

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE A.MIRA-BEJAIA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

BOUCHELLAH Zahra

MAZOU A.Hakim

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER EN HYDRAULIQUE
Option : Hydraulique urbaine

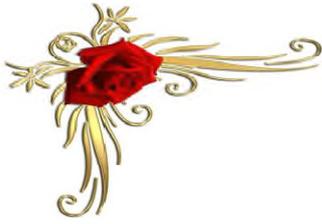
INTITULE :

**Hydrodynamique des eaux souterraines de la basse
Soummam**

Soutenu le **08/10/2020** Devant le Jury composé de :

- **Président** **M. Allouache Atmane**
-
- **Examineur** **M. Hammouche. A**
-
- **Encadreurs** **M. Bedjou A. Hamid**
 M. Ait Ouali A.Kad

Année Universitaire : 2019/20



Dédicace

Le diplôme n'est pas seulement un morceau de papier, ce sont les ailes qui me permettrais de m'envoler vers un avenir prometteur et qui me guiderais vers la voie du succès !

Toutes ces années d'études prennent fin ,elles trouvent une issue heureuse que je ne dois à personne d'autre qu'à moi même et ma famille bien sur ,il est temps d'honorer et d'apprécier les efforts que j'ai fourni toute au long de ce cursus, et à l'occasion de ce beau jour je dédie ce travail :

A la plus belle et la plus géniale des mamans, je ne pourrai jamais vous remercier assez tout le bonheur que vous apporte dans mon quotidien, merci de m'avoir élevé, d'avoir toujours été patiente, compréhensive, gentille et de m'avoir autant aidé depuis le début de mes études, il n'ya rien qui puisse me rendre plus fière que de t'avoir comme maman.

A ma source d'inspiration, le meilleur des papas, je suis vraiment fière de vous, et de tout ce que vous avez fais pour moi depuis mon enfance. Que dieu vous protège et vous garde dans sa divine présence.

A ma chère et unique sœur qui n'a pas cessé de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études et surtout sa compréhension. Merci d'être toujours la pour moi dans les bons et mauvais moments. Que Dieu la protège et l'offre la chance et le bonheur.

A mon épaule, mon chère frère ainé qui m'a fais beaucoup de confiance d'être responsable et consciencieuse.je te remercie pour tout les beaux gestes fraternelles qui m'ont fais chaud au cœur, un grand merci également pour ton amitié sincère et fidèle.

A mes deux adorables petits frères, qui savent toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

A tous oncles, mes cousins, ma tante, et leurs enfants, malgré la distance vous êtes toujours dans mon cœur. Dieu vous protège

A mes amis les plus proches : Lylia, Farroudja ,Aldja ,Sonia ,Sabrina ,Fatihha ,Kenza , Abdesslam , Abderrahim

A tout mes camarades du département hydraulique, en particulier Pour mon binôme Hakim pour sa patience infinie.

A ceux qui m'ont encouragé pour finir ce modeste travail : mr.Bouabdellah Mohammed, mr.Bellaroui Hakim et mr.khellil Et enfin à tous ce que je connais.

ZAYA



DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

- ❖ *A mes chères parents qui sans eux je n'aurai jamais pu arriver jusqu'ici ; ils m'ont soutenu le long de ce parcours, ils ont veillé à ce que je ne manque de rien, ils m'ont encouragé à tenir bon et à aller jusqu'au bout et ils n'ont cessé de prier pour moi. Aucune dédicace ne saurait exprimer ce que vous méritiez pour les sacrifices que vous n'avez cessé de faire depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Maman et papa je vous aime tellement.*
- ❖ *A ma sœur qui est le meilleur et le plus beau cadeau que mes parents m'ont offert.*
- ❖ *Mes grands-parents qui m'ont encouragé et soutenu du début à la fin.*
- ❖ *Mes tantes et mes oncles qui m'ont tellement inspiré et encouragé à avancer et à ne jamais abandonner.*
- ❖ *A tous mes chers ami(e)s sans exception qui m'ont apporté un grand soutien moral.*
- ❖ *A mon binôme ZAHRA qui a été d'une grande patience et gentillesse.*
- ❖ *A toute personne qui m'a aidé de près ou de loin.*

HAKIM



Remerciements

Au terme de cette étude, nous tenons en premier lieu à remercier Allah qui nous a facilité le travail en mettant dans notre chemin des gens qui nous ont énormément aidés et de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.

Nous adressons notre plus haut respect et notre sincère gratitude à notre encadreur M^r. Ait Ouali A/Kader pour le soutien, l'aide et la patience qu'il a nous témoigné, sans oublier notre co-promoteur M^r. Bedjou A/Hamid, nous le remercions infiniment pour ses encouragements notamment, pour sa persistance à trouver ce thème de recherche assez intéressant.

Nous remercions également M^r. S Messahli de la direction d'hydraulique de Béjaia (DHW) pour son aide, sa générosité et ses conseils judicieux.

Nous tenons à remercier les membres de jury pour le suivi de nos tâches et leurs acceptations d'examiner et d'évaluer notre travail.

Reconnaissance à nos enseignants qui n'ont pas cessé de donner le mieux tout au long de notre formation.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire de près ou de loin

Merci 

Table des matières

Table des matières

Remerciements.....	iii
Liste des abréviations.....	vii
Liste des figures.....	x
Liste des tableaux.....	xi
Introduction générale.....	1
<i>Chapitre I: Présentation générale du bassin versant de la basse Soummam</i>	
Introduction	3
I.1 Situation géographique du bassin versant de la basse Soummam	3
I.2 Limite géographique et géomorphologique	4
I.3 Réseau hydrographique de la basse Soummam	4
I.4 Les caractéristiques morphométriques de la basse Soummam	5
I.4.1 Paramètre de forme	5
I.4.1.1 Indice de compacité de gravilius (K_G)	6
I.4.1.2 Dimensions de rectangle équivalent (R.E)	7
I.4.2 Paramètre géométrique.....	8
I.4.2.1 La surface.....	8
I.4.2.2 Périmètre.....	8
I.4.3 Paramètre de relief	8
I.4.3.1 Courbe hypsométrique.....	9
I.4.3.2 Les caractéristiques d'altitude	10
I.4.3.3 Indice de pente globale (Ig)	11
I.4.3.4 Indice de pente de roche Ip	12

Table des matières

I.5 Dénivelé spécifique (D_s)	12
I.6 Les caractéristiques du réseau hydrographique	13
I.6.1 La densité de drainage	13
I.6.2 Temps de concentration (T_c)	14
I.6.3 Vitesse d'écoulement de l'eau (V_c).....	14
I.7 Le couvert végétal.....	15
I.8 Conditions climatiques.....	15
I.9 Aperçu socio économique.....	15
I.9.1 Agriculture	16
I.9.2 Industrie.....	16
I.9.3 Tourisme.....	16
Conclusion.....	16
<i>Chapitre II: aspects géologiques</i>	
Introduction	18
II.1 Géologie générale du bassin versant :	18
II.2 Stratigraphie lithologie	18
II.2.1 Le trias	18
II.2.2 Le jurassique	19
II.2.3 Le crétacé	20
II.2.3.1 Le crétacé 'par autochtone' :.....	20
II.2.3.2 Le crétacé 'par allochtone' :.....	20
II.2.4 Le Néogène:	21
II.2.4.1 Le miocène.....	21
II.2.4.2 Le pliocène	21
II.2.5 Le domaine de flysch	22
II.2.5.1 Le flysch Massylien	22
II.2.5.2 Le flysch numidien.....	22

Table des matières

II.2.6 L'oligocène	22
II.2.7 L'éocène.....	23
II.2.8 Le quaternaire	23
II.2.9 Tectonique.....	23
II.2.9.1 La phase néocomienne:	23
II.2.9.2 La phase sénonienne :.....	23
II.2.9.3 La phase éocène:	23
II.2.9.4 La Phase miocène :.....	24
II.2.9.5 Tectonique post-nappe :	24
II.2.9.6 Tectonique récente :	24
Conclusion.....	24
<i>CHAPITRE III : hydroclimatologie</i>	
Introduction	26
III.1 Etude des paramètres climatiques	26
III.1.1 Les précipitations.....	26
III.2 Type de climat.....	29
III.2.1 Calcul de l'indice d'aridité de DE MARTONE (1923) :.....	29
III.2.2 Diagramme ombrothermique (Méthode de H.Gousse et F.Bagnouls) :.....	30
III.2.3 Détermination de l'humidité du sol par la méthode de G.Euvert.....	31
III.3 Estimation des paramètres du bilan.....	32
III.3.1 Notions d'évapotranspiration potentielle, réelle, évaporation et transpiration.....	32
III.3.2 Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	32
III.3.3 Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR).....	33
III.4 Méthode du bilan hydrique de Thornthwaite	35
III.4.1 Calcul du ruissellement	38
III.4.2 Calcul de l'infiltration	38
Conclusion.....	39

Table des matières

CHAPITRE IV : étude des paramètres hydrodynamiques

Introduction	40
IV.1 Définition d'un essai de pompage.....	40
IV.2 But de l'essai de pompage	40
IV.3 Interprétation des essais de pompage.....	41
IV.3.1 Essai à blanc	41
IV.3.2 Essai de longue durée t.....	42
IV.3 Interprétation d'un essai de débit	42
IV.3.1 Méthode de la descente de Jacob	42
IV.3.2 Méthode de la remontée de Jacob	44
IV.4 Outils et technologies utilisées pour le calcul des paramètres hydrodynamiques d'un aquifère.....	44
IV.4.1 But le logiciel utilisé.....	44
IV.4.2 Méthode d'analyses utilisées :.....	44
IV.5 Exemples d'application.....	45
IV.6 les paramètres hydrodynamiques	45
IV.6.1 La transmissivité.....	45
IV.6.2 Le coefficient d'emménagement	46
IV.6.3 La perméabilité.....	46
IV.7 Interprétation des résultats	51
IV.7.1 Interprétation des résultats des courbes de descente	51
IV.7.2 Interprétation des résultats des courbes de remontée	57
Conclusion.....	57
Conclusion générale	59
Références bibliographiques	60

Liste des abréviations

Liste des abréviations et symboles utilisées

Abréviations et symboles	Signification
%	Pourcentage
Δ	Rabattement observé dans le piézomètre durant le pompage en mètres
Δ	Rabattement résiduel (m)
Δ_{obs}	Rabattement observé à la fin d'essai (en mm)
°C	Celsius
A	Surface de bassin versant
A	L'exposant climatique
a_i	Surface partielle entre deux courbes de niveaux
a_j	L'équidistance entre deux courbes de niveaux
ANRH	Agence Nationale des Ressources Humaines
C	Cycle logarithmique, pente de droite
D	Dénivelée simple
D_a	Déficit agricole
D_d	Dénivelée spécifique
D_s	Densité de drainage
E	Epaisseur mouillée de l'aquifère en (m)
ETP	Evapo-Transpiration Potentielle
ETP_c	Evapo-Transpiration Potentielle corrigée
ETR	Evapo-Transpiration Réelle
E_x	Excédent
F	Forage
H	Heure
H_c	Capacité de rétention
H	Hauteur piézométrique en (m)
H_i	Altitude d'ordre i
H_{min}	Altitude minimale au niveau de l'exutoire de bassin versant
H_{max}	Altitude maximale au niveau de l'exutoire de bassin versant
H_{moy}	Altitude moyenne du bassin versant
$H_{méd}$	Altitude médiane du bassin versant
I	Indice thermique mensuel
I	Infiltration
I	Indice thermique annuel
I_0	Indice d'aridité de Mortone
I_g	Indice de pente globale
I_p	Indice de pente globale de roche
K	Perméabilité
K	Facteur de correction mensuel en fonction de la durée de la journée
K_G	Indice de compacité de gravilius
Km	Kilomètre
Km^2	Kilomètre carré
L	Litre

Liste des abréviations

L	largeur de rectangle équivalent
L	Pouvoir évaporant de l'atmosphère
L	Longueur de rectangle équivalent
L_i	Longueur de cours d'eau de Talwegs
L_p	Longueur de Talweg principale
M	Mètre
Mm	Millimètre
NE-SW	Nord-Est/Sud-Ouest
Obs	Observé
ONM	Office National Météorologique
P	Précipitation
P	périmètre du bassin versant
P annuelle	Précipitation annuelle
P moy men	Précipitation moyenne mensuelle
Q	Débit pompé (m^3/s)
Q	Débit constant pompé dans le forage d'exploitation en m^3/s
R	Distance entre le forage et le piézomètre d'observation
R	Le Ruissellement
R.E	Rectangle Equivalent
RFU	La Réserve Facilement Utilisable
S	Seconde
S	Coefficient d'emmagasinement
S_i	Surface partielle ou cumulée des tranches d'altitude
S_t	Surface totale du sous bassin versant
t'	Temps écoulé depuis l'arrêt de pompage en seconde
t_0	Le temps de pompage lorsque le rabattement est nul
T	Durée de pompage en seconde
T	Température
T	Transmissivité en (m^2/s)
T_c	Temps de concentration
T moy mens	Température moyenne mensuelle
V_c	Vitesse d'écoulement de l'eau
WNW-ESE	Ouest/Nord-Ouest/Est-Sud-Est/

Liste des figures

Liste des figures

Figure I.1: Le Réseau hydrographique de la basse Soummam.	5
Figure I.2 : Forme du sous bassin basse Soummam.	7
Figure I.3 : Courbe hypsométrique du bassin de la basse Soummam.	9
Figure I.4 : La carte hypsométrique de la basse Soummam	10
Figure III.1 : Variation des précipitations moyennes mensuelles de la station de Bejaïa (période 2010-2019).....	27
Figure III.2 : Variation des précipitations annuelles à la station de Bejaïa (période 2010-2019).....	27
Figure III.3 : Variation des températures moyennes mensuelles (période 2010-2019).....	28
Figure III.4 : Diagramme ombro-thermique (Bagnouls-Gaussen).....	30
Figure III.5 : Evaluation de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte.....	31
Figure III.6 : Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques de la station de Béjaïa	37
Figure III.7 : Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite de la station de Béjaïa 2010-2019	37

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau I.1 : l'hypsométrie du bassin de la Soummam	Erreur ! Signet non défini.
Tableau I.2 : classification de l'ORSTOM	13
Tableau I.3 : tableau récapitulatif des caractéristiques du la basse Soummam	15
Tableau III.1 : les caractéristiques de la station de Bejaïa	26
Tableau III.2 : Précipitations moyennes mensuelles (mm) à la station de Bejaïa (période : 2010- 2019)	26
Tableau III.3 : Températures moyennes mensuels à la station de Béjaia (2010-2019)	28
Tableau III.4 : Classement en fonction de l'indice d'aridité DE.Martonne	29
Tableau III.5 : Classement en fonction de l'indice d'aridité de DE.Martonne [11].....	29
Tableau III.6 : Paramètre de diagramme ombrothermique	30
Tableau III.7 : les régimes climatiques selon la méthode de G.Euvert [11]	31
Tableau III .8 : Valeurs de rapport P/T à la station de Béjaia (période : 2010-2019).....	31
Tableau III.9 : Valeurs de l'évapotranspiration potentielle (méthode de Thornthwaite).....	33
Tableau III.10 : Valeurs d'ETR selon Turc.....	34
Tableau III.11 : Valeurs de l'ETR selon la méthode de couatagne.....	35
Tableau III.12 : Les différentes valeurs de l'ETR.....	35
Tableau III.13 : Calcul du bilan hydrologique (station de Béjaia).....	36
Tableau III.14 : Récapitulation des différents paramètres du bilan hydrologique	39
Tableau IV. 1 : Les caractéristiques des forages	45
Tableau IV. 2 : Résultats des essais de pompage de longue durée (descente forage F1) avec un niveau statique de 14.9m.....	47
Tableau IV. 3 : Résultats des essais de pompage de longue durée (descente forage F2) avec un niveau statique de 16.10m.....	48
Tableau IV. 4 : Résultats des essais de pompage de longue durée (descente forage F4) avec un niveau statique de 14.10m.....	49
Tableau IV. 5 :Résultats des essais de pompage de longue durée (descente forage F5) avec un niveau statique de 15.05m.....	50

Liste des tableaux

Tableau IV. 6 : quelques valeurs des paramètres hydrodynamiques (T es S) d'après la méthode de Jacob	51
Tableau IV. 7 : Résultats des essais de pompage de longue durée (remontée forage F1) avec un niveau statique de 14.90m	53
Tableau IV. 8 : Résultats des essais de pompage de longue durée (remontée forage F2) avec un niveau statique de 16.10m	54
Tableau IV. 9 : Résultats des essais de pompage de longue durée (remontée forage F4) avec un niveau statique de 14.10m	56
Tableau IV. 10 : Résultats des essais de pompage de longue durée (remontée forage F5) avec un niveau statique de 15.05m	57
Tableau IV. 11 : Quelques valeurs des paramètres hydrodynamiques d'après la méthode ..	57

Introduction

Générale

Introduction générale

Introduction générale

L'eau présente à l'échelle de la planète un élément vital pour la subsistance de tout être vivant, c'est aussi un facteur prépondérant pour toute activité socioéconomique ; l'eau est donc une ressource précieuse d'autant plus qu'elle n'est pas uniformément répartie. Son importance ne cesse de croître et l'approvisionnement en eau douce devient de plus en plus difficile tout en raison de l'accroissement de la population et de son niveau de vie que des développements accélérés des techniques industrielles modernes. Sous la pression des besoins considérables de la civilisation moderne on est passé de l'utilisation des eaux des sources et des nappes à une utilisation de plus en plus poussées des eaux de surface. Parallèlement, se sont développés les recherches sur les eaux souterraines qui représentent une source d'approvisionnement très importante à des fins de consommation dans la plupart des régions du monde surtout où il y a de faibles précipitations.

Les eaux souterraines représentent un pourcentage important de l'eau potable dans les zones rurales, arides et semi arides où la population n'est pas concentré, et où l'inexistence des infrastructures nécessaires pour traiter ou transporter les eaux de surface. Elles jouent également un rôle essentiel dans l'agriculture à la fois pour l'arrosage des cultures et pour l'irrigation durant les saisons sèches.

Le mouvement de l'eau dans le sol et le sous-sol est une étape d'un grand circuit sur la terre où la source d'alimentation de l'eau souterraine est l'infiltration à la surface du sol d'une fraction fixe de l'eau qui y parvient à la précipitation efficace.

Dans ce contexte, la dynamique des eaux souterraines est influencée par la nature lithologique et les structures géologiques qui correspondent à la nature des roches plus encore, les facteurs lithologiques jouent un rôle primordial dans le comportement hydrologique des cours d'eau. En addition, les données climatiques sont un facteur explicatif des variations d'éléments du cycle de l'eau, ils déterminent la valeur du coefficient de ruissèlement, d'infiltration et d'autres paramètres hydro-climatiques afin de faire le bilan hydrique.

Les nappes souterraines sont caractérisées par les paramètres hydrodynamiques qui sont souvent déterminée en essai de pompage, notamment, dans le cadre des forages destinés à l'alimentation en eau potable.

Introduction générale

De point de vue quantitatif, nous avons proposé une étude intitulée « l'hydrodynamique des eaux souterraines de la basse vallée de la Soummam ».

La basse vallée de la Soummam est située dans la wilaya de Bejaia et elle contient une plaine alluviale qui s'est développée le long de l'Oued Soummam et ses affluents. Cette plaine recèle la seule ressource en cas disponible sur une place provenant des eaux souterraines peu profondes. Cette disposition favorable à l'exploitation par pompage a été l'un des atouts majeurs du développement socioéconomique qu'a connu la région.

Nous nous intéressons plus exactement dans ce travail à répondre aux questions suivantes :

1. Quels sont les résultats obtenus en étudiant la géologie de la basse Soummam ?
2. Quel est le rôle des caractéristiques hydro-climatiques du bassin en interprétant les données des paramètres climatiques mesurées au niveau de la station météorologique de Bejaia ?
3. Quels autres paramètres de l'eau faudrait-il observé en plus de ceux qui sont évidents ?
4. Quel doit être le rabattement pour fournir une certaine quantité d'eau ?

L'objectif de ce travail est donc de connaître le comportement hydrodynamique de la nappe alluviale de la basse Soummam.

