois d'octobre, dans cette période les sols sont secs et leur niveau de la réserve hydrique est nul, rendant la nécessité de l'irrigation. La deuxième période est humide qui commence à partir du mois de novembre où les précipitations couvrent les besoins de l'évapotranspiration potentielle et permettent la reconstitution du stock qui s'accompagne d'une augmentation de la RFU, qui atteint son maximum entre les mois de décembre et mai. Toute la pluie non retenue par la couche superficielle du sol, s'infiltré et rejoint la zone saturée. Au-delà de cette période, la réserve commence à diminuer jusqu'à l'épuisement du stock.

II.4.5 .Ruissellement R (mm)

L'eau précipitée peut ruisseler directement, si l'intensité de la pluie est supérieure à la vitesse d'infiltration de sol. La lame d'eau ruisselée sera estimée par la formule de Tixeront-Berkaloff :

$$R = P^3 / 3(ETP)^2.$$

R : Ruissellement (mm).

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

$$ETP=816.13\text{mm}, P=471\text{mm}$$

L'application numérique donne : R =52.29 mm

II.4.6. L'infiltration I (mm)

C'est la migration de l'eau de précipitation à travers la porosité de sol vers les nappes souterraines, il est calculé par la formule suivante :

$$I = P - (ETR + R)$$

I: infiltration (mm)

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm).

R : Ruissellement (mm).

ETR: Evapotranspiration (mm).

$$P=471\text{mm}, ETR= \quad R=52.29\text{mm} \quad ETR=363.89\text{mm}$$

L'application numérique donne : I = 54.82mm

Conclusion

Le climat de La région d'étude est de type semi-aride avec un hiver froid et un été chaud et sec, Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 20 ans (1997/2017), sont estimées à 471,57 mm, et mensuelle moyenne est de 471.05 mm la température moyenne de l'aire est de 15.84°C, l'évapotranspiration (ETP) calculée selon la méthode de Thornthwaite est de 816.13mm, l'ETR est de 363.13 mm et un déficit agricole de 496.77 mm.

Chapitre III

Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines

III.1 Introduction

La nécessité de préserver les ressources destinées à la consommation humaine est une priorité affichée tant au niveau national que local. En complément des mesures générales de protection des ressources en eau, les périmètres de protection s'affirment comme l'outil privilégié pour prévenir et diminuer toute cause de pollution susceptible d'altérer la qualité des eaux prélevées

III.2 Généralités

III.2.1 l'eau souterraine

Les eaux souterraines remplissent entièrement les interstices d'un terrain poreux et perméable (l'aquifère) de telle sorte qu'il y ait toujours liaison par l'eau entre les pores une nappe se forme par accumulation des eaux d'infiltration au-dessus d'un terrain imperméable qui interdit leur progression vers le bas .l'eau remplit par gravité toutes les cavités accessibles du terrain jusqu'à un niveau dit surface libre, qui est la surface à laquelle l'eau se stabilise dans les puits atteignant cette nappe , par un phénomène de capillarité, l'eau remplit encore un peu plus haut , les pores des roches jusqu'à une niveau appelé surface de la nappe, cette tranche de terrain où toutes les cavités accessibles sont remplies d'eau est appelée zone de saturation, au-dessus, vient une zone non saturée ou zone d'aération, où circulent des l'eaux vadoses, et vers le bas de laquelle l'eau monte par capillarité, la partie contenant de l'eau capillaire est la frange capillaire, ce type de nappe est appelé nappe libre par opposition aux nappes captives, ou nappes artésiennes, qui sont emprisonnées entre deux terrains imperméables et ne comprennent qu'une zone saturée (*Foucault et Raoul 2005*)

III.2.2 l'aquifère

On distingue d'une manière générale trois types d'aquifères :

- Aquifères en roches meubles,
- Aquifères en roches karstiques,
- Aquifères en roches fissurées.

- ✓ Les aquifères en roches meubles son caractérisés par une structure et une granulométrie très irrégulières. Leur perméabilité, leur capacité de

filtration et leur capacité d'emmagasinement varient donc rapidement d'un point à l'autre. (*OF 2004*)

- ✓ Les régions karstiques se caractérisent par l'absence de réseau hydrographique superficiel et par l'existence de gouffres, de dolines et de sources très importantes
- ✓ Dans les roches fissurées, l'eau suit les discontinuités ouvertes, diaclases, fractures et joints de stratification, qui forment un réseau continu plus ou moins ramifié. la vitesse d'écoulement dépend de l'ouverture des fissures, de leur fréquence et de leur degré d'interconnexion. La capacité d'emmagasinement reste le plus souvent faible (*Riccardo et al.2004*)

III .2.3 les captages d'eau :

Selon Lallemand-Barrès, 1999, les ouvrages de captages sont : puits, forage et captage de source.

Le **puits** est un ouvrage en général de profondeur moyenne ou faible (inférieure à 100m) d'un diamètre supérieur à 1.20m, aux parois revêtues au moins partiellement de béton ou de maçonnerie.

Le **forage** peut être peu profond, mais peut aussi aller chercher l'eau à plus de 100 m, son diamètre est généralement plus faible que celui du puits et sa paroi est protégée par un tube en métal ou en matière plastique, et une cimentation entre terrain et tubage dans les premiers mètres

Les **sources** sont les exutoires naturels des nappes. Pendant longtemps, elles ont été captées sans être aménagées, l'eau était canalisée par gravité vers le lieu d'utilisation. Les sources importantes sont maintenant le plus souvent aménagées, notamment par les chambres de captage et des dispositifs permettant le contrôle de la hauteur du seuil d'émergence. Elles peuvent aussi comporter des drains ou des galeries drainantes

III.3. la protection des eaux

III.3.1.protection de l'eau en Algérie

La protection de l'eau se fait tout d'abord par l'établissement de textes législatifs qui réglementent et organisent le secteur de l'eau dans sa globalité, Ainsi des lois et des décrets sont mis en place pour protéger les ressources en eau mobilisées et destinées vers la consommation humaine .dans ce qui suit nous passons en revue les différents textes législatifs qui ont touché le secteur de l'eau.

La notion des périmètres de protection est largement traitée dans les textes réglementent et le décrits. Au niveau national, la loi (Journal officiel de la république algérienne N°60 de 30 Rajab 1426,4 septembre 2005, Article 30-42) prévoit trois zones de protection des ressources en eau (forages, champs captant, barrages, sources, etc.eur de l'eau

- Loi du 16 juillet 1983 porte le code des eaux, définit le périmètre de protection comme contour délimitant un domaine géographique et les activités à l'intérieur sont interdites ou réglementées.
- Loi du 4 aout 2005 relatif à l'eau, fixe les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau et montre la nécessité des périmètres de protection contre la pollution. La protection et la présentation des ressources en eau sont assurées par :
 - Des périmètres de protection quantitative,
 - Des plans de lutte contre l'érosion hydrique,
 - Des périmètres de protection qualitative,
 - Des mesures de prévention et de protection contre la pollution,
 - Des mesures de prévention des risques d'inondations.
- Décret du 23 décembre 2007 relatif aux périmètres de protection qualitative des ressources en eau, cette protection est assurée par trois Types de protection :
 - Le périmètre de protection immédiate
 - Le périmètre de rapprochée.
 - Le périmètre de protection éloignée
- Décret du 6 février 2010 fixe les modalités de délimitation de périmètre de protection quantitative des nappes aquifères ainsi que les conditions spécifiques d'utilisation de leurs ressources en eau.
- Décret du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine, fixe les paramètres de qualité de l'eau de consommation humaine ainsi que les modalités de contrôle de conformité.
- Décret du 25avril 2012 relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source par l'évaluation du périmètre de protection de la ressource.
- Décret du 28 aout 2013 relatif aux programmes d'actions à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole.

- Décret du 4 mars 2014 relatif à la qualité de l'eau de consommation, fixe les valeurs pour certains paramètres organoleptiques et physico-chimiques.

Les différents textes législatifs adoptés en Algérie pour la protection des ressources en eau sont limités et ne donnent pas des précisions sur les distances de l'instauration des différents types des périmètres de protection autour de captage d'eau.

III.3.2. Définition des périmètres de protection

Des périmètres de protection sont instaurés autour des captages, après une procédure technique et administrative, les périmètres de protection correspondent à un zonage établi autour des points de captage d'eau potable, ils constituent le moyen privilégié pour prévenir et diminuer toute cause de pollution locale, ponctuelle et accidentelle qui peut altérer la qualité des eaux prélevées (*Winschen, 2011*), les interdiction, prescriptions et recommandation sont proposées en conséquence

III.3.2.1 Objectif des périmètres de protection

L'objectif des périmètres de protection réglementaires vise à assurer la protection sanitaire de l'eau destinée aux consommateurs, et plus concrètement la protection des points de captage contre les sources de pollutions ponctuelles et accidentelles pouvant survenir dans leur proche environnement. Ils n'ont pas pour objet d'assurer une protection contre les pollutions diffuses qui relèvent d'un problème plus global de protection de la ressource, pris en compte par ailleurs dans la législation générale.



Figure 12. Les zones des périmètres de protection des eaux

Les zones de protection doivent pouvoir servir pour une protection préventive ainsi que pour un assainissement, dans le cas d'une contamination des eaux captées. Le but est de disposer d'un outil permettant de définir des secteurs sensibles où des actions d'assainissement de grande efficacité pourront être. Proposées.

Pour éviter de nouveaux problèmes de contamination des eaux souterraines et assurer un approvisionnement en eau de qualité, il est essentiel de mieux connaître la ressource et de la protéger. (*Salim, F. 2014*)

Trois périmètres de protection sont définis selon la réglementation :

III.3.2.2. périmètre de protection immédiate

Le périmètre de protection immédiate est un espace restreint destiné à la protection de l'ouvrage lui-même, dans lequel toute activité est interdite, à l'exploitation de l'eau. La parcelle doit être acquise en pleine propriété par la collectivité. Un périmètre immédiat ne doit pas être un lieu de stockage de lampadaires de rue, de bois de chauffage, de véhicules pour curer les égouts, d'élevage de lapins pour la chasse.

Ce périmètre ne dispense pas d'une réalisation de l'ouvrage dans les règles de l'art : tubage cimenté aux mort-terrains et aux couches imperméables séparant deux aquifères, dalle étanche, margelle dépassant le niveau de crue décennale..... (*Dunod, Paris, 2008,2012*)

La zone de protection immédiate englobe le point de prélèvement où les contraintes de pollution sont fortes (*Nassah, H. Omdi, F. 2011*).

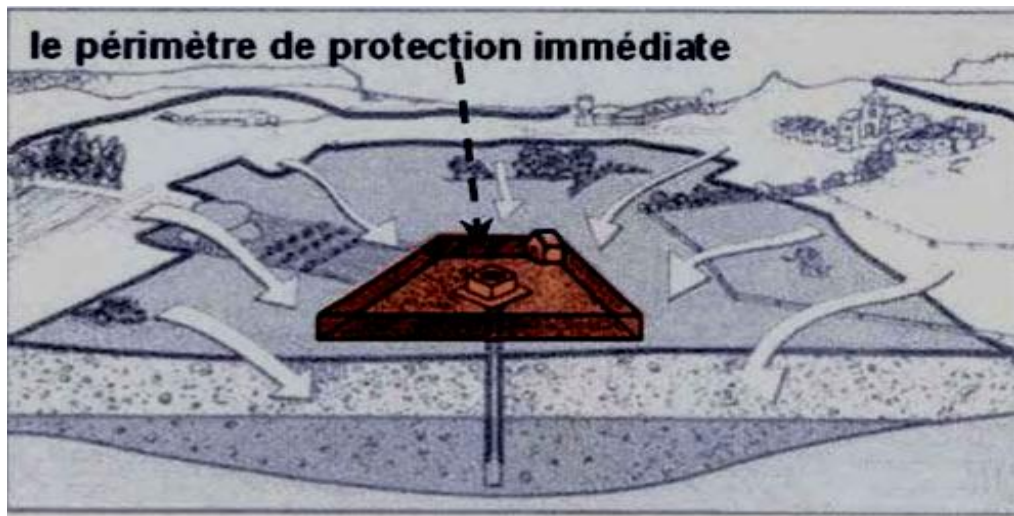


Figure 13. Le périmètre de protection immédiate (*S.I.A.E.P*)

III.3.2.3. périmètre de protection rapprochée

Le périmètre de protection rapprochée a une fonction de protection de la qualité de la ressource exploitée ; il est défini comme la zone de fort rabattement de la nappe.

Le périmètre de protection rapprochée correspond, dans un milieu continu et en condition d'exhaure mécanique, au cône de rabattement de l'ouvrage. En milieu discontinu, ce périmètre correspond au lieu de l'aquifère situé à un temps court de transfert de masse (heures, jours) (*Dunod, Paris, 2008,2012*)

Le périmètre rapproché a une double fonction de protection : protection quantitative de la ressource, protection de sa qualité.

