

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Kasdi Merbah Ouargla



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

Département de : Génie civil et Hydraulique

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de

Master, Filière: Hydraulique

Spécialité : Ressources Hydrauliques

C:.....

R:.....

Thème

Vers une méthode de gestion des ressources en eaux du Sahara septentrionale « Cas du CT dans la cuvette de Ouargla »

Présenté par :

❖ **KHEMIS Amina**

Soumis au jury composé de :

MECHRI Laid	MCB	UKMO	Président
DERDOUS Oussama	MCB	UKMO	Examineur
TOUIL Youcef	MCB	UKMO	Encadreur
BOUZIANE Nawel	Doctorante	ABH	Co-Encadreur

Année Universitaire: 2019 / 2020

Dédicaces

Du profonde de mon cœur, je dédie ce travail a tous ceux qui me sont chers,

A MA CHERE MERE

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon Bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formules, le fruit de vos innombrables sacrifices. Puisse Dieu, Le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie

A LA MEMOIRE DE MON PERE

Ce travail est dédié à mon père, décédé en Mai 2020, qui m'a toujours poussé et motivé

Dans mes études.

Puisse dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde !

A MES CHERES SŒURS ;

Rezka , zahret eloula et Oumsâad pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral

A MES CHERS FRERES,

Mohammed Abdallah et Zouhir Abdelfattah pour leur appui et leur encouragement,

A MES CHERS PETITS NEVEUX ET NJECES

Djaouad ,Badis, Ziad, Nada & Ines

A MES AMIS DE TOUJOURS

Mouna , Achouak , Izdihar , Halla , Messaouda ,Ibtissem, Yacine et LhadjHamou

*En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.
Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.*

KHEMIS Amina

Remerciement

En premier lieu, Je tiens à remercier *ALLAH*, le tout puissant de m'avoir donné la foi et de m'avoir permis d'en arriver là. Le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il m'a données durant toutes ces années d'étude.

Je désire remercier toutes les personnes qui, mon aidées de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de mon mémoire de fin d'étude.

Je tiens à remercier *mes parents* pour tout effort fait au but d'arriver a ce stade dans le chemin de ma vie.

Un grand Merci adressé à Monsieur *TOUIL Youcef* notre encadreur de mémoire de fin d'étude, pour ses précieux conseils et son orientation tout au long de notre recherche.

Je remercie aussi mon co-encadreur Mlle *BOUZIANE Nawel* pour son aide.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury Monsieur *MECHRI* et Monsieur *DERDOUS* pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner et corriger notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Mes sincères remerciements vont également à Mr. *BOUHAFES* Abdarahman et *TOUAHRI* mohmoud des ingénieurs dans la DRE et aussi à *ARIF* Salim Hydrogéologue dans l'ANRH , *TAHRA* Houcin dans l'ADE pour ses aides dans la collection des données et à Mr. *MIMOUNI* Khaled pour son aide dans le SIG .

J'adresse aussi un Merci a Mr *KAMMASSI* Med Ali directeur de la branche de ressources hydriques de wilaya de Ouargla et a Mr *SEDDIKI* Omar ingénieur dans le SIDAS.

Un très grand Merci à ma sœur *REZKA* qui m'a aidé dans toutes les étapes de réalisation de ce travail.

Merci à tous, AMINA

Liste des tableaux

Tableau 01 : les données des forages collectés.....	52
Tableau 02 : Les coordonnées des forages	56
Tableau 03 : Résultats des essais de pompages de forage FRANE AEP.....	57
Tableau 04 : Résultats des essais de pompages de Forage OUDJANA I.....	57
Tableau 05 : Résultats des essais de pompages de forage ABDESSAMED II.....	58
Tableau 06 : Résultats des essais de pompages de forage AOUF I.....	59
Tbleau07 : Résultats des essai pe dolng durée.....	65

Liste de figures

Figure 01 : Extension des principales formations aquifères du SASS.....	11
Figure 02 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara.....	12
Figure 03 : structure d'un SIG.....	32
Figure 04 : Les composants d'un SIG	33
Figure 05 : La wilaya d'Ouargla SASS.....	39
Figure 06 : Le réseau hydrographique de la région d'Ouargla.....	41
Figure 07 : Synthèse de la méthodologie de travail	43
Figure 08 : Courbe caractéristique $s=f(Q)$ de forage FRANE AEP.....	57
Figure 09 : Courbe caractéristique $s=f(Q)$ de forage OUDJANA I.....	58
Figure 10 : Courbe caractéristique $s=f(Q)$ de forage ABDESSAMED II.....	58
Figure11 : Courbe caractéristique $s=f(Q)$ de forage AOUF I.....	59
Figure 12 : Courbe descente essai de long durée $s=f(\log(t))$ forage FRANE AEP.....	62
Figure 13 : Courbe remonté essai de long durée $s=f(\log(t/t' + 1))$ forage FRANE AEP.....	62

Figure 14: Courbe descente essai de long durée $s=f(\log(t))$ OUDJANA I	63
Figure 15 : Courbe remonté essai de long durée $s=f(\log(t/t' +1))$ OUDJANA I.....	63
Figure 16: Courbe descente essai de long durée $s=f(\log(t))$ forage ABDESSAMED II...64	
Figure 17: Courbe remonté essai de long durée $s=f(\log(t/t' +1))$ forage ABDESSAMED II.....	64
Figure 18: Courbe descente essai de long durée $s=f(\log(t))$ AOUF I.....	65
Figure 19: Courbe remonté essai de long durée $s=f(\log(t/t' +1))$ AOUF I.....	65
Figure 20 : Démarche de mise en œuvre d'une cartographie dans l'ArcMap 10.4 (principaux taches).....	68
Figure 21: Cartographie des Forages du complexe terminal dans la cuvette d'Ouargla.....	69
Figure 22: Exemple d'affichage des caractéristiques d'un forage.....	70
Figure 23: suite des caractéristiques d'un forage	71

Liste des abréviations

SASS	Système Aquifère de Sahara Septentrional
CT	Complexe Terminal
CI	Continental Intercalaire
T	Transmissivité
S	Coefficient d'emménagement
K	Perméabilité
X	Altitude
Y	longitude
C	La pente
(s)	Rabattement
ND	Niveau dynamique
NS	Niveau statique
Q	Débit
DRE	Direction des ressources en eau
ANRH	Agence national des ressources hydrauliques
ADE	Algérienne des eaux
AEP	Alimentation en eau
IRRI	Irrigation
SIG	Système information géographique

Introduction Générale.....	2
-----------------------------------	----------

Partie bibliographique

Chapitre I : L'Hydrogéologie

I. Différent type des nappes.....	6
I.1.Définition d'une nappe.....	6
I.2.Aquifère à nappe libre.....	6
I.3.Aquifère à nappe captive.....	6
I.4.Aquifère à nappe semi-captive.....	6
II. La capacité du système aquifère (La productivité).....	7
III. Différents paramètres hydrodynamiques des nappes.....	7
➤ La perméabilité.....	7
➤ La porosité.....	7
➤ Porosité efficace.....	8
➤ Le coefficient d'emménagement (sans dimension).....	8
➤ Transmissivité.....	8

Chapitre II : Système aquifère

I. Les eaux souterraines.....	10
II.L'Hydrogéologie.....	10
II.1.Le système aquifère de Sahara Septentrional (SASS).....	10
II.1.1.Définition de l'aquifère.....	10
II.1.2.Les différents systèmes aquifères.....	11
II.1.2.1.La nappe du continental intercalaire.....	12
II.1.2.2.La nappe du complexe Terminal.....	12
➤ La nappe du Mio-Pliocène.....	13
➤ La nappe Sénonien et l'Eocène carbonatés	13
II.1.2.3.La nappe phréatique	13
II.1.3.Les caractéristiques des nappes (Aquifère).....	13
II.1.3.1.Les caractéristiques du la nappe continental intercalaire.....	14

Chapitre II : Essais de pompage et leurs interprétations

I. Le Forage d'eau.....	16
I.1.L'utilisation du forage (L'exploitation).....	16
I.2.Les caractéristiques du forage.....	16
I.2.1.Caractéristiques du projet de forage.....	16
I.2.2.Les caractéristiques du forage.....	17
I.3.Type de forage.....	17
➤ Forage artésien jaillissant.....	17
➤ Forage artésien.....	17
➤ Forage de reconnaissance.....	17
➤ Forage d'exploitation.....	17
II. Essais de pompage.....	17
II.1.L'objectif des essais de pompage.....	18
II.2.Caractéristiques des essais de pompage.....	19
II.2.1.Choix de la pompe.....	19
II.2.2.Matériel.....	19
II.2.3.Aménagements.....	19
II.3.Type des essais de pompage.....	20
I.3.1.Essais de pompage par palier (Essais de forage).....	20
II.3.1.1.Objectif.....	20
II.3.1.2.Déroulement de l'essai par palier.....	20
II.3.2.Essais de pompage par débit constant ou pompage long durée (Essais de la nappe)	21
II.3.2.1.Objectif.....	21
II.3.2.2.Déroulement de l'essai à débit constant.....	22
II.3.3.Essai de remontée.....	22
II. Interprétation de données.....	22
III.1.Méthode d'interprétation d'essais de pompage.....	22
III.1.1.Différentes méthodes en nappe captive.....	23
➤ Régime transitoire en nappe captive.....	23
➤ Régime permanent en nappe captive.....	23

III.1.2. Différente méthode en nappe semi-captive	23
➤ Régime permanent en nappe semi-captive.....	23
III.1.1.1-Méthode semi-logarithmique de JACOB.....	23
III.1.1.2. Méthode bi-logarithmique de THEIS	26
III.1.1.3.Méthode de Chow	27
III.1.1.4.Méthode de Thiem	28
III.1.2.1.Méthode de Glee	29
IV. La comparaison entre les méthodes mentionnées.....	30
Chapitre IV : L’logiciel utilisé pour la cartographie	
I. Cartographique des forages.....	32
I. 1.Logiciel utilisé.....	32
I.1.1.Le SIG.....	32
I.1.2.Arc Gis.....	33
I.1.3.ArcMap	34
I.1.4.Google Maps.....	34
II. Création d’une base des données des forages.....	35
Partie II : Matériels et Méthodes	
Chapitre I : présentation de la zone	
I. Présentation de la région d’étude.....	38
I.1.La situation géographique.....	38
I.2. La Géologie.....	40
I.3. L’Hydrologie superficielle.....	40
I.3.1-Oued M’ya.....	40

I.3.2-Oued M'zab.....	41
I.3.3-Oued N'sa.....	41
I.4. Le climat.....	42
I.4.1. Données brutes	42
I.4.1.1. Les précipitations	42
I.4.1.2. L'humidité de l'air	42
I.4.1.3. L'évaporation	42
➤ L'insolation	42
➤ Le vent	42
➤ La température	42

Chapitre II : collection des données des forages

I.1.Les données des forages d'eau du Complexe Terminal.....	45
I.1.1.La collecte des données.....	45
Données des forages de L'ANRH 2005-2011-2016.....	45
Données des forages de La DRE 2016	46
Données des forages de L'ADE	46
Données des forages de Service d'irrigation 2020	46
Données des forages de L'ABHS.....	46

Partie III : Résultats et Discussions

Chapitre I : Résultats et discussions de la collecte des données

I. La mise à jour et en forme des données.....	50
--	----

Chapitre II : Détermination de la transmissivité et leurs discussions

I. Détermination des paramètres Hydrodynamiques.....	56
I.1.Localisation et coordonnées géographiques des sites (Forages) d'essais de pompage.....	56
I.2.Résultats des essais de pompage.....	56

I.2.1.Résultats des essais par palier non enchainés.....	56
I.2.2.Résultats des essais long duré (à débit constant).....	60
I.2.2.1.Détermination du paramètre de transmissivité T.....	61
1. Méthode de calcul.....	61
2. Présentation des courbes de la descente et la remonté.....	61
ChapitreIII : présentation de la cartographie	
I. Réalisation de la cartographie	68
Cocclusion.....	73
Rédérences bibliographique.....	75
ANNEXE.....	79

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction générale

L'eau est un élément indispensable à l'être humain, Les besoins en eau de l'homme augmentent considérablement dans le temps et touchent à des domaines de plus en plus nombreux pour satisfaire ses exigences de confort et d'agrément et pour répondre à une demande économique croissante. La consommation d'eau pour les usages domestiques subit un accroissement très sensible. [1]

Les ressources en eau se présentent en deux types l'un superficiel et l'autre souterraine.

L'eau souterraine diffère de l'eau de surface du fait de l'environnement (physique et chimique) dans lequel elle se trouve. On trouve de l'eau souterraine dans la plupart des formations géologiques, dans des sédiments et roches formant un réservoir souterrain ou aquifère dans lequel l'eau souterraine peut être stockée et transmise.

Les propriétés hydrogéologiques, la porosité et la perméabilité, des couches géologiques et leur distribution spatiale varient pour diverses raisons, comme la structure tectonique, la position dans le bassin de sédimentation, le type de bassin sédimentaire, la profondeur d'enfouissement et la lithologie. La disponibilité des eaux souterraines dépend du contexte hydrogéologique, qui peut être très variable, même au sein d'une seule formation lithologique.

Compte tenu du fait que l'eau souterraine est généralement une source importante d'eau de surface, en particulier pour le débit de base, les deux sources d'eau (de surface et souterraine) doivent être considérées d'une manière intégrée et globale dans le cadre de la planification des Organismes de Bassin. [2]

La gestion des eaux souterraines doit être fondée sur une bonne compréhension des caractéristiques du système des aquifère.

La connaissance de la géométrie et des propriétés hydrodynamiques des milieux géologiques constitue un élément clef pour la compréhension du fonctionnement hydrologique des systèmes aquifères et, en particulier, pour la détermination de leurs modalités d'exploitation, de gestion et de protection durables.

Le Sahara septentrional constitué par des eaux souterraines, La région d'Ouargla fait partie de ce Sahara.

Face à ce contexte, un travail de collecte de données est proposé, dans lequel nous allons essayer d'étudier l'aspect hydraulique des ressources souterraines dans la cuvette d'Ouargla, ainsi que les méthodes et domaines d'exploitation.

Introduction Générale

Ces eaux souterraines sont des aquifères fossiles, présentées en deux types des nappes qui sont le complexe terminal exploité depuis plus d'un siècle et demi et le continental intercalaire.

Nous allons travailler sur le complexe terminal, dont l'objectif principale consiste sur la collecte des données et les compléter pour avoir une banque des données fiable, à fin de les exploiter aisément pour de contribuer d'aboutir une bonne méthode de gestion.

Notre travail est présenté en trois parties, résumées comme suit :

Partie I : c'est la partie bibliographique, il est composé de quatre chapitre, le premier chapitre présente les notions de base de l'hydrogéologie, le système aquifère du sahara septentrionale est présenté dans le deuxième chapitre, le troisième dévoile les essais de pompage et leurs interprétations et le quatrième présente les logiciels utilisés pour la réalisation d'une cartographie.

Partie II : présente la partie matériels et méthodes, il est composé de deux chapitre, le premier chapitre introduit la présentation de la zone d'étude et le deuxième la collection des données.

Partie III : résultats et discussions, il est composé de trois chapitre, le premier chapitre présent les résultats et les discussions de la collecte des données, le deuxième est consacré à la détermination de la transmissivité et le troisième donnera une présentation cartographique des forages du complexe terminale de la cuvette d'Ouargla.

Notre travail sera terminée par une conclusion générale et quelques recommandations afin de poursuivre ce travail.

Partie

Bibliographique

Chapitre I :

L'Hydrogéologie

I. Différent type des nappes

I.1. Définition d'une nappe :

Une nappe d'eau souterraine est définie comme « l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique » [3]

La configuration de l'aquifère porte sur les caractéristiques de ses limites géologiques et hydrodynamiques : on parle de conditions aux limites. En simplifiant, on assimile la base de l'aquifère à une formation imperméable (substratum). Pour sa limite supérieure, on distingue trois types : [4]

- hydrodynamique avec fluctuation libre : **aquifère à nappe libre**
- géologique imperméable : **aquifère à nappe captive**
- géologique semi perméable : **aquifère à nappe semi-captive**

I.2. Aquifère à nappe libre :

La surface piézométrique coïncide avec la surface libre de la nappe qui est surmontée par une zone non saturée. [5]

Il s'agit de la configuration la plus courante en nappe superficielle. La formation aquifère n'est pas saturée sur toute son épaisseur. Il existe entre la surface de la nappe et la surface du sol une zone de terrain non saturé contenant de l'air. Le niveau supérieur de la nappe est appelé niveau piézométrique, il se trouve toujours sous le niveau du sol. [4]

I.3. Aquifère à nappe captive :

Une nappe est dite captive ou « en charge » si elle est limitée au toit par une formation très peu perméable et si la charge hydraulique de l'eau qu'elle contient est supérieure à la cote de son toit. [6]

Nappe recélée par une couche perméable entièrement saturée d'eau et comprise entre deux couches (ou éponges) imperméables. Dans les nappes captives la pression de l'eau, en tout point, est supérieure à celle de pression atmosphérique. [7]

I.4. Aquifère à nappe semi-captive :

Nappe recélée par une couche perméable entièrement saturée d'eau dont des éponges ou les deux sont des couches semi-perméable. [8]

II. La capacité du système aquifère (La productivité):

La «productivité» d'un aquifère dépend d'une combinaison de la porosité et de la perméabilité des matériaux aquifères, ainsi que la «taille» de l'aquifère. Les éléments les plus significatifs de la diversité hydrogéologique naturelle sont :

- Une variation importante de la capacité de stockage des aquifères (porosité / emmagasinement), entre les sédiments granulaires non consolidés et les roches fracturées très consolidées
- Une variation importante de la capacité de transmettre l'écoulement des eaux souterraines (perméabilité) entre les calcaires karstiques (caverneux) et l'argile dense, ou les roches cristallines intactes solides
- Une grande variation aussi bien de l'extension de l'aquifère, que de son épaisseur saturée, qui dépendent des environnements géologiques; ceux-ci peuvent être très divers : par exemple, on peut avoir des roches cristallines altérées à régolite, des sédiments alluviaux peu profonds, ou des profonds bassins tectoniques; il en résulte un large éventail de capacité de stockage, mais aussi de potentiel d'écoulement des aquifères (transmissivité). [2]

III. Différents paramètres hydrodynamiques des nappes :

➤ La perméabilité :

La perméabilité est une mesure de la capacité d'un type de sol (ou formation) à se laisser traverser par l'eau. [9] La perméabilité correspond à la vitesse à laquelle l'eau circule au sein de la roche. [10]

D'après la loi de DARCY le coefficient de perméabilité K peut être défini comme le volume d'eau qui s'écoule pendant l'unité de temps à travers l'unité de surface d'une section de terrain sous un gradient hydraulique égal à l'unité. Il a la dimension d'une vitesse. [8]

➤ La porosité :

La porosité est une mesure du pourcentage d'espace libre dans une formation [9]

La porosité totale représente l'ensemble des vides présents dans une roche. Elle s'exprime par le rapport du volume des vides au volume total du milieu. [1]

$$N = \frac{V^{\circ}}{V_t} \text{ en \% [1]}$$

Avec :

V° : Le volume des vides

V_t : Le volume total

N : la porosité (son dimension)

➤ Porosité efficace :

La porosité efficace représente le volume d'eau mobilisable par gravité. [1]

$$N = \frac{V_e}{V_t} \text{ en \% [6]}$$

Avec :

V_e : Volume d'eau gravitaire

V_t : Le volume total

➤ **Le coefficient d'emménagement : (sans dimension)**

Le coefficient d'emménagement (S) représente la quantité d'eau libéré sous une variation unitaire de la charge hydraulique, c'est-à-dire sous l'effet d'une baisse du niveau d'eau. Il conditionne l'emménagement de l'eau souterraine mobile dans les vides du réservoir.