Ce mémoire comporte en plus d'une introduction et d'une conclusion, quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré au rassemblement des données concernant la zone d'étude, il s'agit en l'occurrence de la situation géographique, du réseau hydrographique et des propriétés géomorphologiques ;
- Dans le deuxième chapitre, nous avons apporté un aperçu sur la géologie du bassin versant de la Soummam qui détermine la structure et la dimension du milieu aquifère ;
- Le troisième chapitre est consacré à l'analyse des paramètres hydro-climatiques de la zone d'étude pour aboutir à l'établissement du bilan hydrique ;
- Le quatrième chapitre a présenté l'interprétation des essais de pompage afin de déterminer les différents paramètres hydrodynamiques.

CHAPITRE I :

***Présentation générale du bassin
versant de la basse Soummam***

Chapitre I : Présentation générale du bassin versant de la basse Soummam

Introduction

Le bassin versant est un territoire dont les limites sont naturelles, Dans lequel les écoulements des eaux convergent vers un seul point appelée l'exutoire.

Du point de vue hydrologique, cet espace est considéré comme étant isolé ,parce que toute les eaux tombent a l'intérieur des limites du bassin versant, peu importe l'endroit, elles aboutissent au même exutoire du cours d'eau principale qui draine ce bassin versant.

L'étude approfondie du bassin versant d'un cours d'eau est essentielle pour connaître les ressources en eau disponible pour les générations futures. Le but de ce chapitre est de consentir à une visualisation générale des principales caractéristiques de bassin versant de la basse Soummam, nous allons dépeindre le bassin versant entièrement en le situant géographiquement, en précisant son hydrographie et ses caractéristiques physiographiques et morphométriques.

I.1 Situation géographique du bassin versant de la basse Soummam

La basse Soummam est une partie intégrante du bassin versant de la Soummam qui est considérée parmi l'un des 17 grands bassins versants hydrologiques de l'Algérie. Il porte le n°15 d'après la codification de l'ANRH. Il appartient administrativement à la wilaya de Bejaïa [1].

La basse Soummam se situe à la partie Nord-Est de l'Algérie entre les méridiens 5.09° Est et 4.57° Ouest et le parallèle 36.76° Nord et 36.48° Sud.

La basse Soummam est la partie comprise entre Sidi Aich et l'embouchure et couvre les territoires de 05 daïras : Sidi Aich a l'Ouest, Adekar au Nord, les daïras d'Amizour et Tichy du Sud au Sud- Est daïra de Bejaïa,

De Sidi-Aich à la mer, la plaine alluviale de la basse Soummam s'étend sur une longueur d'environ 45 km et sa largeur est comprise entre 700m et 2000m [2].

Chapitre I : Présentation générale du bassin versant de la basse Soummam

I.2 Limite géographique et géomorphologique

Le bassin versant de la basse Soummam est limité par [1] :

- ❖ **Au nord** : par un axe orographique orienté Est-Ouest, constitué par les monts d'Akfadou et de TaourirtIghil à l'Ouest, s'étendant par les DjBELS Aghbalou et Gourayaa l'Est.
- ❖ **Au sud** : par un second axe orographique disposé parallèlement au premier, constitué par les monts des baborS occidentaux, qui se prolongent plus à l'Est par ceux des baborS orientaux.
- ❖ **A l'ouest** : par l'étranglement de la vallée au niveau du seuil hydrogéologique de Sidi Aich.
- ❖ **A l'est** : par la mer méditerranée.

I.3 Réseau hydrographique de la basse Soummam

Le réseau hydrographique est défini comme l'ensemble de cours d'eau naturels (rivières) ou artificiels (réseaux) drainant un bassin versant.

Selon la répartition du réseau hydrographique du bassin versant de la basse Soummam, On distingue :

Une rivière principale à écoulement permanent, appelée l'oued Soummam et de six affluents, qui se répartissent comme suit :

- **Rive gauche** : Oued Rmila , Oued El Kseur, Oued Ghir.
- **Rive droite** : Oued Amassine, Oued Amizour, Oued Tiachiche.

Ces principaux affluents sont caractérisés par un écoulement intermittent. Outre ces affluents de l'Oued de Soummam, il y'a aussi deux OuedS importants qui drainent les plaines côtières de Bejaïa : Oued sghir et Oued Djebira[1].

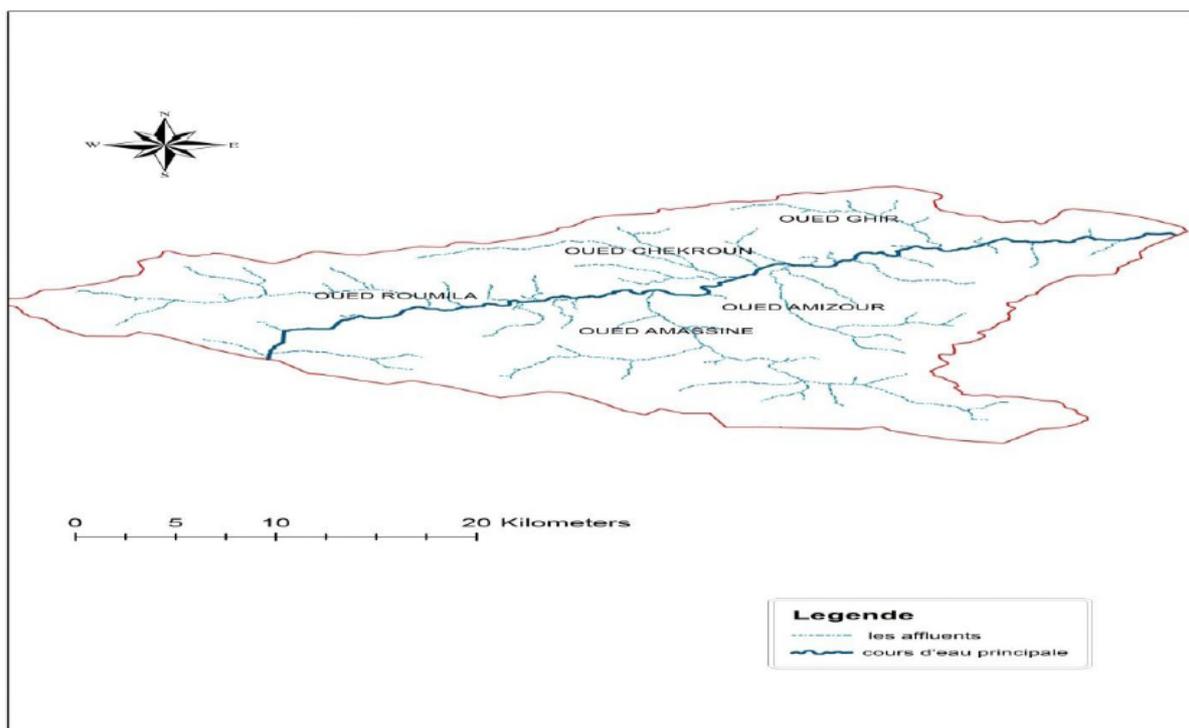


Figure I.1:Le Réseau hydrographique de la basse Soummam.

I.4 Les caractéristiques morphométriques de la basse Soummam

Le bassin versant de la basse Soummam s'appuie sur divers paramètres qui jouent un rôle très important dans l'aspect hydrologique tels que : la forme, l'altitude, la pente et le relief ...etc.

I.4.1 Paramètre de forme

La forme du bassin versant est importante pour bien comprendre le comportement hydrologique, autrement dit lorsqu'il s'agit d'un bassin compact de forme quasi-circulaire cela implique une réponse hydrologique plus rapide par rapport à un bassin allongé pour une même averse. Tout simplement car la plupart des points du bassin sont presque équidistance de l'exutoire. Il y a deux indices qui servent à exprimer la forme de ce dernier qui sont : l'indice de compacité et le rectangle équivalent [3].

Chapitre I : Présentation générale du bassin versant de la basse Soummam

I.4.1.1 Indice de compacité de gravilius (K_G) : L'indice de compacité (K_G) détermine la forme du bassin et il sert à mesurer sa compacité c'est-à-dire qu'il est sensé rendre compte de la plus ou moins grande vitesse de concentration à l'exutoire des eaux de ruissellement en provenance des diverses parties du bassin à savoir le temps de concentration

L'indice compacité compare le périmètre du bassin considéré au périmètre ayant du cercle ayant la même superficie [3].

Il est calculé à l'aide de cette expression :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{I-1})$$

Sachant que : $\begin{cases} P: \text{Périmètre du sous bassin versant en (Km)} \\ A: \text{Surface de sous bassin en Km}^2 \\ K_G: \text{indice de compacité de gravilius} \end{cases}$

$$A = 775,2 \text{Km}^2, P = 146,3 \text{Km}$$

D'où : $K_G = 1.47$

La forme du bassin versant se classifie comme suit :

$K_G < 1 \longrightarrow$ Bassin versant de forme circulaire ;

$K_G > 1 \longrightarrow$ Bassin versant allongé.

Cette valeur témoigne un très grand allongement du bassin versant étudié.

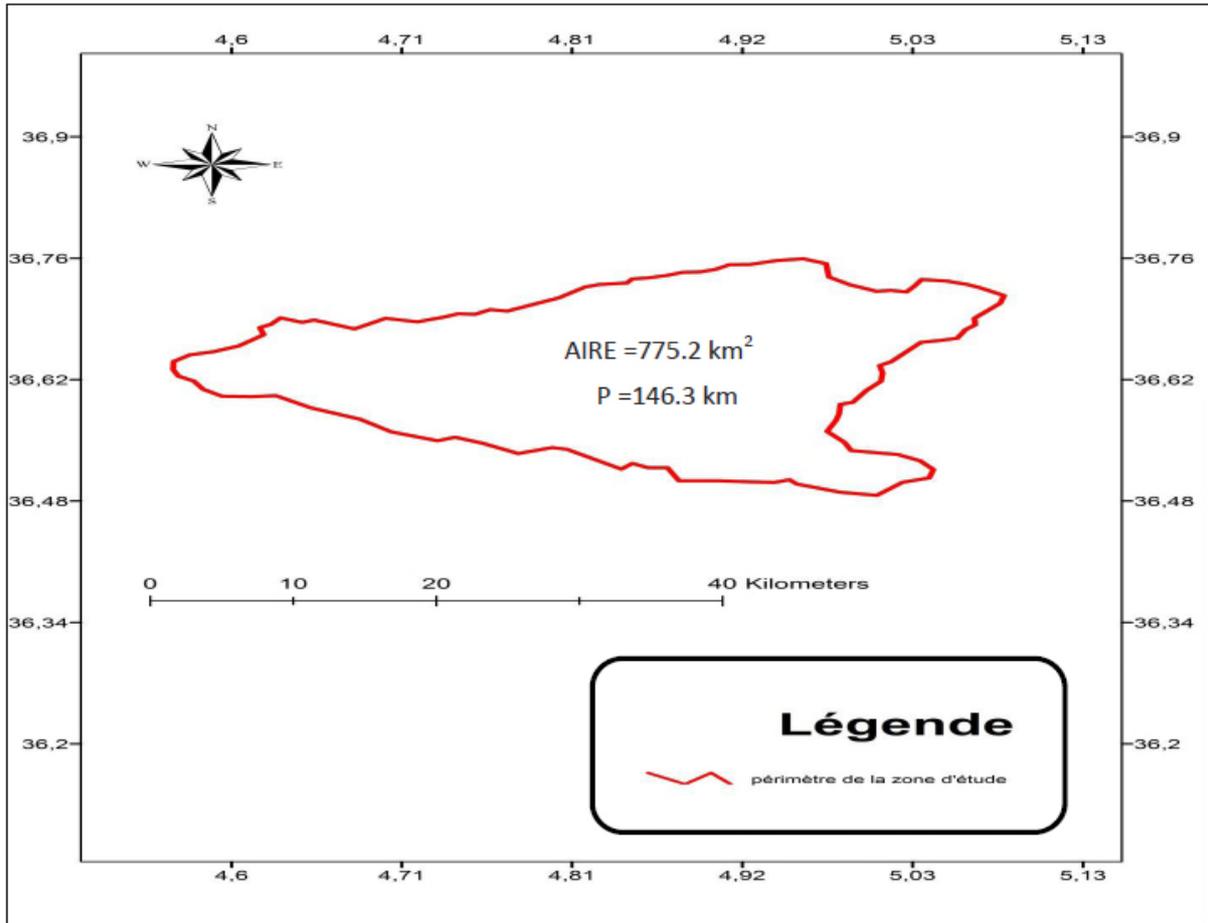


Figure I.2 :Forme du sous bassin basse Soummam.

I.4.1.2 Dimensions de rectangle équivalent (R.E)

Le rectangle équivalent permet de rendre une forme quelconque d'un bassin versant à une forme rectangle ayant le même périmètre, la même superficie et le même indice de gravilius (K_G) afin de comparer les bassins entre eux à propos de la différence de leurs paramètres géométriques sur l'écoulement. Il s'exprime par la combinaison de ces relations [4]:

$$K_G = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{I-1})$$

$$A = L \times l \quad (\text{I-2})$$

$$P = 2(L + l) \quad (\text{I-3})$$

Sachant que :

L : la longueur du R.E(Km) ; l : largeur du R.E (Km)

Les formules empiriques :

$$L = \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_G} \right)^2} \right] \frac{K_G \sqrt{A}}{1.128} \quad (\text{I-4})$$

$$l = \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{K_G} \right)^2} \right] \frac{K_G \sqrt{A}}{1.128} \quad (\text{I-5})$$

Avec $K_G \geq 1.128$

Les dimensions du rectangle équivalent sont :

$$L = 60,21 \text{Km}$$

$$l = 12,87 \text{Km}$$

I.4.2 Paramètre géométrique

Les caractéristiques géométriques des bassins sont variables et dépendent du contexte géologique, géomorphologique et climatique de la région d'étude.

I.4.2.1 La surface

La superficie du bassin versant dépend de la réception des précipitations et d'alimentation de différents cours d'eau. Elle est déterminée par un planimètre ou par la technique de digitalisation. Les paramètres qui dépendent de la nature de surface du bassin sont : la lithologie, la pédologie et la couverture végétale d'où, ils influencent sur la perméabilité et la rugosité de la surface qui conditionnent à leur tour la vitesse de ruissellement [5].

Pour le bassin versant considéré on a : $S=775,2 \text{Km}$

I.4.2.2 Périmètre

Le périmètre correspond aux irrégularités de la limite du bassin versant. Il est mesuré en (Km) par un curvimètre ou bien par les logiciels de cartographie.

Le périmètre du bassin versant de la basse Soummam est : 146, 3Km.

I.4.3 Paramètre de relief

Le relief influe sur l'écoulement par divers paramètres hydrométéorologiques variant avec l'altitude (précipitations, température...etc) et la morphologie du bassin. Par ailleurs, la pente influe sur la vitesse d'écoulement [3].

Le relief se détermine d'après les caractéristiques suivantes :

Chapitre I : Présentation générale du bassin versant de la basse Soummam

I.4.3.1 Courbe hypsométrique

C'est la répartition de la surface du bassin versant ou le pourcentage de surface en fonction de son altitude. Elle est tracée à partir du cumul de l'histogramme d'altitudes.

Cette courbe permet de faire des recherches sur le niveau de maturité d'un cours d'eau. Son but est de comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elle permet aussi de calculer l'altitude moyenne, l'altitude la plus fréquente et l'indice de pente global du bassin [4].

Le relief est caractérisé par :

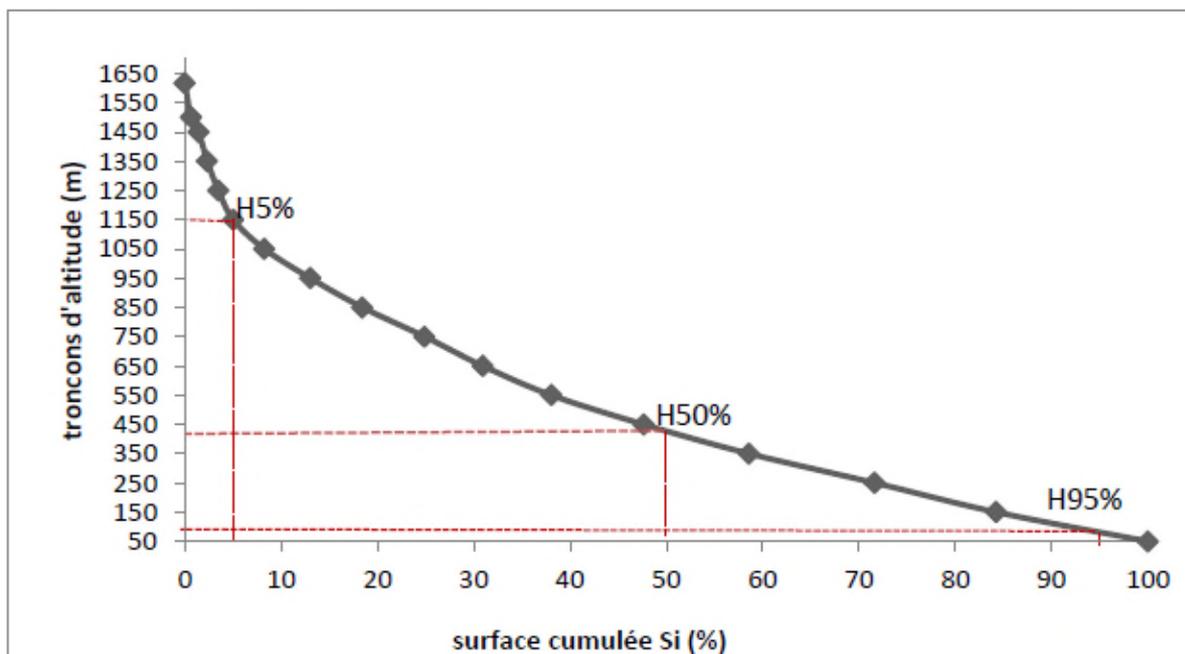


Figure I.3 : Courbe hypsométrique du bassin de la basse Soummam.

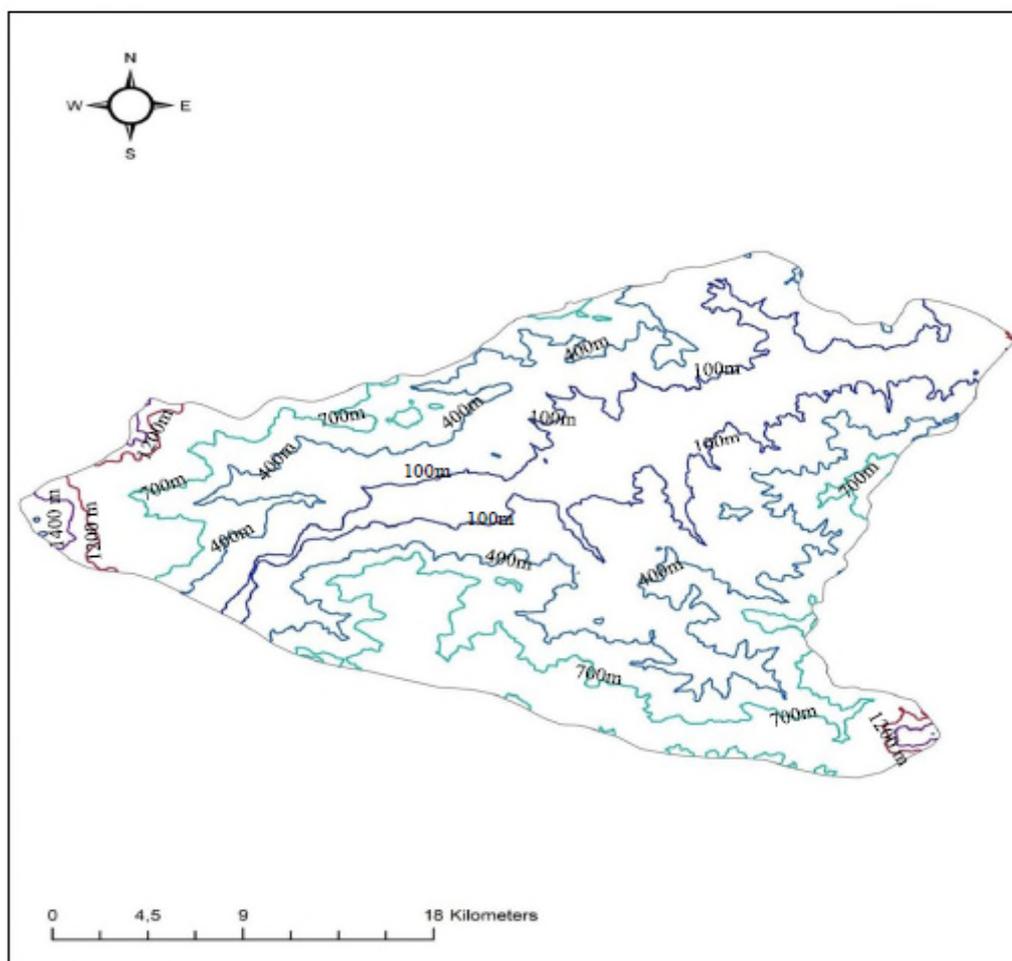


Figure I.4 :La carte hypsométrique de la basse Soummam

D'après la courbe hypsométrique, on distingue trois zones :

- La première zone avec une pente relativement forte due aux reliefs,
- La deuxième zone avec une pente douce due aux piémonts.
- La troisième zone a faible pente relative à la dépression.