Le périmètre de protection rapprochée est déterminé en prenant notamment en compte :

- Les caractéristiques physiques de l'aquifère et de l'écoulement souterrain,
- Le débit maximal de pompage,
- La vulnérabilité,
- L'origine et la nature des pollutions contre lesquelles il est nécessaire de protéger les eaux souterraines,

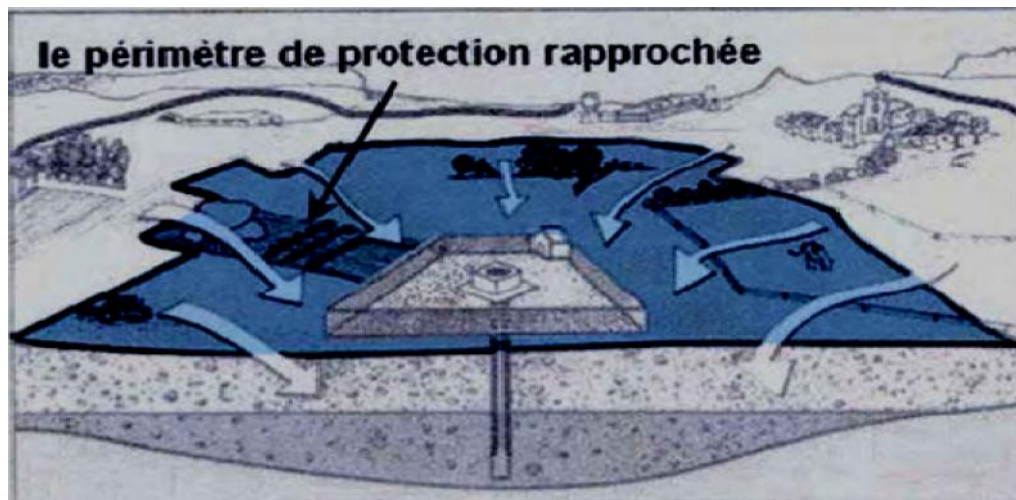


Figure 14. Le périmètre de protection rapprochée

III.3.2.4. périmètre de protection éloignée

Le périmètre de protection éloignée(ou périmètre éloignée), qui entoure le périmètre de protection rapprochée, est destiné à permettre une gestion de l'espace dans laquelle coexistent aménagement du territoire de l'eau. (*Dunod, Paris, 2008,2012*)

Le périmètre de protection éloignée correspond théoriquement à la totalité de l'aire (ou zone) d'alimentation de l'ouvrage, sa définition repose sur la délimitation de l'aire d'alimentation du captage à l'intérieur de laquelle les lignes de courant sont orientées vers l'ouvrage utilisé (*Marchal, 2007*)

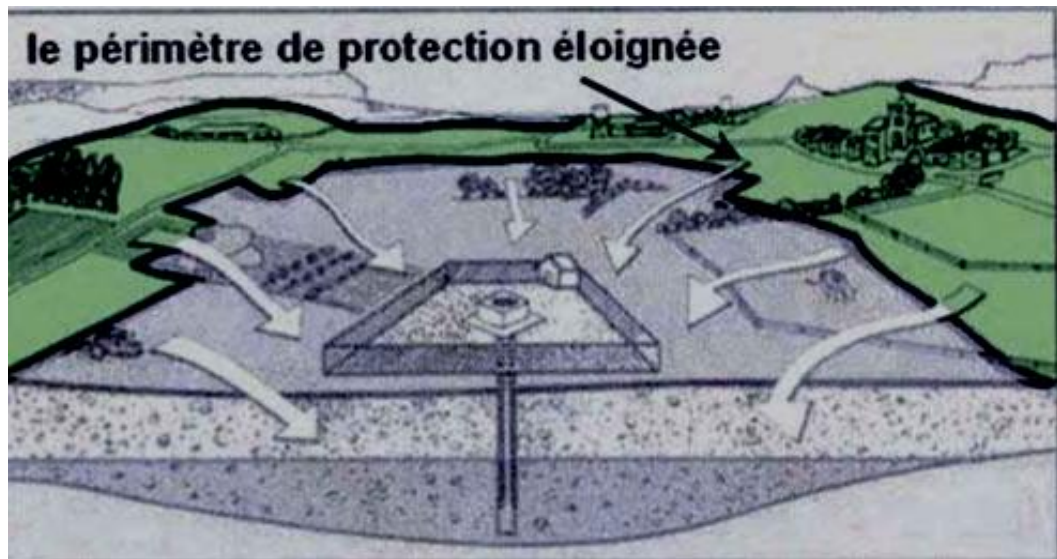


Figure 15. Le périmètre de protection éloignée

III.3.3 périmètre de protection selon le type d'aquifère

III.3.3.1. Aquifère en roches meubles

La délimitation de périmètre de protection dans un aquifère en roche meuble est définie à partir des données hydrogéologique (extension de l'aquifère, relations avec des réservoirs latéraux). Cela nécessite au minimum de connaître le sens de circulation des eaux souterraines dans tous les contextes hydrologiques (basses à hautes eaux), le gradient de la nappe, ainsi que l'aire d'influence du captage, ou tout au moins les indications quant à l'extension du cône de rabattement en pompage pour les puits et forages (*Marchal, 2007*)

- ✓ La limite du périmètre de protection immédiate doit se trouver à 10 m au moins au large de la partie la plus extérieure de l'ouvrage de captage. Pour un captage de source, cette distance peut être inférieure à 10 du coté aval (*Riccardo et al, 2004*)
- ✓ Le périmètre de protection rapprochée en roche meuble est dimensionné de telle sorte que le temps de séjour des eaux souterraines soit d'aux moines (*Riccardo et al, 2004*)
- ✓ La délimitation du périmètre de protection éloignée doit couvrir le bassin d'alimentation du captage

III.3.3.2. Aquifère en roche karstique

Les régions karstiques se caractérisent par l'absence de réseau hydrographique superficiel et par l'existence de gouffres, de dolines et de sources très importantes (*Riccardo et al, 2004*).

Les calcaires et dolomies forment des aquifères caractérisés par une perméabilité extrêmement hétérogène et anisotrope. L'eau circule dans les petites fissures, les pores de la roche et dans des conduits de dimensions parfois importantes résultant de la dissolution de la matrice carbonatée (karst) (*Bussard, 2005*)

Les zones de protection des eaux souterraines sont dimensionnées sur la base des caractéristiques géologique, géomorphologique et hydrogéologique du bassin d'alimentation des captages à protéger (*Riccardo et al, 2004*).

Afin de délimiter les périmètres de protection en milieu karstique, il est nécessaire d'identifier le système, de le caractériser et d'en définir la vulnérabilité (*Marchal, 2007*)

La vulnérabilité des eaux souterraines correspond à une insuffisance de protection ou de défense naturelle des aquifères contre des menaces de pollution, en fonction des conditions hydrogéologiques locales (*Marchal, 2007*)

III .3.3.3. Aquifères discontinus à porosité de fissures (Socle) :

III.3.3.3.1. Emprise des périmètres de protection :

La vulnérabilité des captages est généralement moyenne dans le socle. On y connaît mal les sens et conditions d'écoulement. Des études complémentaires seraient longues et coûteuses. Ainsi, on préconise de délimiter les 3 périmètres de protection à partir de cercles de rayons prédéfinis. Ces cercles doivent ensuite être adaptés aux conditions locales : exclusion de certaines parcelles comme les lieux de cultes, inclusion d'autres parcelles où existent des activités susceptibles de polluer les eaux souterraines. (*Boudali, W. Belaoudmou, M. 2017*)

Tableau 6. Taille des périmètres de protection standard dans le socle

Périmètre de Protection Immédiat (PPI) Zone de Prélèvement	Périmètre de Protection Rapproché (PPR) Zone de Protection	Périmètre de Protection Eloigné (PPE) Zone de Vigilance
Cercle de 15m de rayon	Cercle de rayon R égal à :	Cercle de 500m de rayon

Minimum. En cas de puits Complexe où source captée Avec drains, adapter la forme du PPI à l'emprise des drains	<ul style="list-style-type: none">• 150m pour $Q < 5$ m³/h• 200m pour Q compris Entre 5 et 10 m³/h• 250m pour Q compris entre 10 et 15 m³/h• 300m pour $Q > 15$ m³/h	
---	---	--

III .3.3.4. Aquifères continus à porosité d'interstice (bassins Sédimentaires) :

III .3.3.4.1 Nappe captive

Les ouvrages captant des nappes captives sont nettement mieux protégés que ceux captant des nappes libres, du fait de l'existence d'une couche protectrice. Cependant, des liaisons avec la surface peuvent se produire dans les zones d'affleurement de l'aquifère ou par perforation de la couche protectrice (travaux ou plus probablement autres captages mettant en communication différents aquifères). Si la nappe est peu captive (niveau piézométrique seulement légèrement supérieur au toit de l'aquifère), des phénomènes de drainance peuvent également avoir lieu : écoulement des eaux d'un aquifère à l'autre, à travers la couche protectrice. Les facteurs importants qui vont limiter l'importance de la drainance sont la nature, l'épaisseur et la perméabilité de la couverture.

A part les phénomènes de drainance, le risque principal de pollution provient des ouvrages mettant en communication l'aquifère captif et d'éventuels autres aquifères superficiels, il faudra donc systématiquement recenser et contrôler les captages existants autour du captage à protéger.

L'autre risque de pollution est la migration de polluants qui se seraient infiltrés dans une zone plus lointaine où la nappe est libre. (*Boudali, W. Belaoudmou, M. 2017*)

III .3.3.4.1.Emprise des périmètres de protection

Pour le PPR, on considère que les activités polluantes en surface ne peuvent contaminer la nappe, sauf par l'intermédiaire de forages mal réalisés. On choisit donc un PPR limité (rayon de 100m) tout en interdisant la création de forages à l'intérieur, et en réglementant sévèrement les forages actuels.

Chapitre III Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines

Pour le PPE : ne pas définir de PPE, ou alors les zones d'affleurement de l'aquifère si elles sont proches. Mais seront-elles connues ? (*Boudali, W. Belaoudmou, M. 2017*)

Tableau 7. Taille des périmètres de protection standard en nappe captive

Périmètre de Protection Immédiat (PPI) Zone de Prélèvement	Périmètre de Protection Rapproché (PPR) Zone de Protection	Périmètre de Protection Eloigné (PPE) Zone de Vigilance
Cercle de 10m de rayon	Cercle de 100m de rayon	aucun Ou Zonent d'affleurement de l'aquifère si elles sont proches (et connues...)

III.3.4.les critères de délimitation des zones de protection

Les critères de délimitation des zones de protection sont selon (*Sferdjli, F. 2015*) :

- ✚ Le pouvoir épurateur du sol
- ✚ Le rabattement
- ✚ Le temps de transfert
- ✚ La distance
- ✚ Les limites d'écoulement

III.3.4.1. le pouvoir épurateur du sol

Le pouvoir épurateur du sol, puis celui de la zone non saturée, soit important pour éviter la propagation d'une pollution en direction des nappes.

La concentration du polluant peut avoir considérablement diminué à son entrée dans la nappe, si le pouvoir épurateur du sol et de la zone non saturée est efficace.

III.3.4.2. le rabattement

Le rabattement est un critère lié aux concepts de la zone d'influence et la zone d'appel.

- **Zone d'influence**

Zone ou le niveau de la nappe est rabattu par le pompage.

- **Zone d'appel**

Zone ou l'ensemble des lignes de courant se dirigent vers le captage

III.3.4.3. Temps du transfert

Le temps de transfert est critère basé sur le temps qu'il faut à un polluant pour se déplacer du point d'entrée dans la nappe jusqu'à l'arrivée au captage, il faut également tenir compte du transfert en zone non saturée. A l'intérieur de la zone ou l'aire d'alimentation du captage, on définit des courbes d'égal temps de transfert, ou isochrones. La protection du captage sera d'autant meilleure que la zone de transfert est plus étendue.

III.3.4.4. La distance

La délimitation des périmètres de protection repose dans ce cas sur la détermination d'un rayon ou d'une distance, si l'on connaît l'épaisseur de l'aquifère, la porosité, l'infiltration efficace et la vitesse effective.