Il est utilisé pour caractériser plus précisément le volume d'eau exploitable par un forage et se détermine lors de pompages d'essai. [1]

$$S = \frac{V}{\Delta h \cdot A} [11]$$

Avec :

V : le volume en m^3

A : la surface en m^2

Δh : La charge hydraulique

Une capacité de stockage des eaux souterraines exprimée par le coefficient d'emménagement ou la porosité efficace. [2]

➤ **Transmissivité :**

La transmissivité d'un aquifère représente la capacité d'un aquifère à mobiliser l'eau qu'il contient. Elle se détermine lors de pompages d'essai.[1]

$$T = KE [1]$$

Avec :

E : L'épaisseur de l'aquifère en (m)

K : La perméabilité de la nappe en (m/s)

T : la transmissivité en (m^2/s)

Une capacité de transfert de l'écoulement de l'eau souterraine par gravité ou sous pression, qui peut être exprimée par la transmissivité. [2]

Chapitre II :

Systeme aquifère

I. Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines sont présentes dans les ouvertures de matériaux rocheux que sont les pores ou vides, ou les fractures qui constituent la porosité du matériau. Presque toutes les roches, quelque soit le type, l'origine ou de l'âge, possèdent un certain degré de porosité. Par conséquent, les eaux souterraines peuvent être trouvées dans tous les environnements géologiques. Si l'eau souterraine «utile» se trouve dans un matériau rocheux, cette roche est appelée un aquifère. [2]

L'eau souterraine constitue un milieu continu dans le réservoir dont seule une fraction, l'eau gravitaire, est mobile dans l'aquifère. [4]

Ces eaux souterraines sont présentes dans les ouvertures de matériaux rocheux que sont les pores ou vides, ou les fractures qui constituent la porosité du matériau [2]

II.L'Hydrogéologie

En régions arides, les aquifères profonds sont souvent l'unique ressource en eau. Il s'agit là d'eau fossile datant de périodes plus humides qu'aujourd'hui, et souvent exploitée à un taux excédant largement le taux de recharge actuel [12]

Les pluies ont un rôle important en produisant des crues qui peuvent être utilisées directement ou qui vont alimenter les nappes aquifères [13]

II.1.Le système aquifère de Sahara Septentrional (SASS) :

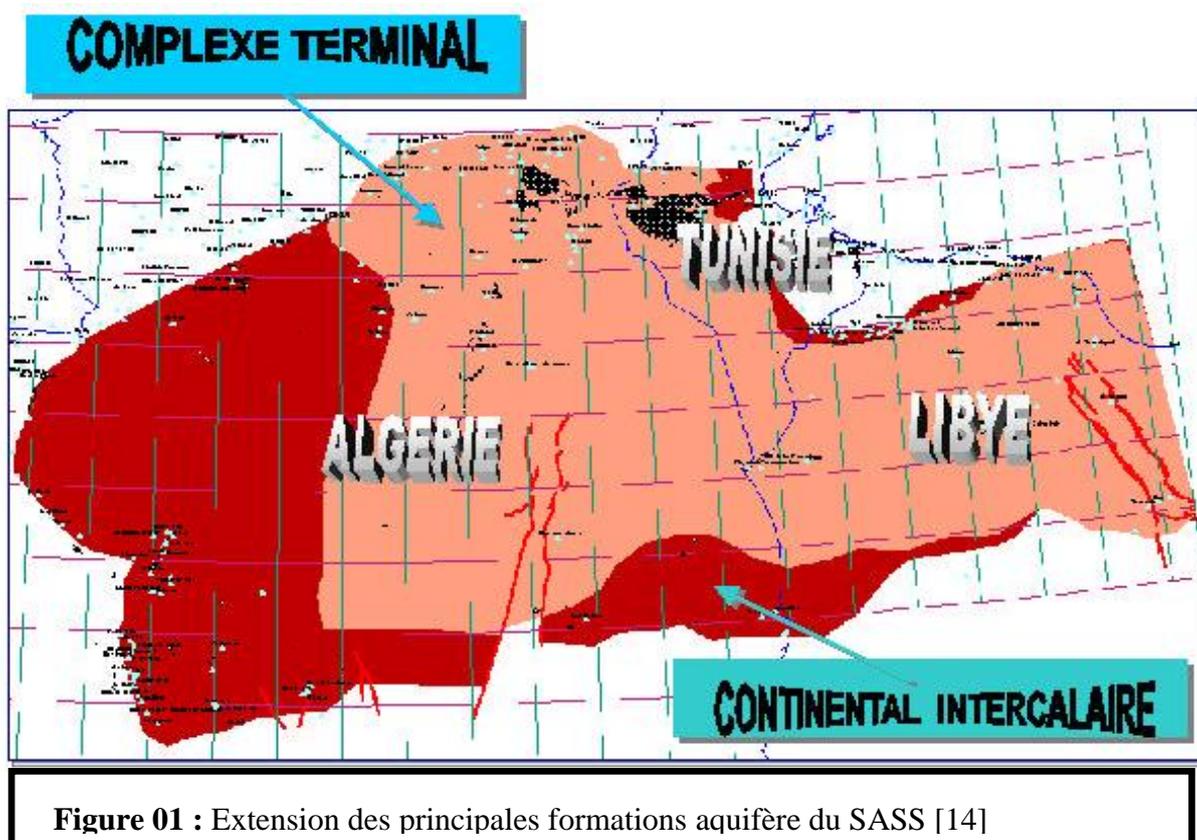
II.1.1.Définition de l'aquifère

Un aquifère est défini comme une formation géologique (ou parfois une partie d'une formation ou d'un groupe de formations) qui contient du matériau saturé, de perméabilité suffisante pour produire des quantités d'eau «satisfaisantes» vers les forages et/ou sources. Des unités aquifères peuvent être combinées dans des systèmes aquifères.

Les aquifères sédimentaires non consolidés sont composés principalement des matériaux meubles : sables, graviers, limons, sable argileux, argiles sableuses et argiles. Ils constituent un milieu poreux et continu. Les eaux souterraines sont stockées et transmises par les pores.

Le Système aquifère du Sahara Septentrional [SASS] occupe une superficie d'un peu plus d'un million de km² dans la partie occidentale de l'Afrique du Nord : environ 700 000 km²

en Algérie, 80 000 km² en Tunisie et 250000 km² en Libye. Ce sont des dépôts continentaux dans lesquels on distingue deux principales formations aquifères : celle du « Continental Intercalaire, ou CI » et celle du « Complexe Terminal, ou CT ». [14]



II.1.2. Les différents systèmes aquifères :

Les nappes aquifères représentent le capital hydraulique essentiel du Sahara algérien, bien qu'elles ne concernent qu'un tiers environ de sa superficie. Elles sont de trois types (Figure 2): **les nappes phréatiques** qui s'accumulent dans les horizons meubles superficiels, les nappes contenues dans les sables et les calcaires du tertiaire entre 80 et 400 m de profondeur et connues sous le nom de **complexe terminal**, celles enfin qui sont renfermées dans les grés et les sables du secondaire et constituent le système du **continental intercalaire** (plus souvent appelé l'albien) est essentiellement fossile [13]

Ces deux dernières formations sont constituées par une série de dépôts alternativement marins et continentaux déposés dans un vaste bassin sédimentaire [15]

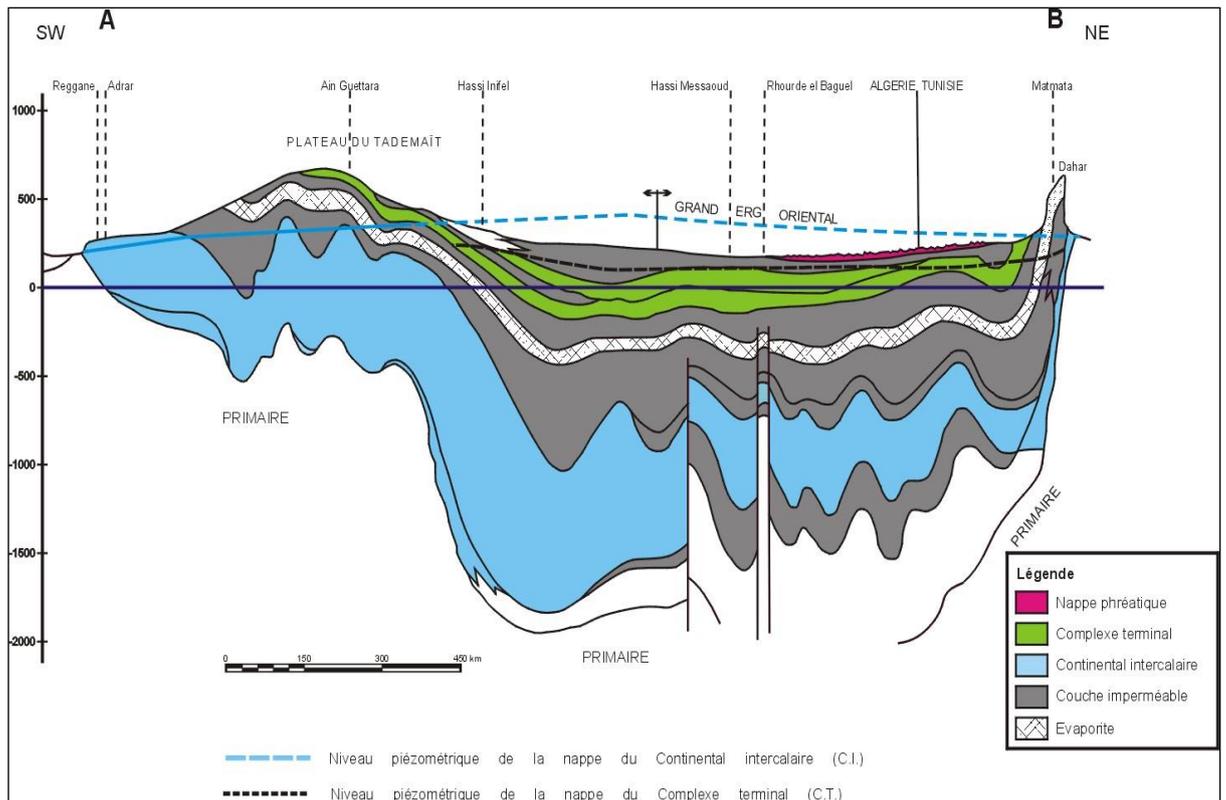


Figure 02 : Coupe hydrogéologique à travers le Sahara [15]

II.1.2.1. La nappe du continental intercalaire :

Le continental intercalaire est un réservoir profond du Sahara septentrional. Il est partagé entre trois pays maghrébins. L'Algérie, la Tunisie et la Libye.

Le continental intercalaire (CI) dans le domaine de l'hydrogéologie est constitué de dépôts clastique (argilo-gréseux) véritablement continentaux constituant un réservoir plus ou moins homogène rempli d'eau douce.

Cette nappe étant plus connue sous la dénomination d'Albien c'est le nom de l'étage géologique renfermant la couche aquifère supérieure du continental intercalaire est la plus exploitée. Le terme de continental intercalaire désigne l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées de Mésozoïque inférieur au Sahara entre deux cycles marins. [16]

II.1.2.2. La nappe du complexe Terminal :

La nappe du Complexe Terminal (CT) se localise dans le Sahara occidental et s'étend sur une superficie de 350.000 Km² avec une profondeur oscillant entre 100 et 500 m. Cette nappe regroupe deux systèmes aquifères, qui sont appelés nappe des sables et nappe des calcaires.

Le terme "nappe du complexe terminal" regroupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes. Cette nappe peut circuler dans l'une ou encore dans les deux formations litho-stratigraphiques suivantes :

- Le Sénonien et l'Eocène carbonatés.
- Le Mio-Pliocène sableux

La profondeur du "CT" est comprise entre 100 et 600 m et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m. [17]

➤ **La nappe du Mio-Pliocène :**

Formée de sable gravier et d'argile, elle rencontre à profondeur de 70 à 120 m et son épaisseur est de l'ordre de 30 à 50 m, le résidu sec de 3 à 5 g/l, et le débit 20-40 l/s.

Cette nappe utilisée à l'irrigation et à l'alimentation des eaux potables. [15]

➤ **La nappe Sénonien et l'Eocène carbonatés :**

Elle est séparée de la nappe mio-pliocène par une couche semi-perméable gypseuse-argileuse. Formée de calcaire fissuré, sa profondeur entre 160 et 250 m, l'épaisseur de 40 à 60 m, le résidu sec de 1.5 à 3 g/l et le débit de 10 à 30 l/s. Elle est exploitée à l'alimentation des eaux potables. [15]

II.1.2.3. La nappe phréatique :

La nappe phréatique dont le niveau est souvent proche de la surface (parfois moins de 1 mètre), généralement entre 1 et 2 m. Ces ressources superficielles sont importantes dans tout le Sahara, elles permettent d'irriguer les petites palmeraies, les jardins légumiers et d'abreuver les troupeaux et leurs propriétaires. [15]

Mais la profondeur de la nappe phréatique peut dépasser 30 m au Sud d'Ouargla. [15]

II.1.3. Les caractéristiques des nappes (Aquifère):

Un aquifère est défini par plusieurs grandeurs :

- Son épaisseur $b(m)$, mesurée perpendiculairement à sa base.
- Sa transmissivité $T(m^2/s)$, égale au produit de la conductivité hydraulique K par l'épaisseur de l'aquifère b . Dans le cas où la conductivité hydraulique varie avec la profondeur, la transmissivité est égale à l'intégrale de la conductivité hydraulique sur la hauteur entre le plancher et le toit de l'aquifère.
- Son coefficient d'emmagasinement S , correspondant à la quantité d'eau relâchée par unité de surface pour une variation de charge d'une unité. Dans le cas d'un aquifère à nappe captive, le coefficient d'emmagasinement est faible (de l'ordre de 10^{-5} à 10^{-3}), correspondant au rapport T/S ; - Dans le cas d'un aquifère à nappe captive, on parlera aussi du coefficient

d'emménagement spécifique S (m^{-1}), égal au quotient du coefficient d'emménagement S par l'épaisseur de l'aquifère b . [19]

II.1.3.1. Les caractéristiques du la nappe continental intercalaire :

Le Continental Intercalaire constitue incontestablement la ressource la plus importante au Sahara septentrional. Ses principales caractéristiques sont :

- Etendue : 840 000 km²
- Epaisseur : 50 à 1000 m
- Profondeur : 60 à 2400 m
- Profondeur au toit : 20 à 2000 m
- Epaisseur : 50 à 400 m
- Débit : 50 à 400 l/s
- Niveau statique : 10 – artésien (30 bars)
- Transmissivité : 10- 30 m²/s
- Alimentation moyenne : 270 Hm³/an
- Température : 25- 70 °C
- Salinité des eaux : 0,5 à 6 g/l. [20]

Chapitre III :
Essais de pompage
et leurs
interprétations

I. Le Forage d'eau :

En général, l'eau est extraite d'un forage à l'aide d'une pompe. Le forage est un trou circulaire de faible diamètre (<1 m) et de grande profondeur, creusé dans le sol et le sous-sol et équipé de tubes (métal, plastique) pleins ou perforés (crépine). [18]

Le forage est l'ouvrage moderne le plus répandu pour l'exploitation des eaux souterraines, ce terme générique correspondant à de nombreuses techniques de réalisation. [21]

Un forage peut être effectué en employant diverses méthodes. L'entreprise de forage est chargée de mettre en œuvre les techniques de forage adaptées aux conditions des terrains rencontrés.

Avant de prononcer la réception des travaux, il sera procédé par le superviseur aux opérations suivantes :

- Mesure de la profondeur finale de l'ouvrage à l'aide d'une sonde lestée
- Mesure du niveau statique de l'eau dans l'ouvrage à l'aide d'une sonde électrique
- Contrôle de la fermeture de l'ouvrage et de la hauteur du tube de tête dépassant le sol
- Contrôle de la remise en état des lieux
- Contrôle de la cimentation en présence du superviseur. [22]

I.1. L'utilisation du forage (L'exploitation) :

La réalisation d'un ouvrage répond avant tout à un besoin, un usage auquel on le destine. Cet usage peut être varié :

- La production d'eau pour la consommation humaine et animale
- L'irrigation des cultures
- La surveillance des nappes
- L'alimentation en eau potable
- La géothermie
- Les prélèvements / stockage d'hydrocarbures

I.2. Les caractéristiques du forage :

I.2.1. Caractéristiques du projet de forage :

- Profondeur totale en mètres
- Géologie et hydrogéologie
- Technique de foration
- Pré-tubage

- Tubage
- Si nécessaire: nature et granulométrie du gravier
- Cimentation
- Déblais de forage, boues et eaux extraites

I.2.2. Les caractéristiques du forage :

- Le lieu de forage
- Le nom de forage
- La profondeur de forage
- Le débit mobilisé (l/s)
- Le débit d'exploitation (l/s)
- Le débit pompé (l/s)
- Durée de pompage
- Le rabattement
- Diamètre de forage
- Rayon d'influence

I.3. Type de forage :

➤ **Forage artésien jaillissant :** Il s'écoule naturellement sans pompage. [17]. Dans les nappes captives (nappe de continental intercalaire).