I.4.3.2 Les caractéristiques d'altitude

- ❖ **Altitude maximale et minimale :** ce sont les points culminants et les plus bas au niveau de l'Exutoire du bassin versant. Elles sont obtenues directement à partir de la courbe hypsométrique [3].

$$H_{min} = 0m$$

$$H_{max} = 1616,92m$$

- ❖ **Altitude moyenne :** L'altitude moyenne est lue directement de la courbe hypsométrique. Elle correspond au rapport du volume montagneux ($V = \sum SiHi$) du bassin versant par sa surface totale [3].

Chapitre I : Présentation générale du bassin versant de la basse Soummam

Elle s'exprime sous la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum SiHi}{St} \quad (I-6)$$

Sachant que :

H_i : Altitude moyenne de chaque classe d'altitude en mètre.

S_i : surface partielle des tranches d'altitude en Km^2 .

St : surface totale du sous bassin en Km^2

Ce qui nous donne : $H_{moy} = 458,34m$.

❖ **Altitude médiane** : c'est l'altitude qui se réfère à 50% de la surface totale déduite sur la courbe hypsométrique [3].

Ce qui nous donne: $H_{méd} = 428,39m$.

Dans ce cas $H_{moy} > H_{méd}$. Donc il y'a une dissymétrie des altitudes a l'échelle du sous bassin versant.

I.4.3.3 Indice de pente globale(I_g)

Il est indiqué selon la pente de la courbe hypsométrique en éliminant les valeurs extrêmes, de manière à ne garder que 90% de l'aire du sous bassin. Sa formule est [3] :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{h_{5\%} - h_{95\%}}{L} \quad (I-7)$$

Ou : I_g : *indice de pente globale*

D : dénivelée simple en mètre

L: longueur du rectangle équivalent

A partir de la courbe hypsométrique, on obtient :

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} = 1150 - 81,71 = 1068,29m$$

$$I_g = \frac{1068,29}{60,21} = 17,74 m/Km$$

Chapitre I : Présentation générale du bassin versant de la basse Soummam

Le bassin versant de la basse Soummam présente une pente relativement faible qui sert à favoriser l'infiltration au dépend du ruissellement.

I.4.3.4 Indice de pente de roche I_p

Cet indice se calcule à partir du rectangle équivalent, il est égal à la somme des racines carrées des pentes moyennes de chacun des éléments pondérés par la surface intéressée, il s'exprime par cette formule [6] :

$$I_p = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i b_i} = \sqrt{0,8 / I_g} \quad (\text{I-8})$$

Avec : I_g : indice de pente globale ;

I_p : Indice de pente de roche ;

L : Longueur du rectangle équivalent ;

a_i : Surface partielle entre deux courbes de niveau ;

a_j : L'équidistance entre deux courbes de niveaux.

Ce qui nous donne : $I_p = 0,67 \text{ m/km}$.

I.5 Dénivelé spécifique (D_s)

L'indice I_g décroît pour un même bassin, lorsque la surface augmente. Donc il est nécessaire d'introduire la notion de dénivelée spécifique afin de comparer des bassins de taille différente à l'aide de cette formule [6] :

$$D_s = \frac{D}{L} \sqrt{A} \quad (\text{I-9})$$

$$D_s = 17,74 \sqrt{775,2} = 493,92$$

Chapitre I : Présentation générale du bassin versant de la basse Soummam

R ₁	Relief très faible	$5 < D_s < 10m$
R ₂	Relief faible	$10 < D_s < 25m$
R ₃	Relief assez faible	$25 < D_s < 50m$
R ₄	R. modéré	$50 < D_s < 100m$
R ₅	R. assez fort	$100 < D_s < 250m$
R ₆	R. fort	$250 < D_s < 500m$
R ₇	R. très fort	$500 < D_s < 750m$

Tableau I.2 : classification de l'ORSTOM [6]

La dénivelée spécifique de la basse vallée Soummam se trouve dans la classe R₆, notamment, elle se caractérise par un relief fort, selon la deuxième classification de l'ORSTOM (office de recherche scientifique de territoire d'autre mer).

I.6 Les caractéristiques du réseau hydrographique

I.6.1 La densité de drainage

La densité de drainage introduite par Horstov, c'est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant [6].

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A} \quad (I-10)$$

Avec : D_d : densité de drainage (Km/Km²) ;

L_i : Longueur de cours d'eau de talwegs (Km) ;

A : Surface du bassin versant (Km²).

Elle dépend de la structure et la lithologie des caractéristiques topographiques du bassin versant, et dans une certaine mesure, des conditions climatiques et anthropiques.

Ce qui nous donne : $D_d = 0,38Km/Km^2$

Chapitre I : Présentation générale du bassin versant de la basse Soummam

I.6.2 Temps de concentration (T_c)

La durée qui met une goutte d'eau lorsqu'elle tombe dans les points les plus éloignés du bassin versant, pour atteindre l'exutoire. Il est exprimé par la formule de Crandotti sous la forme suivante [6] :

$$T_c = \frac{4\sqrt{A}+1,54}{0,8\sqrt{H_{moy}-H_{min}}}(I-11)$$

Ce qui nous donne : $T_c = 6,59$ heures

I.6.3 Vitesse d'écoulement de l'eau (V_c)

C'est le rapport de la longueur du talweg principal par le temps de concentration qui s'exprime comme suit [6] :

$$V_c = \frac{L_p}{T_c} \quad (I-12)$$

Avec : V_c : vitesse de l'écoulement de l'eau en (m/s) ;

L_p : Longueur de talweg principal 52,8m=52800m ;

T_c : Temps de concentration 6,59 heures= 23724 s

$$\text{Alors : } V_c = \frac{52800}{23724} = 2,23 \text{ m/s}$$

Caractéristiques	Symbole	Valeur	Unité
Superficie du bassin	A	775.2	Km ²
Périmètre	P	146.3	Km
Indice de compacité	K_c	1.47	/
Longueur de rectangle équivalent	L	60.21	Km
Largeur de rectangle équivalent	I	12.87	Km
Altitude max	H_{max}	1616.92	m
Altitude min	H_{min}	0	m
Altitude moyenne	H_{moy}	458.34	m
Dénivelée simple	D	1068.29	m
Indice de pente global	I_g	17.74	m/Km
Indice de pente de roche	I_p	0.67	/
Dénivelée spécifique	D_s	493.92	m

Chapitre I : Présentation générale du bassin versant de la basse Soummam

Densité de drainage	Dd	0.38	m/km ²
Temps de concentration	Tc	6.59	heures
Vitesse d'écoulement d'eau	Vc	2.23	m/s

Tableau I.3 :tableau récapitulatif des caractéristiques du la basse Soummam [6]

I.7 Le couvert végétal

Le couvert végétal est un paramètre physique qui influe sur le cycle d'eau au niveau du bassin versant [1].

- ❖ Il est très dense et varié sur les hauts reliefs, représenté par les vastes forêts de chênes lièges et de pins d'Alep.
- ❖ Il est moins dense sur l'étage intermédiaire représenté essentiellement par les vastes maquis d'olivier lentisque.
- ❖ Il est très dense sur l'étage inférieur représenté par les champs de cultures composés : d'oliveraies, maraichères diverses, qui sont largement développés dans la plaine.

I.8 Conditions climatiques

Les conditions climatiques dans le bassin versant de la Soummam ne sont pas uniformes et même dans la basse vallée de la Soummam.

Parmi les principaux facteurs qui régissent le climat : l'altitude, la latitude de l'éloignement de la mer.

La basse Soummam est une région intra montagnaise subissant l'influence proche de la mer, a climat méditerranéen assez doux, il se caractérise par un été chaud en allant de juillet à Aout et un hiver humide de novembre jusqu'à février [1].

I.9 Aperçu socio économique

La vallée de la Soummam est une région d'un aspect très intéressant dans le domaine agricole, industrielle et touristique [6].

Chapitre I : Présentation générale du bassin versant de la basse Soummam

I.9.1 Agriculture

Les pratiques agricoles traditionnelles basées sur l'entretien de vergers de fruitiers (essentiellement les oliviers) et de petites parcelles de maraichage de subsistance familiale, développés à la périphérie des zones habitées donne au secteur de l'agriculture des aptitudes à une exploitation intensive (irrigation-mécanisation) dans le domaine de maraichage, des agrumes, des fourrages et dans les élevages bovins laitiers et avicoles.

I.9.2 Industrie

Zone industrielle de Taharacht Akbou, celles de la zone industrielle d'Ouzellaguen et celles des 47 stations de lavage et graissage ainsi que des fabricants de carrelage, en addition l'unité de l'Alfaditex au Sidi Aich dans le textile.

L'existence aussi des zones industrielles soit dans l'agroalimentaire, le textile et l'extraction des granulats alluvionnaires (sable et graviers). Le couloir de la vallée est traversé par un réseau routier dense et une ligne ferroviaire Béjaia-Alger.

I.9.3 Tourisme

Une situation géographique privilégiée avec une côte de 100Km de long, ses montagnes couvertes de forêts et sa végétation très dense, ses musées, ses grottes et ses monuments ...etc. Aussi, des sources d'eau naturelles comme Ifri et sources thermales à Sidi Yahia, Sillal et Kirta sont accensées dans les massifs basées avec comme propriétés thérapeutiques avérés le traitement des maladies pulmonaires, les maladies de la peau et les rhumatismes.

Conclusion

Les caractéristiques du bassin versant de la basse Soummam nous a permis de tirer les synthèses suivantes :

- Le bassin versant de la basse Soummam a une forme allongée et très irrégulière. Il est considéré comme la région la plus arrosée en Algérie. Lorsque ce bassin n'est pas bien entretenu, donc il subit de fortes probabilités d'inondation.
- Le climat de la basse Soummam est méditerranéen.
- Le réseau hydrographique est un réseau très développé et d'après la répartition de la basse Soummam on distingue que l'Oued Soummam contient six affluents qui sont caractérisés par un écoulement permanent et intermittent.

CHAPITRE II :

Aspects géologiques

Chapitre II : Aspects géologiques

Introduction

La géologie est un moyen d'investigation très utile en hydrogéologie, car elle sert à déterminer les différents niveaux stratigraphiques susceptibles d'être aquifère et de suivre leur évolution dans l'espace du terrain d'étude.

Dans ce chapitre, nous allons citer les différentes formations géologiques situées au niveau de la région d'étude en passant par leur description lithologique, stratigraphique, et tectonique afin d'estimer leurs importance.

II.1 Géologie générale du bassin versant :

La répartition des formations géologiques de bassin versant de l'oued Soummam est comme suit [2]:

- Sur la rive gauche par l'oligocène traversée par des formations du crétacé inférieur ;du miocène inférieur apparait dans la partie aval, à coté de l'oued de terrasses alluviales qui recouvrent en général le pied des pentes sauf dans la région de Sidi Aich ou le crétacé apparait dans le lit.
- Sur la rive droite est formée par le crétacé inférieur moyen et supérieur, les terrasses alluviales sont beaucoup plus restreinte.

II.2 Stratigraphie lithologie

Les diverses formations lithologiques sont ressortis par l'étude géologique du bassin versant de la Soummam. Sachant que les caractéristiques hydrologiques de ce dernier sont dans une large mesure influencées par l'imperméabilité des roches et les sols qui permettent la dérivation d'absorption et la rétention temporaire de l'eau[7].

La série stratigraphique de ces formations géologiques en partant de la plus ancienne à la plus récente est la suivante :

II.2.1 Le trias

Il est sous forme de faciès gypso-salin et s'avère sur le long des contacts anormaux (contact des nappes de charriage) dans le tell méridional, il est montré par des conglomérats et des grés rougeâtres dans le tell septentrional[7].

Chapitre II : Aspects géologiques

Le rapport entre la nature lithologique de ces faciès et la distribution statistique des altitudes est déterminé par la répartition de ces faciès en classe, d'où leur classification est basée sur leur indice de dureté.

- **Roches dures** : calcaires, dolomies et grés.
- **Roches semi dures** : marnes calcareuses, argiles gréseuses et marnes.
- **Roches tendres** : alluvions et conglomérats.

Dans notre région d'étude, il est sous forme de masses plus ou moins étendues remplissant de grandes cassures (Djbel Gueldamene) autrement dit il se trouve sur le long des contacts de nappes (région nord d'Akbou) et aussi sous forme d'appartements locaux (Sidi Aich et Ilmaten). L'épaisseur du trias est variable en fonction du lieu et le mode d'affleurement dans lequel le trias se rencontre généralement sous forme de bandes de 10 à 50m d'épaisseur[3].

II.2.2 Le jurassique

Ce sont les mesures chevauchantes du sud (le chaînon d'Ighil Ali) au sud-est (l'échelle de Sidi Yahia et l'anticlinal faillé de Djbel Gueldamane) et à l'est (Les collines de l'Azrouchtoug qui appartiennent au massif du Djbel Trouna et le croissant de Timezrit). Il est versé aussi à la limite nord du bassin dans les massifs de l'Arbalou, de Toudja et du Gouraya

Les dépôts du jurassique sont reconnus dans les trois domaines structuraux suivants :

- La dorsale kabyle(chaine calcaire) ;
- Le domaine des flyschs ;
- La zone tellienne.

Les formations jurassiques de la zone tellienne sont représentées essentiellement par des roches carbonatées (dolomies et calcaires), et par des marno calcaires et calcaires massifs.

La lithologie de l'anticlinal jurassique de Djbel Arbalou et le synclinal tectonique du Gouraya montre la présence de masses calcaires et dolomitiques qui sont probable pour composer des réservoirs aquifères immenses.

La circulation des eaux souterraines est d'un côté à porosité de cassure due aux grandes failles bordières ,et d'un côté, les fissures du résultant des phénomènes karstiques qui sont à l'origine des grandes fissures et des centaines de cavités. La corrosion accélère l'élargissement des joints de calcaires[3].

Chapitre II : Aspects géologiques

Les eaux de source dans le bassin versant n'apparaissent pas régulièrement, dans lequel elles sont soumises à un grand changement au cours de l'année d'où la plus part sèchent en été.

Les calcaires liasiques fissurés du flanc sud-est de la chaîne de Djurdjura.

La perméabilité de massif de Chellata, d'AKfadou et le pic de L'alla Khedidja est assurée par les larges fissures alimentant des divers sources : Tala T'raline, Talla Tiffit, Timiliouine, AnsarLanak ...etc sachant que le débit de ces sources diminue .[3].

II.2.3 Le crétacé

Le crétacé est sous forme de flysch, étendu et continu depuis la chaîne des Bibans jusqu'à la montagne de la petite Kabylie, le faciès est sous forme de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur avec quelques intercalations de grès au crétacé moyen (albien).

Les crétacés inférieurs du domaine tellien sont [6]:

II.2.3.1 Le crétacé 'par autochtone' :

Il s'écoule en :

- ❖ **Rive droite** : de l'oued d'El Mahrir jusqu'au Djbel Gueldamane, aussi entre l'Oued de Seddouk et Sidi Aich.
- ❖ **Rive Gauche** : à l'ouest de village d'Ighram.

Il est constitué de marno-calcaires et des schistes noirs.

II.2.3.2 Le crétacé 'par allochtone' :

Il est de type tellien, mais celui qui affleure au nord et au sud de la Soummam présente un faciès de type flysch.

Le crétacé à faciès flysch est constitué de deux type de matériaux :

❖ **Faciès flysch externe**

Le crétacé à faciès flysch externe se trouve entre le numidien et le crétacé supérieur tellien, il s'écoule au sud des crêtes Gouraya-Aghbalou et au nord de la réunion. il constitue de marnes, de quartzites gris, de grès fins, et de conglomérats.

❖ **Faciès flysch interne**

Le crétacé à faciès flysch interne se trouve dans la vallée de l'Oued Ghir et la plaine de Bejaïa, il est sous forme de marnes, micro brèches, grès.

Chapitre II : Aspects géologiques

II.2.4 Le Néogène:

II.2.4.1 Le miocène

Le miocène s'étend sur la rive gauche de la Soummam à Sidi Aich, et sur la rive droite, au sud de Bejaïa et Amizour. Il dépend essentiellement de Miocène inférieur dont il s'écoule du côté Djbel Mansourah sous forme de grés.

Il est représenté par deux ensembles lithologiques distincts :

- Les formations sédimentaires qui bordent la plaine de la Soummam :
Elles sont incompatibles sur les unités allochtones et sont constituées de formations marno-conglomératiques avec de bas en haut :
 - Unité d'Akbou : il s'agit d'une base conglomératique qui change les formations sous-jacentes sur lesquelles elle repose en transgression sur le flysch numidien.
 - Unité de Takrietz : ce bassin miocène est développé sur la rive gauche de la Soummam entre Sidi Aich et Oued Ghir , ce sont des marnes sableuses brunes ou jaunâtres dans lesquelles s'intercalent des bancs zoogènes à la base puis marneux vers le sommet.
- Les formations éruptives du massif Bejaïa Amizour :
Ces formations sont composées par deux types de roches :
 - ✓ les roches volcaniques qui constituent principalement par les tufs andésitiques et rhyolitiques dans lequel elles couvrent la quasi-totalité des affleurements du massif d'Amizour Bejaïa, dans la partie occidentale du massif.
 - ✓ les roches plutoniques sont situées sur la rive droite de la Soummam, région Amizour et au sud de Bejaïa. Ces formations sont composées de grano-diorites, de micro-granodiorites et de diorites. Le degré de fracturation de ces roches éruptives est un facteur qui sert à favoriser la circulation des eaux de l'infiltration, Par ailleurs, la position structurale et les dimensions des fractures jouent un rôle déterminant concernant l'exploitation des ressources souterraines[3]

II.2.4.2 Le pliocène

Le pliocène se présente sous deux forme [3]:

Chapitre II : Aspects géologiques

❖ Pliocène marin

Il se trouve dans la vallée de la Soummam à proximité de Bejaïa et en dessous de l'Oued Ghir. Il s'est allongé jusqu'à 15 Km vers le sud à la faveur de dépression occupée par la Soummam, c'est des marnes blues, de grés rouges et de gypses.

❖ Le pliocène continental

Ce sont des brèches consolidées avec des éléments de calcaire jurassique très gros qui proviennent de démolition du Djbel Gouraya et qui reposent sur un terrain du crétacé supérieur tellien, et de quelques blocs de poudingues infra-crétatiques.

II.2.5 Le domaine de flysch

Le domaine paléogéographique des flysch qui a reçu des sédiments flyschoides principalement au crétacé inférieur sur la base de leurs faciès [3]:

II.2.5.1 Le flysch Massylien

Il se situe entre le numidien et le crétacé supérieur tellien, il s'avère au sud de l'arête Gouraya-Arbalou et au nord de la réunion, Ce flysch dépasse tectoniquement le flysch mauritanien, il s'agit des formations suivantes :

- Un flysch alboaptien représenté par une alternance de grès et d'argiles brunes ;
- Une alternance de microconglomérats et de niveau décimétrique de marnes surmontés de bancs bréchiques ;
- Un niveau de roches siliceuses noires appelées phtanites, s'intercalant de micro brèches ;
- Un flysch marno-calcaire.

II.2.5.2 Le flysch numidien

L'oligocène et le miocène inférieur composent l'élément géométrique le plus élevé dans tout l'orogène albien périméditerranéen.

La formation des grés numidiens joue un rôle principal dans la composition d'Akfadou et de la chaîne littorale au niveau local.