III.3.4.5. Les limite d'écoulement

Une délimitation des périmètres de protection basée sur ce critère consiste à utiliser les caractéristiques physiques, topographiques ou hydrogéologiques qui contrôlent l'écoulement, les limites peuvent être par exemple une rivière, un canal, une ligne de partage des eaux

III.4. Elaboration des périmètres de protection

D'après Nassah et Omdi, 2011, l'élaboration des différents types de périmètre de protection est comme suit :

III.4.1. périmètre de protection immédiate

Pour l'élaboration du périmètre de protection immédiate on a besoin de la carte de situation de l'ouvrage

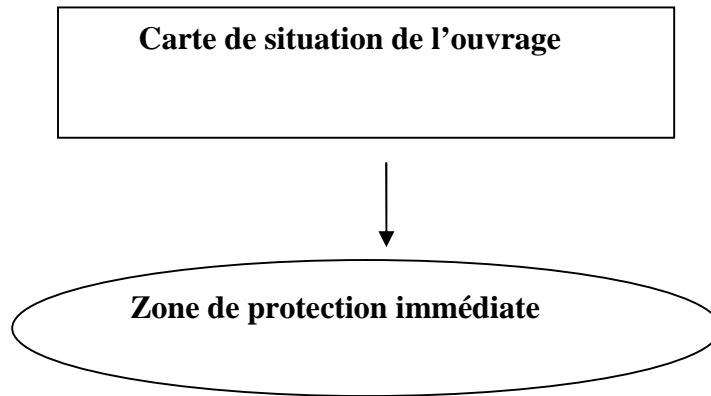


Figure 16. Organigramme d'élaboration de la zone de protection immédiate

III.4.2. périmètre de protection rapprochée

Pour l'élaboration des périmètres de protection rapprochée on aura besoin des données telles que le réseau hydrographique, données climatiques, carte de qualité d'eau, occupation du sol, carte géologique et essais de pompage

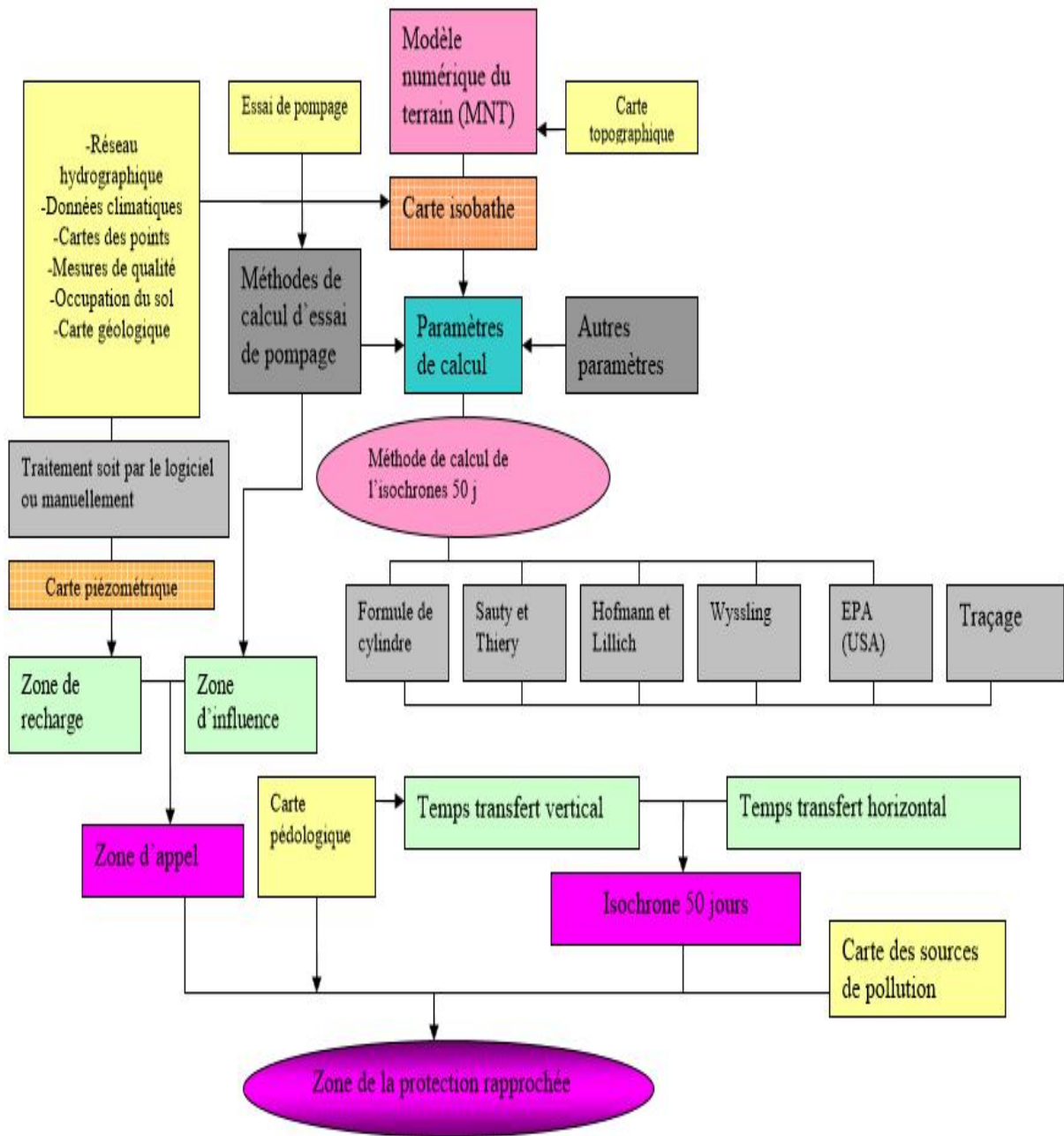


Figure 17: Organigramme d'élaboration de la zone de protection rapprochée

III.4.3. périmètre de protection éloignée

La méthode de délimitation de la zone de protection éloignée est expliquée par le schéma suivant (figure 18) :

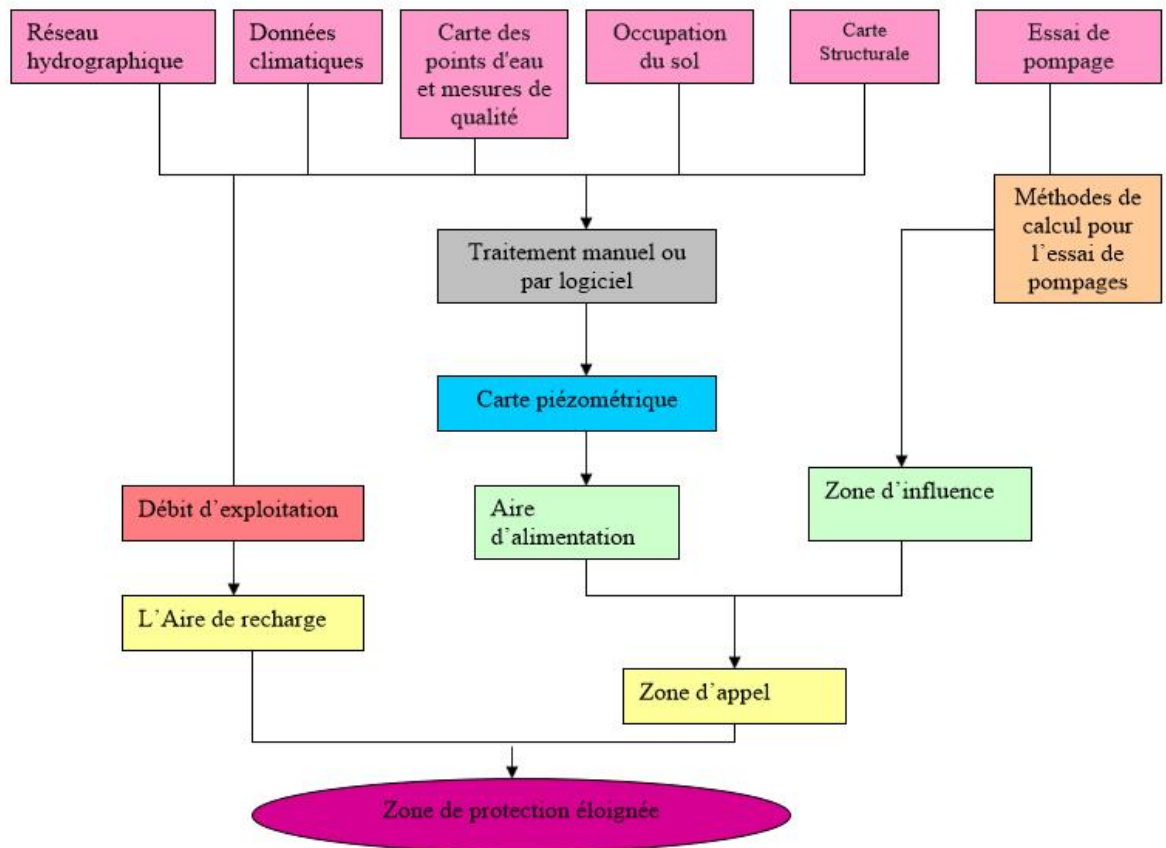


Figure 18 : Organigramme d'élaboration de la zone de protection éloignée

III.4.4. Réglementation des activités à l'intérieur des périmètres

Les activités pouvant faire l'objet d'interdiction ou de réglementation à l'intérieur des périmètres de protection concernent notamment (Codes des eaux, 1983) :

- L'exécution des puits ou forages,
- L'exploitation, des carrières,
- L'installation de canalisations, réservoirs et dépôts d'hydrocarbures,
- L'installation de canalisations des eaux usées de toute nature,
- L'établissement de tous constructions,
- L'épandage de fumier, engrais et tous produits destinés à la fertilisation des sols et à la protection des cultures,
- Les dépôts d'ordures, immondices, détritiques, produits radioactifs et d'une manière générale, tout produit et matière susceptibles d'altérer la qualité de l'eau.
- La circulation des véhicules automoteurs,
- L'installation des stations de service de distribution de carburant,

- Toute activité sur les plans d'eau, telle que pêche, chasse, navigation, lavage et nettoyage,
- Toute autre activité susceptible d'altérer la qualité des eaux.

III.5. Méthodes de calcul de l'isochrone 50 j

Concernant la détermination de l'isochrone 50 jours, on a procédé de la manière suivante : Calcul de la vitesse de transfert vertical par les différentes méthodes (formule de cylindre, Wyssling, etc.) à l'aide d'un programme spécifique. Le choix de l'une ou l'autre de ces méthodes se fait selon le contexte étudié

III.5.1. Sauty et Thiery

La méthode SAUTY et THIERY présente un moyen pratique pour la détermination des courbes d'égal temps de transfert. Dans le cas d'une nappe en équilibre hydrostatique (avant pompage) ainsi que pour une nappe en écoulement uniforme dans un aquifère (soumis à un pompage à un débit constant)

III.5.2. Hofmann et Lillich

La technique de HOFMANN et LILLICH ne s'applique que si le milieu est homogène et si le rabattement est faible en faisant appel à des données telles que la porosité efficace, la perméabilité, les caractéristiques du captage et un essai de pompage.

III.5.3. Wyssling

En 1979, L. Wyssling a mis au point une formule mathématique qui peut servir à délimiter les zones de protection autour des captages d'eaux souterraines. Elle permet en effet de calculer directement la durée d'écoulement (temps de séjour) des eaux souterraines à partir d'un point quelconque situé sur l'axe d'écoulement jusqu'au puits en service. Relativement simple et valable dans la pratique, ce calcul se fonde sur de longues années d'expérimentations. En l'appliquant, on pose comme hypothèse de base que les conditions régnant dans l'aquifère sont plus ou moins homogènes et que le débit prélevé (Q) est nettement inférieur au débit total de la nappe souterraine.

III.5.3.1. Grandeurs spécifiques (hydrogéologiques)

Grandeurs hydrogéologiques spécifiques, connues ou à mesurer, utilisées pour les calculs:

e = épaisseur de l'aquifère, en m

k = perméabilité de l'aquifère, en m/s

i = gradient hydraulique (sans dimension) = pente de la nappe

T = Transmissivité (m²/s) $T = K \cdot e$

= porosité efficace

U = vitesse effective de transfert $U = K i /$

Q = débit prélevé au puits, en m³/s

III.5.3.1. Grandeurs à calculer

Une fois connues les grandeurs hydrogéologiques ci-dessus, il est possible de calculer les grandeurs suivantes, qui sont nécessaires pour dimensionner les zones de protection des eaux:

1) Soit B la largeur du front d'appel, le débit du captage

$$D'où : Q = T \cdot B \cdot i \rightarrow B = Q / T \cdot i$$

2) Le rayon d'appel x_0 correspond à la distance en aval concernée par le pompage.

Toutes les molécules d'eau comprises dans la zone d'appel atteindront un jour ou l'autre le captage ;

Toutes les molécules en dehors de la zone d'appel s'écouleront sans atteindre le captage.

$$X_0 = Q / 2 \cdot T \cdot i$$

3) La largeur du front d'appel à hauteur du captage B' est égale à la moitié de la largeur totale de la zone d'appel : $B' = B / 2$

4) Les valeurs approchées de S_0 et S_u , respectivement les distances en amont et en aval sur l'axe découlement,

Sont :

$$S_0 = L + (L (L + (8 \cdot X_0))) / 2$$

$$S_u = -L + (L (L + (8 \cdot X_0))) / 2$$

Avec :

$$L = U \cdot t$$

Pour : $t = 50, 100$ et 200 jours

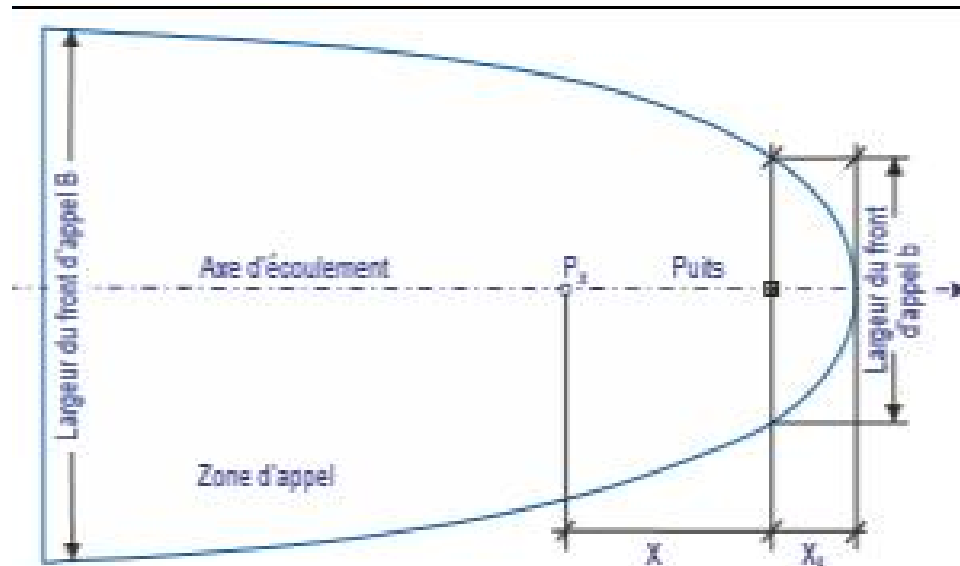


Figure 19. Schéma d'écoulement avec les grandeurs utilisées dans la méthode de Wyssling

III.6. Mesures de protection

La pollution constitue un risque permanent de limitation des ressources en eaux souterraines. L'urbanisation croissante et le développement économique contribuent à la dégradation quantitative et qualitative des nappes phréatiques. La protection et la préservation de ces ressources sont une nécessité de premier ordre particulièrement dans les zones arides et semi-arides où l'eau souterraine constitue la principale source hydrique. (Nassah, H. Omdi, F. 2011)

III.6.1. Protection qualitative

L'eau est la seule boisson indispensable à la vie. C'est pourquoi il faut préserver sa qualité contre la pollution qui peut avoir une origine double naturelle (géologique) et anthropique (activités humaines).