➤ **Forage artésien :** Le niveau piézométrique, différent de celui de la surface de la nappe et toujours au-dessus de la base de la couche imperméable supérieure, est virtuel tant qu'un forage ou un piézomètre n'a pas atteint l'aquifère au travers de son toit et si l'eau remonte jusqu'à la surface (niveau piézométrique au-dessus de la surface du sol) [4]

➤ **Forage de reconnaissance :** reconnaissance des nappes et leurs composants

➤ **Forage d'exploitation :** le forage qui permet la mobilisation de l'eau pour les différents usages socio-économiques : alimentation en eau potable, irrigation, industrie.

II. Essais de pompage :

Avant d'exécuter des essais de nappe, il est nécessaire de prendre connaissance des conditions géologiques et hydrogéologiques. De cette façon, on peut esquisser la géologie de l'aquifère, et déterminer par exemple sa lithologie, son épaisseur et ses limites. Pour les

limites, il est important de connaître les caractéristiques et l'épaisseur des couches formant le toit et le mur de la nappe. [23]

II.1.L'objectif des essais de pompage :

Une fois le forage terminé et l'avant-puits mis en place, un essai de pompage est effectué. Il a pour objectifs :

La détermination des différentes caractéristiques hydrodynamiques de la nappe aquifère :

- La perméabilité K
- La transmissivité T
- L'étendue de la nappe : le rayon d'action R_a (rayon d'influence)
- Le coefficient d'emmagasinement S

Le réglage optimal d'exploitation d'un forage pour éviter la surexploitation et l'assèchement de la nappe, à travers :

- La détermination du débit spécifique, du rabattement spécifique, la productivité de l'ouvrage, le débit maximum admissible et le rabattement maximum admissible. [24] Avec la courbe $s=f(Q)$, véritable fiche d'identité de l'ouvrage, établie d'après les pompages d'essai par paliers de débits (essai de puits). [7]

- La détermination des durées et des périodes de pompage.
- La détermination de la position optimale pour l'emplacement de la pompe. [24]
- Vérifier les capacités de production
- Evaluer l'influence du futur prélèvement sur les ouvrages voisins [25]
- Déterminer quelle quantité d'eau peut être pompé et à quel rythme
- Quelle pompe choisir et à quelle profondeur installer [26]
- Les conditions d'exploitation de l'ouvrage
- L'évolution des rabattements en fonction du débit et du temps pour une exploitation de longue durée. - les paramètres hydrodynamiques, S et T, calculés d'après des pompages d'essai de longue durée, ainsi que les caractéristiques particulières de l'aquifère telles que les conditions aux limites, les hétérogénéités, la drainante et le débit d'exploitation optimal de l'ouvrage. (essai de nappe). [7]

Les tests de pompage sont d'autant plus importants que le prélèvement envisagé est élevé. On distingue les essais de pompage par paliers et les Essais de pompage à débit constant. [24]

II.2.Caractéristiques des essais de pompage

II.2.1.Choix de la pompe

La puissance de la pompe doit permettre d'obtenir un débit suffisamment élevé pour créer des rabattements mesurables des distances qui, suivant les cas, pourront atteindre 100 à 200 m.

Après l'installation de la pompe, le puits doit être développé. On commence donc à pomper à un faible débit, jusqu'à l'obtention d'eau claire, puis on passe à un débit plus grand, jusqu'à obtenir de nouveau de l'eau propre, et ainsi de suite jusqu'au débit maximum, qui ne sera pas dépassé durant l'essai. Si l'on a d'abord pris le soin d'achever les piézomètres, le développement est un excellent moyen pour contrôler leur réaction et leur bon fonctionnement. [23]

II.2.2. Matériel

Le matériel pour la mise en œuvre des essais est le suivant :

- Chronomètre ;
- Sonde de mesure graduée, sonore ou lumineuse, pour les suivis des niveaux, ou centrale d'acquisition automatique ;
- Mètre ruban
- Bacs étalonnés de dimension adaptée au débit pompé, éventuellement compteur électrique
- Bordereaux de relevé, crayon. [27]

II.2.3.Aménagements

Les aménagements nécessaires aux tests sont les suivants :

- Installation de la pompe dans le forage et de son exhaure nettoyés et désinfectés si nécessaire (avec un tube en petit diamètre pour descendre la sonde de mesure des niveaux de nappe)
- Vanne de réglage du débit (en dessous du débit critique)
- Aménagement de l'exhaure de façon à ce que l'eau rejetée ne puisse pas se ré-infiltrer dans le terrain (suffisamment loin, en dehors du cône d'appel du pompage, dans le sens de la pente...) [27]

II.3.Type des essais de pompage

I.3.1.Essais de pompage par palier (Essais de forage) :

II.3.1.1.Objectif :

- Evaluer les caractéristiques du complexe aquifère / ouvrage de captage :

1. Pertes de charges dans l'ouvrage et son environnement direct
2. Débit spécifique (m^3/h) et rabattement spécifique $m(m^3/h)$
3. Débit critique (m^3/h)
4. Productivité, Rendement

- Déterminer la courbe caractéristique de l'ouvrage ; $s=f(Q)$ au temps t [28]

Les essais de puits par paliers renseignent sur les caractéristiques des forages, compte tenu de leurs caractéristiques (profondeur, diamètre, équipement....) et ne préjugent en rien de ce que peut fournir la nappe de façon pérenne. Ils consistent en 3 à 5 pompages par paliers de débit croissant et de durée constante (1h à 2h), espacés d'un temps d'arrêt au moins équivalent permettant à la nappe de retrouver son niveau d'équilibre initial. Les débits sont toujours choisis inférieurs au débit instantané obtenu en fin de forassions.

Ces essais conduisent à la détermination du débit maximal d'exploitation (débit critique).

[27]

II.3.1.2.Déroulement de l'essai par palier :

Une fois l'équipement est prêt et que les différent tâches ont été attribuées, l'essai se déroule de la façon suivant :

- Choisissez un point de référence à partir duquel tous les relevés du niveau d'eau seront effectués, et mesurez le niveau d'eau résiduel.
- Ouvrez la vanne au réglage prévu pour le premier palier et simultanément la pompe et le chronomètre
- Mesurez le niveau d'eau dans le forage (la durée de chaque palier, 3 ou 4 ayant été fixée lors des préparatifs de l'essai avec au moins 1 heure pour la descente et 1 heure pour la remontée).
- Mesurez le débit de pompage juste après le début de palier, puis à intervalles réguliers.
- A la fin du 1^{er} palier, ouvrez la vanne jusqu'au réglage prévu pour le 2^{ème} palier notez l'heure (ou redémarrez le chronomètre) et répétez les mesures du niveau d'eau et du débit de pompage
- Répétez la procédure pour les paliers suivants, en augmentant progressivement le débit de pompage à chaque palier.

- A la fin de dernier palier (qui sera probablement le 4 ou le 5 à débranchez la pompe, notez l'heure (ou redémarrez le chronomètre) et mesurez la remontée du niveau d'eau aux mêmes intervalles que ceux auxquels vous avez mesuré le rabattement lors de chaque palier.[26]
- Si on obtient une courbe caractéristique concave, l'ouvrage est en cours de développement, et l'essai par paliers n'est pas recevable. Il convient de le recommencer, après avoir mené à son terme le développement.
- Si la courbe est linéaire, le débit d'exploitation pourra être pris comme étant égal au débit maximal testé.
- Si la courbe est convexe, le débit critique est dépassé. Il est alors déterminé graphiquement comme étant l'intersection des tangentes de la première et de la seconde partie de la courbe (point d'inflexion). [29]

II.3.2.Essais de pompage par débit constant ou pompage long durée (Essais de la nappe) :

II.3.2.1.Objectif :

- Déterminer les caractéristiques hydraulique de l'aquifère ;
 - **En nappe captive :**
 1. Transmissivité $T(m^2/s)$
 2. Coefficient d'emmagasinement S
 3. Rayon fictif R_f (ou rayon d'influence du pompage $a(m)$)
 - **En nappe semi captive :**
 1. Résistance hydraulique vertical c (jours à(ou résistance à l'écoulement vertical)
 2. Facteur de drainance L (m)
 - **En nappe libre**
 1. Facteur d'égouttement
- Déterminer les conditions aux limite de l'aquifère [28]

Le pompage longue durée a pour but essentiel de déterminer deux paramètres hydrodynamiques de l'aquifère. Ce sont la transmissivité T et le coefficient d'emmagasinement S . Dans le cas d'une nappe libre S peut être assimilée à la porosité efficace de l'aquifère. [30]

Une fois que ce test a permis d'estimer le débit de production, il faudrait le confirmer en pompant à un débit constant pendant au moins 24 heures (pour les forages à haut débit, le pompage durera 48 heures), la durée la plus communément admise est de 72 heures. C'est ce qu'on appelle un test à débit constant. Le rabattement devrait être mesuré à intervalles

réguliers tout au long du test. À la fin du test, dès que la pompe est arrêtée, le niveau de l'eau devrait être surveillé à mesure qu'il remonte (jusqu'au niveau statique de l'eau). Si le niveau de pompage se stabilise à un niveau sans danger au-dessus des crépines et de l'orifice d'aspiration, cela signifie que ce débit de production est approprié. [24]

II.3.2.2. Déroulement de l'essai à débit constant

- Choisissez un point de référence à partir duquel tous les relevés du niveau d'eau seront effectués, et mesurez le niveau d'eau résiduel.
- Ouvrez la vanne au réglage approprié et enclenchez simultanément la pompe et le chronomètre
- Mesurez le niveau d'eau dans le forage toutes les 30 secondes pendant les 10 premières minutes, puis toutes les minutes pendant 30 minutes, et en fin toutes les 5 minutes pendant 2 heures. 2 heures, observez la vitesse à laquelle le niveau d'eau baisse encore, et définissez une fréquence appropriée pour les relevés de niveau d'eau jusqu'à la fin de l'essai.
- Mesurez le débit de pompage juste après le début de l'essai, puis à intervalles réguliers
- A la fin de l'essai débranchez la pompe, notez l'heure et mesurez la remontée du niveau d'eau aux mêmes intervalles que ceux auxquels vous avez mesuré le rabattement. Continuez jusqu'à ce que l'eau soit remontée au niveau d'avant l'essai. [26]

II.3.3. Essai de remontée

Consiste à observer la remontée des niveaux d'eau après l'arrêt du pompage à la fin d'un essai à débit constant (et parfois après un essai par paliers). Il est utile pour vérifier les caractéristiques de l'aquifère. [31]

II. Interprétation de données

Après le pompage d'essai, on est en possession de toutes les informations telles que le débit du puits, le rabattement dans le puits. On doit alors passer à l'analyse des résultats.

Cette analyse comprend :

- La mise en graphique des données
- La détermination de la catégorie de l'aquifère où s'est déroulé l'essai.
- L'interprétation des essais se fait graphiquement en traçant le graphe représentant $s=f(Q)$.
- La courbe obtenue est la courbe caractéristique de l'ouvrage. [23]

III.1. Méthode d'interprétation d'essais de pompage

Comme il est impossible de passer en revue toutes les techniques, on va détailler un certain nombre de méthodes qu'on peut les appliquer couramment dans les conditions réelles

du terrain de notre région. Ils ont comme objectif de déterminer les paramètres hydrodynamiques des nappes :

III.1.1. Différentes méthodes en nappe captive :

➤ Régime transitoire en nappe captive :

Méthode de **Cooper - Jacob**

Méthode de **Theis**

Méthode de **chow**

➤ Régime permanent en nappe captive :

Méthode de **Thiem**

III.1.2. Différente méthode en nappe semi-captive :

➤ Régime permanent en nappe semi-captive

Méthode de **Glee**

III.1.1.1-Méthode semi-logarithmique de JACOB:

✓ Conditions d'application de la méthode de Cooper-Jacob :

Les hypothèses et les conditions d'application de cette méthode sont les suivantes :

- L'aquifère a une extension latérale infinie
- Le diamètre du puits est négligeable
- Le puits est parfait
- L'aquifère est homogène, isotrope, d'épaisseur constante sur toute la zone influencée

par le pompage

- L'écoulement vers le puits est transitoire. [23]

✓ Mode d'opération :

Elle consiste tout d'abord, à reporter les données du pompage sur un papier graphique semi-logarithmique, $s = f(\log t)$. [26]

➤ En détermine la valeur de transmissivité par la relation suivante :

$$T = \frac{0.183Q}{c}$$

Avec :

T :transmissivité

C : la pente

Q :débit pompé en m^3/h , ou $m^3/jour$

L'expression de Jacob représente l'équation de la courbe caractéristique et permet de calculer les pertes de charges de l'ouvrage. Cette expression est de la forme :

$$s = BQ + CQ^2$$

Avec

s : le rabattement dans le puits en m,

Q : le débit de pompage en m^3/h , ou $m^3/jour$

BQ : représente les pertes de charges linéaires, provoquées dans l'aquifère au voisinage du puits.

CQ² : représente les pertes de charges quadratiques, dans l'ouvrage, les crépines et le tubage.

Pour déterminer le rabattement en utilisant l'approximation logarithmique de Jacob, on peut écrire [22] :

$$s = \frac{0,183.Q}{T} \text{Log} \frac{2,25T.t}{S.r^2} [22]$$

Avec :

s : le rabattement en m

Q : débit pompé en m^3/s

T : transmissivité en m^2/s

S : le coefficient d'emmagasinement

t : le temps depuis lequel on pompe

r : rayon de puits

➤ **Le coefficient d'emmagasinement déterminé par la relation suivant :**

$$S = \frac{2.25Tt}{r^2} [22]$$

Avec:

T : transmissivité en m^2/s

S : le coefficient d'emmagasinement

t : le temps depuis lequel on pompe

r : rayon de puits

➤ **Le rayon d'influence du pompage :**

Il Déterminé par relation suivant :

$$R=1.5 \sqrt{\frac{Tt}{s}} \text{ [8]}$$

T : transmissivité en m²/s

t : le temps depuis lequel on pompe

s : le rabattement en m

Pour dessiner une courbe caractéristique des essais de pompage (Méthode de JACOB) :

- Préparez un graphique sur du papier millimétré semi logarithmique $s = f(\log t)$.
- Reportez les niveaux d'eau en fonction du temps pour la durée de l'essai. Tracez la droite la mieux ajustée qui passe par ces points.
 - À partir de cette droite, mesurez le paramètre Δs , qui est la différence de niveau d'eau (en mètres).
 - Calculez le débit moyen de pompage sur la durée de l'essai, Q en m³/jour. [26]

Introduisez les valeurs de Q et Δs dans la formule ci-dessous pour calculer la

transmissivité :

$$T = \frac{0.183 Q}{\Delta s} \text{ [26]}$$

Δs (c) : est la pente de la droite de Jacob en m.

Q : le débit moyen de pompage

Pour analyser les résultats des essais par paliers, procédez de la manière suivante :
(déterminer les pertes de charge linéaire et quadratique et le débit de pompage)

- Calculez le débit de pompage moyen pour chaque palier de l'essai
- Prenez les relevés du niveau d'eau enregistrés à la fin de chaque palier
- Calculez le rabattement spécifique au moyen des couples (s_1/Q_1 , s_2/Q_2 , etc.). Puis dessinez un graphique $s/Q = f(Q)$ Tracez la droite la mieux ajustée passant par les points : le point où la droite coupe l'axe y représente la constante B et la pente de la droite représente la

constante C . Les valeurs de B et C peuvent ensuite être utilisées dans l'équation $s = BQ + CQ^2$ [32]

III.1.1.2. Méthode bi-logarithmique de THEIS :

En 1935, THEIS fût le premier à proposer une solution pratique pour l'écoulement des eaux vers les ouvrages de captage en régime transitoire. [23]

✓ Conditions d'application de la méthode de THEIS :

- Aquifère à nappe captive
- Infinie
- D'épaisseur constante
- A substratum et toit imperméables
- L'écoulement vers le puits est en régime transitoire
- Le diamètre du puits de pompage est très faible, c'est à dire que l'on peut négliger

l'emmagasinement dans le volume du puits. [23]

- La transmissivité est constante, c'est-à-dire que soit la nappe est captive à épaisseur constante, soit la nappe libre est peu rabattue (rabattement / charge initiale < 25%). [33]

✓ Mode d'opération :

Le calcul des paramètres hydrodynamiques T et S se fait en utilisant la courbe de THEIS et la courbe obtenue à partir des données d'un pompage d'essai à débit constant.

- La méthode consiste dans un premier temps, à représenter sur un graphique $s=f(t)$
- Ceci doit être fait sur du papier transparent et de même module que le graphique représentant la courbe standard de THEIS. Construire une "courbe type" de la fonction de puits de Theis $W(u)=u$.

- Dans un deuxième temps, on superpose les deux graphiques en faisant coïncider la plus grande partie des deux courbes tout en conservant parallèle les axes de ceux-ci

- Enfin, la coïncidence des deux graphiques permet de faire correspondre, à un point d'un graphique, un point de l'autre. L'identification des coordonnées de ce couple de point (s, t) et $[w(u), 1/u]$ permet de calculer T et S par les formules [23]:

$$T = \frac{0.08Q}{s} w(u) [23] \quad \text{et} \quad S = \frac{4Tt}{x^2(1/u)} [23]$$

Avec :

T : transmissivité

s : rabattement

Q : débit pompé

S : le coefficient d'emmagasinement

t : le temps, depuis le début du pompage en (s/heure/jour).

III.1.1.3.Méthode de Chow :

Chow (1952) développa une méthode dont l'intérêt est qu'on n'a pas besoin de tracer la courbe de la méthode de Theis, sans pour autant être limité aux faibles valeurs de r et aux grandes valeurs de t , comme dans la méthode de Jacob On doit satisfaire aux mêmes hypothèses et conditions que pour la méthode de Theis car on s'appuie directement sur l'équation de Theis.[23]

$$s = \frac{Q}{4\pi T} w(u) \quad [23]$$

Fin de calculer les valeurs de $W(u)$ et u correspondant au rabattement s mesuré au temps t , CHOW (1952) introduisit la fonction.[23]

$$F(u) = \frac{w(u)e^u}{2.30} \quad [23]$$

$F(u)$ se calcule facilement, comme on le verra plus bas. [23]

✓ Mode d'opération :

- Porter sur un papier semi-logarithmique $s = f(t)$.
- Sélectionner un point quelconque **A** de la courbe passant par l'ensemble des points et tracer la tangente en **A** à la courbe.