II.2.6 L'oligocène

Il est argilo-gréseux, il s'écoule de Tazmalt d'une côté et d'autre de la vallée de la Soummam jusqu'à l'ouest. Il se trouve au niveau de la chaîne de Gouraya et la région de Béni Mansour[7].

Chapitre II : Aspects géologiques

II.2.7 L'éocène

Il est marneux ou parfois calcaro-marneux, plus coulant au niveau des hautes plaines[7].

II.2.8 Le quaternaire

Le quaternaire est généralement constitué des limons de sable, de graviers caillantes et de vases.

Le quaternaire est représenté par des alluvions le long des oueds et au niveau des hautes plaines, Il est constitué principalement les cônes de déjections des affluents suivants :

- **En rive gauche :** Oued Béni Mellikech, IghzerIlloula et IghzerTifrit.
- **En rive droite :** Oued Seddouk et IghzerOukri.

L'épaisseur maximum des éléments grossiers calcaireux et gréseux est de 40m, les limons peu épais en surface dans la partie amont, prennent de plus en plus l'importance au détriment des éléments grossiers a mesure que l'on s'approche de l'embouchure ou ils atteignent 50 a 60m d'épaisseur[3].

II.2.9 Tectonique

Le bassin versant de la Soummam possède essentiellement différentes phases tectoniques importantes d'après les études de l'un des géologues qui sont[6] :

II.2.9.1 La phase néocomienne:c'est une phase de plissement parallèle à l'actuelle direction des couches de Gueldman avec des cassures locales. Cette phase est caractérisée par l'orientation NE/SW. Le néocomien est parfois en accord avec le jurassique, d'autre fois, il est discordant et affecté de failles synsédimentaires.

II.2.9.2 La phase sénonienne :

La direction des plis de Vracono-cénomaniens de Djbel Edni et les plis à schistosité de l'unité de Bou-Hamza est la même, comparant avec l'unité de Béni-Ouartilène, anté-sénonien.

II.2.9.3 La phase éocène:

A partir de lutétien supérieur jusqu'au miocène anté-nappes, la sédimentation est interrompue dans les unités externes de la vallée de la Soummam. La structuration des unités de Bibans, de Bou-Hamza et des béni Ouartillène est antérieure a l'arrivée des nappes qui les recouvrent.

Chapitre II : Aspects géologiques

II.2.9.4 La Phase miocène :

Est une phase très importante dans la région, elle est responsable pour les charriages des nappes. Les flysch ont glissé par-dessus le domaine kabyle. la série de la Djemma N'schribt de Sidi Aich est discordante sur le sénonien de l'unité de Barbacha. Cette phase est aussitôt surpassée par le miocène post-nappe de la Soummam.

II.2.9.5 Tectonique post-nappe :

L'individualisation des trois super-unités de la région d'Akbou est postérieure au dépôt du miocène de la Soummam. Le contact faillé séparant le miocène continental des flysch étant post-nappe.

II.2.9.6 Tectonique récente :

Des fracturations assez importante a l'est d'Akbou et a l'ouest de Takrietz. Plusieurs failles sont caractérisées par l'orientation NE-SW comme celles de Tachaouafi au SE et la faille de la Soummam. Ces dernières sont parfois décalées par des autres fracturations d'orientation moyenne WNW-ESE.

Conclusion

L'analyse des caractéristiques lithologiques et tectoniques des principales unités structurales de l'Oued Soummam, nous a permis d'indiquer les divers formations géologiques convenables a la composition des bons aquifères.

La Soummam contient les plus anciennes roches suivantes : les calcaires, argiles, dolomies, marno-calcaires, et le gypse du trias et du jurassique qui représente des formations très réduites qu'on trouve dans les montagnes en bordure de la vallée de l'Oued Soummam.

Les formations du créacé constitue principalement des calcaires marneux, d'où il est considéré comme une limite imperméable du réservoir aquifère, Ces formations se trouve dans la région de Béni Mansour et la chaine de Bibans, par contre l'éocène et l'oligocène sont presque inexistantes dans lequel l'aquifère de l'Oued Soummam est constitué de conglomérats de miocène et les alluvions du quaternaire.

En addition, le créacé semble a former un barrage souterrain qui divise la vallée en tançons supérieur et inférieur qui signifie la Haute Soummam et la Basse Soummam respectivement et prévient de tout apparence pourvu que l'écoulement souterrain soit dirigé vers l'aval de Sidi Aich.

Chapitre II : Aspects géologiques

De plus, le quaternaire est essentiellement composé des limons de sables, de graviers caillantes et de vase, et l'épaisseur maximum des dépôts calcaireux et gréseux de ce dernier peut atteindre jusqu'à l'ordre de 60m.

CHAPITRE III :
HYDROCLIMATOLOGIE

Chapitre III :Hydroclimatologie

Introduction

La connaissance des paramètres hydro-climatiques sert à établir le bilan hydrique, à fin de comprendre les potentialités en eau des nappes souterraines autrement dit, le mécanisme de la qualité des eaux. Dans ce chapitre, Nous allons étudier les facteurs climatiques qui permettent de mettre à jour les facteurs les plus importants qui réagissent sur le climat et de réaliser le bilan d'eau qui renseigne de manière quantitative la précipitation, l'évapotranspiration, le ruissellement et l'infiltration.

III.1 Etude des paramètres climatiques

Pour étudier les paramètres climatiques, nous allons choisir la station de l'ONM (Office National Météorologique) de Bejaïa, les données sont enregistrées durant une période de 9 ans (2010/2019) d'où les caractéristiques des données de cette station sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Station	Altitude [m]	Longitude	Latitude	Années d'observations
Bejaïa	2	5.06	36.71	2010-2019

Tableau III.1 :les caractéristiques de la station de Bejaïa

III.1.1 Les précipitations

Les précipitations représentent la source principale d'eau pour la production agricole. Elles présentent un intérêt considérable en hydro-climatologie parce qu'elles servent à évaluer la lame d'eau tombée sur l'ensemble du bassin versant et son impact sur la variation du niveau d'eau de surface et souterraine [8].

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
P moy mens	61,94	73,8	98,81	90,75	107,3	134,79	102,31	59,84	45,85	32,43	1,89	11,54	822,24

Tableau III.2 : Précipitations moyennes mensuelles (mm) à la station de Bejaïa (période : 2010- 2019)

Chapitre III :Hydroclimatologie

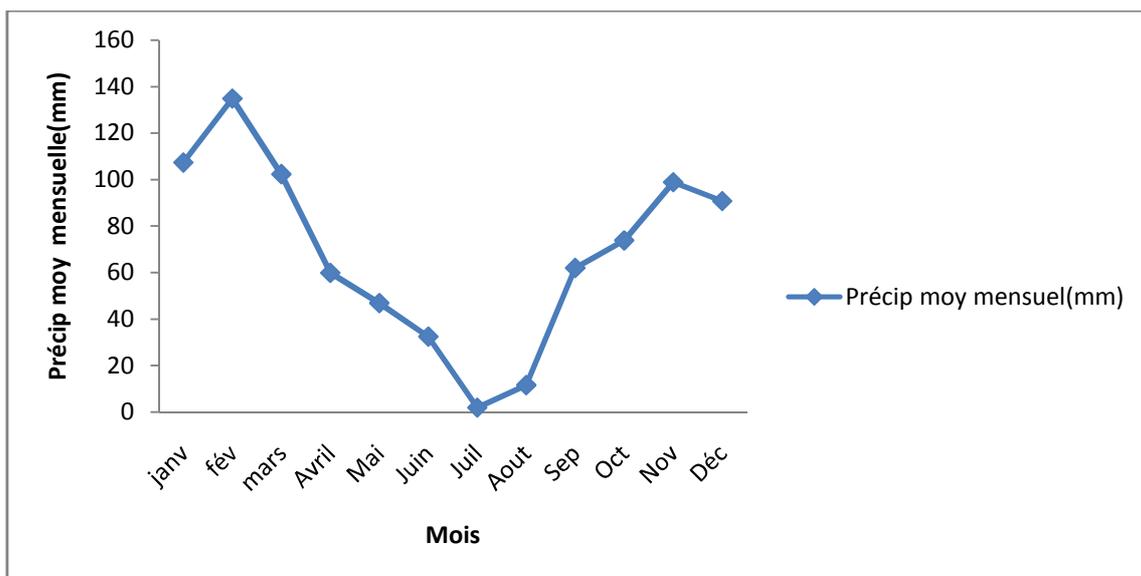


Figure III.1 : Variation des précipitations moyennes mensuelles de la station de Bejaïa (période 2010-2019)

Le régime pluviométrique de Bejaïa présente une certaine variabilité, le maximum des précipitations moyennes mensuelles est observé au mois de février de l'ordre 134.79mm. Par contre, la valeur minimale est enregistrée au mois de Juillet de l'ordre 1.89mm d'après le tableau (II) :

La moyenne annuelle des précipitations de la période 2010-2019 à Bejaïa est 822.24mm.

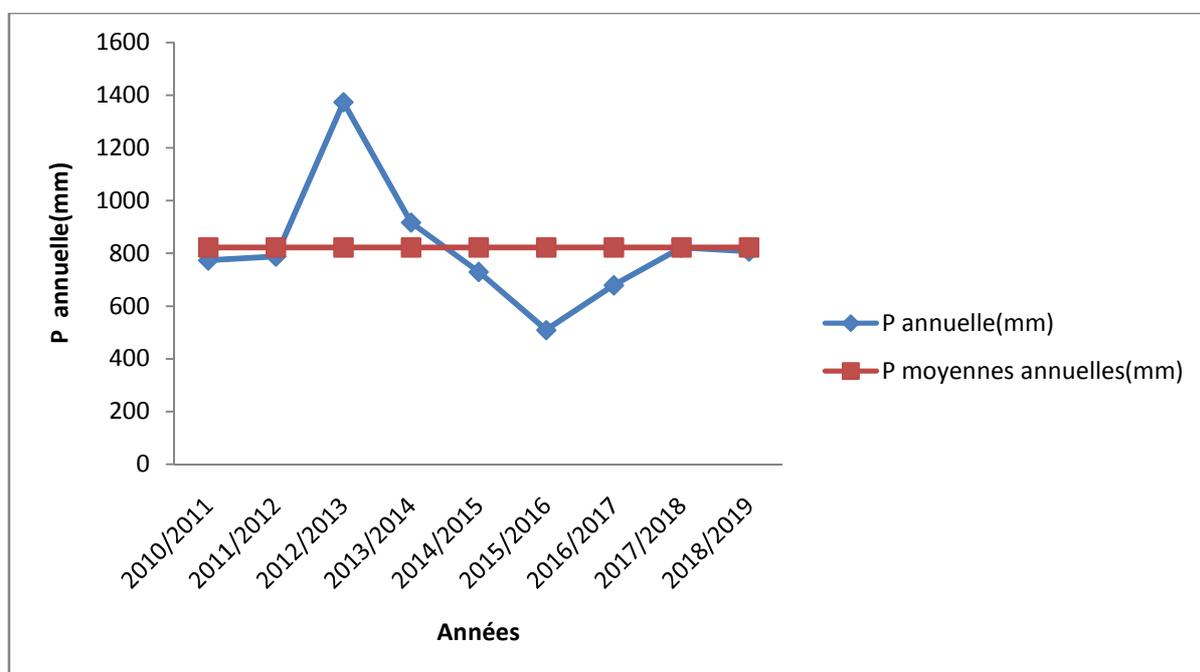


Figure III.2 : Variation des précipitations annuelles à la station de Bejaïa (période 2010-2019)

Chapitre III :Hydroclimatologie

L'analyse de la courbe de variation interannuelle des précipitations sur une période de 9 ans (2010-2019) montre une grande différence entre l'année la plus arrosée avec 1373.41mm et l'année sèche avec 509.49mm. La précipitation moyenne annuelle est de l'ordre de 822.24mm.

❖ Température de l'air :

Le traitement des caractéristiques thermiques est essentiel dans telle étude hydro climatique car la température de l'air est un élément très important pour établir le bilan hydrique.

Le tableau ci-dessous résume les données concernant ces paramètres mesurés uniquement à la station de Bejaïa pendant la période qui s'étale de 9 ans [9].

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	moyenne
Tmoy mensl	23,84	20,68	15,94	12,46	11,69	11,56	13,73	16,21	18,5	22,26	25,46	25,99	18,19

Tableau III.3 : Températures moyennes mensuels à la station de Béjaia (2010-2019)

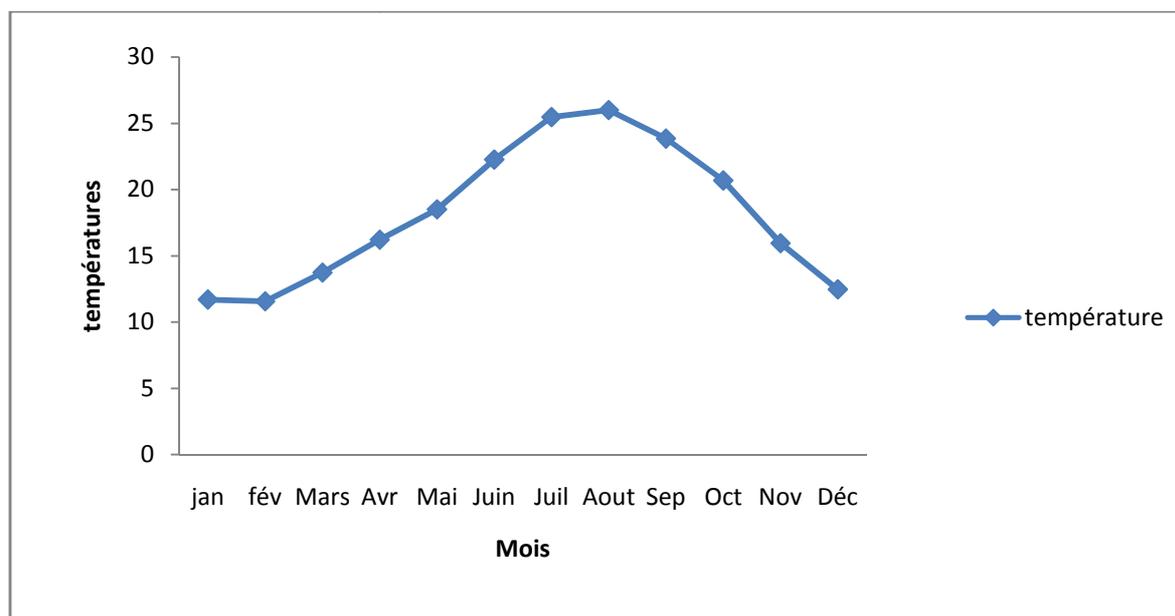


Figure III.3 : Variation des températures moyennes mensuelles (période 2010-2019)

La courbe représentative des variations de températures moyennes mensuelles sur une période de 9 ans montre que :

- Les mois les plus froids de 9 ans sont Janvier et Février ayant une température moyenne mensuelle 11.69°C et 11.56°C respectivement ;

Chapitre III :Hydroclimatologie

- Les mois les plus chauds sont juin et Juillet ayant une température de 25.46°C et 25.99°C respectivement ;
- La moyenne annuelle est de l'ordre 18.19°C.

❖ **Le vent :**

Les vents sont caractérisés par leurs directions, leurs vitesses et leurs intensités :

- Les vents de direction ouest/nord-ouest sont responsables de la pluviométrie ;
- Les vents de directions Sud-Nord engendre une forte évapotranspiration et une sécheresse abaissant l'humidité [10].

III.2 Type de climat

III.2.1 Calcul de l'indice d'aridité de DE MARTONE (1923) :

Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes mensuelles (mm) et la température annuelle (°C), il est calculé par cette formule [11] :

$$I_a = \frac{P}{T+10} \quad \text{(III-1)}$$

Avec : I_a : indice d'aridité ;

P : Précipitations moyennes mensuelles (mm) ;

T : Température moyenne annuelle (°C).

Station	P (mm)	T (°C)	Ia
Béjaia	822.24	18.19	29.18

Tableau III.4 : Classement en fonction de l'indice d'aridité DE.Martonne

Classement de l'indice d'aridité	Type de climat
$I_a < 5$	Climat hyperaride
$5 < I_a < 7.5$	Climat désertique
$7.5 < I_a < 10$	Climat steppique
$10 < I_a < 20$	Climat semi-aride
$20 < I_a < 30$	Climat tempéré
$I_a > 30$	Climat humide

Tableau III.5 : Classement en fonction de l'indice d'aridité de DE.Martonne [11]

Chapitre III :Hydroclimatologie

La région de notre étude se caractérise par un régime thermique tempéré.

III.2.2 Diagramme ombrothermique (Méthode de H.Gousse et F.Bagnouls) :

Le Diagramme ombrothermique c'est la combinaison de la courbe de précipitations et de température mensuelle dans un même graphe.

Quand les températures passent au-dessus de la courbe des précipitations, donc la période est dite sèche et quand la courbe des précipitations passe au-dessus de celle des températures, la période correspondante est humide [9].

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	
	P(mm)	61,94	73,8	98,81	90,75	107,3	134,79	102,31	59,84	46,85	32,43	1,89	11,54
Béjaia	T(°C)	23,84	20,68	15,94	12,46	11,69	11,56	13,73	16,21	18,5	22,26	25,46	25,99

Tableau III.6 : Paramètre de diagramme ombrothermique

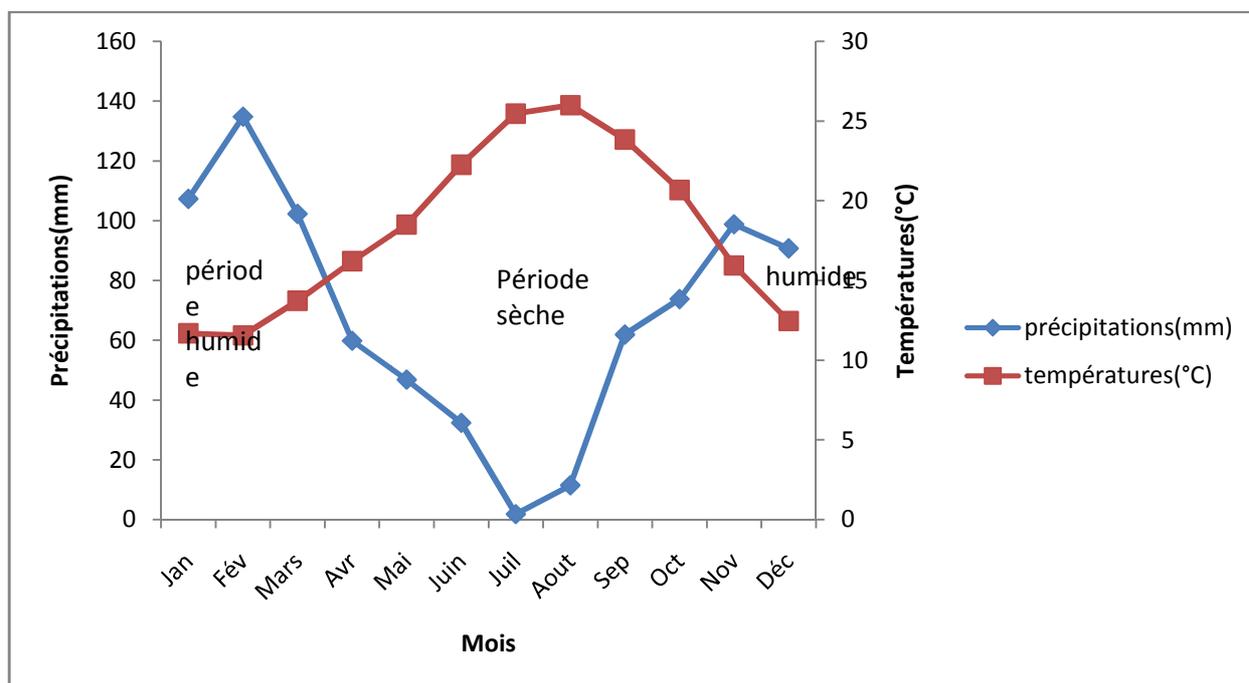


Figure III.4 : Diagramme ombro-thermique (Bagnouls-Gausson)

La saison sèche de Béjaia comporte 8 mois, elle s'étale de Mars jusqu'à octobre. En revanche, la saison humide compte les mois suivants : Janvier, février, Novembre, et Décembre.