La cartographie de la vulnérabilité environnementale présente un outil efficace pour limiter et contrôler les risques de dégradation de la qualité de ces eaux. (Nassah, H. Omdi, F. 2011)

La préservation qualitative des eaux souterraines consiste à élaborer des périmètres de protection afin de :

- supprimer et ne plus autoriser (ni laisser faire!) les rejets directs d'eaux usées (domestiques, agricoles, industrielles).
- ne plus tolérer le déplacement des rejets des substances polluants dans les zones d'alimentation

- réglementer strictement le transport des produits toxiques pour éviter toute pollution ou dégradation accidentelle des eaux souterraines.
- diminuer les quantités de phosphates et nitrates rejetées par l'agriculture.

III.6.2. Protection quantitative

Non seulement il est essentiel de ne pas polluer l'eau, mais il faut aussi l'économiser. Comment préserver les ressources, afin de ne pas épuiser les nappes phréatiques ou souterraines (*Nassah, H. Omdi, F.2011*)

III.7. Conclusion

De cette étude il en ressort les points suivants :

- ❖ Le périmètre de protection a pour but protégé la qualité des captages d'eau destinée à la consommation humaine et garantir la santé publique.
- ❖ La méthodologie d'instauration du périmètre de protection dépend en grande partie du type d'aquifère (poreux, karstique ou fissuré).
- ❖ La délimitation du bassin d'alimentation de captage est très difficile et complexe dans un aquifère karstique qui revient à l'hétérogénéité du terrain.
- ❖ Les méthodes de dimensionnement des périmètres de protection des captages des eaux souterrains ne sont pas bien définies dans les textes législatifs concernant la protection des ressources d'eau en Algérie.

Chapitre IV

Étude hydrodynamique

IV .1. INTRODUCTION

Définitions et concepts de base :

Les expérimentations sur terrain, par des puits ou des sondages, sont des tests portants par sur les modifications du comportement hydrodynamique du complexe aquifère/ouvrage de captage, en réponse à une impulsion créer par un pompage à débit constant. Leur exécution doit être conduite avec la même rigueur scientifique qu'une expérience de physique.

IV .2. Objectif

Les essais par pompage poursuivent quatre buts, dans l'ordre croissant de complexité :

- 1- détermination des caractéristiques du complexe aquifère/ ouvrage de captage. C'est l'essai de puits, destiné à l'équipement technique de l'ouvrage.
- 2- Mesure sur le terrain des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère: perméabilité transmissivité et coefficient d'emmagasinement.
- 3- Etude quantitative des caractéristiques particulières de l'aquifère : test des conditions aux limites, structure, hétérogénéité, drainance,...etc.
- 4- Observation direct, en vraie grandeur, de l'effet de l'exploitation sur l'aquifère, prévision de l'évolution des rabattements en fonction des débits pompés. Evaluation de la ressource en eau souterraine exploitable (*Castany, 1982*).

Cette partie a pour l'objet de formaliser l'ensemble du fonctionnement des ouvrages nécessaires à la compréhension du système de captage

IV.3. Dénomination du puits :

La dénomination des puits, correspondant toujours à la région étudiée (daïra, commune, ...) mais qu'on a, quelquefois, changé pour une raison administrative.

Tableau 8. Coordonnée décimal de des sites des essais par pompage

Nom de puits	Année de réalisation	X	Y	Z(m)	Epaisseur(m)
F07 el Hamma	19/05/2002	7,01210237	35,56177558	850	65
F11 el	23/1/2005	7,02232014	35,52620838	870	25

Hamma					
F14elHamma	20/08/2005	7,01881400	35,5633759	853	53

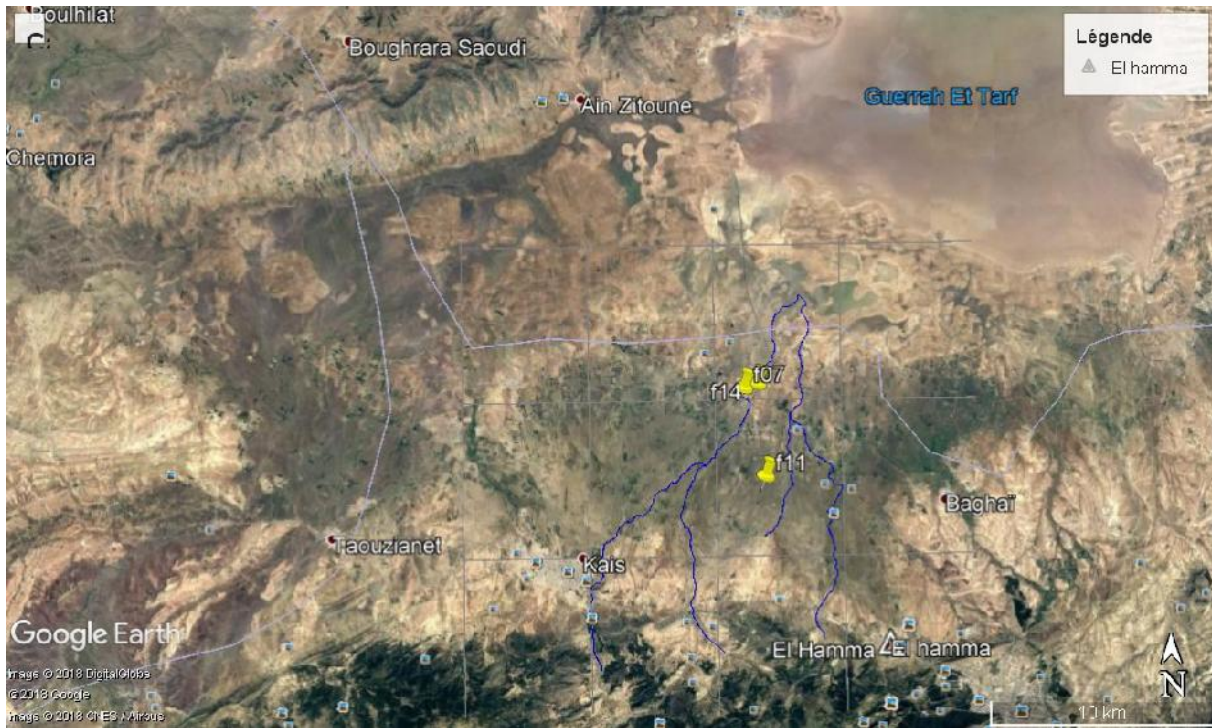


Figure 20. Caret de localisation des coordonnées décimales des puits étudiés. (Photo Google Earth)

IV.4. L'essai de pompage :

Le principe d'un essai de pompage est le suivant : si l'on pompe dans un puits à un débit connu, et si l'on mesure les rabattements dans les puits et dans des piézomètres situés à des distances connus au puits de pompage, on peut utiliser les différentes mesures prises dans le temps pour obtenir les caractéristiques hydrauliques de l'aquifère à l'aide des équations appropriées . Avant de faire un essai de pompage, on devrait avoir pris connaissance de certaine information d'ordre géologique et hydraulique (*Boudali, W. Belaoudmou, M. 2017*) :

1. Les Caractéristique géologique du sous – sol.
2. Les mouvements de l'eau souterraine dans l'aquifère.
3. Les variations des niveaux piézométrique dans l'aquifère à pompé et leurs causes.
4. Les risques éventuels de pollution de l'aquifère étudié.

IV.4.1. Les paramètres hydrodynamiques**IV.4.1.1. Transmissivité (T) :**

On définit alors le paramètre transmissivité (T) qui régit le débit d'eau qui s'écoule, par unité de largeur (L) d'un aquifère, sous l'effet d'un gradient hydraulique (i). La transmissivité est le produit du coefficient de perméabilité (K) par l'épaisseur de l'aquifère (b), elle s'exprime en m²/s $T \text{ (m}^2/\text{s)} = K \text{ (m/s)} \cdot b \text{ (m)}$

IV.4.1.2. Coefficient d'emmagasinement (S) :

Il est défini comme la quantité d'eau qu'un aquifère relâché ou emmagasiné par unité de surface de l'aquifère à la variation de charge hydraulique h , correspondante.

IV.4.1.3. Perméabilité (K) :

La perméabilité est l'aptitude d'un réservoir à se laisser traverser par l'eau, sous l'effet d'un gradient hydraulique. Elle exprime la résistance du milieu à l'écoulement de l'eau qui le traverse. Il a une dimension d'une vitesse et s'exprime en m/s. $K = T/b$

1. K : perméabilité (m/s).
2. T : transmissivité (m²/s).
3. b : épaisseur (m).

IV.5. Conclusion :

Les mesures des paramètres hydrodynamiques ont été effectuées par des essais de pompage par paliers et de longue durée au niveau de 7 stations, ce qui nous permet de définir :

1. Une transmissivité moyenne de l'ordre de 0.0014 m²/s,
2. Une perméabilité moyenne de 0.00002 m/s,
3. Une porosité efficace (ou coefficient d'emmagasinement pour la nappe captive) moyenne de 0.004 % qui est usuelle pour les argiles.

Tableau 9. Tableau récapitulatif des paramètres hydrodynamiques

	Débit Q (m³/s)	Transmissivité T (m²/s)	Perméabilité K (m/s)	Epaisseur Effective	Porosité %
F07	0.015	0.003	0.00004	65	0.01
F11	0.007	0.0004	0.00001	25	0.002
F14	0.01	0.001	0.00001	53	0.002

Chapitre V

Estimation de la vulnérabilité et calcul des isochrones

cV.1 .Détermination de la vulnérabilité :

Il est nécessaire d'avoir au minimum une coupe géologique de l'ouvrage de captage afin d'évaluer sa vulnérabilité. Quelques connaissances sur le contexte hydrogéologique régional sont également requises. Dans le présent guide, nous proposons une méthode pour une évaluation détaillée de la vulnérabilité dans le cas où les données géologiques et hydrogéologiques sont connues, ainsi qu'une méthode d'évaluation sommaire dans le cas contraire. Les méthodes d'évaluation sommaire et détaillée sont basées sur les constatations effectuées lors de l'état des lieux des ouvrages des captages réalisé pendant la première phase du projet «Appui à la mise en place d'un dispositif de protection des zones de captages d'AEP par les communes » La marche à suivre est schématisée dans le logigramme de la page suivante (*Boudali, W. Belaoudmou, M. 2017*) :

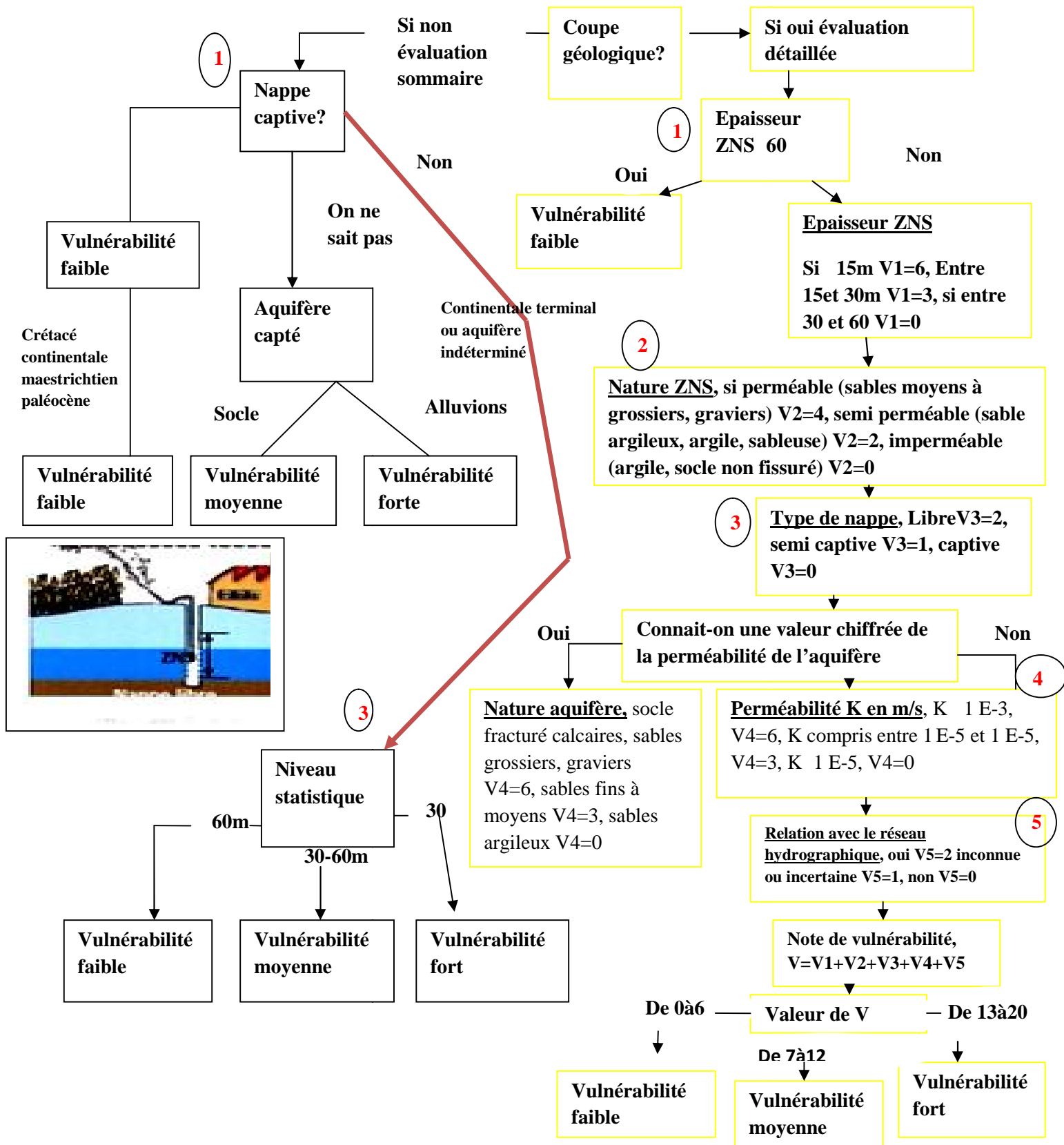


Figure. 21. Logigramme d'évaluation de la vulnérabilité

Présence d'une coupe géologique :