- Lire sur l'axe des s la valeur du rabattement au point **A**

- Calculer la pente de la tangente, c'est à dire la différence de rabattement pour un cycle \log du temps. [23]

- Calculer la valeur de $F(u)$ au point **A** à partir de :

$$F(u) = \frac{s_A}{\Delta s_A} \quad [23]$$

- Connaissant $F(u)$, trouver la valeur correspondante de $W(u)$ et de u à partir de l'abaque de la courbe.

- Noter la valeur de t_A sur l'axe des temps de la courbe d'essai et porter les valeurs numériques appropriées dans les équations suivantes pour trouver T et S . [23]

$$s = \frac{Q}{4\pi T} w(u) \quad [23] \quad \text{et} \quad S = \frac{4Ttu}{r^2} \quad [23]$$

Avec :

s: le rabattement

S: coefficient d'emmagasinement

III.1.1.4.Méthode de Thiem :

✓ Condition d'application de la méthode de Thiem :

- La nappe est captive
- L'écoulement vers le puits est en régime permanent
- On pompe à un débit constant.
- L'aquifère est homogène, isotrope et d'épaisseur uniforme dans la zone influencée par le pompage d'essai [23]

La relation de débit en cours d'utilisation des piézomètres est :

$$Q = \frac{2\pi(s_2 - s_1)}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \quad [23]$$

Avec :

Q : débit pompé en m³/jour

s : le rabattement en m

r : la distance entre le puits et le piézomètre en m

✓ Mode d'opération :

- Porter sur un papier la courbe de $s=f(r)$
- Tracer la droite qui s'ajuste le mieux à l'ensemble des points; on l'appelle droite rabattement-distance
 - Mesurer la pente Δs de cette droite, c'est à dire la différence de rabattement maximal correspondant à un cycle log de r , soit $r_2/r_1 = 10$ ou $\log r_2/r_1 = 1$. L'équation (1) se réduit alors à

$$Q = \frac{2\pi T}{2.30} C \quad [23]$$

Q : le débit pompé en m³/jour

T : la transmissivité en m²/jour

C : La pente (la différence de rabattement sur la courbe) [23]

Reporter les valeurs numériques de Q et de C dans l'équation et résoudre par rapport à T.

$$T = \frac{Q \cdot 2.30}{2\pi C} \quad [23]$$

T : la transmissivité en m²/jour [23]

III.1.2.1. Méthode de Glee :

On doit remplir les conditions suivantes :

- La nappe est semi-captive
- L'écoulement vers le puits est en régime permanent
- La surface libre reste constante

De Glee , étudiant l'écoulement permanent d'un aquifère soumis à la drainance par une couche semi-perméable, a établi la formule.[23] :

$$s = \frac{Q}{2\pi T} K \left(\frac{r}{L} \right) \quad [23]$$

Avec

s : rabattement maximal (=régime permanent) en m dans un piézomètre

Q : débit de pompage en m³/jour

L = \sqrt{Tc} : facteur de drainance, en m

c = **D'/k'** : résistance hydraulique verticale de la couche semi-perméable, en jour.

3K₀(x) : fonction modifiée de Bessel d'ordre zéro et de seconde espèce (fonction de Hankel). [23]

✓ Mode d'opération :

Construire une courbe type des valeurs de $\frac{s}{Q} (x)$ en fonction de x, sur un papier bi-logarithmique. [23]

- Porter sur une feuille de papier bi-logarithmique de même module $s=f(r)$

- Superposer la courbe d'essai à la courbe type, en maintenant les axes de coordonnées respectivement parallèles entre eux et chercher la meilleure coïncidence possible entre les deux courbes
- Choisir un point arbitraire **A** dans la zone de chevauchement des deux feuilles, et noter pour ce point **A** les valeurs de **s**, **r**, **Ko(r/L)** et **r/L (=x)**.
- Porter ces valeurs dans les équations

$$T = \frac{Q}{2\pi s} K \left(\frac{r}{L} \right) \quad [23] \quad \text{et} \quad C = \frac{L^2}{T} \quad [23]$$

Avec :

T : transmissivité

L = \sqrt{Tc} : facteur de drainance, en m

c = **D'/k'** : résistance hydraulique verticale de la couche semi-perméable, en jour. [23]

IV. La comparaison entre les méthodes mentionnées :

- Méthode de Theis est utilisée lorsque le temps **t** est petit (le temps de pompage)
- Les conditions d'utilisation des méthodes de Theis et Jacob sont le même (l'aquifère a une extension latérale infinie, l'écoulement vers le puits est transitoire, l'épaisseur de l'aquifère est constant,...etc.)
- La méthode de Tiem utilisé au cas où l'écoulement vers le puits est en régime permanent-On pompe à un débit constant- épaisseur uniforme, nappe captive.
- La méthode de Glee utilisé dans la nappe semi-captive.
- Toutes les méthodes s'appuient sur des courbes pour trouver des solutions.

Chapitre IV :

Le logiciel utilisé

pour la cartographie

I. Cartographie des forages

La cartographie est la représentation de données sur un support réduit représentant un espace réel avec comme objectif la simplification pour une meilleure compréhension des phénomènes. [34]

Pour réaliser une cartographie des forages du CT avec leurs base des données, en utilisent le logiciel système information géographique (SIG).

I. 1. Logiciel utilisé

I. 1.1. Le SIG

Système informatisé associant des bases de données géographiques et des logiciels pour assurer leur gestion (d'organiser, de gérer, traiter, de stoker et la mise à jour) et la production de représentations visuelles, cartographiques notamment, issues de leur traitement.

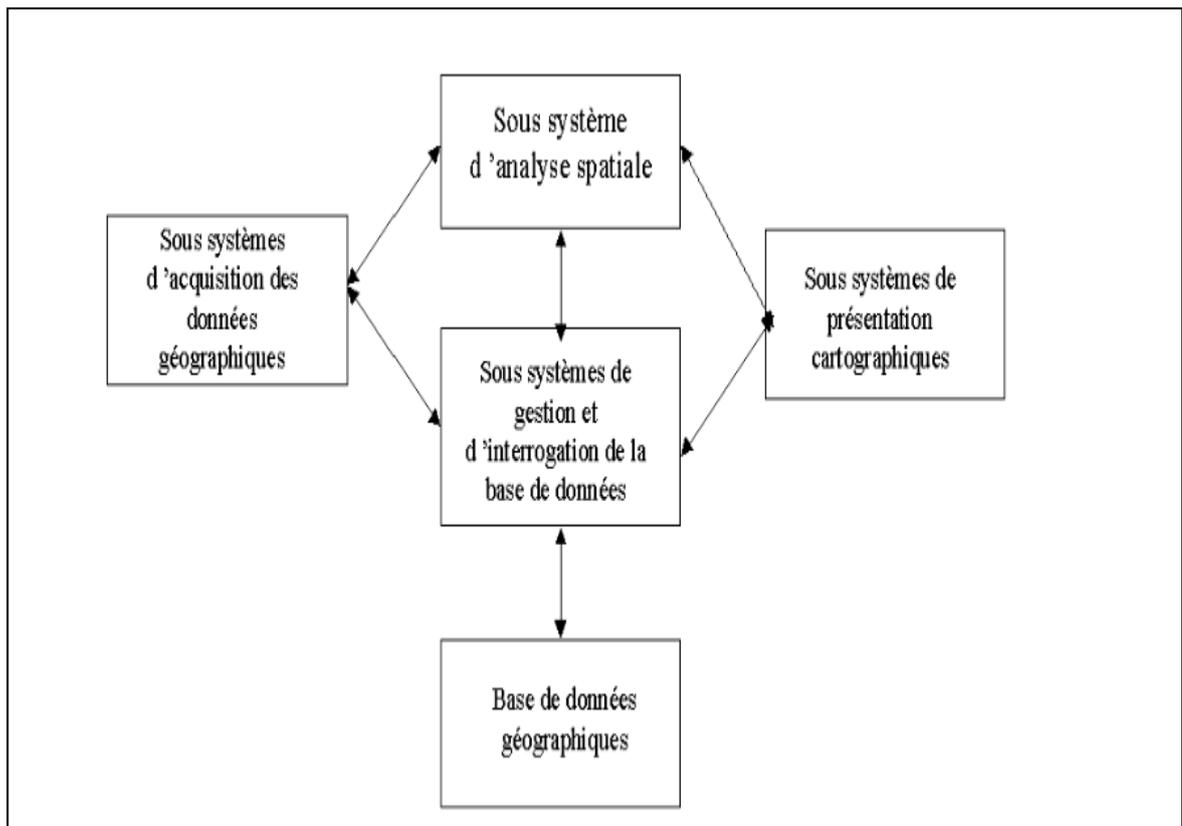


Figure 03 : Structure d'un SIG [35]

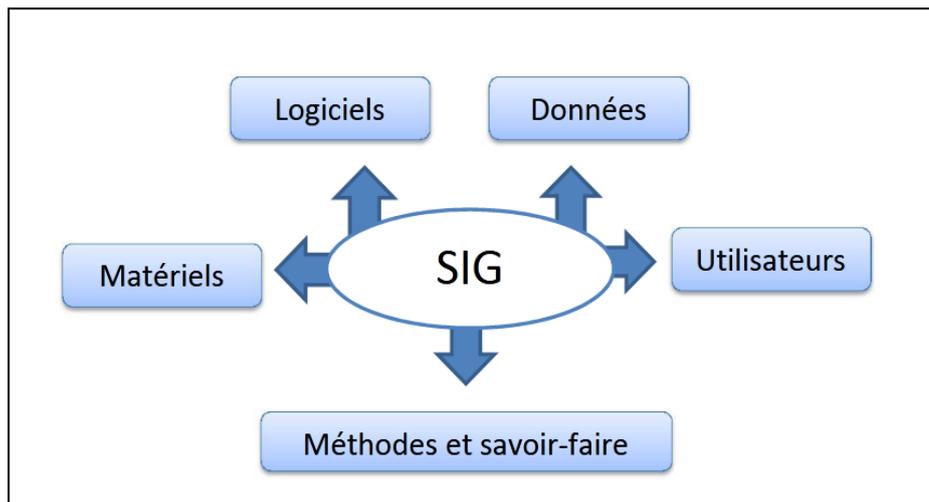


Figure 04 : Les composants d'un SIG [35]

Un SIG répond à 5 fonctionnalités (les 5 A) :

- Abstraction: modélisation de l'information
- Acquisition: récupérer l'information existante, alimenter le système en données
- Archivage: stocker les données de façon à les retrouver et les interroger facilement
- Analyse: réponses aux requêtes, cœur même du SIG
- Affichage: restitution graphique [35]

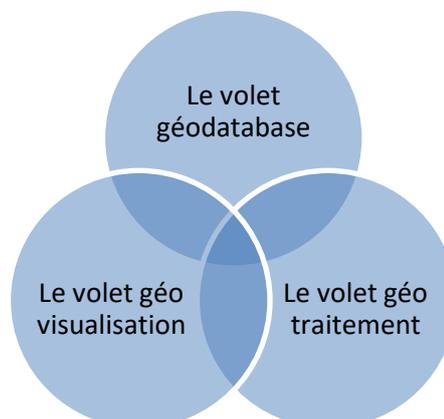
I.1.1.1. Les données

Les données sont certainement les composantes les plus importantes des SIG. Les données géographiques et les données tabulaires.

I.1.1.2. Les utilisateurs

Le SIG peut être exploité par les cartographes, les étudiants, hydrogéologues

I.1.1.3. Les trois volets d'un SIG



I.1.2.Arc Gis

Arc Gis Desktop comprend une suite d'applications intégrées : ArcMap, ArcCatalog et ArcToolbox. A l'aide de ces trois applications, on peut effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géo traitement.

Cette étape est la base du traitement sous Arc gis le fichier Excel de données.

I.1.2.1.Objectif de L'Arc Gis

Arc GIS vous permet de :

- Créer, partager et utiliser des cartes intelligentes
- Rassembler les informations géographiques
- Créer et gérer des bases de données géographiques
- Communiquer et partager des informations grâce à la puissance de la géographie et de la visualisation.

L'Arc Gis nous permet d'introduire les données pour avoir un tableau de bord pour la mise en place de ces données dans logiciel se forme une cartographie.

I.1.3.Arc Map

Représente l'application centrale dans ArcGIS Desktop. Il s'agit de l'application SIG utilisée pour toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse des cartes et la mise à jour. Dans cette application, on travaille avec des cartes. Ces dernières ont une mise en page contenant une fenêtre géographique avec un ensemble de couches, légendes, barres d'échelle, Flèches «Nord» et autres éléments. [37]

I.1.4.Google Maps

Google Maps permet principalement de pouvoir visualiser des données géographiques simplement tout en permettant une grande personnalisation des cartes et un partage facilité de ces dernières. Pouvoir visualiser des informations géographiques sur une carte, avec différentes couleurs et marqueurs, permet d'interpréter ces données beaucoup plus facilement qu'on pourrait le faire au travers d'une simple liste d'adresses. C'est donc un avantage non négligeable pour toutes les équipes d'une entreprise ayant à traiter ce type d'informations.

C'est aussi une fantastique aide à la décision dans un cadre professionnel. Google offre aussi plusieurs fonctionnalités qui peuvent s'avérer très utiles aux sociétés. [42]

I.1.4.1. Différentes utilisations de Google Maps

- Référencement de l'entreprise
- Gestion des stocks
- Plans intérieurs et Business View
- Analyse de la clientèle
- Gestion d'une flotte et des itinéraires
- Gestion de l'immobilier. [42]

La création d'une cartographie s'avère donc fondamentale pour gérer et organiser ce flux d'informations. Pour ce faire, nous avons utilisé GoogleMaps

Cette étape est la base du traitement sous GoogleMaps le fichier Excel de données.

II. Création d'une base des données des forages

Il s'agit de créer une base de données sera le lieu de stockage, la saisie, l'analyse et l'affichage de données localisées, de gestion et de gérer des données des forages de complexe terminal. Compte tenu des relations entre ces données, il sera alors possible de croiser et de traiter ces données

En raison de l'importance des données issues des différentes campagnes de mesures de débit, rabattement et des analyses chimiques de ses eaux .

Ce tableau de bord contribue à la création d'une méthode de gestion des forages.

Partie II :

Matériels et Méthodes

Chapitre I :

Présentation de la

zone

I. Présentation de la région d'étude

I.1. La situation géographique

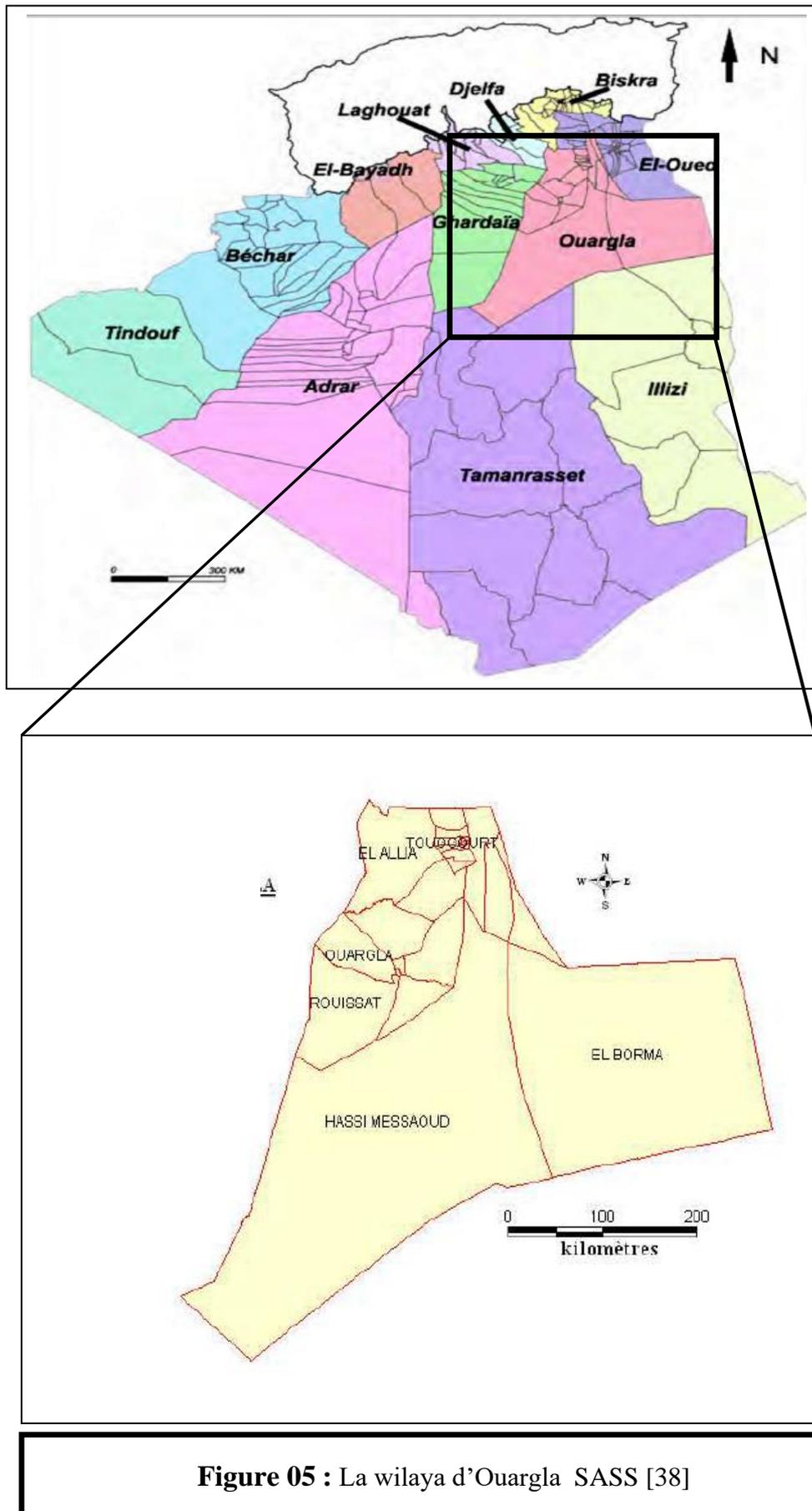
La wilaya d'Ouargla est située au Sud-Est du pays couvrant une superficie de 163.233Km² (Figure 1). [38]

Elle est limitée :

- Au Nord par les wilayas de Djelfa et d'El Oued ;
- A l'Est par la Tunisie ;
- Au Sud par la wilaya de Tamanrasset et la wilaya d'Illizi ;
- A l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa.