Chapitre III :Hydroclimatologie

III.2.3 Détermination de l'humidité du sol par la méthode de G.Euvert

Cette méthode dépend principalement de deux paramètres climatiques : les précipitations et les températures. Elle représente le rapport (P/T) qui sert à établir les types de régime suivant [11]:

Valeur du rapport P/T	Désignation
<1	Régime très sec
1 à 2	Régime sec
2 à 3	Régime sub humide
>3	Régime humide

Tableau III.7 : les régimes climatiques selon la méthode de G.Euvert [11]

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P(mm)	61,94	73,8	98,81	90,75	107,3	134,79	102,31	59,84	46,85	32,43	1,89	11,54
T(°C)	23,84	20,68	15,94	12,46	11,69	11,56	13,73	16,21	18,5	22,26	25,46	25,99
P/T	2,60	3,57	6,20	7,28	9,18	11,66	7,45	3,69	2,53	1,45	0,07	0,44

Tableau III .8 : Valeurs de rapport P/T à la station de Béjaia (période : 2010-2019)

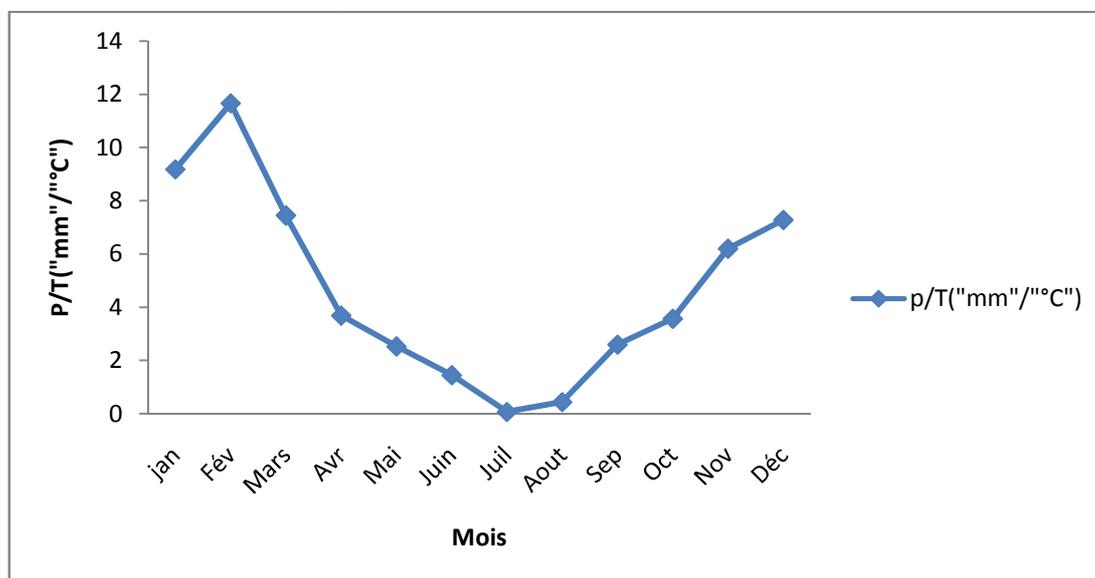


Figure III.5 : Evaluation de l'humidité du sol par la méthode d'Euverte

La période humide compte sept mois : Octobre, Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril et pour la période sub humide contient deux mois : Septembre et Mai. Par contre, le

Chapitre III :Hydroclimatologie

mois de Juin a un régime sec et pour le reste des mois : Juillet et Aout représente une période très sèche.

III.3 Estimation des paramètres du bilan

III.3.1 Notions d'évapotranspiration potentielle, réelle, évaporation et transpiration

- **Evaporation** :c'est un phénomène physique qui transforme l'eau en vapeur dans lequel le pouvoir évaporant et la surface évaporante sont considérés comme condition essentielle de ce phénomène.
- **Transpiration** : est dite aussi l'évaporation physiologique, elle est définie par l'évaporation biologique des plantes qui puisent une partie de l'eau nécessaire à leurs vie et leurs développement dans le sol, son but est de ralentir la température à la surface des plantes, parmi les conditions de ce phénomène : la densité végétale, la profondeur des racines.
- **L' évapotranspirationpotentielle** : est définie comme l'ensemble des pertes en eau par évaporation et transpiration du surface de gazon d' hauteur uniforme couvrant totalement le terrain en pleine période de croissance recouvrant complètement le sol pourvue abondamment d'eau.
- **L'évapotranspiration réelle** :est la somme de quantités de vapeurs d'eau évaporés par le sol et par les plantes quand le sol est à son humidité spécifique actuelle et les plantes au stade de développement végétatif réel [12].

III.3.2 Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

Ce paramètre est mesuré directement sur le terrain par des appareils ou par des formules empiriques comme : La formule de Turc, Coutagne et Thornthwaite[10].

- **Calcul de l'ETP suivant la formule de C.W Thorntwaite :**

La formule de calcul de l'évapotranspiration potentielle selon C.W. Thornthwaite tient compte de l'indice thermique et de la température moyenne mensuelle.

Elle s'exprime comme suit :

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a \quad (\text{III-2})$$

$$I = \sum_{n=1}^{12} i_o \text{ où } i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514} \quad (\text{III-3})$$

$$a = 0.016I + 0.5 \quad (\text{III-4})$$

Chapitre III :Hydroclimatologie

$$ETP_c = ETP(mm).k \quad (III-5)$$

D'où : ETP_c :L'évapotranspiration corrigée ;

ETP:L'évapotranspiration non corrigée exprimée en mm ;

T: La température moyenne mensuelle exprimée en °C ;

I: Indice thermique annuel, $I = \sum i$;

i : Indice thermique mensuel ;

a : L'exposant climatique ;

k : Facteur de correction mensuel en fonction de la durée de la journée.

Les résultats de calculs sont résumés dans le tableau ci-dessus :

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
T(°C)	23,84	20,68	15,94	12,46	11,69	11,69	13,73	16,21	18,5	22,26	25,45	25,99	18,19
i	10,64	8,58	5,79	3,98	3,62	3,56	4,62	5,93	7,25	9,59	11,76	12,43	7,07
I													94,5
a													2,01
K	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	
ETP(mm)	100,92	78,05	46,49	27,11	23,08	23,08	36,15	46,49	64,45	92,97	117,8	126,74	783,32
ETPc(mm)	103,95	75,71	39,98	21,96	20,08	19,62	37,23	51,13	77,98	113,42	146,08	147,02	854,16

Tableau III.9 : Valeurs de l'évapotranspiration potentielle (méthode de Thornthwaite)

Cette formule dépend seulement de la température comme facteur climatique, l'évapotranspiration potentielle est de l'ordre 783.32 mm, l'évapotranspiration potentielle corrigée est 854,16mm.

III.3.3 Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

Cette estimation est faite à partir des formules de Turc et de Thornthwaite et coutagne.

➤ **Formule de Turc :**

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (III-6)$$

$$L = 300 + 25T + 0.005 T^3 \quad (III-7)$$

Chapitre III :Hydroclimatologie

Tels que : P : Hauteur annuelle moyenne des précipitations en mm ;

$L: 300 + 25T + 0.005 T^3$: Pouvoir évaporant de l'atmosphère ;

T : Température annuelle moyenne en °C.

Stations d'ETR	P (mm)	T (°C)	L	ETR (mm)	ETR (%)
Béjaia	822,24	18,19	784,84	583,15	70,92%

Tableau III.10 : Valeurs d'ETR selon Turc

Cette méthode montre que les pertes par évaporation réelle sont très Valeurs importantes autour de 70% de la valeur de précipitation. Sa valeur atteint 500mm. Cette formule dépend de deux paramètres climatiques : les précipitations et températures.

➤ **Formule de C.W Thornthwaite :**

On distingue deux principaux cas :

1) Si $P - ETP > 0 \rightarrow P > ETP$ dans ce cas $ETR = ETP$

2) Si $P - ETP < 0 \rightarrow P < ETP$, Ce cas est encore subdivisé en deux cas :

2.a) Si $P + RFU > ETP \rightarrow ETR = ETP$

2.b) Si $P + RFU < ETP \rightarrow ETR = P + RFU$

➤ **Formule de Coutagne :**

C'est une méthode qui fait intervenir les précipitations moyennes annuelles et les températures moyennes annuelles, elle est exprimée comme suit :

$$ETR = P - \lambda P^2 \quad (\text{III-8})$$

Tel que : $\lambda = \frac{1}{0.8+0.14T}$ (III-9)

Cette formule est applicable si seulement :

$$\frac{1}{8\lambda} \leq P \leq \frac{1}{2\lambda}$$

Chapitre III :Hydroclimatologie

Où : T : Température moyenne annuelle en ($^{\circ}\text{C}$) ;

P : Précipitation moyenne annuelle en m.

Les résultats de calcul sont résumés sur le tableau suivant :

Station	P	T	Λ	ETR (mm)
Béjaia	0.82224	18.19	0.30	618.24

Tableau III.11 : Valeurs de l'ETR selon la méthode de couatagne

Cette formule dépend de précipitation d'où l' évapotranspiration réelle atteint 618.24mm.

Le tableau ci-après représente les valeurs de l'ETR selon les trois méthodes précédentes :

Paramètres	Station	Méthode	Valeurs (mm)	Rapport au précipitation par %
ETR	Béjaia	Turc	583.15	70.92
ETR	Béjaia	Bilan de Thornthwaite	485.58	59.06
ETR	Béjaia	Coutagne	618.24	75.19

Tableau III.12 : Les différentes valeurs de l'ETR

III.4 Méthode du bilan hydrique de Thornthwaite :

Cette méthode consiste à calculer les paramètres suivants [10] :

- La quantité d'eau emmagasinée dans la couche pédologique (RFU) qui est facilement pour les plantes et nécessaire pour leur fonctionnement physiologique ;
- ETP, ETR, déficit agricole (Da) et l'excédent (Ex).

Le but de cette méthode c'est de déterminer le taux d'infiltration et le renouvellement de l'aquifère.

La réserve facilement utilisable peut être estimée par la formule de Hailler :

$$RFU = \frac{1}{3} \cdot H_e \cdot P \quad (\text{III-10})$$

Chapitre III :Hydroclimatologie

Avec :

RFU : Réserve facilement utilisable en (mm) ;

D_a : Densité apparente du sol (Hallaire propose de prendre ($D_a = 1.5$)) ;

H_e : Capacité de rétention tels que :

$H_e = 5\%$ →pour un sol limoneux ;

$H_e = 10\%$ →pour un sol limoneux ;

$H_e = 20\%$ →pour un sol argilo limoneux ;

Dans notre cas on prend $H_e = 20\%$.

P : Profondeur de la terre parcourue par les racines en m ($P = 0.4m$).

mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juil	aout	Total
P (mm)	61,94	73,8	98,91	90,75	107,3	134,79	102,31	59,84	46,85	32,43	1,89	11,54	822,35
ETPc(mm)	103,95	75,71	39,98	21,96	20,08	19,62	73,21	51,13	77,98	113,42	146,08	147,08	890,2
P -ETPc	-42,01	-1,91	58,93	68,79	87,22	115,17	29,08	8,71	-31,13	-80,99	-144,19	-135,48	/
RFU	0	0	58,93	100	100	100	100	100	68,87	0	0	0	/
ETR(mm)	61,94	73,8	39,98	21,96	20,08	19,62	73,23	51,13	77,98	32,43	1,89	11,54	485,58
Dagricole	42,01	1,91	0	0	0	0	0	0	0	12,12	144,19	135,48	335,71
Excédent	0	0	0	27,72	87,22	115,17	29,08	8,71	0	0	0	0	/

Tableau III.13: Calcul du bilan hydrologique (station de Béjaia)

Chapitre III :Hydroclimatologie

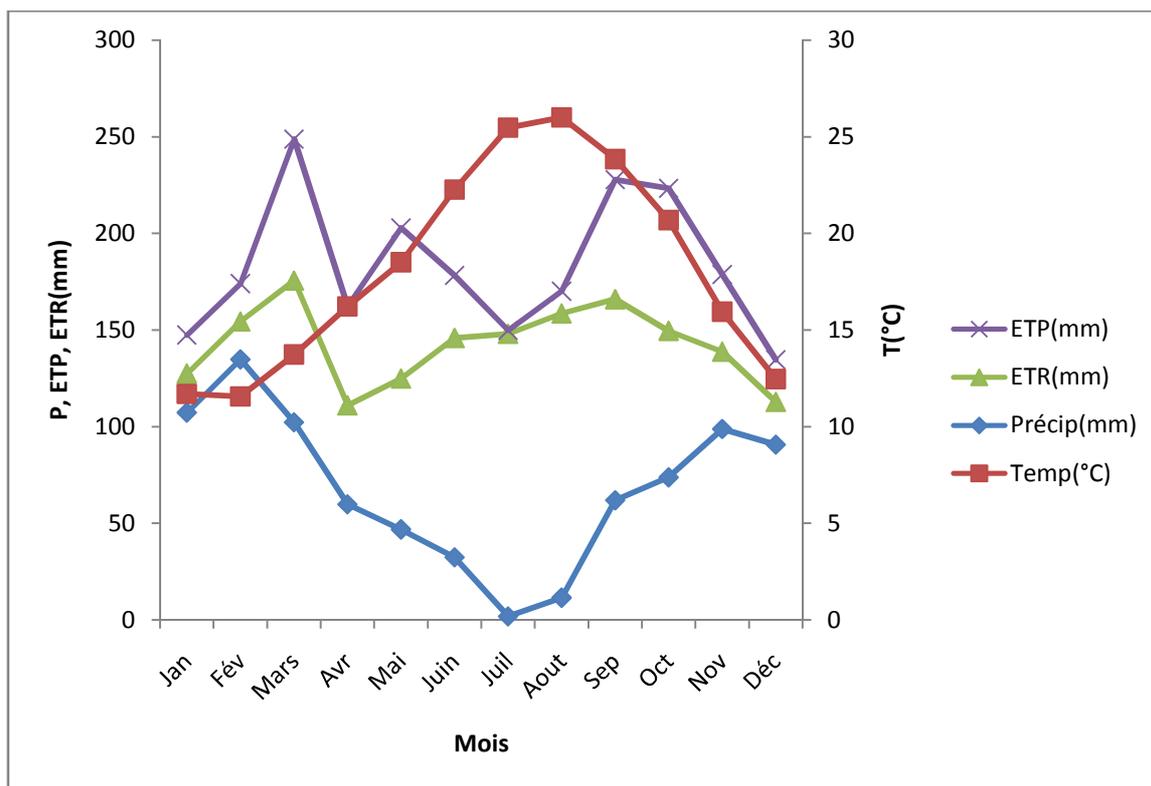


Figure III.6 : Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques de la station de Béjaia

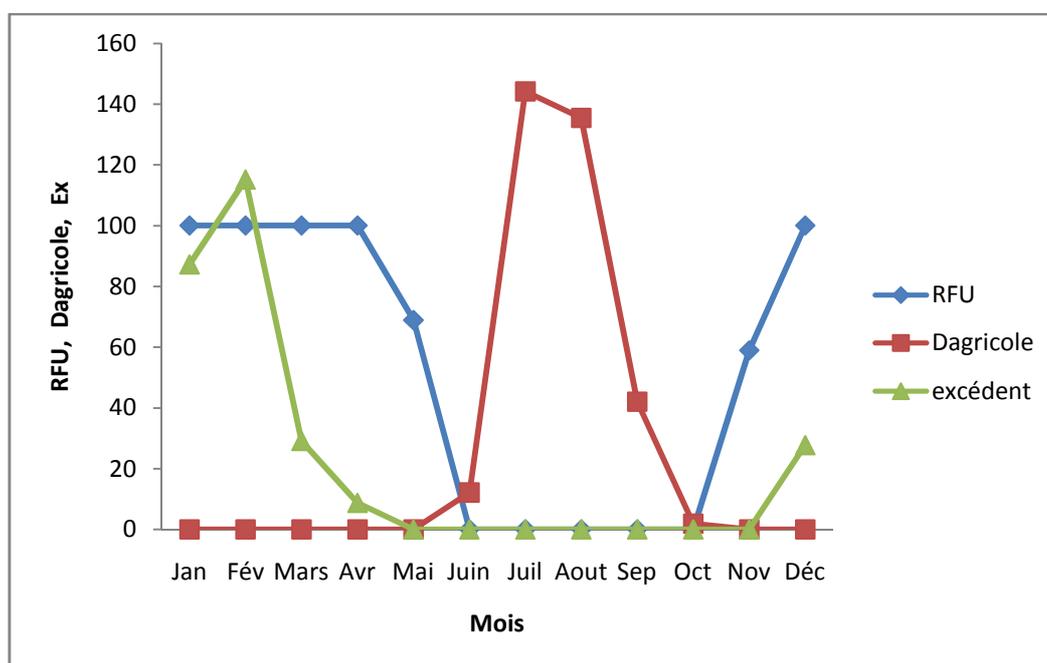


Figure III.7 : Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de Thornthwaite de la station de Béjaia 2010-2019

Chapitre III :Hydroclimatologie

La représentation graphique de bilan d'eau selon la méthode de thronthwaite de la station de Béjaia montre que l'évapotranspiration maximale a été observée pendant le mois d' Aout par conséquent la production des déficits agricoles discontinue en mois de Septembre et Octobre et de juin jusqu'à Aout nécessite l'irrigation pour les zones de cultures.

Durant les mois de décembre jusqu'à avril, on remarque une recharge de la nappe, Quand l'eau de recharge dépasse la RFU, le surplus va partir vers le ruissellement superficiel et alimente la nappe.

III.4.1 Calcul du ruissellement

Le ruissellement est estimé à partir de la formule de (TIXERONT BERKALOFF) où [10]:

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2} \quad (\text{III-11})$$

Avec :

R : Ruissellement (mm) ;

P : Précipitation moyenne annuelle en mm ;

ETP : Évapotranspiration potentielle (mm).

Tels que : $P = 822.24mm$;

$ETP = 854.16mm$.

D'où $R = 253.98mm$;

$R = 30.89\%$.

III.4.2 Calcul de l'infiltration

L'infiltration est la quantité qui entre dans le sous-sol et alimente les aquifères souterraines.

Elle est estimée par la formule suivante [10]:

$$P = ETR + R + I \rightarrow I = P - (ETR + R) \quad (\text{III-12})$$

Avec : P : Précipitation (mm) (mm) ;

ETR : Déficit d'écoulement en (mm) ;

R : Ruissellement (mm) ;

Chapitre III :Hydroclimatologie

I : Infiltration (mm) ;

Tels que : $P=822$ mm ;

$ETR=485.58$ mm ;

$R=253.98$ mm.

D'où $I=82.68$ mm ;

$I=10.05\%$.

Station	Période	P (mm)	ETR (mm)	ETR (%)	R (mm)	R (%)	I (mm)	I (%)
Béjaia	2010- 2019	822,24	485,58	59,06	253,98	30,89	82,68	10,05

Tableau III.14 :Récapitulation des différents paramètres du bilan hydrologique

Conclusion

Les données climatiques permettent d'attribuer à la région un climat tempéré méditerranéen caractérisé par deux saisons distinctes : celle humide qui s'étale de Janvier jusqu'à Décembre et le reste des mois sont incluse dans la période sèche et chaude. La formule du bilan de thornthwaite sert à estimer l'ETR qui est de l'ordre 485,58mm (Station de Béjaia). Et montre que le déficit agricole atteint 335,71 mm. En addition, l'établissement du bilan hydrique a permis de fixer la valeur de la lame d'eau ruisselée correspondante à 30,89% et 10,05% s'infiltrent.

CHAPITRE IV :
Etude des paramètres hydrodynamique

Introduction

Les paramètres hydrodynamiques permettent d'évaluer la capacité du réservoir aquifère et l'étude du comportement de la nappe pendant son exploitation. Afin de les identifier, nous avons utilisé les résultats des essais de pompage définitifs des forages effectués par la direction d'hydraulique de Bejaia.

Ce sont des paramètres très importants qui interviennent dans l'estimation du bilan hydrogéologique et des réserves en eaux souterraine

IV.1 Définition d'un essai de pompage

Le concept de l'essai de pompage est le suivant : l'eau est extraite (par pompage) d'un forage faisant ainsi baisser le niveau d'eau. Le niveau d'eau dans le forage d'extraction et le débit de pompage sont observés pendant un certain temps. De même que divers autres paramètres, lorsque c'est possible (par exemple, les niveaux d'eau dans des forages d'observation). La manière dont le niveau d'eau réagit au pompage est ensuite analysée pour en tirer des informations sur les caractéristiques de performance de forage et les propriétés hydrauliques de l'aquifère [13].