Quand une coupe géologique est disponible, l'évaluation détaillée de la vulnérabilité se base sur cinq critères :

1. L'épaisseur de la Zone Non Saturée : c'est un paramètre prédominant pour la bonne protection géologique de la nappe. Plus la zone non-saturée est épaisse et moins la nappe est vulnérable car plus la distance sera longue à effectuer pour un polluant pour atteindre la nappe. En cas de fort temps de transit, le polluant pourra ainsi s'adsorber dans les formations non saturées ou se biodégrader avant d'atteindre la nappe.

2. la nature de la Zone non Saturée : après l'épaisseur, la nature de la zone non saturée joue également un grand rôle dans la protection de la nappe : des formations imperméables (argiles, socle non fissuré) vont fortement ralentir voire interdire le transit des infiltrations superficielles vers la nappe (vulnérabilité faible pour ce critère dans ce cas). A l'inverse, des formations perméables (terrains meubles à éléments grossiers non consolidés comme les sables moyens à grossiers, graviers) laisseront s'infiltrer les eaux et pollutions superficielles (vulnérabilité forte). Les formations à perméabilité intermédiaire (argile sableuse, sable argileux) conféreront à la nappe une vulnérabilité moyenne pour ce critère. En cas de zone non saturée hétérogène (présence de sables et d'argiles par exemple) il faut considérer le cas le plus favorable si la formation imperméable est suffisamment épaisse (supérieure à une quinzaine de mètres, ce qui est suffisant pour jouer un bon rôle d'écran imperméable). A noter qu'un aquifère bien protégé par une zone non saturée épaisse et imperméable au niveau du captage peut toutefois être vulnérable au niveau d'éventuelles zones d'affleurement de l'aquifère ou de secteurs où la zone non saturée serait absente ou plus perméable

3. Le type de nappe : une nappe captive est protégée des infiltrations superficielles pour des raisons de pression (vulnérabilité faible pour ce critère), contrairement à une nappe libre (vulnérabilité forte). Il peut exister des nappes semi-captives en cas de limite supérieure semi-perméable (vulnérabilité moyenne).

4. la perméabilité de l'aquifère : c'est l'autre critère prédominant de la vulnérabilité.

Plus la formation aquifère est perméable, plus la vitesse de circulation de l'eau (et donc des polluants solubles) est forte et plus la nappe est vulnérable, car moins l'on a de temps pour réagir à une pollution et prendre les mesures de secours qui s'imposent.

Ce critère ne s'applique toutefois que lorsque la pollution a atteint la nappe (captage insuffisamment protégé par la zone non saturée ou pollution introduite directement en nappe par le biais d'un forage ou dans une zone où l'aquifère n'est plus protégé car affleurant).

5. la relation avec le réseau hydrographique : les cours d'eau et plans d'eau peuvent facilement transporter des pollutions et éventuellement les transférer aux nappes avec lesquelles ils sont en relation hydraulique. Si l'épaisseur de la zone non saturée est supérieure à 60m, la vulnérabilité est Faible, on ne considère pas les autres critères. Dans le cas contraire, on calcule une note sur 20 qui permet de ranger la vulnérabilité en trois classes (Faible, Moyenne ou Forte). Pour chacun des 5 critères listés ci-dessus, on distingue 3 classes auxquelles on affecte la note 0, 1 ou 2 (0 pour la vulnérabilité la plus faible, 2 pour la plus forte, 1 pour la vulnérabilité intermédiaire). On applique ensuite une pondération sur les critères pour tenir compte de leur importance relative : les critères prépondérants (épaisseur ZNS et perméabilité de l'aquifère) ont été affectés d'un poids de 3, les critères importants d'un poids de 2 (nature ZNS) et les autres critères d'un poids de 1 (type de nappe, relation avec réseau hydrographique). Le type de nappe, bien que très important, n'a été affecté que d'un poids de 1 car d'autres critères rentrent déjà en compte pour une nappe captive (la nature de la zone non saturée est une formation imperméable, il n'y a pas de relation avec le réseau hydrographique et bien souvent l'épaisseur de la ZNS sera forte) (*Boudali, W. Belaoudmou, M. 2017*).

Tableau 10. Critères de vulnérabilité avec leurs notes pondérées

Estimation détaillée de la vulnérabilité			
Épaisseur de la zone non saturée	< 15 m V1 = 6	de 15 à 30 m V1 = 3	de 30 à 60m V1 = 0
Nature de la zone non-saturée	Formations perméables (sables moyens à grossiers, graviers) V2 = 4	Formations à perméabilité intermédiaire (sables argileux, argiles sableuses) V2 = 2	Formations imperméables ou très peu perméables (argiles, socle non fissuré) V2 = 0
Type de nappe	Libre V3 = 2	Semi-captive V3 = 1	Captive V3 = 0

Perméabilité K de la formation aquifère	Forte : $K > 10^{-3}$ m/s ou aquifère composé de calcaires, sables grossiers, graviers V4 = 6	Moyenne : K compris entre 10^{-5} et 10^{-3} m/s ou aquifère composé de sables fins à moyens V4 = 3	Faible : K inférieur à 10^{-5} m/s ou aquifère composé de sables argileux ou de formations peu perméables V4 = 0
Relation avec le réseau hydrographique	Oui V5 = 2	Inconnue ou incertaine V5 = 1	Non V5 = 0

Pour le critère « Perméabilité de la formation aquifère », se baser préférentiellement sur une valeur chiffrée de la perméabilité si elle est connue, et à défaut sur la nature de la formation aquifère. En additionnant les notes pondérées de chacun des critères, on aboutit à une note

$V = V1+V2+V3+V4+V5$ comprise entre 0 (vulnérabilité la plus faible possible) et 20 (vulnérabilité la plus forte possible). Le tableau suivant indique à quelle classe de vulnérabilité correspond chaque intervalle de notes :

Tableau 11. Correspondance entre la note pondérée et la classe de vulnérabilité

$V=V1+V2+V3+V4+V5$ (note pondérée / 20)	de 0 à 6	de 7 à 12	de 13 à 20
Classe de vulnérabilité	Faible	Moyenne	Forte

V.2.Estimation des vulnérabilités et calcule des isochrones :

V.2.1. Estimation de vulnérabilité : F07

On explique ci-après quelles étapes on a suivies :

Coupe géologique ? = oui Epaisseur Zone Non Saturée (ZNS) > 60m ? =oui. La

ZNS a ici une épaisseur de 65m

- Epaisseur ZNS = entre 30 et 60 $V1 = 0$
- Nature ZNS = imperméable (argile) : $V2 = 0$
- Type de nappe = captive : $V3 = 0$

- Connait-on une valeur chiffrée de la perméabilité de l'aquifère ? = 4×10^{-5} m/s

V4 = 3

- Relation avec le réseau hydrographique = oui : V5 = 2
- Note de vulnérabilité: $V = 0 + 0 + 0 + 3 + 2 = 5$

Donc : V est compris entre 0 et 6, d'où la vulnérabilité est **faible**.

V.2.2. Calcul des Isochrones : F07

1) On fait la synthèse suivant :

Tableau 12. Synthèse des données pour le forage F07

NOMINATION DE FORAGE	F 07
COORDONNEES	X : 2798105,38
	Y : 5012187,61
DEBIT D'EXPLOITATION (m3/s)	0.015
GRADIENT HYDRAULIQUE	0.006
TRANSMISSIVITE (m2/s)	0.003
EPAISSEUR DE L'AQUIFERE (m)	65
POROSITE EFFICACE %	0.01
PERMEABILITE (m/s)	0.00004

2) On calcule la largeur du front d'appel B

$$Q = T \cdot B \cdot i \quad B = Q / T \cdot i \quad B = 0.015 / (0.003 \times 0.006) = 833\text{m}$$

3) On calcule le rayon d'appel X0 :

$$X_0 = Q / 2 \cdot T \cdot i = 0.015 / 2 \cdot 3.14 \cdot 0.003 \cdot 0.006 = 133\text{m}$$

4) On calcule la largeur du front d'appel à hauteur du captage B' :

$$B' = B / 2 = 833 / 2 = 417\text{m}$$

5) On calcule la grandeur intermédiaire pour t = 50, 100 et 200 jours

$$L_{50j} = k \cdot i \cdot t / w = 0.00004 \cdot 0.006 \cdot 50 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 / 0.01 = 104\text{m}$$

$$L_{100j} = k.i.t / w = 0.00004 * 0.006 * 100 * 24 * 60 * 60 / 0.01 = 207m$$

$$L_{200j} = k.i.t / w = 0.00004 * 0.006 * 200 * 24 * 60 * 60 / 0.01 = 415m$$

6) Les valeurs approchées de S_0 et S_u , respectivement les distances en amont et en

Aval sur l'axe d'écoulement, sont :

$$S_0 = L + (L + (8 * X_0)) / 2 \text{ de } 50, 100 \text{ et } 200 \text{ jour.}$$

$$S_u = -L + (L + (8 * X_0)) / 2 \text{ de } 50, 100 \text{ et } 200 \text{ jour dans le tableau suivant.}$$

Tableau 13. Résultats de calcul manuel des paramètres des isochrones de forage F07

Isochrones	50 jours	100jours	200 jours
L(m)	104	207	415
S0(m)	226	277	599
Su(m)	122	153	184

V.2.3. Estimation de vulnérabilité F11 :

On explique ci-après quelles étapes on a suivies :

Coupe géologique ? = oui Epaisseur Zone Non Saturée (ZNS) > 60m ? =non. La

ZNS a ici une épaisseur de 25m

- Epaisseur ZNS = entre 15 et 30 $V_1 = 3$
- Nature ZNS = imperméable (argile) : $V_2 = 0$
- Type de nappe = captive : $V_3 = 0$
- Connait-on une valeur chiffrée de la perméabilité de l'aquifère ? = 1×10^{-5} m/s

$$V_4 = 0$$

- Relation avec le réseau hydrographique = non : $V_5 = 0$
- Note de vulnérabilité: $V = 0 + 0 + 0 + 3 + 0 = 3$

Donc : V est compris entre **0** et **6**, d'où la vulnérabilité est **faible**.