La région d'Ouargla se trouve dans le Nord-est de la partie septentrionale du Sahara; Il occupe sur une soixantaine de kilomètres le lit quaternaire de l'oued M'ya, depuis les ruines de Sedrata au sud jusqu'à Hassi El-Khefif au Nord). [39]

La zone d'étude est situé entre les longitudes 4° 38" et 6° 03" et les latitudes 31° 27" et 32° 31"



I.2. La Géologie

La région d'Ouargla fait partie du Bas-Sahara; qui se présente comme une cuvette synclinale ; il est caractérisé par un remplissage sédimentaire plus ou moins circulaire ayant un diamètre de 600 km. Tous les terrains affleurent plus ou moins sur les bordures depuis le cambrien jusqu'au tertiaire, s'enfonçant sous la couverture sédimentaire en grande partie dissimulée par le grande erg oriental.

Dans la région d'Ouargla, les terrains Mio-Pliocènes affleurent à la surface par endroits par une faible épaisseur des dépôts quaternaires (ergs et dunes). [15]

La vallée d'Ouargla est creusée dans les formations continentales du Mio-Pliocène. Il s'agit de sables rouges et de grès tendres à stratifications entrecroisées, avec nodules calcaires, entrecoupés de niveaux calcaires ou gypseux que l'on voit affleurer sur ses bords Est et Ouest.

Au-dessous du fond de la vallée, les puits et les sondages ont mis en évidence, sous quelques mètres de sable :

- une alternance de niveaux formés de calcaires, de calcaires marneux, de sables argileux et de grès tendres se terminant à la base par des argiles sableuses vers 30 à 45 m de profondeur ;
- des sables fins et gros se terminant par des argiles sableuses à leur base vers 55 m à 80 m ;
- les calcaires du Sénonien (jusque vers 250 m) ;
- un épais horizon d'argiles à évaporites (jusque vers 650 à 700 m) ;
- une centaine de mètres d'évaporites massives ;
- des argiles à évaporites plastiques, jusque vers 1050 – 1100 m de profondeur ;
- des sables et grès de l'Albien se trouvant entre 1050 – 1100 m et 1350 - 1400 m de profondeur. [29]

I.3. L'Hydrologie superficielle

I.3.1-Oued M'ya

Vraisemblablement depuis le Quaternaire ancien, il n'a pas existé d'écoulement concentré drainant la dépression de l'oued M'ya sur toute sa longueur. [40]

I.3.2-Oued M'zab

Il prend naissance à la région de Botma Touila -se situe à l'ouest de Ghardaïa- (cote 750 m), il coule sensiblement, d'Ouest en Est sur 225 km environ et il se termine à la sebkhat safioune (cote 110mà. [41]

I.3.3-Oued N'sa

Le bassin versant de oued N'sa couvre une superficie de 7 800 km². Il coule selon une direction Ouest-Est dans son cours supérieur, en direction Nord Nord ouest – Sud Sud Est dans son cours moyen sur une longueur d'environ 100 kilomètres et de nouveau vers l'est en son cours inférieur pour se déverser dans la sebkha Safioune. Les crues sont également exceptionnelles. La dernière date de 1994, où le débit enregistré a été de 35 m³/seconde. [29]

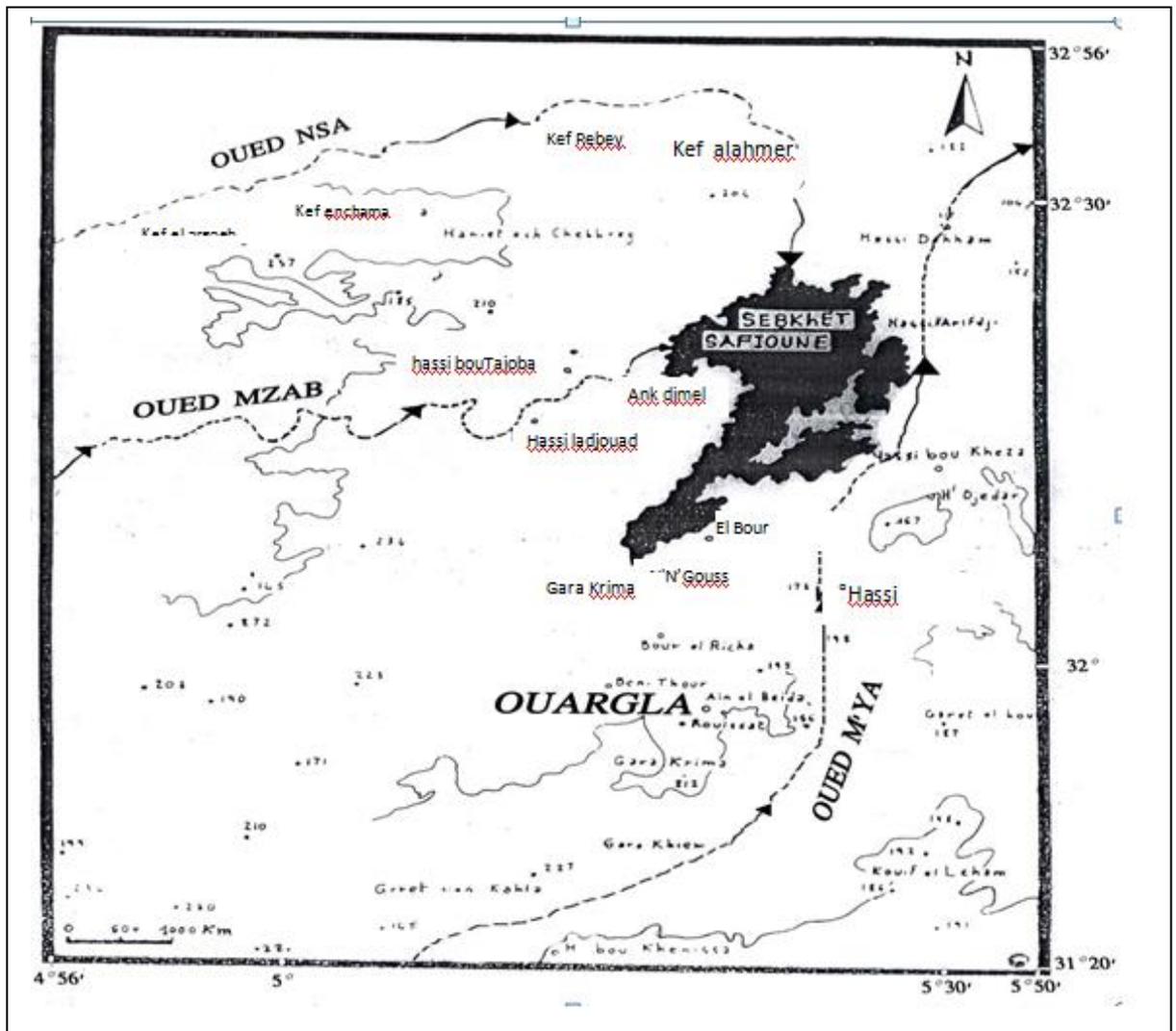


Figure 06: Le réseau hydrographique de la région d'Ouargla [15] (modifié)

I.4. Le climat

Le climat d'Ouargla est particulièrement contrasté malgré la latitude relativement septentrionale. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air. [39]

I.4.1. Données brutes

I.4.1.1. Les précipitations

Les précipitations sahariennes sont caractérisées par leur faible importance quantitative et les pluies torrentielles sont rares.

La pluviométrie est très réduite et irrégulière à travers les saisons et les années, leur répartition est marquée par une sécheresse presque absolue de mois de mai et d'août, par un maximum en Janvier avec 14,25 mm. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 51,76 mm pour la période étudiée.

I.4.1.2. L'humidité de l'air

Le taux d'humidité relative varie d'une saison à l'autre, il atteint son maximum au mois de décembre avec un taux de 59,92%, et une valeur minimal au mois de juillet avec un taux de 25,33% avec une moyenne annuelle de 42,06%.

I.4.1.3. L'évaporation

La région connaît une évaporation très intense renforcée par les vents chauds, elle est de l'ordre de 3214,82 mm/an, avec une valeur maximale de 488,58mm au mois de Juillet.

➤ L'insolation

La durée moyenne de l'insolation est de 270,63 heures/mois, avec un maximum de 331,83 heures en juillet et un minimum de 208,17 heures en Décembre.

➤ Le vent

D'après le tableau I on remarque que le vent est fréquent pendant toute l'année, la valeur maximale est enregistrée au mois de Juin avec 4,61 m/s.

➤ La température

La température moyenne annuelle est de 23 ,65°C, avec un maximum en Juillet de 36.03°C et un minimum en Janvier de 11,92°C pour la période 2000-2011. [36]

L'organigramme de notre travail présenté dans la figure 07.

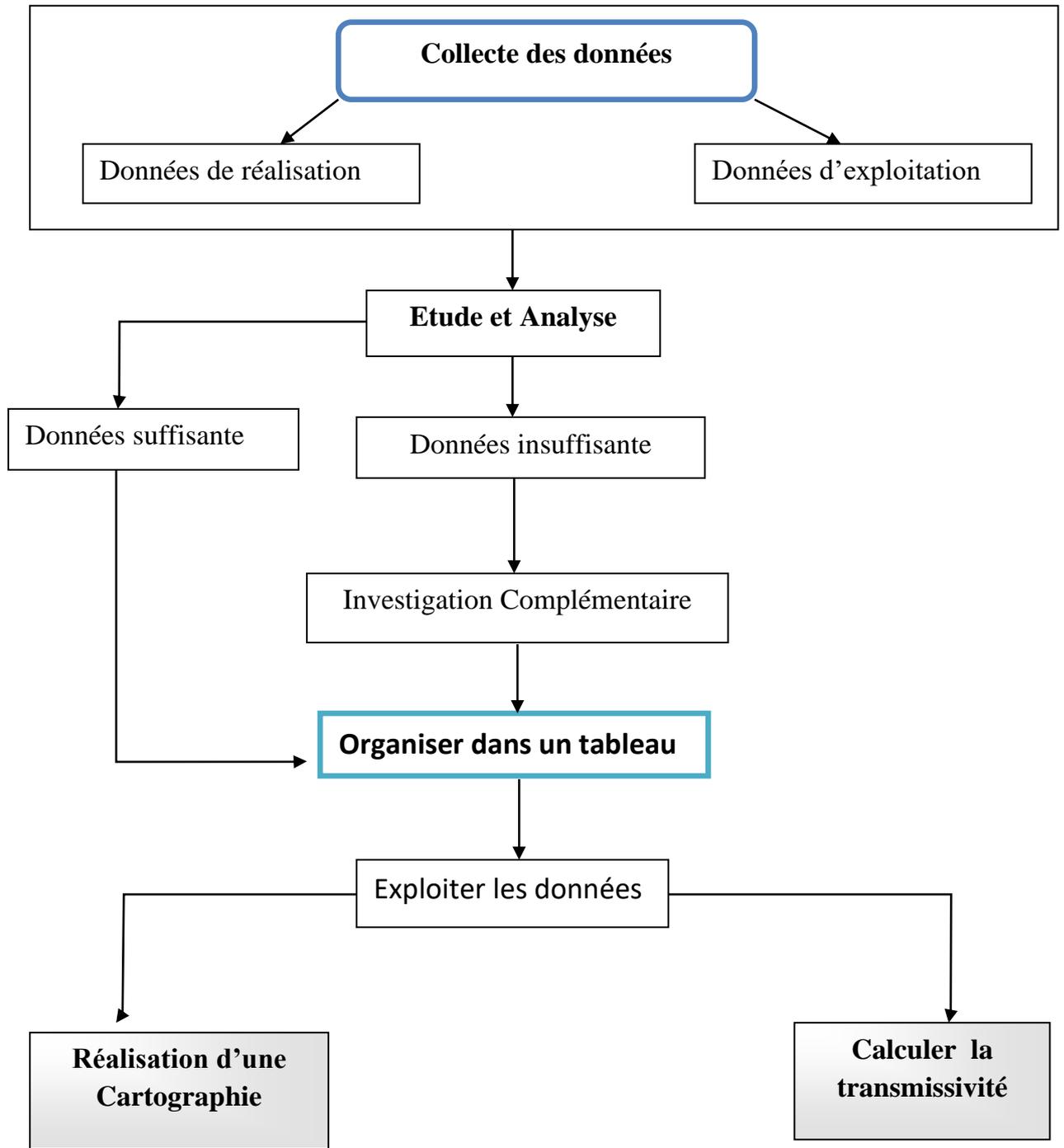


Figure 07 : Synthèse de la méthodologie de travail

Chapitre II :
Collection des
données des forages

I.1. Les données des forages d'eau du Complexe Terminal

I.1.1. La collecte des données

Cette première phase est la plus importante dans cette étude ,elle concerne la collecte et de classement des données recueillis en collaboration avec la direction des ressource en eaux (DRE) , L'Agence nationale des ressources hydrique (ANRH), l'Agence du bassin hydrographique Sahara (ABHS) , L'Algérienne des eaux (ADE) et La Direction des services agricole.

On est arrivé à collecté forages.

Données des forages de L'ANRH 2005-2011-2016 :

Dans le but de la réalisation de ces taches, l'agence nationale des ressources hydrauliques d'Ouargla réalise périodiquement des campagnes d'inventaire et de mesure afin de suivre la fluctuation du niveau d'eau (rabattement), le débit (exploité et mobilisé), la pression de la nappe CI, la salinité, la conductivité électrique, le PH, et la température.

Comme on a travaillé uniquement sur CT, nous avons sélectionné les données physiques.

L'ANRH était le premier service qui nous avons contacté, ils m'ont offert les données des forages de CT dans plusieurs tableaux sous forme Excel qui les rendre difficile à exploiter.

Au niveau de la direction de l'ANRH de Ouargla, à savoir :

- La commune
- Gestionnaire
- Nom du forage
- La nappe (Mio-pliocène ou Sénonienne)
- Les coordonnées géographiques
- Profondeur de l'aquifère (Mur – Substratum)
- Profondeur du forage
- Débit Max : Le débit d'une eau représente la quantité d'eau écoulee par unité de temps, il donne une idée sur la vitesse d'écoulement.
- Débit exploité : le débit qui est extrait, utilisé pour calcul de la transmissivité.
- Débit mobilisé : le débit qui donne le forage
- Date de réalisation, date de mise en service et l'entreprise de réalisation.

- L'objectif d'utilisation du forage
- L'état actuel de forage
- Résidu sec
- Côte crépine
- Côte tubage.
- Rabattement : Un rabattement de nappe est un abaissement en un point du niveau piézométrique sous l'effet d'un prélèvement d'eau dans la nappe. ce paramètre est utilisé pour calculer le coefficient d'emménagement.

Malgré la banque des données recueillent, les données ne sont pas complètes. Donc nous avons orienté à d'autres sociétés.

Données des forages de La DRE 2016 :

Les données offris sont sous forme de tableau qui contient les mêmes paramètres de l'ANRH mais pour d'autre forage et d'autre tableau présente les mêmes forages de l'ANRH et de DRE mais avec d'autres paramètres qui sont :

- Le débit (l/s)
- Le code du forage
- Le niveau statique (m) : le niveau statique (N_s) d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau avant pompage.
- Le niveau dynamique(m) : le niveau dynamique (N_d) d'un puits ou d'un forage est la distance du sol à la surface de l'eau pour un pompage à un débit donné.

Données des forages de L'ADE :

L'ADE est spécialisé uniquement au suivi des forages de l'eau potable.

On peut arriver aux données suivantes des forages : la commune, numéro et nom du forage, nappe exploitée, destination, débit (mobilisé et exploité) et l'année de mise en service.

Données des forages de Service d'irrigation 2020 :

Selon [18] la nappe du CT est exploitée avec 1550 forages irriguent la surface de 32000 hectares.

Données des forages de L'ABHS :

Ils sont seulement le débit d'exploitation des forages de CT.

Des données souvent incomplètes et mal gérées, alors:

- ✓ On a complété les données manquantes
- ✓ On a corrigé les altitudes
- ✓ On a présenté la cartographie

Partie III :
**Partie III :
Résultats
et
Discussions**

Chapitre I :
Résultats et
discussions
De la collecte
des données

I. La mise à jour et en forme des données

Pour maîtriser la gestion et vérifier la variation au niveau de forage, on a mis à jour les données par année dans le tableau de bord, dont on peut voir les effets de ces changements ; ainsi que l'exposition des données sur carte qui nous a facilement leur présentation.

Nous avons rencontré des difficultés dans la collection des données, on raison de manques d'information pour chaque sociétés, ces manquement définie par le besoin des dites direction en données (réduction des données selon le besoin) par conséquent nous avons essayé de les adopter suivant le tableau de DRE. Donc on arrive à la mise en forme et le classement de ces données. (Correction, uniformisé et complément)

Les tableaux étaient nombreux et variantes donc nous avons fait des additions, on à ajouter quelques données manquantes pour compléter le tableau.