IV.2 But de l'essai de pompage

Les essais de pompage servent à déterminer [13]:

- ❖ les mesures des paramètres hydrodynamiques : transmissivité et coefficient d'emmagasinement ;
- ❖ Prévion de l'évolution du rabattement en fonction des débits pompées et l'évaluation de la ressource en eau souterraine exploitable ;
- ❖ L'étude quantitative des caractéristiques particulières de l'aquifère ;
- ❖ Evaluer le rendement fiable a long terme (ou débit de production) d'un forage ;
- ❖ Tester le fonctionnement de l'équipement de pompage et d'observation pour être sûr que tout fonctionne sans risque et efficacement ;
- ❖ Déterminer l'impact de l'extraction d'eau souterraine sur l'environnement ;
- ❖ Fournir des informations sur la qualité de l'eau.

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

IV.3 Interprétation des essais de pompage

IV.3.1 Essai à blanc

Il permet d'évaluer les caractéristiques du complexe aquifère / ouvrage de captage, comme les pertes de charges et le débit max d'exploitation.

La courbe caractéristique du forage est obtenue à partir de 3 à 5 couples de débit de pompage et le rabattement observé à la fin de chaque essai de courte durée (1 à 3h).

Les mesures de rabattement à un instant t représentent la somme de deux composantes nommées, pertes de charges exprimées en mètres de hauteur d'eau.

L'équation de la courbe caractéristique d'un forage d'exploitation est donnée par l'expression de C.E.Jacob (1946).

$$\Delta_{obs} = DQ + CQ^2 \quad (IV-1)$$

Tels que :

Δ_{obs} : Rabattement observé à la fin d'essai (en mm) ;

Q : Débit pompé (en m^3/S).

Les pertes de charge linéaire DQ est basée sur deux effets :

- Influence de l'aquifère dans lequel l'écoulement laminaire est de régime transitoire autrement dit déterminée par les paramètres hydrodynamique de l'aquifère ;
- L'influence de la partie captant du forage.

La perte de charge non linéaire (quadratique) est provoquée par l'écoulement turbulent dans l'ouvrage, sachant que pour les faibles débits implique une faible vitesse.

Ces deux termes DQ et CQ^2 précisent les rabattements dus essentiellement à la nappe et en totalité au forage, lorsque les valeurs de DQ sont faibles ça veut dire que les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe sont meilleures et celles du terme CQ^2 prouvent le bon équipement et perfection de forages [14].

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

IV.3.2 Essai de longue durée t

Les essais de longue durée se trouvent en un pompage à débit optimum d'exploitation constant et pendant une longue durée (48 à 72h) dans le but de mesurer les paramètres hydrodynamiques propres à l'aquifère c'est-à-dire la transmissivité, noté T, et exprimée en m²/s, le coefficient d'emmagasinement noté S, exprimé en % (sans dimension) et la perméabilité notée (K) exprimée en (m/s).

Le calcul des paramètres T et S par l'approximation logarithmique de Jacob qui a pour équation :

$$\Delta = 0.183 \frac{Q}{T} \log \frac{2.25T}{r^2 S} t \quad (\text{IV-2})$$

Avec : Δ : rabattement observée dans le piézomètre durant le pompage en mètre.

Q : Débit constant pompé dans le forage d'exploitation en m³/s.

r : Distance entre le forage et le piézomètre d'observation.

t : Durée de pompage en seconde

S : Coefficient d'emmagasinement.

Pour appliquer l'équation précédente, les essais de pompage doivent satisfaire ces conditions :

- Le régime d'écoulement est transitoire ;
- La nappe doit être en repos ;
- Les rabattements doivent être faibles.

Généralement, la représentation graphique du rabattement en fonction de temps de pompage sur un graphe a abscisse logarithmique est une droite [14].

IV.3 Interprétation d'un essai de débit

IV.3.1 Méthode de la descente de Jacob

La méthode de Jacob sert à trouver sur un graphique semi logarithmique le rabattement en fonction du temps en un point donné [15].

Le traçage de la droite moyenne représentative de l'expression de C.E.Jacob est fait lorsque l'approximation logarithmique devient valable, d'où la courbe observée s'écarte de la droite

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

au début de pompage et aussi à la fin quand la nappe n'est pas illimitée, ce qui signifie l'effet de capacité de l'ouvrage.

La droite obtenue a pour équation :

$$\Delta = 0.183 \frac{Q}{T} \log \frac{2.25T}{r^2 S} t \quad (\text{IV-2})$$

Pour un cycle logarithmique de la durée de pompage (t), les valeurs de la transmissivité (T) et le coefficient d'emmagasinement (S) sont obtenues comme suit :

Il convient après de choisir deux points arbitraires A et B sur cette droite, avec :

$$C_B - C_A = \frac{Q}{4\pi T} \ln \frac{t_B}{t_A} \quad (\text{IV-3})$$

soit :

$$T = \frac{Q}{4\pi} (C_B - C_A) \ln \frac{t_B}{t_A} \quad (\text{IV-4})$$

$$\text{On admet : } t_B = 10t_A \quad (\text{IV-5})$$

On aura donc :

$$T = 0.183 \frac{Q}{C_B - C_A} = 0.183 \frac{Q}{C} \quad (\text{IV-6})$$

Et concernant S , on détermine graphiquement le point d'intersection de la droite de l'axe des abscisses ($S=0$) pour le point x_0 au temps t_0 :

$$S = 0.183 \frac{Q}{T} \log 2.25 \frac{2.25T}{x^2 S} \quad (\text{IV-7})$$

Comme $0.183 \frac{Q}{T}$ ne peut pas être nul :

$$\log \left(2.25 \frac{Tt_0}{Sr^2} \right) = 0 \text{ soit } \log \left(2.25 \frac{Tt_0}{Sr^2} \right) = 1$$

D'où connaissant t_0, x, T :

$$S = 2.25 \frac{Tt_0}{r^2} \quad (\text{IV-8})$$

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

IV.3.2 Méthode de la remontée de Jacob

Il s'agit d'un diagramme semi logarithmique comme pour la descente mais qui porte les rabattements résiduels en ordonnées et $\frac{t+t'}{t'}$ en abscisses [15].

L'équation de la droite obtenue est :

$$\Delta = 0.183 \frac{Q}{T} \log \frac{t+t'}{t'} \quad (\text{IV-9})$$

Avec : Δ : rabattement résiduel en (m) ;

t' : Temps écoulé depuis l'arrêt de pompage en s ;

t : Temps de pompage en s.

IV.4 Outils et technologies utilisées pour le calcul des paramètres hydrodynamiques d'un aquifère

Dans le but d'obtenir des résultats fiables et garantir une meilleure estimation des propriétés hydrodynamiques d'un aquifère, nous avons fait appel à un logiciel largement utilisé en hydrogéologie qui est le logiciel « aquitest » [17].

IV.4.1 But le logiciel utilisé

« Aquitest » permet de :

- Interpréter les données d'essais de pompage et de perméabilité et estimer les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères étudiés ;
- De prévoir l'impact d'un pompage sur son environnement ;
- De présenter rapidement les données et résultats d'une étude sous forme de rapport.

IV.4.2 Méthode d'analyses utilisées :

- **Les essais de pompage :**
 - Theis avec correction de Jacob
 - AGARWAL et Theis

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

IV.5 Exemples d'application

Dans le cadre de la réalisation des forages F₁, F₂, F₄ et F₅ pour le pôle urbain d'IghzerAzarif de la commune d'Oued Ghir, l'entreprise HYDRO FORAGE SYSTEMS a entrepris les travaux de leur réalisation au niveau de la région d'étude.

Ces travaux ont été réalisés durant la période de Septembre 2019 jusqu'à la fin de mois de Janvier 2020. A l'aide d'une foreuse rotary.

Des essais de débit ont été réalisées à l'aide d'une pompe immergés de type SAER où ils ont été faits par paliers.

Forages Années	F ₁	F ₂	F ₄	F ₅
Niveau statique (m)	14.9	16.1	14.1	15.05
Débit de pompage (l/s)	25	35	36	30
Durée de pompage pour le palier de longue durée (h)	45	42	39	42
Durée de pompage pour le palier de remontée (h)	10	10	10	10

Tableau IV. 1 :Les caractéristiques des forages

IV.6 les paramètres hydrodynamiques

IV.6.1 La transmissivité

Est calculée par la pente de la droite représentative, cette dernière est déterminée par l'augmentation des rabattements (ou des profondeurs de niveau d'eau) au cours d'eau d'un module logarithmique notée c. La transmissivité s'exprime en m²/s, sa formule est comme suit [16] :

$$T = \frac{0.183Q}{c} \quad (IV-10)$$

Avec T : La transmissivité en m²/s ;

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

Q : Débit de pompage en (m^3/s) ;

c : Cycle logarithmique, pente de droite.

IV.6.2 Le coefficient d'emménagement

C'est le volume d'eau libéré à travers une section unitaire pour une variation unitaire de la charge hydraulique normale à cette question. Il dépend du taux de compression pour les nappes captives et à la porosité utile de l'aquifère pour les nappes libres. Il est obtenu à partir de l'approximation logarithmique de Jacob qui a comme formule [16] :

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2} \text{(IV-8)}$$

Avec : t_0 : Le temps de pompage lorsque le rabattement est nul.

IV.6.3 La perméabilité

Est l'aptitude d'un réservoir à se laisser traverser par l'eau sous l'effet d'un gradient hydraulique. Elle s'exprime en (m/s). Le coefficient de perméabilité est lié aux caractéristiques du réservoir (granulométrie, porosité efficace) et les caractéristiques du fluide (viscosité, température et masse volumique).

Le calcul de la perméabilité a un rapport avec la transmissivité d'où elle est donnée par cette formule [16] :

✓ Pour une nappe captive $k = \frac{T}{e} (m/s)$; (IV-11)

✓ Pour une nappe libre $k = \frac{T}{H} (m/s)$. (IV-12)

Sachant que : k : perméabilité en (m^2/s) ;

T : transmissivité en (m^2/s) ;

e : épaisseur mouillée de l'aquifère en mètres ;

H : hauteur piézométrique en mètres.

- ❖ L'évaluation des rabattements en fonction du temps pour une exploitation de longue durée est comme suit :

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

Temps (s)	Niveau d'eau (m)	rabattement (m)	Temps (s)	Niveau d'eau (m)	rabattement (m)
60	16,3	1,4	32400	16,78	1,88
120	16,38	1,48	34200	16,78	1,88
180	16,42	1,52	36000	16,78	1,88
240	16,48	1,58	37800	16,78	1,88
300	16,5	1,6	39600	16,78	1,88
600	16,58	1,68	41400	16,78	1,88
900	16,65	1,75	43200	16,78	1,88
1200	16,7	1,8	45000	16,78	1,88
1800	16,77	1,87	46800	16,78	1,88
2400	16,77	1,87	50400	16,78	1,88
3000	16,77	1,87	52200	16,78	1,88
3600	16,78	1,88	54000	16,78	1,88
4200	16,78	1,88	55800	16,78	1,88
4800	16,78	1,88	57600	16,78	1,88
5400	16,78	1,88	61200	16,78	1,88
6000	16,78	1,88	64800	16,78	1,88
7200	16,78	1,88	68400	16,78	1,88
7800	16,78	1,88	72000	16,78	1,88
8400	16,78	1,88	75600	16,78	1,88
9000	16,78	1,88	79200	16,78	1,88
9600	16,78	1,88	82800	16,78	1,88
10200	16,78	1,88	86400	16,78	1,88
10800	16,78	1,88	90000	16,78	1,88
11400	16,78	1,88	93600	16,78	1,88
12000	16,78	1,88	97200	16,78	1,88
12600	16,78	1,88	100800	16,78	1,88
13200	16,78	1,88	104400	16,78	1,88
13800	16,78	1,88	108000	16,78	1,88
14400	16,78	1,88	111600	16,78	1,88
15300	16,78	1,88	115200	16,78	1,88
16200	16,78	1,88	118800	16,78	1,88
17100	16,78	1,88	122400	16,78	1,88
18000	16,78	1,88	126000	16,78	1,88
19800	16,78	1,88	129600	16,78	1,88
21600	16,78	1,88	133200	16,78	1,88
23400	16,78	1,88	136800	16,78	1,88
25200	16,78	1,88	140400	16,78	1,88
27000	16,78	1,88	144000	16,78	1,88
28800	16,78	1,88	147600	16,78	1,88
30600	16,78	1,88	151200	16,78	1,88

Tableau IV. 2 : Résultats des essais de pompage de longue durée (descente forage F1) avec un niveau statique de 14.9m

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

Temps (s)	Niveau d'eau (m)	rabattement (m)	Temps (s)	Niveau d'eau (m)	rabattement (m)
60	16,49	0,99	32400	16,94	1,44
120	16,58	1,08	34200	16,94	1,44
180	16,67	1,17	36000	16,94	1,44
240	16,76	1,26	37800	16,94	1,44
300	16,85	1,35	39600	16,94	1,44
600	16,9	1,4	41400	16,94	1,44
900	16,93	1,43	43200	16,94	1,44
1200	16,94	1,44	45000	16,94	1,44
1800	16,94	1,44	46800	16,94	1,44
2400	16,94	1,44	50400	16,94	1,44
3000	16,94	1,44	52200	16,94	1,44
3600	16,94	1,44	54000	16,94	1,44
4200	16,94	1,44	55800	16,94	1,44
4800	16,94	1,44	57600	16,94	1,44
5400	16,94	1,44	61200	16,94	1,44
6000	16,94	1,44	64800	16,94	1,44
7200	16,94	1,44	68400	16,94	1,44
7800	16,94	1,44	72000	16,94	1,44
8400	16,94	1,44	75600	16,94	1,44
9000	16,94	1,44	79200	16,94	1,44
9600	16,94	1,44	82800	16,94	1,44
10200	16,94	1,44	86400	16,94	1,44
10800	16,94	1,44	90000	16,94	1,44
11400	16,94	1,44	93600	16,94	1,44
12000	16,94	1,44	97200	16,94	1,44
12600	16,94	1,44	100800	16,94	1,44
13200	16,94	1,44	104400	16,94	1,44
13800	16,94	1,44	108000	16,94	1,44
14400	16,94	1,44	111600	16,94	1,44
15300	16,94	1,44	115200	16,94	1,44
16200	16,94	1,44	118800	16,94	1,44
17100	16,94	1,44	122400	16,94	1,44
18000	16,94	1,44	126000	16,94	1,44
19800	16,94	1,44	129600	16,94	1,44
21600	16,94	1,44	133200	16,94	1,44
23400	16,94	1,44	136800	16,94	1,44
25200	16,94	1,44	140400	16,94	1,44
27000	16,94	1,44	144000	16,94	1,44
28800	16,94	1,44	147600	16,94	1,44
30600	16,94	1,44	151200	16,94	1,44

Tableau IV. 3 : Résultats des essais de pompage de longue durée (descente forage F2) avec un niveau statique de 16.10m

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

Temps (s)	Niveau d'eau (m)	rabattement (m)	Temps (s)	Niveau d'eau (m)	rabattement (m)
60	16,72	2,62	32400	17,74	3,64
120	16,84	2,74	34200	17,74	3,64
180	16,97	2,87	36000	17,74	3,64
240	17,06	2,96	37800	17,74	3,64
300	17,25	3,15	39600	17,74	3,64
600	17,34	3,24	41400	17,74	3,64
900	17,39	3,29	43200	17,74	3,64
1200	17,44	3,34	45000	17,74	3,64
1800	17,51	3,41	46800	17,74	3,64
2400	17,59	3,49	50400	17,74	3,64
3000	17,65	3,55	52200	17,74	3,64
3600	17,7	3,6	54000	17,74	3,64
4200	17,72	3,62	55800	17,74	3,64
4800	17,73	3,63	57600	17,74	3,64
5400	17,73	3,63	61200	17,74	3,64
6000	17,74	3,64	64800	17,74	3,64
7200	17,74	3,64	68400	17,74	3,64
7800	17,74	3,64	72000	17,74	3,64
8400	17,74	3,64	75600	17,74	3,64
9000	17,74	3,64	79200	17,74	3,64
9600	17,74	3,64	82800	17,74	3,64
10200	17,74	3,64	86400	17,74	3,64
10800	17,74	3,64	90000	17,74	3,64
11400	17,74	3,64	93600	17,74	3,64
12000	17,74	3,64	97200	17,74	3,64
12600	17,74	3,64	100800	17,74	3,64
13200	17,74	3,64	104400	17,74	3,64
13800	17,74	3,64	108000	17,74	3,64
14400	17,74	3,64	111600	17,74	3,64
15300	17,74	3,64	115200	17,74	3,64
16200	17,74	3,64	118800	17,74	3,64
17100	17,74	3,64	122400	17,74	3,64
18000	17,74	3,64	126000	17,74	3,64
19800	17,74	3,64	129600	17,74	3,64
21600	17,74	3,64	133200	17,74	3,64
23400	17,74	3,64	136800	17,74	3,64
25200	17,74	3,64	140400	17,74	3,64
27000	17,74	3,64	144000	17,74	3,64
28800	17,74	3,64	147600	17,74	3,64
30600	17,74	3,64	151200	17,74	3,64

Tableau IV. 4 : Résultats des essais de pompage de longue durée (descente forage F4) avec un niveau statique de 14.10m

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

Temps (s)	Niveau d'eau (m)	rabattement (m)	Temps (s)	Niveau d'eau (m)	rabattement (m)
60	19,01	2,91	32400	20,1	4
120	19,5	3,4	34200	20,1	4
180	20,01	3,91	36000	20,1	4
240	20,05	3,95	37800	20,1	4
300	20,09	3,99	39600	20,1	4
600	20,1	4	41400	20,1	4
900	20,1	4	43200	20,1	4
1200	20,1	4	45000	20,1	4
1800	20,1	4	46800	20,1	4
2400	20,1	4	50400	20,1	4
3000	20,1	4	52200	20,1	4
3600	20,1	4	54000	20,1	4
4200	20,1	4	55800	20,1	4
4800	20,1	4	57600	20,1	4
5400	20,1	4	61200	20,1	4
6000	20,1	4	64800	20,1	4
7200	20,1	4	68400	20,1	4
7800	20,1	4	72000	20,1	4
8400	20,1	4	75600	20,1	4
9000	20,1	4	79200	20,1	4
9600	20,1	4	82800	20,1	4
10200	20,1	4	86400	20,1	4
10800	20,1	4	90000	20,1	4
11400	20,1	4	93600	20,1	4
12000	20,1	4	97200	20,1	4
12600	20,1	4	100800	20,1	4
13200	20,1	4	104400	20,1	4
13800	20,1	4	108000	20,1	4
14400	20,1	4	111600	20,1	4
15300	20,1	4	115200	20,1	4
16200	20,1	4	118800	20,1	4
17100	20,1	4	122400	20,1	4
18000	20,1	4	126000	20,1	4
19800	20,1	4	129600	20,1	4
21600	20,1	4	133200	20,1	4
23400	20,1	4	136800	20,1	4
25200	20,1	4	140400	20,1	4
27000	20,1	4	144000	20,1	4
28800	20,1	4	147600	20,1	4
30600	20,1	4	151200	20,1	4

Tableau IV. 5 : Résultats des essais de pompage de longue durée (descente forage F5) avec un niveau statique de 15.05m

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

IV.7 Interprétation des résultats

IV.7.1 Interprétation des résultats des courbes de descente

Les courbes de descente (voir l'annexe IV, V, VI et VII) obtenues à partir des données de pompage (voir les tableaux précédents) montrent qu'elles correspondent à trois phases distinctes qui sont :

- L'alignement non linéaire des points marque l'effet de capacité du puits dont la durée est vraisemblablement variable ;
- Les rabattements augmentent brutalement au cours des premières heures de pompage pour s'aligner selon une droite représentative à pente croissante ;
- Le niveau d'eau commence à se stabiliser. Cette stabilisation continuera jusqu'à la fin de la descente, ce qui veut dire soit une alimentation directe de l'oued Soummam ou soit des bordures de la nappe.