V.2.4. Calcul des Isochrones F11:

Tableau 14. Synthèse des données pour le forage F11

NOMINATION DE FORAGE	F 11
COORDONNEES	x : 2797440,92
	Y : 5007189,15
DEBIT D'EXPLOITATION (m ³ /s)	0.007
GRADIENT HYDRAULIQUE	0.01
TRANSMISSIVITE (m ² /s)	0.0004
EPAISSEUR DE L'AQUIFERE (m)	25
POROSITE EFFICACE %	0.002
PERMEABILITE (m/s)	0.00001

2) On calcule la largeur du front d'appel B

$$Q = T \cdot B \cdot i \quad B = Q / T \cdot i \quad B = 0.007 / (0.0004 \times 0.01) = 1750 \text{ m}$$

3) On calcule le rayon d'appel X0 :

$$X0 = Q / 2 \cdot T \cdot i = 0.0004 / 2 \cdot 3.14 \cdot 0.0004 \cdot 0.01 = 279 \text{ m}$$

4) On calcule la largeur du front d'appel à hauteur du captage B' :

$$B' = B / 2 = 1750 / 2 = 875 \text{ m}$$

5) On calcule la grandeur intermédiaire pour t = 50, 100 et 200 jours

$$L_{50j} = k \cdot i \cdot t / w = 0.00001 \cdot 0.01 \cdot 50 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 / 0.002 = 216 \text{ m}$$

$$L_{100j} = k \cdot i \cdot t / w = 0.00001 \cdot 0.01 \cdot 100 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 / 0.002 = 432 \text{ m}$$

$$L_{200j} = k \cdot i \cdot t / w = 0.00001 \cdot 0.01 \cdot 200 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 / 0.002 = 864 \text{ m}$$

6) Les valeurs approchées de S0 et Su, respectivement les distances en amont et en

Aval sur l'axe d'écoulement, sont :

$$S_0 = L + (L + (8 \cdot X_0)) / 2 \text{ de } 50, 100 \text{ et } 200 \text{ jour.}$$

$$S_u = -L + (L + (8 \cdot X_0)) / 2 \text{ de } 50, 100 \text{ et } 200 \text{ jour dans le tableau suivant.}$$

Tableau 15. Résultats de calcul manuel des paramètres des isochrones de forage F11

Isochrones	50 jours	100jours	200 jours
L(m)	216	432	864
S0(m)	471	752	1249
Su(m)	255	320	385

V.2.5. Estimation de vulnérabilité F14 :

On explique ci-après quelles étapes on a suivies :

Coupe géologique ? = oui Epaisseur Zone Non Saturée (ZNS) > 60m ? =oui. La

ZNS a ici une épaisseur de 53m

- Epaisseur ZNS = entre 30 et 60 V1 = 0
- Nature ZNS = imperméable (argile) : V2 = 0
- Type de nappe = captive : V3 = 0
- Connait-on une valeur chiffrée de la perméabilité de l'aquifère ? = 1×10^{-5} m/s

V4 = 0

- Relation avec le réseau hydrographique = non : V5 = 2
- Note de vulnérabilité: $V = 0 + 0 + 0 + 0 + 2 = 2$

Donc : V est compris entre 0 et 6, d'où la vulnérabilité est **faible**

V.2.6. Calcul des Isochrones F14 :

Tableau 16. Synthèse des données pour le forage F14

NOMINATION DE FORAGE	F 14
COORDONNEES	x : 2799029,26
	Y : 5012015,75
DEBIT D'EXPLOITATION (m ³ /s)	0.01
GRADIENT HYDRAULIQUE	0.008
TRANSMISSIVITE (m ² /s)	0.001
EPAISSEUR DE L'AQUIFERE (m)	53

POROSITE EFFICACE	0.002
PERMEABILITE (m/s)	0.00001

2) On calcule **la largeur du front d'appel B**

$$Q = T \cdot B \cdot i \quad B = Q / T \cdot i \quad B = 0.01 / (0.001 \times 0.008) = 1250\text{m}$$

3) On calcule le **rayon d'appel X0**

$$X0 = Q / 2 \cdot T \cdot i = 0.01 / 2 \cdot 3.14 \cdot 0.001 \cdot 0.008 = 199\text{m}$$

4) On calcule **la largeur du front d'appel à hauteur du captage B'** :

$$B' = B / 2 = 1250 / 2 = 625\text{m}$$

5) On calcule **la grandeur intermédiaire pour t = 50, 100 et 200 jours**

$$L_{50j} = k \cdot i \cdot t / w = 0.00001 \cdot 0.008 \cdot 50 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 / 0.002 = 173\text{m}$$

$$L_{100j} = k \cdot i \cdot t / w = 0.00001 \cdot 0.008 \cdot 100 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 / 0.002 = 346\text{m}$$

$$L_{200j} = k \cdot i \cdot t / w = 0.00001 \cdot 0.008 \cdot 200 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 / 0.002 = 691\text{m}$$

6) Les valeurs approchées de **S0 et Su, respectivement les distances en amont et en**

Aval sur l'axe d'écoulement, sont :

$$S_0 = L + (L + (8 \cdot X_0)) / 2 \text{ de } 50, 100 \text{ et } 200 \text{ jour.}$$

$$S_u = -L + (L + (8 \cdot X_0)) / 2 \text{ de } 50, 100 \text{ et } 200 \text{ jour dans le tableau suivant.}$$

Tableau 17. Résultats de calcul manuel des paramètres des isochrones de forage F14

Isochrones	50 jours	100jours	200 jours
L(m)	173	346	691
S0(m)	363	582	974
Su(m)	190	236	283

V.3. Utilisation du logiciel pour la détermination des périmètres de protection des forages d'eau

Le logiciel Zappel :

Zappel est un outil de calcul de la zone d'appel d'un forage et de la position des isochrones. Il prend en paramètre des caractéristiques du forage et de la nappe, et permet d'afficher sous forme spatiale (vue 2D, ArcGIS, MapInfo) l'extension de la zone d'appel et des isochrones correspondantes. Le résultat peut aussi être affiché dans Google Earth via un export KML.

Zappel est téléchargeable gratuitement sur le site web du BRGM avec une licence gratuite. (*ZAPPEL Décembre 2015*)

Les paramètres nécessaires au calcul de la zone d'appel sont:

- Le débit du forage (en m³/h) ;
- La transmissivité de l'aquifère (en m²/s) ;
- Le gradient de la nappe (en m/m, sans unité) ;
- Les coordonnées cartésiennes (en Lambert-93) du forage (en m) ;
- La distance maximale pour le tracé de la zone d'appel vers l'amont du forage (en m) ;
- L'angle pour indiquer la direction des écoulements (0° correspond à un écoulement orienté sud-nord, en degrés) ;

Le calcul des isochrones ajoute la notion de temps et nécessite de définir une grille de calcul. Soit les paramètres suivants à renseigner :

- Épaisseur de la nappe (en m) ;
- Porosité cinématique (sans unité, entre 0 et 1) ;
- Le pas de la grille pour l'interpolation des temps de transfert (en m) ;
- L'espacement souhaité des isochrones (en jours) ;
- Les bornes minimum et maximum des isochrones à calculer (en jours) ;
- Éventuellement une liste d'isochrones supplémentaires à calculer (en jours).

V.4. Résultats de calculs :

Les résultats sont exportés sous format images (fig 21, 22, 23), présentent les zones d'appel pour chaque forage étudié ainsi que les isochrones 50, 100, 200 j. pour les trois forages, la direction de transfert est Sud-ouest Nord-est, les superficies des périmètres de protection varient d'un forage à un autre (tab 18), allant de 10 à 36 pour les périmètres immédiats et de 39 à 232 ha pour les périmètres éloignés.

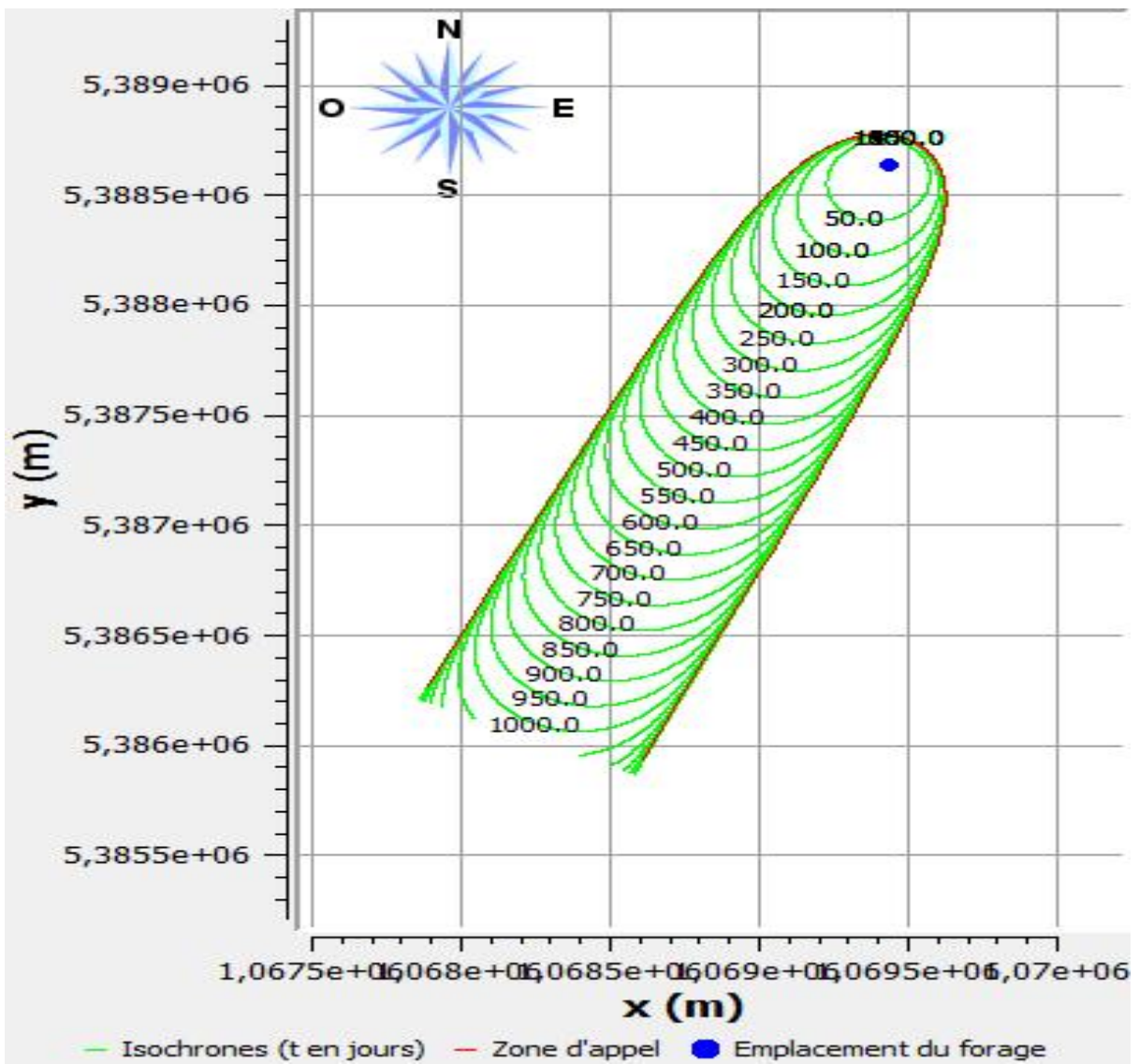


Figure. 22 : Détermination de la zone d'appel et des isochrones (F07) par le logiciel ZAPPEL

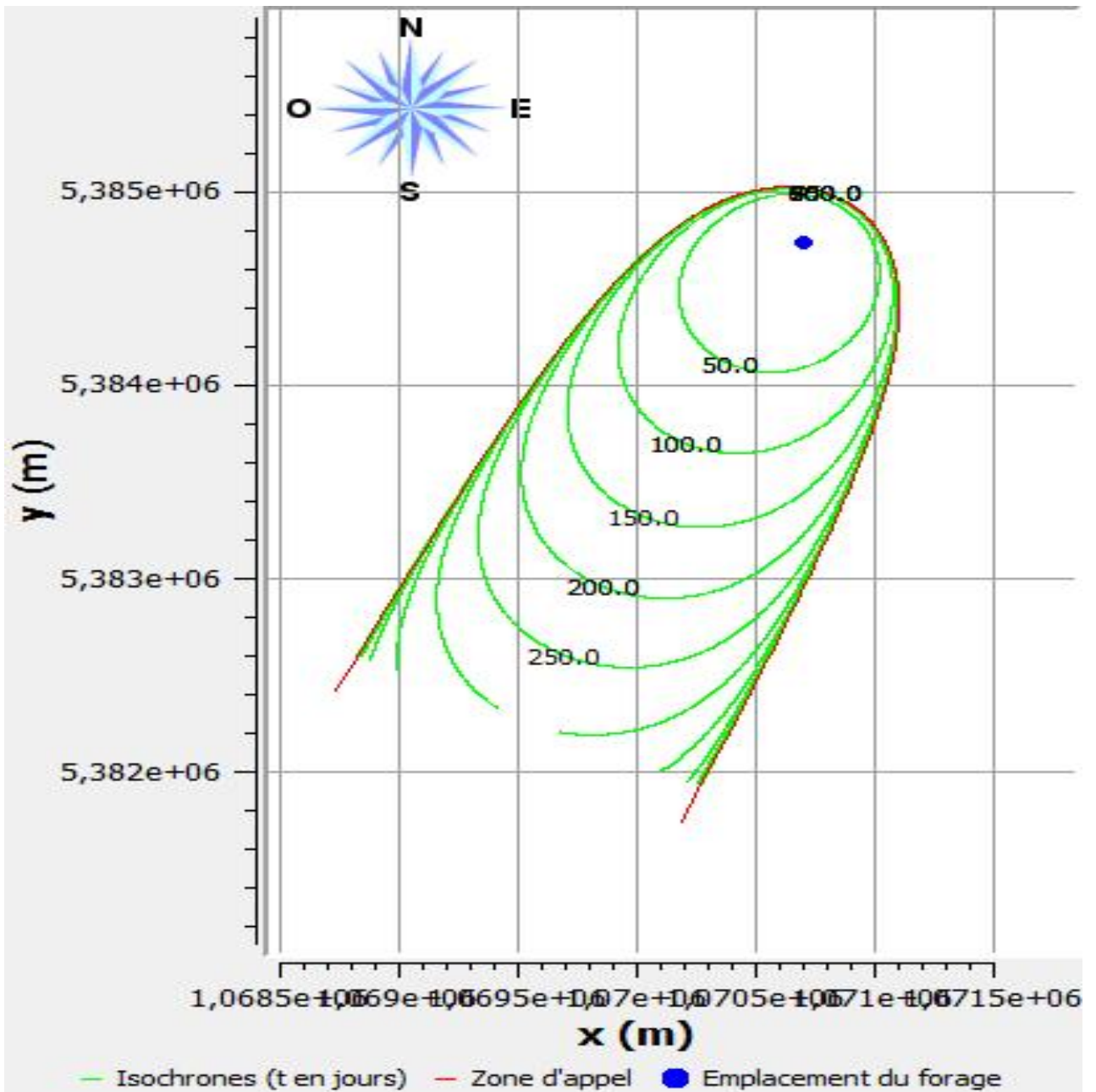


Figure. 23 : Détermination de la zone d'appel et des isochrones du forage (F11) par le logiciel ZAPPEL