L'organisation des données collectées dans un format de fichier Excel est présenté suivant la nomenclature de la DRE :

- La commune
- Le code et le nom de forage
- Les coordonnées (Latitude X, longitude Y, et Z)
- La profondeur (m)
- Côte de tubage (m)
- Côte de la crépine (m)
- Le niveau statique (m)
- le niveau dynamique(m)
- Le débit (l/s)
 - Le débit mobilisé
 - Le débit exploité :
- Le rabattement.
- Le résidu sec
- L'année de mise en service
- Utilisation (AEP, Irrigation, Mixte)
- Nappe exploité (le Moi-pliocène, le Sénonien)
- Etat de Forage (En exploitation, à l'arrêt, Abandonné)

Les eaux de la nappe Complexe terminal sont utilisées pour :

- L'alimentation en eau potable
- L'irrigation qui représente la majeure partie de l'eau utilisé
- L'alimentation en eau industrielle
- L'utilisation mixte (l'alimentation en eau potable et l'irrigation)

La collection était au cours de la période de mon stage (2020). Les données des forages sélectionnés d'après le tableau principal qui contient de **804** forages sont extraites dans le tableau (1)

Tableau 01 : les données des forages collectés

Commune	N°	Code Forage	NOM FORAGE	Année de réalisation	Longitude	Latitude	Altitude	Profondeur (m)	Côte de tubage (m)	Côte de la crépine (m)	Niveau statique (m)	Débit mobilisé (l/s)	Débit exploité (l/s)	Rabattement (m)	Résidu sec (mg/l)	Année de mise en service	Utilisation	Maitre d'œuvre	Nappe exploitée
Ouargla	2	D1 F96	AIN EL KHEIR	1960	5°18'41"	31°57'28"	139	58.50	35.40	35.40	5.75	20	20	5.02	2864	1960	AEP	ETAT	MIO-PLIOCENE
Ouargla	16	D1 F149	IFFRI SELLIS	1992	5°20'17"	31°57'34"	141	180	99	93	6.80	30	20	13.89	2000	1993	AEP	ETAT	SENONIEN
Ouargla	17	D1 F151	IFRI	1995	5°20'21"	31°58'01"	138	176	106	96	9,15	30	20	9,55		1996	AEP	ETAT	SENONIEN
Ouargla	24	D7 F09	EL KHAFJI III	2001	5°15'28"	31°57'22"	185	139	122	116	62	13			2300	--	AEP	ETAT	MIO-PLIOCENE
Ouargla	40	D1 F91	SAR MEKHADMA	1954	5°18'17"	31°56'46"	135	197	102	70	0,62	30	20			1954	IRRI	ETAT	SENONIEN
Ouargla	41	D1 F92	TALEB BOUHAFS	1955	5°17'57"	31°57'57"	133	70	52	57	1,6	30			2 900	1960	IRRI	ETAT	MIO-PLIOCENE
Ouargla	111	D4 F107	A.SAKOUTI	1991				65	37	37		30	20		3 100	1991	IRRI	PRIVE	MIO-PLIOCENE
Ouargla	113	D4 F109	AIN MAGANOU	1995	5°21'07"	31°57'55"	134	60	36	30	8,7	30	20	6,7		---	IRRI	ETAT	MIO-PLIOCENE
Ouargla	116	D1 F101	PUIT COMMUNAL	1962	5°19'37"	31°57'36"	139					20	20	3,46		1962	MIXTE	ETAT	MIO-PLIOCENE
Ouargla	128		ITAS 2	2009	5°17'27"	31°56'17"	135										IRR		Mio-Pliocène
H B A	194	D8 F12	OUDJANA I	1985	5°28'33"	31°55'58"	162	103	64	58	28.00	30	20			1990	APFA	PRIVE	MIO-PLIOCENE
H B A	212	D8 F30	EL FATH	1988	5°30'53"	31°58'55"	155	93	55	50	25.90	35	20	4.51	4 300	1992	APFA	ETAT	MIO-PLIOCENE
H B A	244	D8 F65	LAROU I	1995			0	118	69	63		20					APFA	ETAT	MIO-PLIOCENE
H B A	245	D8 F66	RAS EL HARCHA	1995	5°29'36"	31°57'39"	160	96	49	43		20	20				APFA	ETAT	MIO-PLIOCENE
H B A	248	D8 F70	H.B.A CDARS 1	1995				120				20					IRRI	ETAT	MIO-PLIOCENE
H B A	275	D8 F97	H.B.A CDARS 28	1995				120				20					IRRI	ETAT	MIO-PLIOCENE
H B A	339		MDH-143	2007	5°58'04"	31°52'05"	152	141				###					IND		Mio-Pliocène
H B A	340		OMPH-103	2007	5°58'32"	31°56'12"	148	130				###					IND		Mio-Pliocène
Ain Baida	355	D5 F151	AIN BEIDA AEP	2002			0	160	100	94	8,3	25		61,3	3 700		AEP	ETAT	SENONIEN
Ain Baida	357	D5 F155	A.BEIDA Complexe	2007			0	142	73	61	18,8	22		8,94	2000		AEP	ETAT	SENONIEN
Ain Baida	412	D5 F116	ZACCAR PIVOT II	1988	5°30'27"	31°53'04"	149	95	51	45	21,4	35	20	4,89	3 540	1990	APFA	ETAT	MIO-PLIOCENE
Ain Baida	413	D5 F117	AIN DEGLA	1988	5°22'49"	31°56'49"	133	67	34	28	4,2	40	20	4,43	5 850	1990	IRRI	ETAT	MIO-PLIOCENE
Ain Baida	441	D5 F149	A.ZACCAR 3 CDARS	1998	5°33'57"	31°53'27"	154	200				20					IRRI	ETAT	MIO-PLIOCENE
Ain Baida	446	D5 F111	CEINTURE VERTE	1988				96	68	62	24,9	40	20	5,38	4 120	1990	MIXTE	ETAT	MIO-PLIOCENE
Ain Baida	461		A.Chatouli bis	2001	5°23'11"	31°58'35"	129	196				20					IRRI		Sénonien Carbonaté

Ain Baida	462	D5F72	A. Beni Sissine	1986	5°22'00"	31°59'19"	131	32?					18				IRRI		Mio-Pliocène
Ain Baida	487		ZPC-1	2000	5°30'54"	31°53'01"	150	375									IND		Sénonien Carbonaté
Ain Baida	488		ZPL-1	2000	5°30'53"	31°53'02"	152	500									IND		Sénonien Salifère
Rouissat	540	D3 F42	SOKRA	2011				84	42	36	12,6	40				2011	AEP	ETAT	MIO-PLIOCENE
Rouissat	544	D3 F10	ROUISSAT III	1977	5°21'07"	31°55'56"	137	216	124	114	4	45	20			1979	IRRI	ETAT	SENONIEN
Rouissat	549	D3 F15	KEF SOLTANE	1987	5°13'45"	31°52'44"	171	134	103	97	26,8	30	20	3,98	1 750	1994	APFA	ETAT	MIO-PLIOCENE
Rouissat	595	D3F16	Ain Zougga	1988	5°13'42"	31°43'14"	184	170				30					IRR		Sénonien
Rouissat	597		HB-2	1986	5°03'30"	31°50'33"	223	209				10					MIXTE		Sénonien
Rouissat	611		CD-3	1988	5°03'18"	31°46'18"	228	620									IND		SENO/SALIF
Rouissat	643		Ain Debagh Djedida	2008	5°22'42"	31°56'13"	133										IRR		Mio-Pliocène
Rouissat	652		BERKAOUI EST-102	2008	5°07'42"	31°45'12"	224	182				7,9					IND		Mio-Pliocène
Rouissat	653		GUELLALA-103	2009	5°08'23"	31°52'12"	226	165				8,4					IND		Sénonien Carbonaté
Rouissat	660		GRCI/QG	1972	5°22'55"	31°55'23"	162	212									MIXTE		Sénonien Carbonaté
Rouissat	661		OM7H1	1957	5°06'30"	31°43'34"	215	65									IND		Mio-Pliocène
Rouissat	662		St Trait Ben Amor	2006	5°19'39"	31°56'31"	139	170				30					AEP		Sénonien
N'Goussa	665	D6 F40	FRANE AEP	1978	5°19'32"	32°15'26"	127	148	82	49,7	10,4	30	20						Sénonien
N'Goussa	666	D6 F45	AIN GUEBLIA	1973	5°18'34"	32°08'01"	127	76	33,5	29	2,47	30	30				MIXTE	ETAT	MIO-PLIOCENE
N'Goussa	673	D6 F99	EL BOUR A.E.P	1991	5°21'25"	32°10'16"	132	88	67	61	8,3	30	20	44,1	2 600	1989	AEP	ETAT	SENONIEN
N'Goussa	684		Fran AEP		5°17'59"	32° 16' 31''	131				26,4		30	18,6					Moi-pliocène
N'Goussa	685	D6 F51	BIR DJENIENE	1980	5°18'29"	32°07'54"	122	86	60	50,3	5	25	5		3 700	1983	IRRI	ETAT	MIO-PLIOCENE
N'Goussa	726	D6 F104	N'GOUSSA A.E.P	1993	5°18'50"	32°08'04"	126	193	125	119		30	20			1994	APFA	ETAT	MIO-PLIOCENE
N'Goussa	728	D6 F107	BIR DJENEINE	1995				86,5	70	64	ART	18	12			1993	IRRI	ETAT	SENONIEN
N'Goussa	743		FORAGE PISCINE	2009	5°17'06"	32°07'13"	133	170									AEP		Sénonien Carbonaté
N'Goussa	745		Oullouga 2 OA2 F.D'EAU	1963	5°32'32"	32°20'23"	139	170									IRR		Miocène
N'Goussa	747		KG101	1977	5°12'06"	32°18'07"	203	200									IND		Sénonien Carbonaté
Sidi Kouiled	758	D9 F34	AIN MOUSSA AEP	2015				152	70	64	15	25	20	24	2440		AEP	ETAT	SENONIEN
Sidi Kouiled	759	D9 F2	GARET DIABA	1987	5°24'48"	32°00'06"	137	83	43	37		20	10	15		2015	AEP	ETAT	MIO-PLIOCENE
Sidi Kouiled	769	D9 F14	LIMAME AHMED	1994				44	23	18	1,5	20	10			1995	APFA	ETAT	SENONIEN
Sidi Kouiled	770	D9 F15	AOUNI MED TAHAR	1994	5°19'44"	32°03'27"	126	52	25	21		20	10	19,4		2005	IRRI	ETAT	MIO-PLIOCENE
Sidi Kouiled	788		Oum Raneb AEP 1	1992	5°22'47"	32°04'09"	136	210				10					MIXTE		Sénonien Carbonaté
Sidi Kouiled	791		AEP 3	2007	5°25'19"	31°58'08"	151	220									IND		Mio-pliocène
Sidi Kouiled	793		AEP 2	2007	5°22'47"	32°04'17"	149	280									AEP		Sénonien Carbonaté
Sidi Kouiled	795		Imam Abdelkadeur	2009	5°20'53"	32°04'38"	123	50				8					AEP		Sénonien Carbonaté
Sidi Kouiled	796		Foré	2007	5°25'13"	31°57'32"	150					10					MIXTE		Mio-Pliocène

Clé du tableau 1

AEP : Alimentation en eau potable

IRR : irrigation

Mixte: utilisation pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable

APFA : l'utilisation pour l'irrigation

IND : Industrielle

Malgré ce travail il ya un manque des données en outre nous avons fait des corrections et des additions en cas des lacunes.

Les cellules en gris présentent 64,41% sont des forages qui nous avons corrigé et 20,34% en jaune sont des forages qui nous avons ajouté.

On observe dans le tableau que les forages destinés à :

AEP=22,03% ; IRR=47,46% ; IND=16,95 % ; et DIV=11,84%

Donc, On peut conclure que la région d'Ouargla a un pourcentage important des forages à irrigation suivi par des forages à eau potable.

**Chapitre II : La
détermination de la
transmissivité et leurs
discussions**

I. Détermination des paramètres Hydrodynamiques

Après avoir les essais de pompages terminés, nous procédons au calcul des paramètres hydrodynamiques.

Les essais de pompage ont été réalisés sur deux communes suivantes : La commune de N'goussa et Hassi Ben abdallâh.

Ces essais sont réalisés par l'Agence nationale des ressources hydrauliques

Ceux-ci ont portés, pour chaque forage, constitué de deux essais ; le premier essai est l'essai par paliers non enchainés, chaque essais par paliers est composé de trois paliers de 6 heures, chacun à un débit constant (mais différent des autres) séparés par un intervalle d'au moins 12 h.

Le deuxième essai est l'essai de longue durée à débit constant. L'essai de longue durée a constitué en un pompage à débit constant de 72 heures suivi de 24 heures de remontée.

I.1. Localisation et coordonnées géographiques des sites (Forages) d'essais de pompage

Les coordonnées géographiques des sites sont mentionnées dans le tableau 02

Tableau 02 : Les coordonnées des forages étudiées

Nom du forage	X	Y	Z	Nappe
FRANE AEP	5°18'28"	32°14'23"	131	Moi-pliocène
OUDJANA I	5°28'33"	31°55'58"	162	Moi-pliocène
ABDESSAMAD II	5°29'25"	31°56'53"	158	Moi-pliocène
AOUF I	5°36'12"	31°54'13"	145	Moi-pliocène

I.2. Résultats des essais de pompages

I.2.1. Résultats des essais par palier non enchainés:

Après l'interprétation des essais de pompage par paliers, les débits spécifiques sont représentés par les graphes débits-rabattements.

Le débit spécifique (Q/s) est le rapport entre le débit de pompage Q et le rabattement s, est un paramètre facile à estimer.

Tableau 03 : Résultats des essais de pompages de forage FRANEAEP

Paliers	ND	NS	débit (l/s)	Débit (m ³ /s)	Rabattement (m)	rab, spécifique (m/m ³ /s)	Débit spécifique (l/s/m)
1 ^{er}	26,89	26,4	5	0,005	0,49	98	10,20
2 ^{ème}	27,89	26,4	16	0,016	1,51	94,37	10,59
3 ^{ème}	33,13	26,4	25	0,025	6,73	269,2	3,71

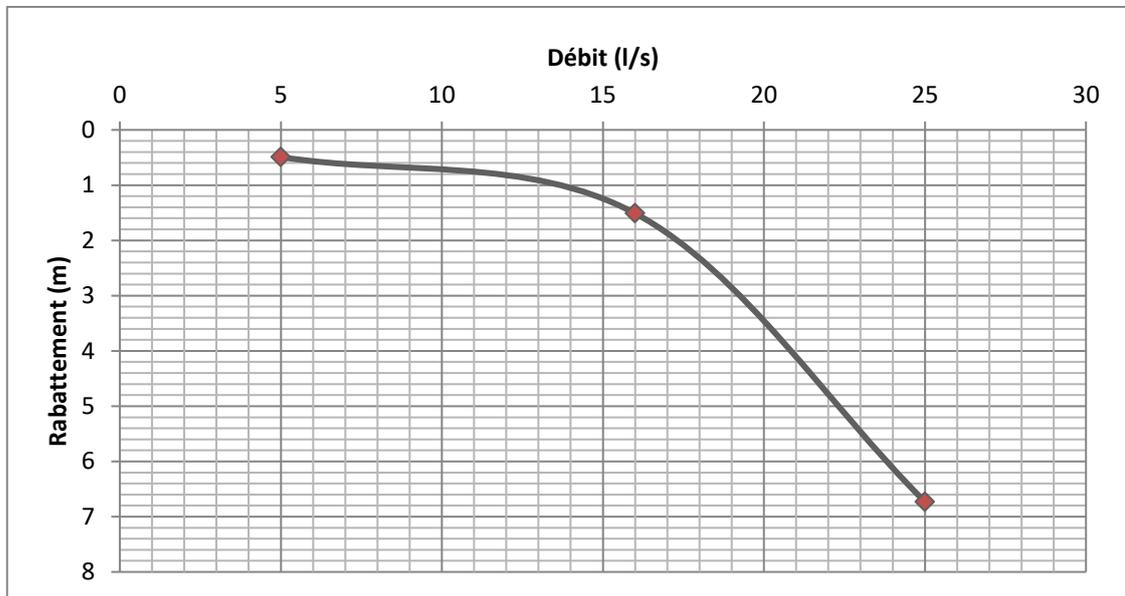


Figure 08: Courbe caractéristique $s=f(Q)$ de forage FRANE AEP

Tableau 04 : Résultats des essais de pompages de Forage OUDJANA I

Paliers	ND(m)	NS(m)	Débit (l/s)	Débit (m ³ /s)	Rabattement (m)	Rab, spécifique (m/m ³ /s)	Débit spécifique (l/s/m)
1er	24,98	23,9	10	0,01	1,08	108	9,25
2ème	25,83	23,9	20	0,02	1,93	96,5	10,36
3ème	27,06	23,9	30	0,03	3,16	105,33	9,49

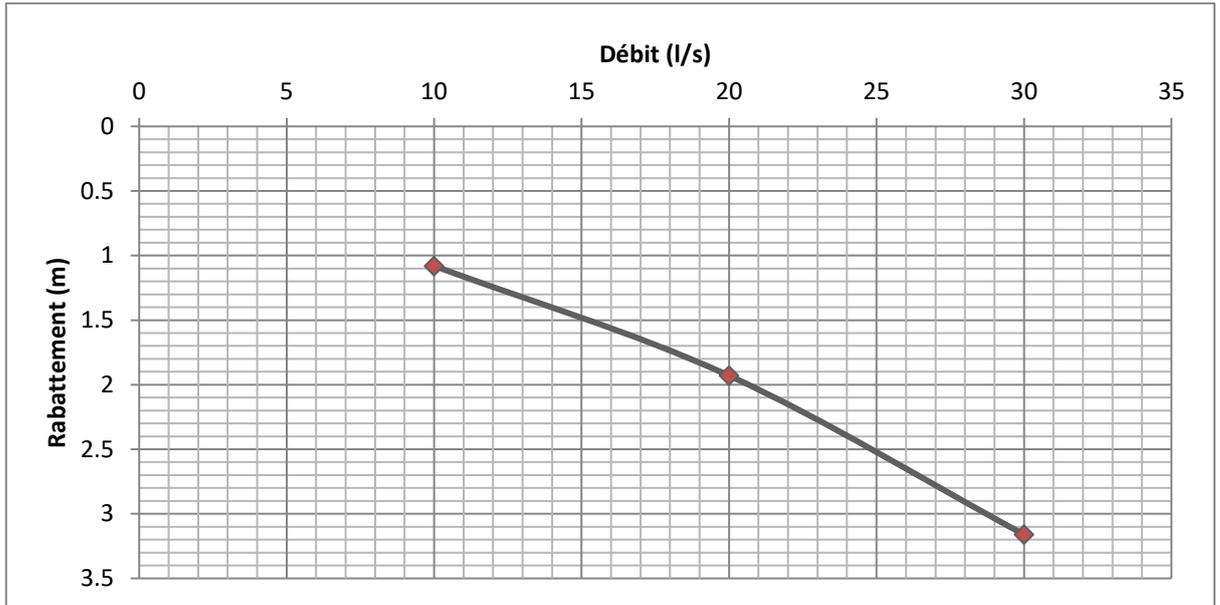


Figure 09: Courbe caractéristique $s=f(Q)$ de forage OUDJANA I

Tableau 05 : Résultats des essais de pompages de forage ABDESSAMED II

Paliers	ND(m)	NS (m)	Débit (l/s)	Débit (m ³ /s)	Rabattement (m)	Rab, spécifique (m/m ³ /s)	Débit spécifique (l/s/m)
1 ^{er}	25,48	24,7	10	0,01	0,78	78	12,82
2 ^{ème}	26,24	24,7	20	0,02	1,54	77	12,98
3 ^{ème}	27,38	24,7	30	0,03	2,68	89,33	11,19