Forages	T [m ² /s]	S	K(m/s)
F1	$2.51 \cdot 10^{-1}$	$4.11 \cdot 10^{-2}$	50.2
F2	$2.76 \cdot 10^{-3}$	$1.00 \cdot 10^{-4}$	0.552
F4	$1.49 \cdot 10^{-4}$	$9.44 \cdot 10^{-3}$	$2.98 \cdot 10^{-2}$
F5	$1.26 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	0.252
Moyenne	$6.37 \cdot 10^{-2}$	$1.39 \cdot 10^{-2}$	12.74

Tableau IV. 6 : quelques valeurs des paramètres hydrodynamiques (T et S) d'après la méthode de Jacob

- ❖ L'évaluation des rabattements en fonction du temps pour une exploitation de remontée est comme suit :

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

Temps de pompage t (s)	niveau d'eau (m)	rabattements (m)	temps de pompage t (s)	niveau d'eau (m)	rabattement (m)
0	16,78	1,88	9000	14,9	0
5	16,7	1,8	9600	14,9	0
10	16,63	1,73	10200	14,9	0
15	16,54	1,64	10800	14,9	0
20	16,47	1,57	11400	14,9	0
30	16,18	1,28	12000	14,9	0
35	15,91	1,01	12600	14,9	0
40	15,82	0,92	13200	14,9	0
45	15,77	0,87	13800	14,9	0
60	15,63	0,73	14400	14,9	0
120	15,51	0,61	15300	14,9	0
180	15,39	0,49	16200	14,9	0
240	15,22	0,32	17100	14,9	0
300	15,08	0,18	18000	14,9	0
600	14,9	0	19800	14,9	0
900	14,9	0	21600	14,9	0
1200	14,9	0	23400	14,9	0
1800	14,9	0	25200	14,9	0
2400	14,9	0	27000	14,9	0
3000	14,9	0	28800	14,9	0
3600	14,9	0	30600	14,9	0
4200	14,9	0	32400	14,9	0
4800	14,9	0	34200	14,9	0
5400	14,9	0	36000	14,9	0
6000	14,9	0	37800	14,9	0

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

7200	14,9	0	39600	14,9	0
7800	14,9	0	41400	14,9	0
8400	14,9	0	43200	14,9	0
			45000	14,9	0

Tableau IV. 7 : Résultats des essais de pompage de longue durée (remontée forage F1) avec un niveau statique de 14.90m

Temps de pompage t (s)	niveau d'eau (m)	rabattements (m)	temps de pompage t (s)	niveau d'eau (m)	rabattement (m)
0	20,1	5,2	9000	14,91	0,01
5	20	5,1	9600	14,91	0,01
10	19,89	4,99	10200	14,9	0
15	19,81	4,91	10800	14,9	0
20	19,76	4,86	11400	14,9	0
30	19,68	4,78	12000	14,9	0
35	19,55	4,65	12600	14,9	0
40	19,48	4,58	13200	14,9	0
45	19,41	4,51	13800	14,9	0
60	19,27	4,37	14400	14,9	0
120	19,04	4,14	15300	14,9	0
180	18,79	3,89	16200	14,9	0
240	18,53	3,63	17100	14,9	0
300	18,17	3,27	18000	14,9	0
600	17,99	3,09	19800	14,9	0
900	17,75	2,85	21600	14,9	0
1200	17,21	2,31	23400	14,9	0
1800	16,87	1,97	25200	14,9	0

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

2400	16,5	1,6	27000	14,9	0
3000	16,07	1,17	28800	14,9	0
3600	15,8	0,9	30600	14,9	0
4200	15,17	0,27	32400	14,9	0
4800	14,98	0,08	34200	14,9	0
5400	14,95	0,05	36000	14,9	0
6000	14,93	0,03	37800	14,9	0
7200	14,92	0,02	39600	14,9	0
7800	14,92	0,02	41400	14,9	0
8400	14,91	0,01	43200	14,9	0
			45000	14,9	0

Tableau IV. 8 : Résultats des essais de pompage de longue durée (remontée forage F2) avec un niveau statique de 16.10m

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

Temps de pompage t (s)	niveau d'eau (m)	rabattements (m)	temps de pompage t (s)	niveau d'eau (m)	rabattement (m)
0	17,74	3,64	9000	14,1	0
5	17,6	3,5	9600	14,1	0
10	17,48	3,38	10200	14,1	0
15	17,24	3,14	10800	14,1	0
20	16,93	2,83	11400	14,1	0
30	16,55	2,45	12000	14,1	0
35	16,27	2,17	12600	14,1	0
40	16,06	1,96	13200	14,1	0
45	15,87	1,77	13800	14,1	0
60	15,74	1,64	14400	14,1	0
120	15,11	1,01	15300	14,1	0
180	14,79	0,69	16200	14,1	0
240	14,3	0,2	17100	14,1	0
300	14,25	0,15	18000	14,1	0
600	14,19	0,09	19800	14,1	0
900	14,13	0,03	21600	14,1	0
1200	14,13	0,03	23400	14,1	0
1800	14,12	0,02	25200	14,1	0
2400	14,11	0,01	27000	14,1	0
3000	14,11	0,01	28800	14,1	0
3600	14,11	0,01	30600	14,1	0
4200	14,1	0	32400	14,1	0
4800	14,1	0	34200	14,1	0
5400	14,1	0	36000	14,1	0
6000	14,1	0	37800	14,1	0
7200	14,1	0	39600	14,1	0

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

7800	14,1	0			
8400	14,1	0			

Tableau IV. 9 : Résultats des essais de pompage de longue durée (remontée forage F4) avec un niveau statique de 14.10m

Temps de pompage t (s)	niveau d'eau (m)	rabattements (m)	temps de pompage t (s)	niveau d'eau (m)	rabattement (m)
0	16,94	1,89	9000	15,05	0
5	16,8	1,75	9600	15,05	0
10	16,62	1,57	10200	15,05	0
15	16,44	1,39	10800	15,05	0
20	16,26	1,21	11400	15,05	0
30	16,13	1,08	12000	15,05	0
35	15,95	0,9	12600	15,05	0
40	15,77	0,72	13200	15,05	0
45	15,59	0,54	13800	15,05	0
60	15,41	0,36	14400	15,05	0
120	15,23	0,18	15300	15,05	0
180	15,06	0,01	16200	15,05	0
240	15,06	0,01	17100	15,05	0
300	15,05	0	18000	15,05	0
600	15,05	0	19800	15,05	0
900	15,05	0	21600	15,05	0
1200	15,05	0	23400	15,05	0
1800	15,05	0	25200	15,05	0
2400	15,05	0	27000	15,05	0
3000	15,05	0	28800	15,05	0
3600	15,05	0	30600	15,05	0

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

4200	15,05	0	32400	15,05	0
4800	15,05	0	34200	15,05	0
5400	15,05	0	36000	15,05	0
6000	15,05	0	37800	15,05	0
7200	15,05	0	39600	15,05	0
7800	15,05	0			
8400	15,05	0			

Tableau IV. 10 : Résultats des essais de pompage de longue durée (remontée forage F5) avec un niveau statique de 15.05m

IV.7.2 Interprétation des résultats des courbes de remontée

Les données de la remontée (voir les tableaux de remontée) après l'arrêt de pompage permettent d'établir la courbe de remontée (voir annexe VIII). Cette dernière montre que : les rabattements augmentent avec le temps.

Forages		T [m^2/s]	S	K(m/s)
F1		$1.81 \cdot 10^{-1}$		36.2
F2	Theis	$1.65 \cdot 10^{-3}$	$1.28 \cdot 10^{-4}$	$1.56 \cdot 10^{-1}$
	AGARWAL+	1.40		
	Theis			
	Moyenne	$7.78 \cdot 10^{-4}$		
F4		1.4		280
F5		3.8		760
F6		1.13	$1.28 \cdot 10^{-4}$	226

Tableau IV. 11 : Quelques valeurs des paramètres hydrodynamiques d'après la méthode AGRAWAL et Theis

Conclusion

A partir de différentes méthodes, nous avons calculé les caractéristiques hydrodynamiques de l'ensemble aquifère, qui sont la transmissivité (T) et coefficient d'emménagement (S). Ces paramètres sont très importants dans le calcul du bilan hydrologique d'une région donnée.

L'étude hydrodynamique révèle que :

Chapitre IV : Etude des paramètres hydrodynamiques

Les différentes valeurs de transmissivité permettent de déduire une valeur moyenne en descente qui est égale à $6.37 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ et $1.13 \text{ m}^2/\text{s}$ en remontée.

Les valeurs de coefficient d'emmagasinement permettent de déduire une valeur moyenne en descente de l'ordre $1.39 \cdot 10^{-2}$ et $1.28 \cdot 10^{-4}$ en remontée.

*Conclusion
générale*

Conclusion générale

Conclusion générale

Notre étude est portée sur l'hydrodynamique de nappe souterraine de la basse soummam qui est une partie intégrante du bassin versant de l'Oued soummam, elle a connu une superficie de l'ordre de 775,2 Km², situé à 230km à l'est d'Alger possédant un réseau hydrographique développé.

L'étude des cadres géologiques et climatiques nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- La moyenne des précipitations annuelle est de l'ordre 822,24mm, sous une température moyenne annuelle de 18,19°C ;
- Le ruissellement est de 253,98mm/ans. Cette valeur est due à la bonne pluviométrie. L'infiltration est égale à 82,68mm dans la région de Bejaia ;
- La géologie de la région est caractérisée par une formation de type sédimentaire avec lequel le domaine des affleurements correspond à des formations oligocène alboaptien. La lithologie a montré une hétérogénéité dans les formations (alluvions, argiles, grès, calcaire, marne et schiste). Caractérisant l'aquifère de la région de basse soummam, qu'issue d'une eau fortement minéralisée.

Les résultats des essais des pompages ont permis d'obtenir des valeurs moyennes de transmissivité de l'ordre $6.37 \cdot 10^{-2}$ m²/s et 1.13 m²/s en descente et remontée respectivement et les valeurs du coefficient d'emménagement égales a $1.39 \cdot 10^{-2}$ pour la descente et $1.28 \cdot 10^{-4}$ pour la remontée.

Finalement, nous espérons que cette étude que nous avons menée au niveau de la basse vallée de soummam a apporté un certain nombre d'informations et de précision qui pouvant orienter de futurs travaux dans l'aspect de l'hydrodynamique de nappe souterraines.

Références

bibliographiques

Références bibliographiques

Bibliographie

- [1] : M.IchalalaneMd.Amokrane et M.Lacene Hakim, Mémoire de fin d'étude « Contribution a l'évaluation du potentiel hydrique de la basse soummam », Université de Béjaia, 2005.
- [2] : Mouni, Loufti, « étude et caractéristiques phsico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algérie) », sècherenc, vol 20, n°4, 2009, p 360- 366.
- [3] : Melle Hamenni Nassima, Mémoire de Magister « étude des ressources en eau du bassin versant de la soummam par l'utilisation de SIG », Ecole nationale supérieure d'agronomie, 2011.
- [4] : M. AMOUR Abdellah, Mémoire de Magister « Caractérisation des crues pluviales des sous bassins versants de la Soummam », Université de Béjaia, 2009/2010.
- [5] : M. ouldfah Mohamed Mahmoud, mémoire fin d'étude « Etude hydrologique du bassin versant de laSoummam », Université de Msila, 2015/2016.
- [6] : BeyraguedAffaf, Boudiaf Aicha, Mémoire fin d'étude « Contribution a la connaissance de la qualité des eaux souterraines de la basse vallée de la Soummam-Béjaia », Université de Msila, 2016/2017.
- [7] : Melle BAHLOUL Fayrouz, mémoire de magister « Contribution Au Développement De LaMéthode d'Estimation Des Ressources EnEau(Cas des ressources en eau du bassin versant de la Soummam) », université de Béjaia, 2013/2014.
- [8] : BARKAT Habiba, mémoire de magister « Analyse des groupements Herpétologiques dans les Hautes PlainesSétifiennes(*cas de la région de Beni Aziz*) », Université de Sétif, 2014.
- [9] : CHEDDAD Souhila, mémoire de magister « Apport de l'étude hydrogéologique dans l'étude et le traitement des glissements de terrains cas de site de Bougaa, Algérie Nord orientale », Université de Constantine, 2009.
- [10] : Kachi Slimane, thèse de doctorat « Vulnérabilité de la nappe alluviale de Tebessa-Morsott face aux polluants », Université d'Annaba, 2007.
- [11] : Mr. FATIH. Boucenna, mémoire de magister « cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité a la pollution d'une nappe cotiere cas de la plane alluviale de l'oued djendjen (Jijel, Nord-Est Algérien), Université d'Annaba, 2008/2009.
- [12] : AllouacheAtmane ,Cours d'hydrogéologie ,L3,Université de Béjaia ,2013
- [13] : Revue technique « Guide pratique pour les essais e pompage de puits », comité international de la Croix-Rouge, Genève, Suisse.

Références bibliographiques

[14] : Le professeur G-Gastany, « Principes et méthodes de l'hydrographie», l'université Pierre et Marie Curie (Paris VI).

[15] :M.Mohamed-SaidBennabi, thèse de doctorat « Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée de l'oued Sahel-Soummam (Algérie) », l'université de Grenoble, 1985.

[16] : M^r.P.FAILLAT, L.SOMLETTE, S.JEGAT C.LE JEUNE et M.VASQUEZ, Rapport, programme bassins versants et transmission des pollutions au littoral « Détermination des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère fissuré shisto-gréseux du périmètre expérimental de Kerveldréach», institut des sciences agro-alimentaires et du monde rural, France, 1998.

Webographies :

[17] :<https://www.waterloohydrogeologic.com/aquifertest/> (consulté le 03 Aout 2020)

Annexe

ANNEXES

ANNEXE I Les précipitations mensuelles et interannuelles (mm) en période (2010-2019)- station de Bejaia

ANNEXE II Les températures moyennes mensuelles et interannuelles (°C) en période (2010-2019)-station de Bejaia

ANNEXE III Les résultats du calcul détaillé de l'évapotranspiration potentielle (méthode de Thornthwaite)

ANNEXE IV Courbe de la descente dans le forage F1

ANNEXE V Courbe de la descente dans le forage F5

ANNEXE VI Courbe de la descente dans le forage F4

ANNEXE VII Courbe de la descente dans le forage F2

ANNEXE VIII Courbes de la remontée dans le forage F1, F2, F4 et F5

Année	septembre	octobre	novembre	décembre	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	aout	P annuelles	P moyennes annuelles
2010/2011	38,86	122,18	185,18	73,41	51,3	57,92	106,95	42,67	50,29	38,1	0,76	6,09	773,71	822,24
2011/2012	7,11	128,27	100,08	118,27	52,58	138,7	50,29	68,62	87,89	36,07	0,25	0	788,11	822,24
2012/2013	333,76	83,56	106,43	57,15	89,9	323,4	74,94	198,4	7,36	95,51	1,02	2,03	1373,41	822,24
2013/2014	44,68	34,79	182,88	52,31	130,8	179,8	78,23	46,23	83,56	3,05	10,92	69,86	917,13	822,24
2014/2015	6,1	76,21	9,15	262,89	84,56	56,64	138,17	17,27	10,16	66,8	0,76	1,27	729,98	822,24
2015/2016	20,58	41,65	51,56	0	135,12	155,4	70,86	3,05	19,3	1,78	0	10,16	509,49	822,24
2016/2017	39,12	21,59	43,19	41,14	101,09	110	199,39	49,27	55,62	19,06	0	0	679,45	822,24
2017/2018	19,03	33,8	164,59	189,76	266,72	51,81	6,35	75,95	0,51	10,15	3,05	0	821,72	822,24
2018/2019	48,21	122,19	46,23	21,84	53,61	139,5	195,58	37,1	106,92	21,34	0,25	14,48	807,24	822,24
ToTal	557,45	664,24	889,29	816,77	965,68	1213	920,76	538,6	421,61	291,86	17,01	103,89		
moyennes	61,94	73,8	98,81	90,75	107,3	134,8	102,31	59,84	46,85	32,43	1,89	11,54		

Tableau annexe I

Années	Sep	Oct	Nov	Déc	jan	fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout		Total Annuel	Temp moyennes annuel
2010/2011	23,1	19,4	15,2	12,9	12,3	13,5	14,1	16,2	17,6	21,2	25,1	25,1		215,7	17,97
2011/2012	24,1	20,1	16,3	12,3	11,3	10,9	13,7	16,9	18,9	21,7	25,6	25,6		217,4	18,11
2012/2013	23	20,5	16,7	12,3	10,6	7,8	13,3	15,9	18,9	24,1	26	27,1		216,2	18,02
2013/2014	23,3	22,5	14,7	11,9	11,4	10	14,8	15,8	17,5	20,6	24,6	24,8		211,9	17,66
2014/2015	25,3	21,2	18,1	12,5	13,1	13,1	12,6	16,5	18,1	22,2	24,2	25,7		222,6	18,55
2015/2016	23,9	20,7	15,4	12,7	11,1	10,9	13,1	16,3	19,6	22,3	26,2	26,7		218,9	18,24
2016/2017	23,7	22,3	17	13,6	13,2	13,8	13,1	16,1	18,5	22,3	25,2	25,2		224	18,67
2017/2018	23,3	19,4	14,7	11,6	9,9	13,3	14,5	15,9	19,8	24	26,4	27,7		220,5	18,38
2018/2019	24,9	20	15,4	12,3	12,3	10,7	14,4	16,3	17,6	21,9	25,8	26		217,6	18,13
Total mensuel	214,6	186,1	143,5	112,1	105,2	104	123,6	145,9	166,5	200,3	229,1	233,9	/9		
Moyenne	23,84	20,68	15,94	12,46	11,69	11,56	13,73	16,21	18,50	22,26	25,46	25,99	218,31		
													/12		
														18,19	

Tableau annexe II

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
T(°C)	23,84	20,68	15,94	12,46	11,69	11,56	13,73	16,21	18,5	22,26	25,46	25,99	18,19
T/5	4,768	4,136	3,188	2,492	2,338	2,312	2,746	3,242	3,7	4,452	5,092	5,198	3,638
i	10,64	8,58	5,79	3,98	3,62	3,56	4,62	5,93	7,25	9,59	11,76	12,13	7,07
l	94,50												
a	2,01												
k	1,03	0,97	0,86	0,81	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	
T/l	0,25	0,22	0,17	0,13	0,12	0,12	0,15	0,17	0,20	0,24	0,27	0,28	
(10T/l)	2,50	2,2	1,70	1,3	1,2	1,2	1,5	1,7	2	2,4	2,7	2,8	
(10T/l)^a	6,31	4,88	2,91	1,69	1,44	1,44	2,26	2,91	4,03	5,81	7,36	7,92	
ETP(mm)	100,92	78,05	46,49	27,11	23,08	23,08	36,15	46,49	64,45	92,97	117,80	126,74	783,32
ETPc(mm)	103,95	75,71	39,98	21,96	20,08	19,62	37,23	51,13	77,98	113,42	146,08	147,02	854,16