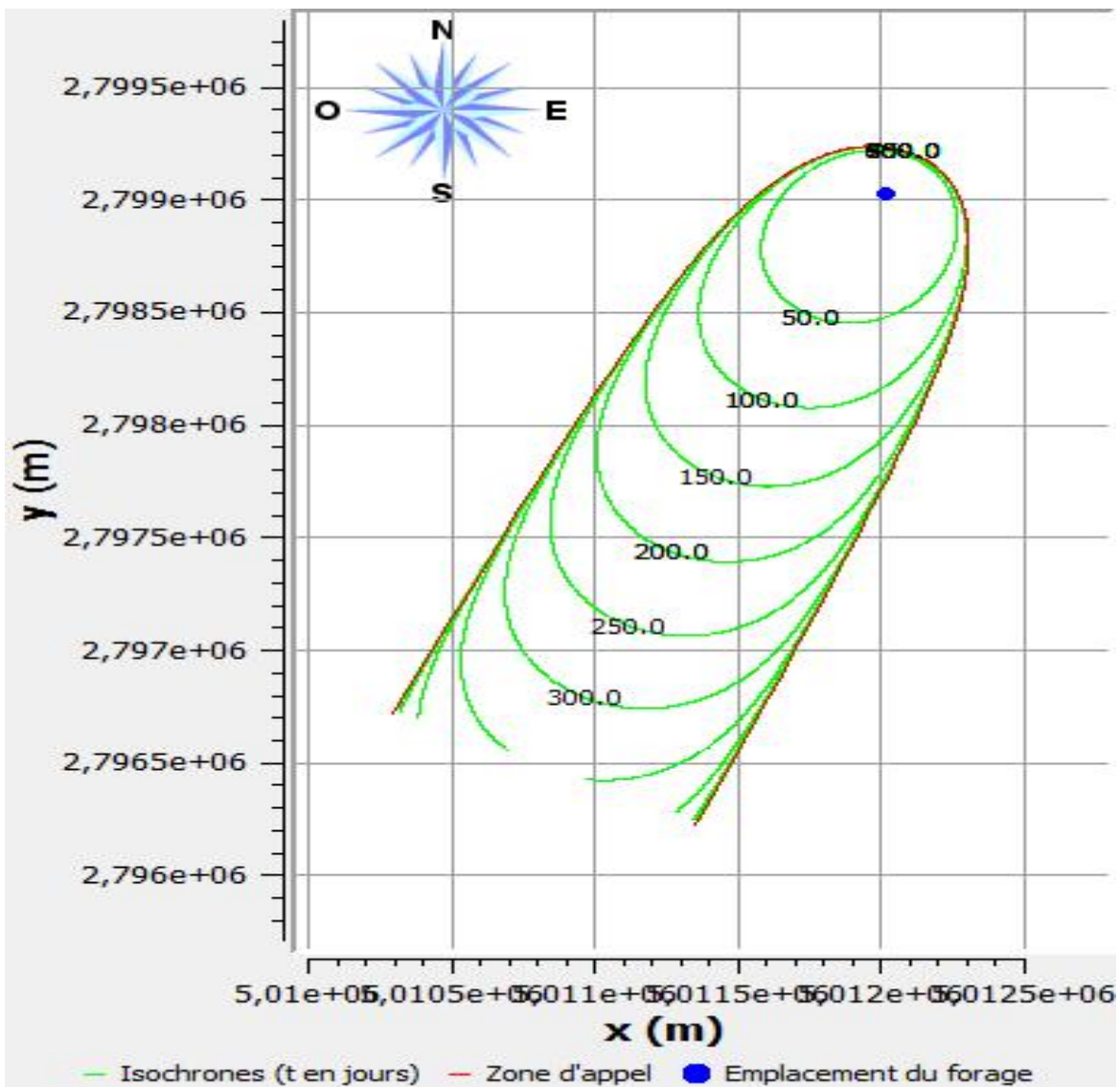


Figure 24. Détermination de la zone d'appel et des isochrones (F14) par le logiciel ZAPPEL

Position des trois forages avec périmètres de protection sur Google Earth :

Pour mieux protéger nos ressources, une représentation des périmètres des 03 forages sur une carte Google Earth (fig 24), nous a permis de déterminer l'extension sur terrain de ces derniers et d'estimer leurs superficies.

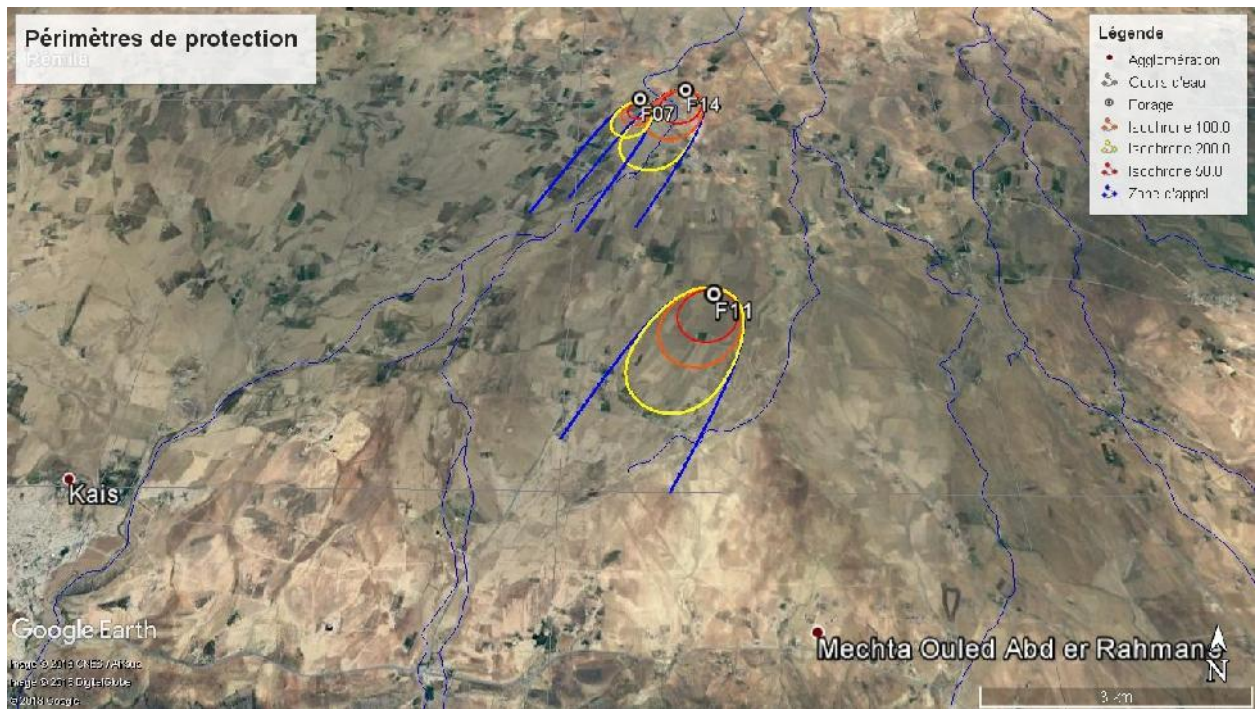


Figure 25. Représentation des périmètres sur Google Earth

Tableau 18. Superficies des périmètres de protection (en ha) pour les forages étudiés

Forage	F07	F11	F14
50j	10	58	36
100j	19	116	75
200j	39	232	150

V.5.-Conclusion :

La détermination de vulnérabilité qui se basé à deux contexte connus "Géologie, Hydrogéologie "et aussi la méthode d'évaluation sommaire, selon l'état des lieux des ouvrages de captage.

Après les études d'estimation de vulnérabilité et les isochrones on peut déduite que la région de Kais, caractérisée à vulnérabilité faible donc en déduire que nos forage sont protégés

L'approche automatique utilisé par le logiciel Zappel confirme notre hypothèse et clarifiée de plus nos résultats en renforçant par des graphiques et des cartes.

Tableau 19. Vulnérabilités des forages étudiés.

N	NOM DES FORAGES	V1	V2	V3	V4	V5	Vt	OBSERVATION
01	F07	00	00	00	03	00	03	Faible
02	F11	03	00	00	00	00	03	Faible
03	F14	00	00	00	00	00	00	Faible



Conclusion

Conclusion générale

A la fin de ce modeste travail les conclusions suivantes peuvent être tirées :

La région de Khenchela est située au Nord de l'Algérie, au Sud-Est du constantinois ; au contrefort du mont des Aurès entre 34° 06' 36'' et 35° 41' 21'' latitudes Nord ; et entre 06° 34' 12'' et 07° 35' 56 '' de longitudes Est, située à une altitude moyenne de 1122 m

Le climat de La région d'étude est de type semi-aride avec un hiver froid et un été chaud et sec Les précipitations moyennes annuelles, sur une période de 20 ans (1997/2017), sont estimées à 470,33 mm, et mensuelle moyenne est de 39.19 mm la température moyenne de l'aire est de 15.84°C

Les mesures des paramètres hydrodynamiques au niveau des 3 forages ce qui nous permet de distinguer :

- Une transmissivité moyenne est de l'ordre de $3 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$,
- et une perméabilité moyenne est $2.5 \times 10^{-5} \text{m/s}$.

Les résultats de calcul par la méthode de Wyssling ont montré que cette nappe est caractérisée par une vulnérabilité et sensibilité globalement faible à moyenne.

L'établissement des périmètres de protection dépend des calculs des isochrones 50, 100, 200 jours, mise en place sur une carte Google Earth pour pouvoir estimer les superficies des différents périmètres et prévoir les éléments pouvant toucher les forages.



Annexes

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

1997

Paramètre	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	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité moy
	min	max				
Mois						
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	Température(C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité moy
	min	max				
Mois						
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
Aout	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	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité moy
	min	max				
Mois						
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
Aout	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
Aout	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	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité Moy
	min	max				
Mois						
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
Aout	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	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evapotranspiration (mm)	Vitesse de vent max (m/s)	Humidité Moy
	min	max				
Mois						
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
Aout	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
Aout	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
Aout	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
Aout	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
Aout	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
Aout	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
Aout	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
Aout	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
Aout	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
Aout	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
Aout	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
Aout	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

2015

Paramètre Mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evaporation (mm)	Vitesse de vent (m/s)	Humidité Moy
	min	max				
Janvier	1.4	10.6	39.8	65.9	4.1	72.9
Février	1.2	8.8	83.7	55.5	4.7	73.8
Mars	4.3	15.0	87.4	98.5	4.7	69.2
Avril	7.7	21.4	1.7	113.7	2.7	57.9
Mai	12.2	26.7	18.2	201	4.4	48.6
Juin	14.5	29.7	36.1	185.6	2.9	45.4
Juillet	18.2	34.7	30.5	248.3	2.3	32.4
Aout	18.8	33.3	35.7	216.1	2.7	42.7
septembre	16.0	28.7	53.1	176.8	3.6	52.9
Octobre	12.8	24.8	15.6	158.9	3.4	52.1
novembre	8.1	19.0	36.6	129.2	3.9	58.4
décembre	2.8	10.7	68.5	55.4	3.9	78.2

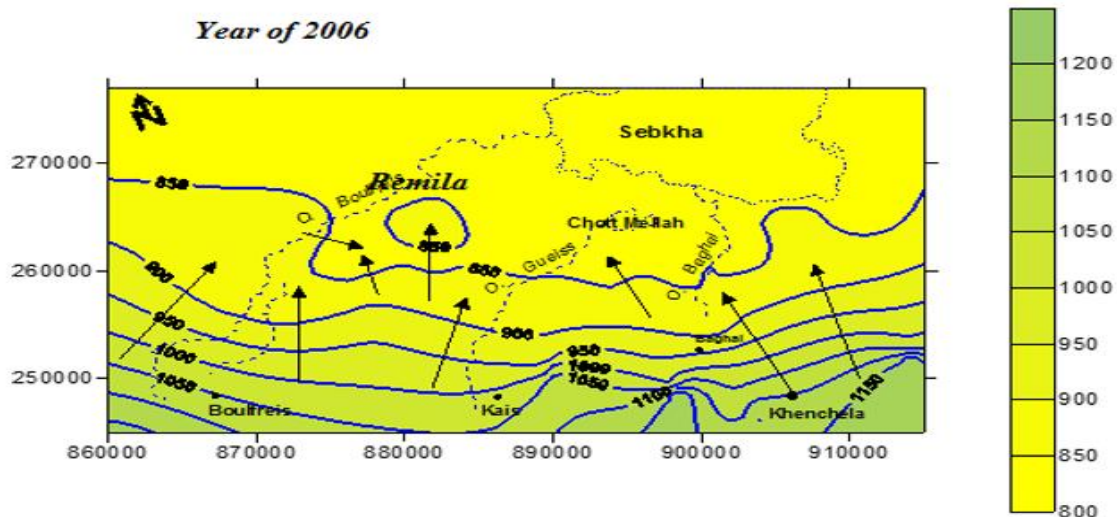
2016

Paramètre Mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evaporation (mm)	Vitesse de vent (m/s)	Humidité Moy
	min	max				
Janvier	2.9	14.3	22.9	73.0	3.2	64.9
Février	3.6	14.8	13.5	83.8	3.9	62.4
Mars	5.0	15.3	23	108.5	5.1	56.4
Avril	9.5	22.3	54.2	124.6	3.8	56.7
Mai	12.0	25.1	60.8	153.8	3.65	51.7
Juin	15.9	30.9	2	291	3.68	44.40
Juillet	18.1	34.0	3	219	2.75	36.49
Aout	17.0	32.0	24	184	2.90	16.49

septembre	14.6	26.6	14	125	3.90	60.97
Octobre	13.3	24.8	34	127	3.47	54.78
novembre	6.7	16.4	35	63	3.20	66.24
décembre	10.7	11.6	32	30	2.89	81.42