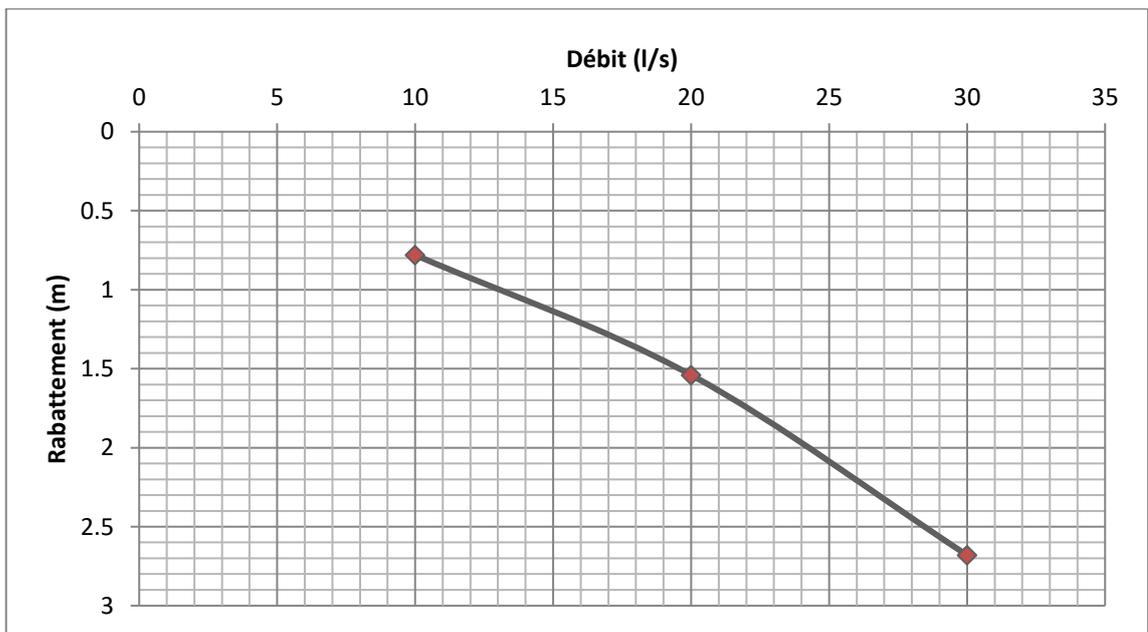
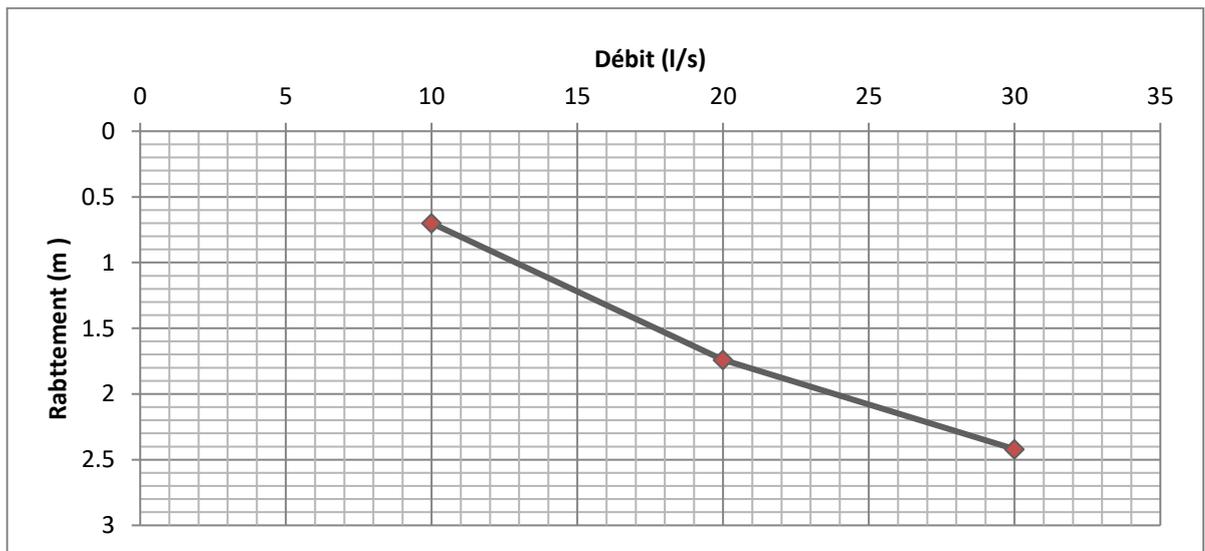


Figure 10: Courbe caractéristique $s=f(Q)$ de forage ABDESSAMED II

Tableau 06 : Résultats des essais de pompages de forage AOUF I

Paliers	ND(m)	NS(m)	Débit (l/s)	Débit (m ³ /s)	Rabattement (m)	Rab, spécifique (m/m ³ /h)	Débit spécifique (l/s/m)
1er	27,6	26,9	10	0,01	0,7	70	14,28
2éme	28,64	26,9	20	0,02	1,74	87	11,49
3éme	29,32	26,9	30	0,03	2,42	80,66	12,39

**Figure 11 : Courbe caractéristique $s=f(Q)$ de forage AOUF I**

Les essais par paliers sont faites exclusivement pour le forage , après sa réalisation pour la détermination le débit exploité, admissible, critique et spicifique à partir de la courbe $s=f(Q)$.

D'près les courbes on a determiner les débits d'exploitation sont 30, 22,1, 24,2 et 20,5 l/s des forage FRANE AEOP, OUDJANAN I, ABDASSMED II et AOUF II successivement.

Le débit spécifique est determiné pour l'estimation de rendement de la nappe , et la determination de la quantité d'eau dans chaque mètre de forage.

Le niveau dynamique, le niveau statique et le débit de pompage sont des paramètres influent sur le rabattement du forage. Lorsque le débit pompé est élevé, il conduit à augmenter le niveau dynamique donc le rabattement augmente.

La relation entre le rabattement et le niveau dynamique est proportionnellement positive.

On observe dans les figures 08,09,10 et 11 que le rabattement augmente avec l'élevation de débit.

Les figures 09 ,10 et 11 indique que le rabattement varie d'une forage à l'autre sachant que le débit appliqué dans les forage de Oujana I ,ABDASSMAD II et AOUF I est semillaire.(10, 20, 30 l/s).

I.2.2. Résultats des essais longs durés (à débit constant)

L'interprétation d'essai de longue durée, (72 h) à débit constant suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le forage de pompage Les mesures dans le forage de pompage sont représentées sur le graphe, temps/rabattement.

L'essai de long duré à pour rôle de déterminé graphiquement la valeur de la pente (C) et ainsi de calculer la transmissivité.

Les résultats de l'essai de long duré sont reportés sur un diagramme semi-logarithmique qui comporte :

1. Pour la descente :

La courbe de descente représente le graphique semi- logarithmique de rabattements en fonction de temps en secondes :

- En abscisse : le temps de pompage ($\log t$)
- En ordonnées : le rabattement mesuré en (m)

2. Pour la remontée :

La courbe de remonté représente le graphique semi-logarithmique de rabattements résiduels en fonction de temps en secondes :

- En abscisse : $t/t'+1$ ou t est le temps de pompage pendant la descente et t' le temps de remontée à chaque mesure.
- En ordonnées : le rabattement mesuré en (m).

I.2.2.1. Détermination du paramètre de transmissivité T

1. Méthode de calcul

Pour Calculer le paramètre hydrodynamique la Transmissivité, en utilisent la **Méthode de Jacob**, que l'on applique couramment dans les conditions réelles du terrain. Compte tenu de ses conditions compatibles avec la couche d'eau sur laquelle j'étudie et de ses relations directes pour une facilité d'application et des résultats plus proches de la réalité.

En détermine la valeur de transmissivité par la relation suivante :

$$T = \frac{0.183Q}{C}$$

Avec :

T :transmissivité

C : la pente

Q :débit pompé en m³/h, ou m³/jour

Cette méthode permet de reporter sur un graphique unique les mesures réalisées lors du pompage et de la remontée dans un forage.

2. Présentation des courbes de la descente et la remonté

L'interprétation des essais de long durée par un courbe bi-logarithmique, ce courbe présente l'évolution du rabattement du niveau de l'eau dans le forage pendant l'essai de pompage longue durée lors de la descente (pendant le pompage), et de la remontée (après l'arrêt du pompage).

Nous avons également besoin de ces courbes pour définir la valeur de la pente C, numériquement égal à l'augmentation de s par cycle logarithmique.

A) Courbe descente

La courbe de descente représente le graphique semi- logarithmique de rabattements en fonction de temps en secondes : $s=f(\text{Log}(t))$

B) Courbe remonte

La courbe de remonté représente le graphique semi-logarithmique de rabattements résiduels en fonction de temps en secondes : $s=f(\text{Log}(t/t'+1))$.

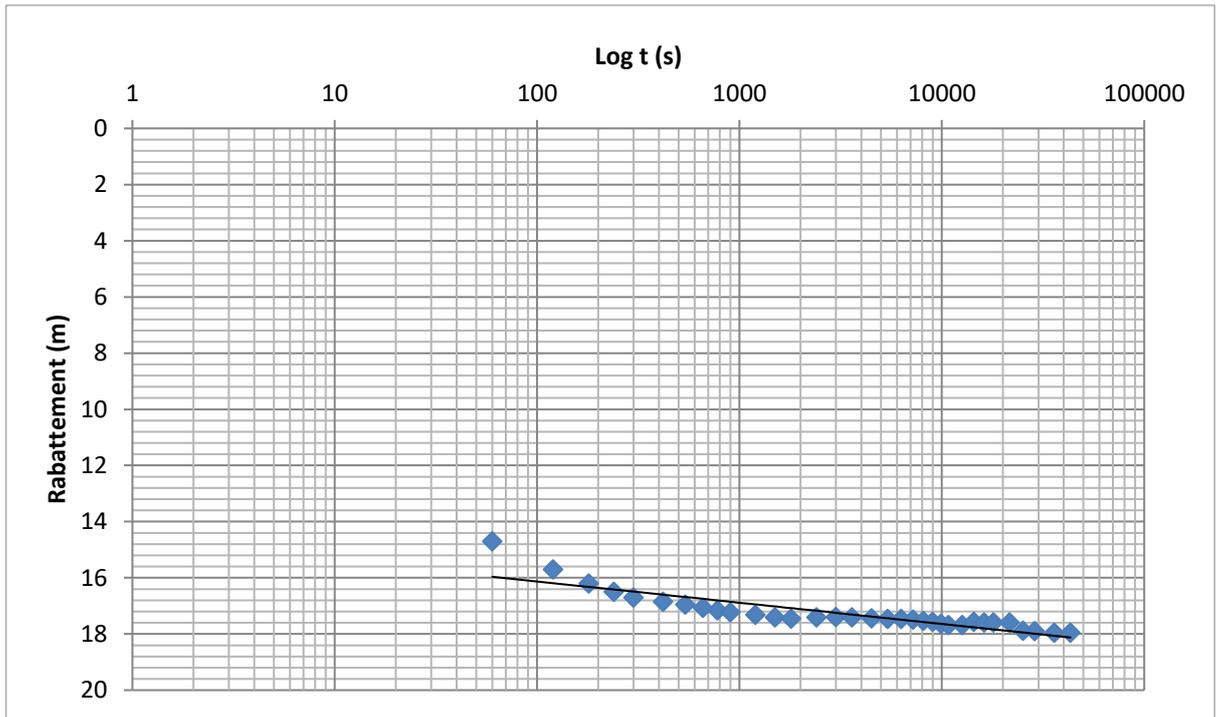


Figure 12 : Courbe descente essai de longue durée $s=f(\log(t))$ forage FRANE AEP

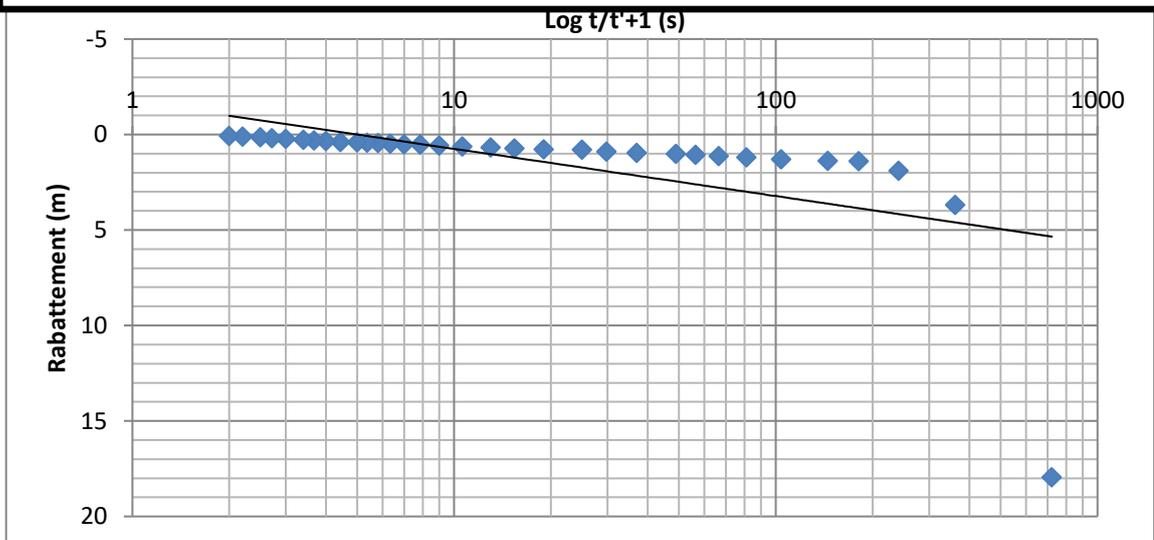


Figure 13 : Courbe remonté essai de longue durée $s=f(\log(t/t' + 1))$ forage FRANE

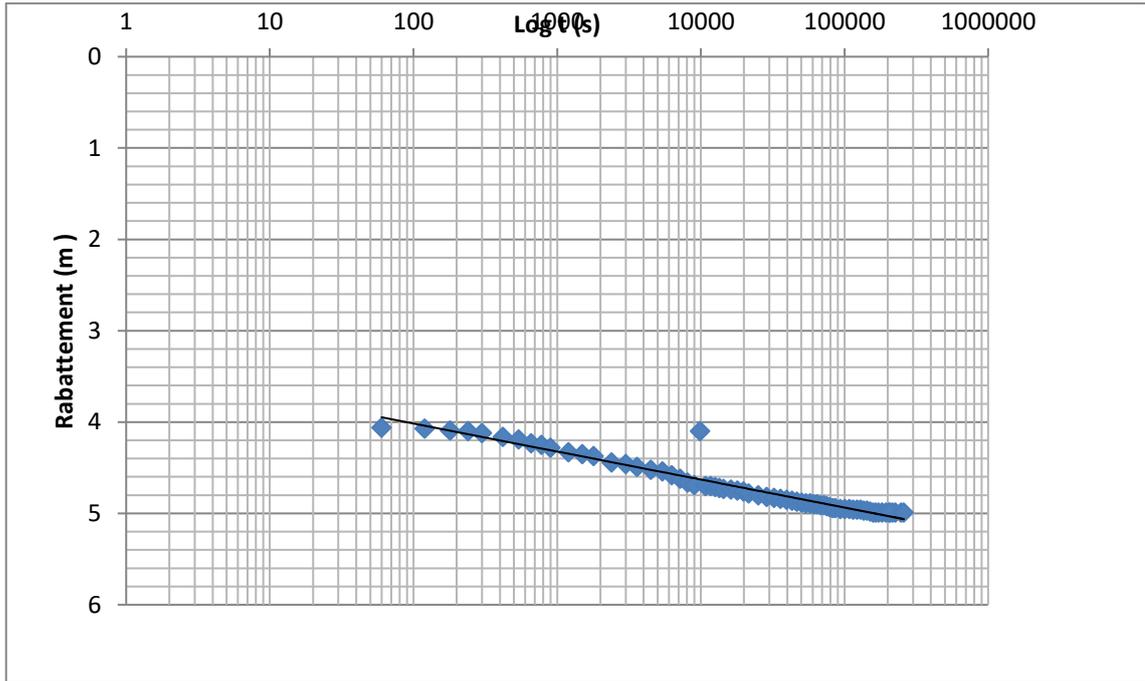


Figure 14 : Courbe descente essai de longue durée $s=f(\log(t))$ forage OUDJANA I

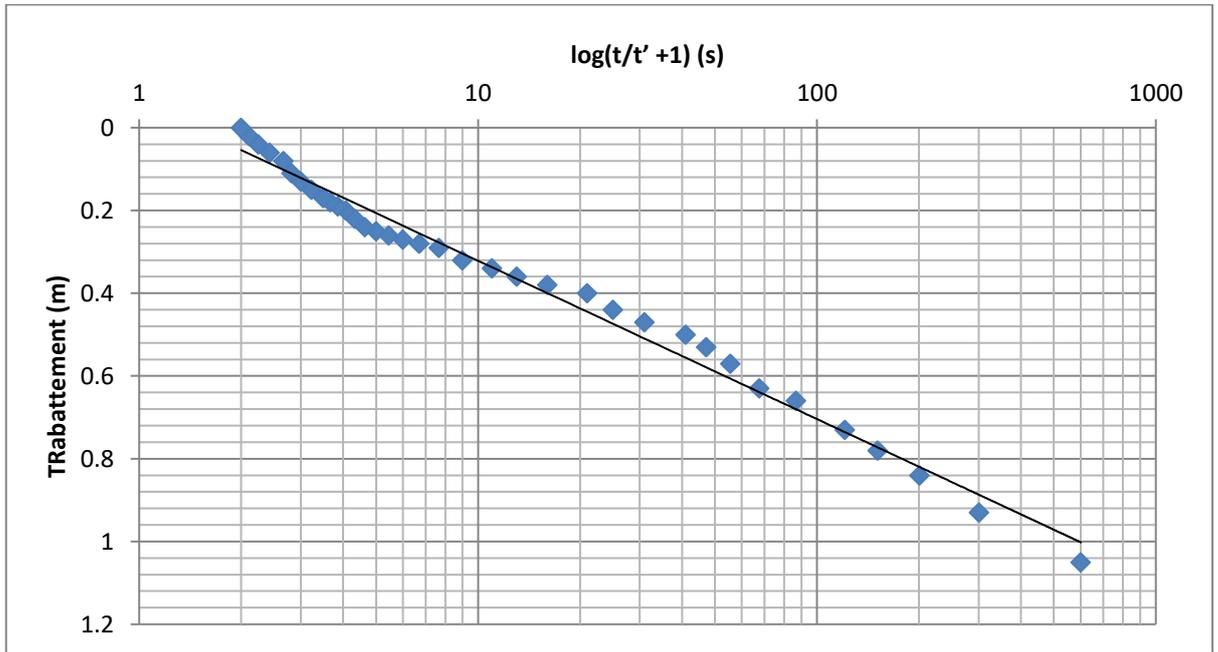


Figure 15: Courbe remonté essai de longue durée $s=f(\log(t/t' + 1))$ forage OUDJANA I