Tableau annexe III

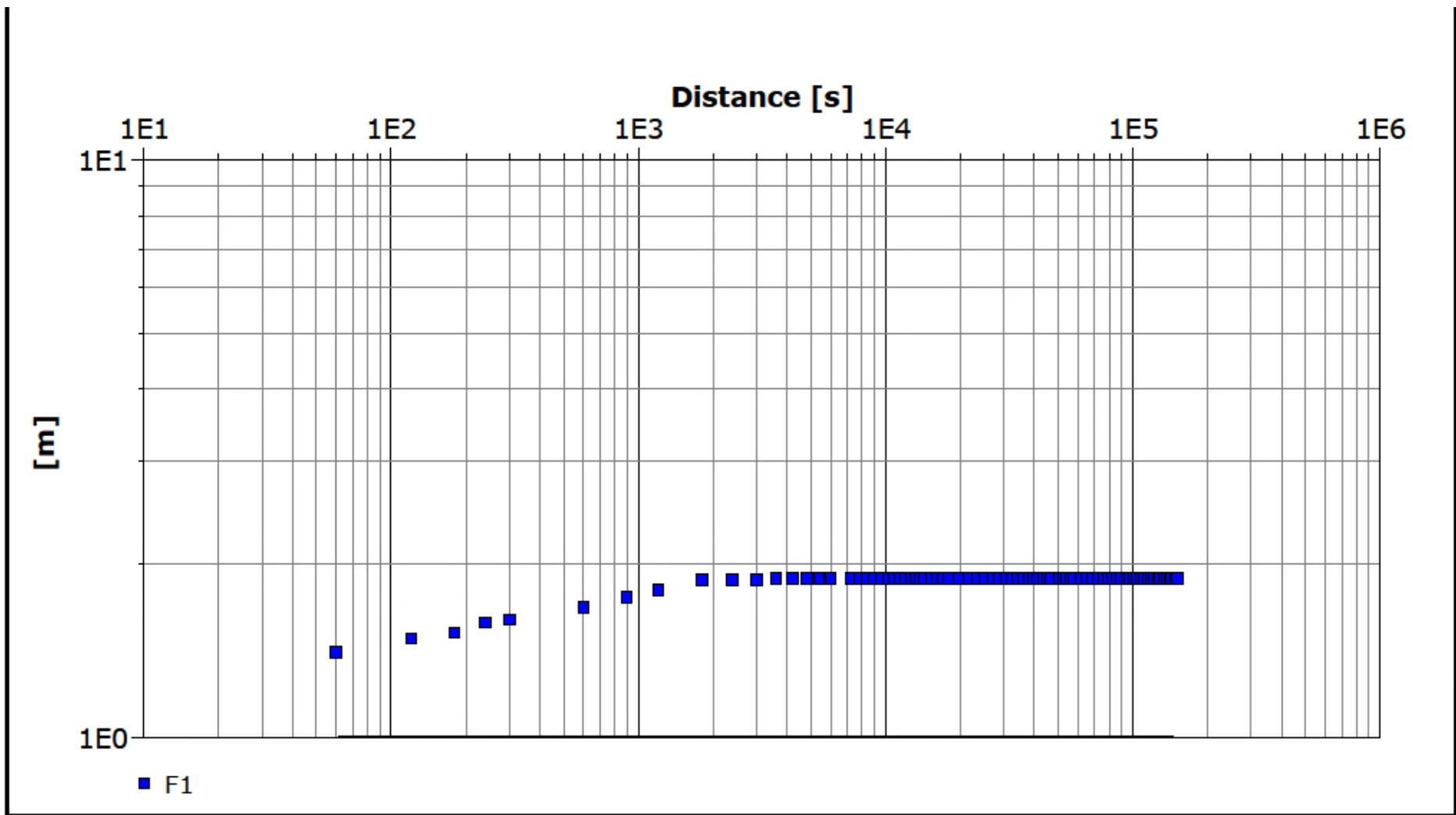


Figure annexe IV

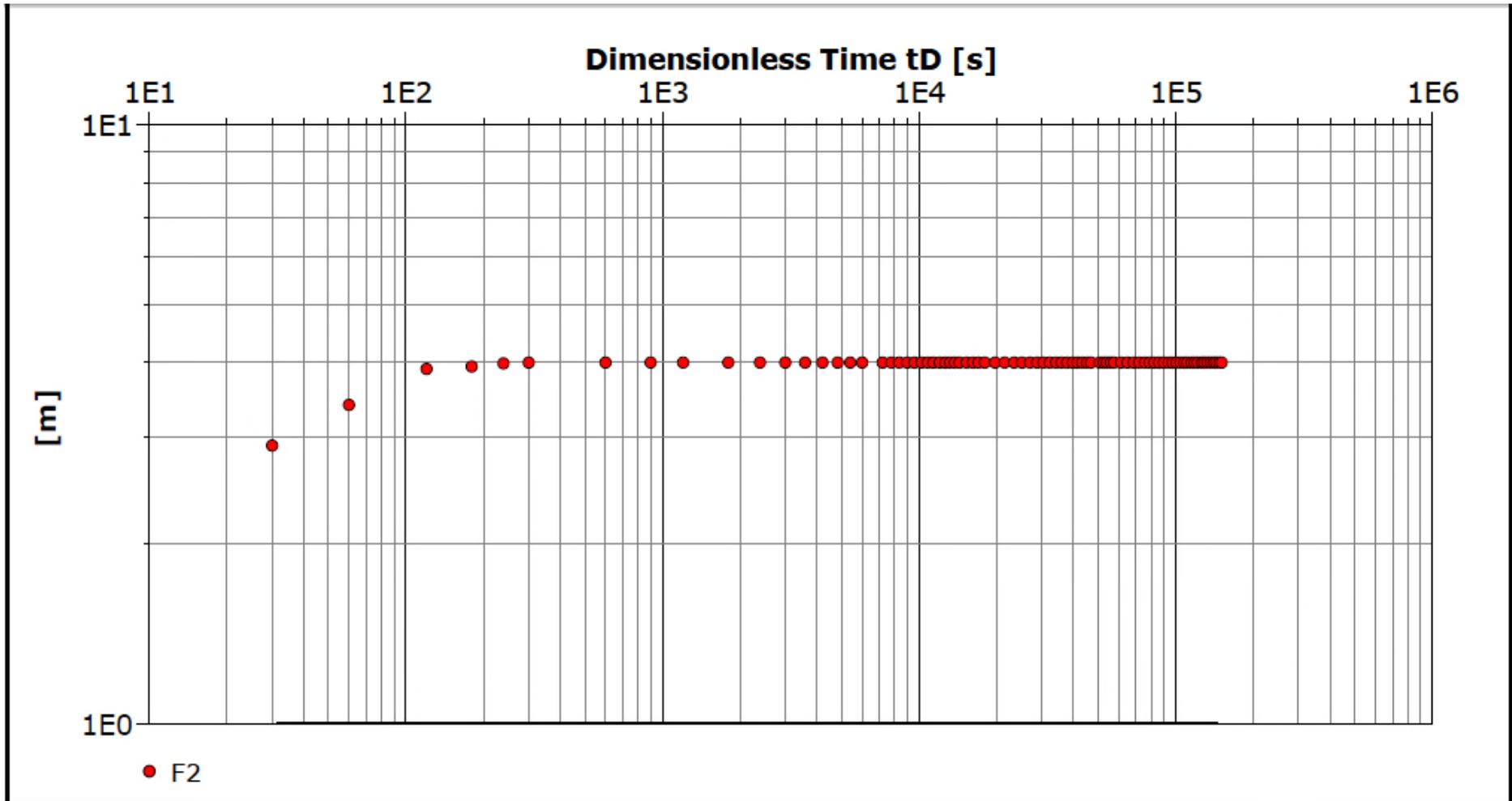


Figure annexe V

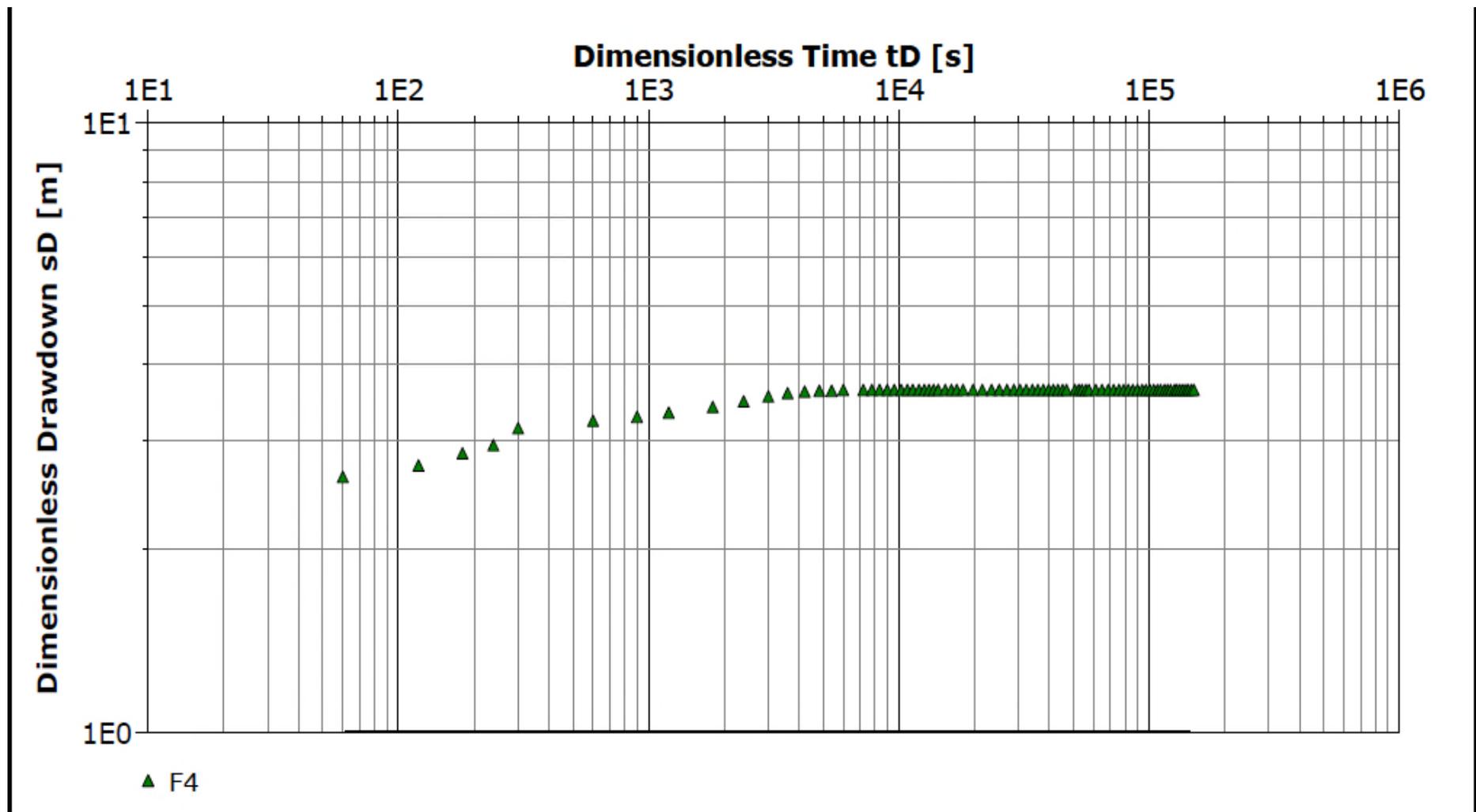


Figure annexe VI

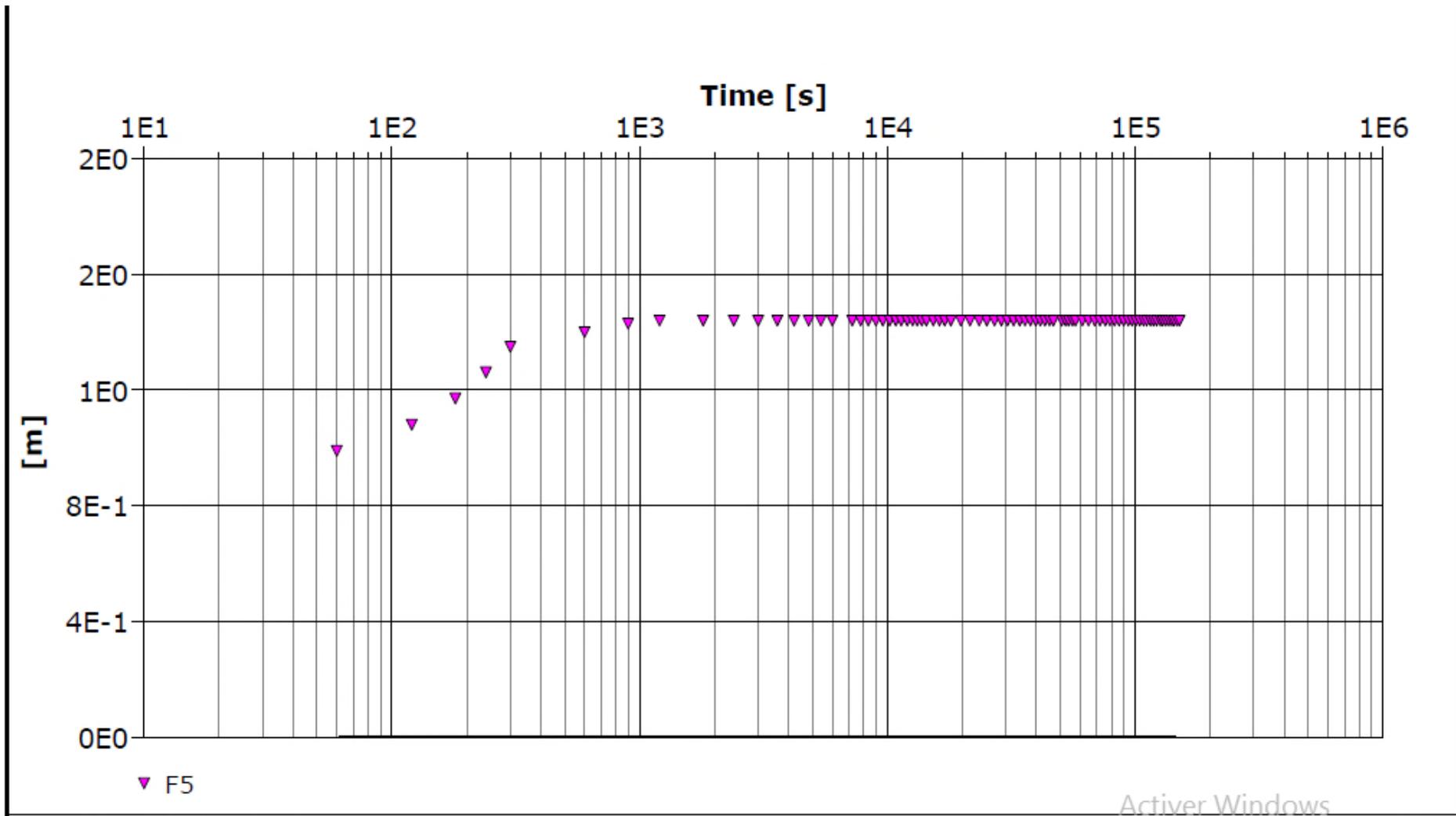


Figure annexe VII

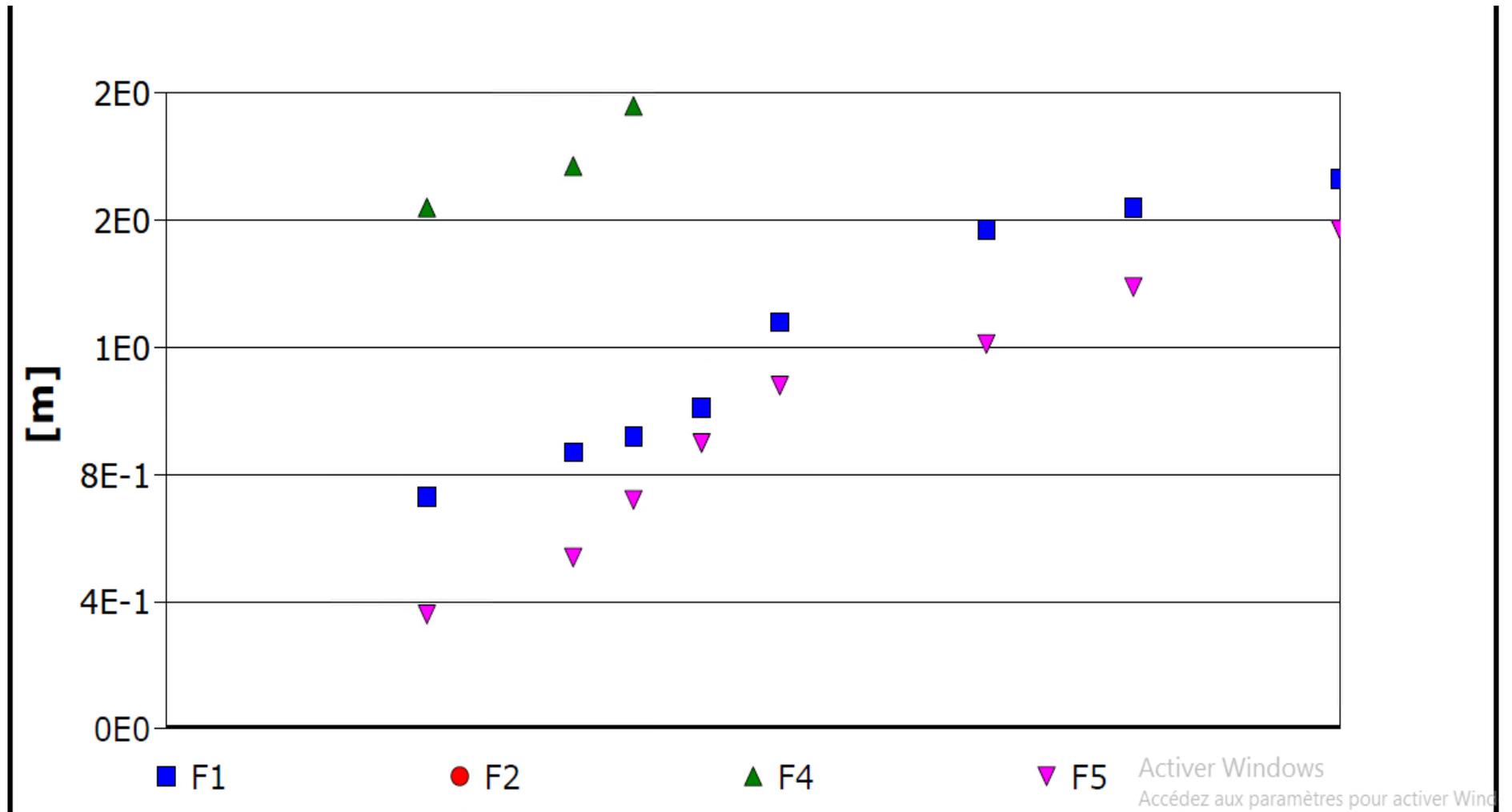


Figure annexe VIII

Résumé

L'eau souterraine est souvent considérée comme la ressource la plus appropriée d'eau potable, et ses réserves sont amenées à la surface en creusant de nouveaux forages. Les essais de pompage sont un moyen pratique pour se faire une idée sur l'efficacité du forage et de sa productivité optimale.

Ce travail a pour but de comprendre la potentialité en eau de nappe souterraine de la basse vallée de Soummam dont l'analyse des facteurs climatiques de la station de Bejaia sur une période de 9 ans ont été étudiés afin d'établir le bilan hydrologique qui permettra d'estimer le ruissellement et l'infiltration, ensuite, pour étudier les caractéristiques des forages d'Ighzer Azarif. Au niveau de Oued Ghir, et pour déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère à l'aide de logiciel « aquitest ».

Mots clés : eaux souterraines, forage, essais de pompage, nappe, Soummam ,Bejaia ,bilan hydrologique ,ruissellement , infiltration, aquifère ,paramètre hydrodynamique

Abstract

Groundwater is considered to be the most suitable resource for drinking water, and its reserves are brought to the surface by drilling efficiency and optimum productivity.

The objective of this work is to understand the groundwater potential of the lower Soummam, by analysing climatic factors of Bejaia station over a period of 9 years in order to establish the hydrological balance which will, lead to estimate runoff and infiltration, in addition, to study the characteristics of Ighzer azarif at the level of Oued ghir and to determine the hydrodynamic parameters of the aquifer using the « aquitest » software.

Keywords: groundwater, drilling ,pumping tests , tablecloth , Soummam , Bejaia ,hydrological balance ,runoff ,infiltration ,aquifer , hydrodynamic paramaters.

ملخص

غالبًا ما تعتبر المياه الجوفية أكثر الموارد ملائمة لمياه الشرب ، ويتم جلب احتياطياتها إلى السطح عن طريق حفر آبار جديدة. تعتبر اختبارات الضخ وسيلة مناسبة للحصول على فكرة عن كفاءة الحفر وإنتاجيته المثلى .

يهدف هذا العمل إلى فهم إمكانات المياه الجوفية في الوادي السفلي للصومام التي تمت دراسة تحليل العوامل المناخية لمحطة بجاية على مدى 9 سنوات من أجل إنشاء التوازن الهيدرولوجي الذي يسمح بتقدير الجريان السطحي والتسلل ، ثم دراسة خصائص آبار إغزر العزازيف. على مستوى واد غير ، ولتحديد المعلمات الهيدروديناميكية للخران الجوفي باستخدام برنامج "aquitest".

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية ، الحفر ، اختبارات الضخ ، منسوب المياه ، صومام ، بجاية ، التوازن الهيدرولوجي ، الجريان السطحي ، التسرب ، الخزان الجوفي ، المعلومة الهيدروديناميكية