2017

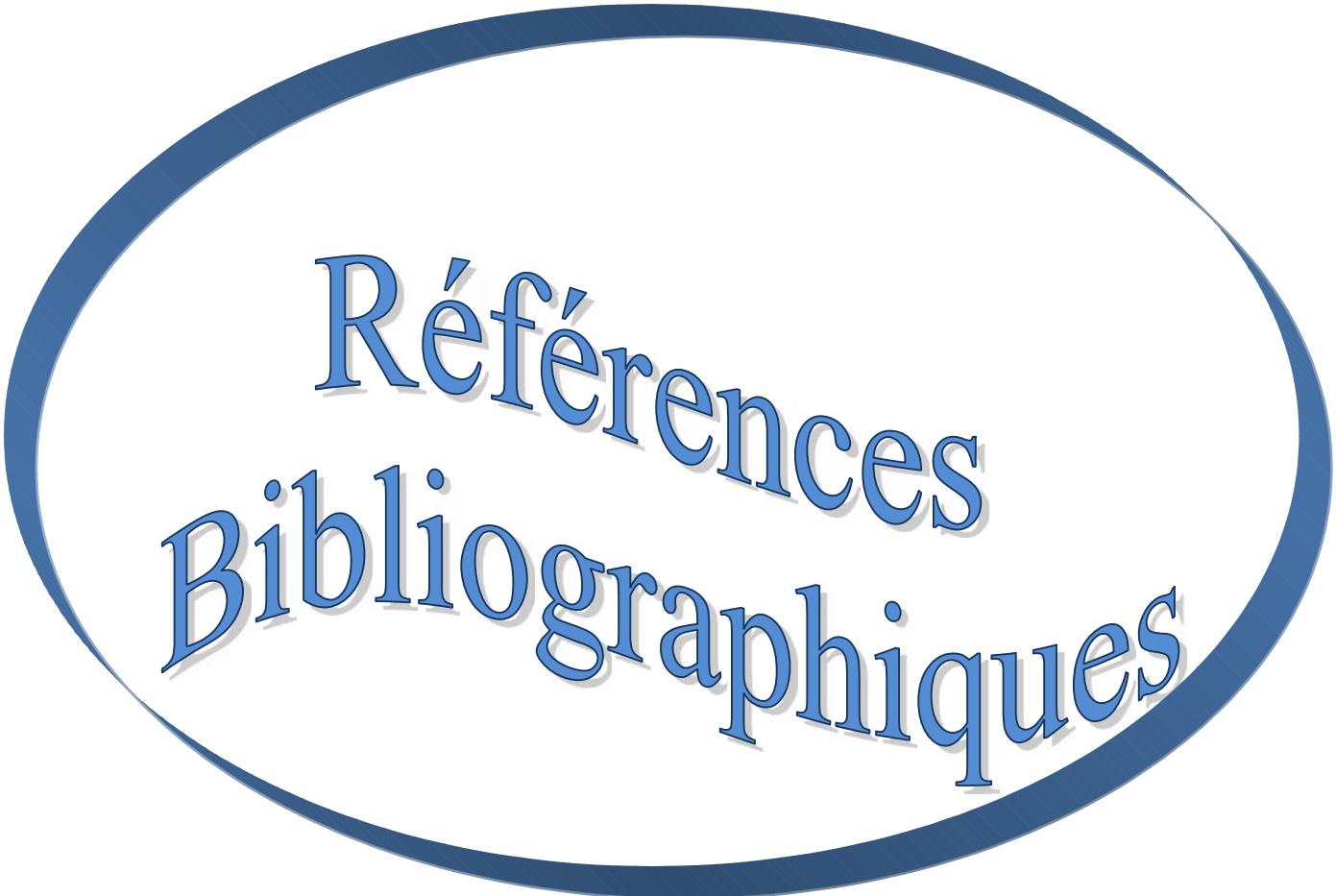
Paramètre Mois	Température (C°)		Précipitation (mm)	Evaporation (mm)	Vitesse de vent (m/s)	Humidité Moy
	min	max				
Janvier	12	18	28	44	4.29	75.28
Février	3.7	14.8	12	85	3.97	63.27
Mars	5.3	17.9	7	117	4.23	53.7
Avril	7.3	19.3	54	101	3.34	59.06
Mai	12.6	28.0	28	157	3.27	48.63
Juin	27.1	31.7	29	188	3.04	44.35
Juillet	19.8	35.1	8	247	3.43	34.06
Aout	20.1	35.2	8	217	3.04	35.86
septembre	14.4	28.2	4	161	3.31	46.89
Octobre	9.8	20.7	52	74	2.79	14.77
novembre	5.4	15.1	24	76	3.75	63.27
décembre	2.5	10.1	22	64	3.61	73.58



Carte piézométrique de l'aquifère alluviale de Remila (2000 et 2006). (AOUIDANE, L. (2017).

Tableau. Perméabilités et porosités effaces standard

Type de réservoir aquifère	Perméabilité K (m/s)	Intervalle de Porosité efficace ω (%)	Porosité efficace ω standard (%) à utiliser pour les calculs	Rayon indicatif du PPR pour Q=10m ³ /h et e=20m	Rayon indicatif du PPE pour Q=10m ³ /h et e=20m
Gravier gros		30	30	25 m	50 m
Gravier moyen	3.10 ⁻¹	25	25	28 m	55 m
Gravier fin		20	20	30 m	62 m
Sable et Graviers	1.10 ⁻²	15 à 25	20	30 m	62 m
Alluvions		8 à 10	10	45 m	87 m
Sable gros	2.10 ⁻³	20	20	30 m	62 m
Sable moyen	6.10 ⁻⁴	15	15	36 m	71 m
Sable fin	7.10 ⁻⁴	10	10	45 m	87 m
Sable très fin	2.10 ⁻⁵	2	2	62 m	124 m
Sable silteux	1.10 ⁻⁹	2	2	62 m	124 m
Silt	3.10 ⁻⁸	2	2	98 m	195 m
Vases		0.1	0.1	437 m	875 m
Calcaire fissuré		2 à 10	2	62 m	124 m
Craie		2 à 5	3	80 m	160 m
Grès fissuré		2 à 15	7	52 m	105 m
Granite fissuré		0,1 à 2	0.5	195 m	390 m
Basalte fissuré		8 à 10	10	44 m	87 m
Schistes		0,1 à 2	0.5	195 m	390 m



Références
Bibliographiques

Référence bibliographique

- **ANDI. (2013)** : Agence Nationale de Développement de l'Investissement 2013 Pages 06, 10.
- **AOUIDANE, L. (2017)**. Origines de la salinisation des eaux et des sols d'une zone à climat semi-aride : Cas de Remila (W. Khenchela) (Thèse, Départ des sciences agronomiques), Université Mohamed Khider Biskra
- **Bouali, H. Berkane, W. (2015)** : Contribution à l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la plaine de Mellagou, (Bouhmama N-W Khenchela) (mémoire mastère, Départ d'écologie et environnement), Université ABBES LAGHEROUR – Khenchela- pages 6
- **Berkani, C. (2010)**. Etude hydrochimique des sources thermale des aures (khenchela) (Mémoire de master, Option : Ecologie et Environnement), Centre universitaire de Khenchela. (2010), P 36
- **Boudali, W. Belaoudmou, M. (2017)**. vulnérabilité et périmètre de protection de quelque ouvrage dans la région de Touggourt (mémoire mastère, départ géologie), université badji mokhtar-annaba. Pages 18, 36,39, 40, 42 à 46
- **Bussard. (2005)**. méthodologie de dimensionnement des zones de protection des captages d'eaux souterraines contre les polluants chimiques persistants, thèse de l'école polytechnique fédérale de Lausanne
- **Castany Gilbert. (1982)**. Principe et méthode de l'hydrogéologie : (détermination de l'essai par pompage et perte de charge et les calculs des paramètres hydrodynamique
- **DHWK. (2012)** : direction d'hydraulique de la wilaya de Khenchela, service des statistiques Mai 2012.
- **DPAT. (2012)** : Direction de planification et d'aménagement des territoires Avril, 2012 services des statistiques monographiques de la wilaya de Khenchela
- **Dunod, Paris. (2008-2012)** : livre de l'hydrogéologie. objets, méthodes, applications, 3eme édition pages 184, 185, 186
- **DSA, (2015)** : Situation géographique de la région de Khenchela
- **Gaagai, (2009)**. Etude hydrologique et hydrochimique du Bassin versant du barrage de Babar sur Oued El Arabe région Est de l'Algérie (Mémoire Magister, Faculté des sciences de l'Ingénieurs, Département d'Hydraulique), université de Batna 130 p
- **Gouidia, L. (2008)**. Influence de la lithologie et des conditions climatique sur la variation des paramètres physico-chimique des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la

- nappe de Meskiana Nord-est Algérien (Mémoire magister, Départ : Géologie), Université Annaba (2008) P105
- **Hamed, B. (2015)** : Hydrodynamique souterraine et transfert des réservoirs profonds (couplage architecture stratigraphique vulnérabilité et risque de pollution) dans la région de Khenchela (mémoire magistère. départ de géologie) Université badji mokhtar-annaba 16 pages
 - **Kachi, S. (2007)**. vulnérabilité de la nappe alluviale de Tebessa-Morsott face aux polluants (Thèse. Départ de géologie), Université badji mokhtar annaba. page 1
 - **Lakhdari, S. (2012)**. Etude de la qualité des eaux de l'aquifère du bassin versant de Foum el Gueiss (wilaya de khenchela) (Thèse de Magistère en Ecologie et Environnement),
 - **Marchal, (2007)** : Eaux destinées à la consommation humaine. Guide pour la protection des captages publics. Départements du Gard et de l'Hérault. Rapport final BRGM/RP-55699-FR
 - **Nassah, H. Omdi, F. (2011)**, Les périmètres de protection des champs de captage des eaux souterraines Cas du champ captant du N'Fis (Maroc) (Mémoire de fin d'études. Départ des Sciences de la Terre Marrakech), Université Cadi Ayyad.7 pages, 7, 22, 28, 33 et 34
 - **OF (2004)** : instructions pratique pour la protection des eaux souterraines
 - **PDT** : Plan d'Aménagement Touristique de la ZEST HAMMAM ESSALIHINE KHENCHELA pages 36, 37, 38 et 39
 - **Ramade, F. (1984)** : Eléments d'écologie, écologie fondamentale. Ed. McGraw-Hill, Paris, 397 p
 - **Ramade, F. (1981)** : Elément d'écologieécologieappliquée 4èm édition Ed Mc Graw Hill, paris, (1981) ,578P
 - **Ramade, F. (2003)** : le climat de la région de Khenchela, Températures
 - **Riccardo B, Daniel H, Claude M et Benjamin M. (2004)**.instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines l'environnement Office Fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage OFEFP. Bren
 - **Salim, F. (2014)**. localisation et caractérisation des zones sources de pollution des ressources en eau de la ville de Biskra a l'aide de s.i.g. (Mémoire de master. Départ de génie civil et hydraulique), Université Mohamed Khider–Biskra pages 10,11
 - **Sferdji, F. (2015)**. les périmètres de protection des ouvrages de captages des eaux souterraines .bibliographique &étude de cas (Mémoire master. départ des sciences de la terre et de l'univers), université aboubekr belkaid Tlemcen. Pages 6, 16

- **SMH, (1997/2017) :** station météorologique d'El Hamma
- **SLIMANI, AYADI. (2017).** Contribution à la prévision des débits de crues dans un bassin versant non jaugé, cas du bassin versant d'el Mahmel, (KHENCHELA) (Mémoire mastère. Départ d'écologie et environnement), Université ABBES LAGHEROUR – Khenchela- pages 7
- **Takouachet, L. Ghouzlane, W.** Les effets des boues résiduares sur la minéralisation du le azote dans un sol agricole de la plante de Remila de la (w) de Khenchela ((Mémoire mastère. Départ d'écologie et environnement), Université ABBES Laghrour – Khenchela. P 4 et 5
- **Winschen. (2011).** périmètres de protection des captages d'eau destinée à la consommation humaine étude préalable à l'avis de l'hydrogéologie agréé N°BSS :01947X0041 (rapport de stage), université Henri Poincaré.
- **ZAPPEL Décembre. (2015).** brgm. GeOutils / Eau / ZAPPEL - Guide utilisateur.