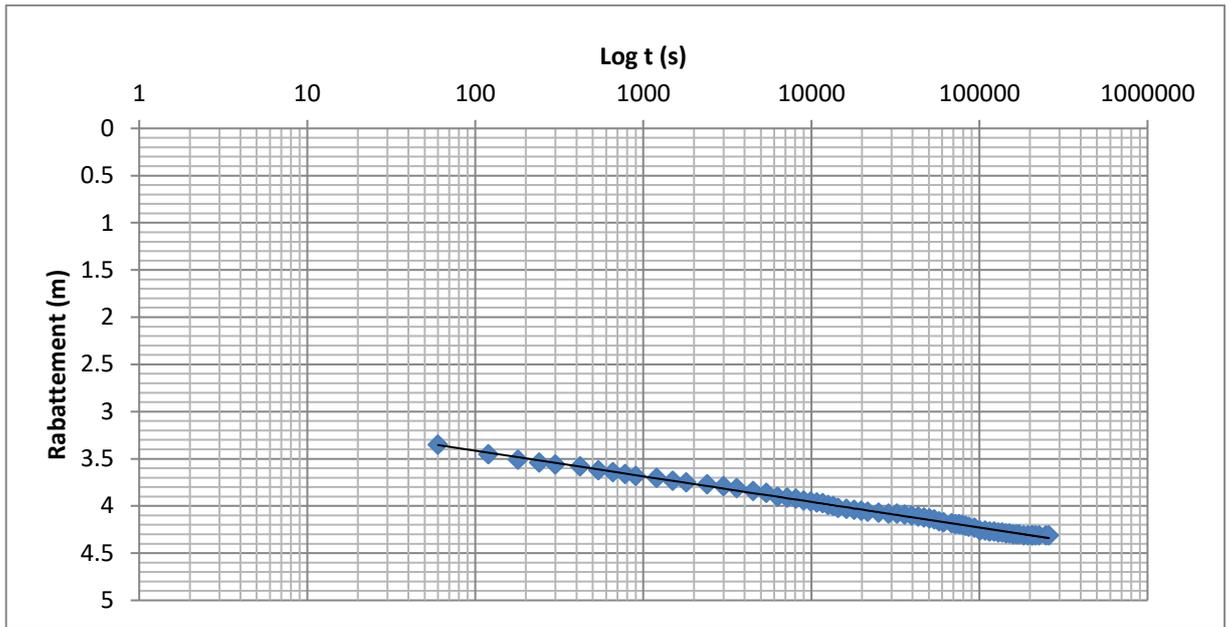


Figure 16: Courbe descente essai de longue durée $s=f(\log(t))$ forage ABDESSAMED II

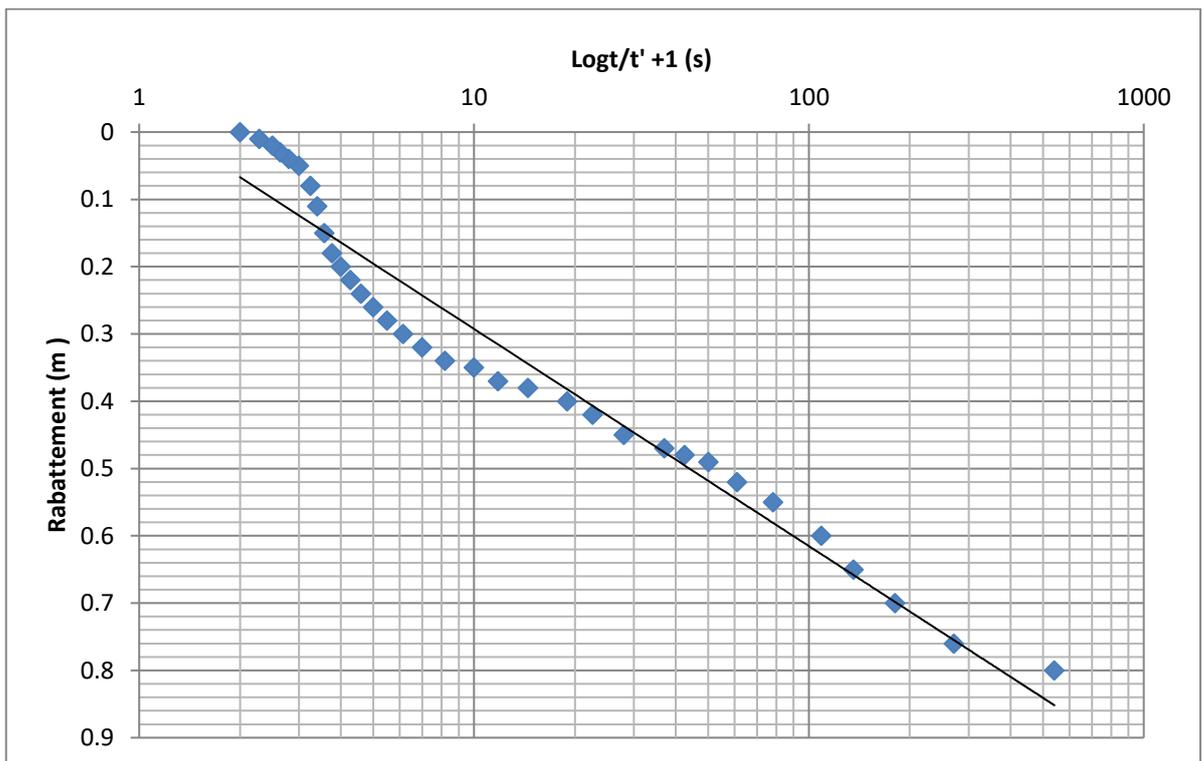


Figure 17: Courbe remonté essai de longue durée $s=f(\log(t/t' + 1))$ forage ABDESSAMED II

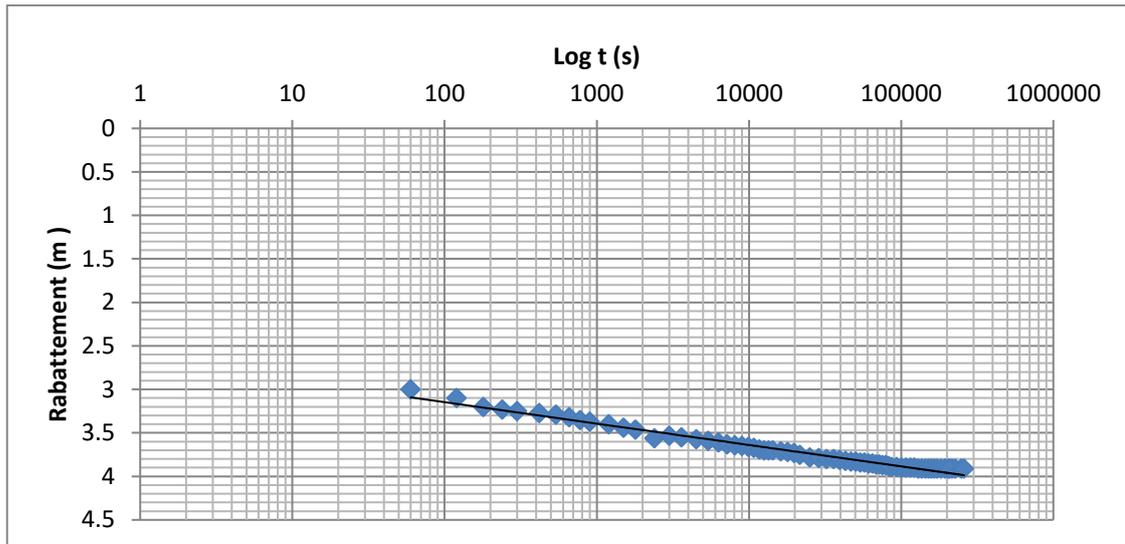


Figure 18: Courbe descente essai de longue durée $s=f(\log(t))$ forage AOUF I

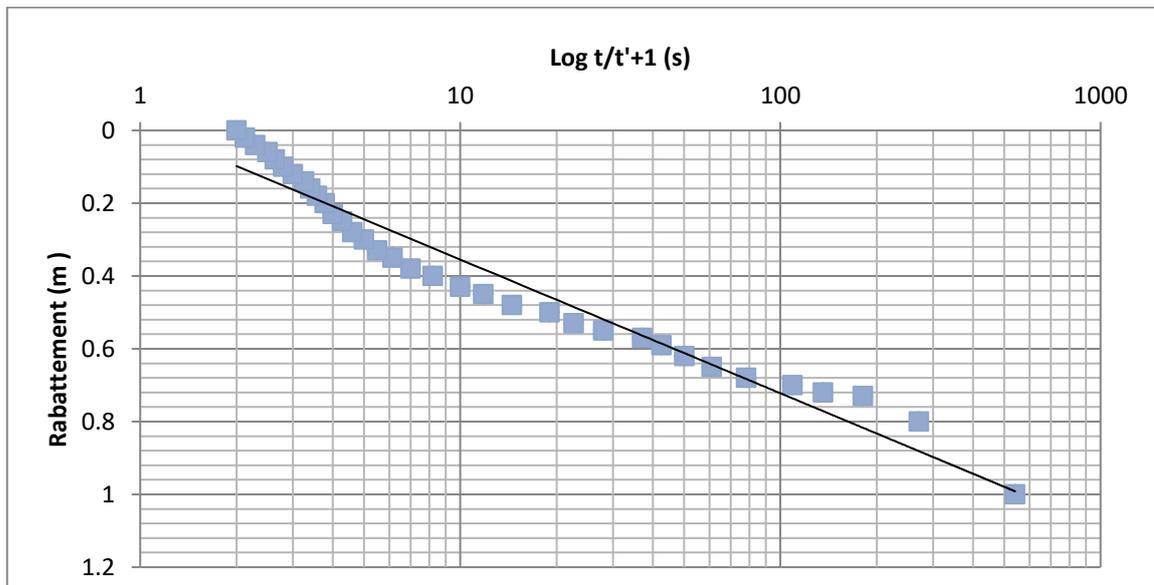


Figure 19: Courbe remonté essai de longue durée $s=f(\log(t/t'+1))$ forage AOUF I

A travers les courbes des essais de pompages les résultats sont présente dans le tableau 07

Tbleau07 : Résultats des essai de long durée

Forage	Année des essais de pompage	Débit t (l/s)	C descente (m)	T descente (m ² /s)	C remonté (m)	T remonté (m ² /s)	T moyennes (m ² /s)
Frane AEP	2020	30	1.05	5.22×10^{-3}	1.16	4.73×10^{-3}	4.97×10^{-3}
Oudjana I	1996	45	0.3	27.45×10^{-3}	0.38	21.67×10^{-3}	24.56×10^{-3}
Abdessamed II	1996	45	0.3	27.45×10^{-3}	0.32	25.73×10^{-3}	26.60×10^{-3}
AOUF I	1996	45	0.25	32.94×10^{-3}	0.36	22.88×10^{-3}	27.91×10^{-3}

La détermination des paramètres hydrodynamiques des aquifères est une étape principale pour la connaissance de transport de l'eau dans l'aquifère.

Nous avons adopté les essais de long du durée de 72 heures des quatre forages et on a tracé des courbe de la descente et la remonté de chaque forage.

La courbe de descente des forages étudiés $s=f(\log t)$ (fig 14, 16, 18 et 20) est toujours élevé parce que le niveau dynamique diminue avec la profondeur, donc le rabattement augmente.

Contrairement à la courbe de la remonté des forages étudiés $s=f(\log t)$ (fig 15 ,17,19 et 21) qui diminue jusqu'à ce que le rabattement égal à zéro donc on revient au niveau statique.

Les résultats de la transmissivité de la descente et de la remontée de chaque forage sont très proches , donc les resultats sont fiables.

La transmissivité exprime la productivité de l'aquifère, d'après les résultats (tableau 04) des transmissivité de descente et de remonté obtenues sur des forages testés, s'échelonnent entre 4×10^{-3} et 33×10^{-3} m²/s.

Il semble que les forages de OUDJANA II, ABDASSMED II, AOUF I sont caractérisées par des transmissivité (descente-remonté) élevés comprise entre (21×10^{-3} et 33×10^{-3} m²/s).

La transmissivité de trois forages OUDJANA II, ABDASSMED II et AOUF I est élevée par apport au quatrième forage de FRANE AEP.

Selon [14] la transmissivité dans la région d'Ouargla est comprise entre 4×10^{-3} et 25×10^{-3} m²/s donc la transmissivité de forage de FRANE AEP est dans la norme contrairement aux autres qui est supérieur à l'intervalle.

La zone de Hassi Benabdallah est connue par l'abondance des forages ce qui résulte un grand pompage qui influe sur la transmissivité.

Le facteur qui influe sur le résultat transmissivité est la pente, qui varie à cause de variation de rabattement.

Notant que d'une manière générale la transmissivité est strictement représentatif des caractéristiques de la roche aquifère. Ces valeurs sont acceptables et confirment que l'aquifère est transmissif.

Chapitre III :

Présentation de la Cartographie

I. Réalisation de la cartographie

On à utilisé le logiciel Google Maps pour la réalisation de la cartographie suivant les données que nous avons collectées.

La mauvaise qualité et le manque de disponibilité des données des forages sont des problèmes rencontrés lors du développement du Google Maps, montré que la qualité des données était souvent faible : précision géographique approximative, données non actualisées, manque de fiabilité. Alors nous avons ajouté des corrections dans les coordonnées, 679 forages sont restés pour la réalisation d'une cartographie.

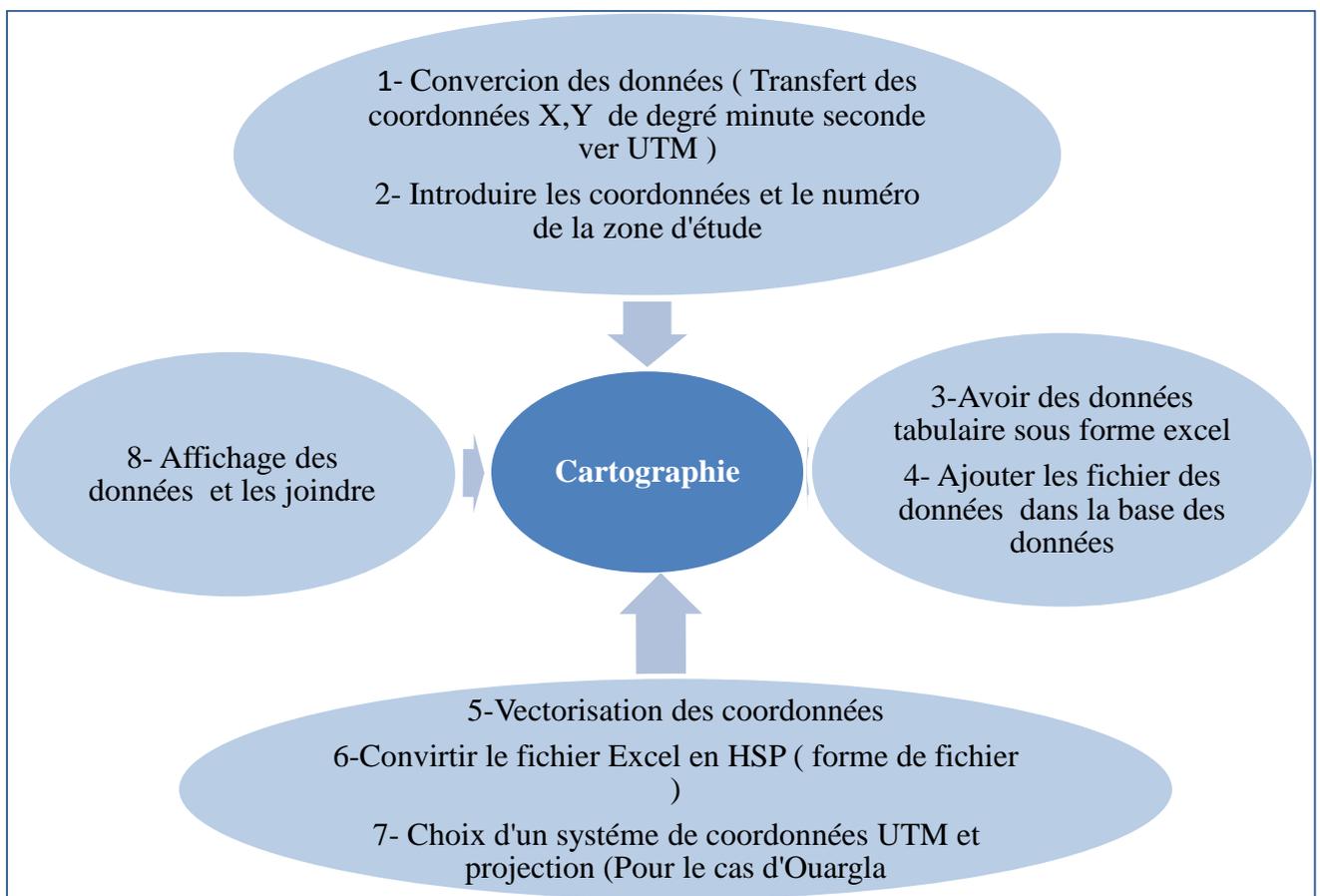


Figure 20 : Démarche de mise en œuvre d'une cartographie dans Google Maps (principaux taches)

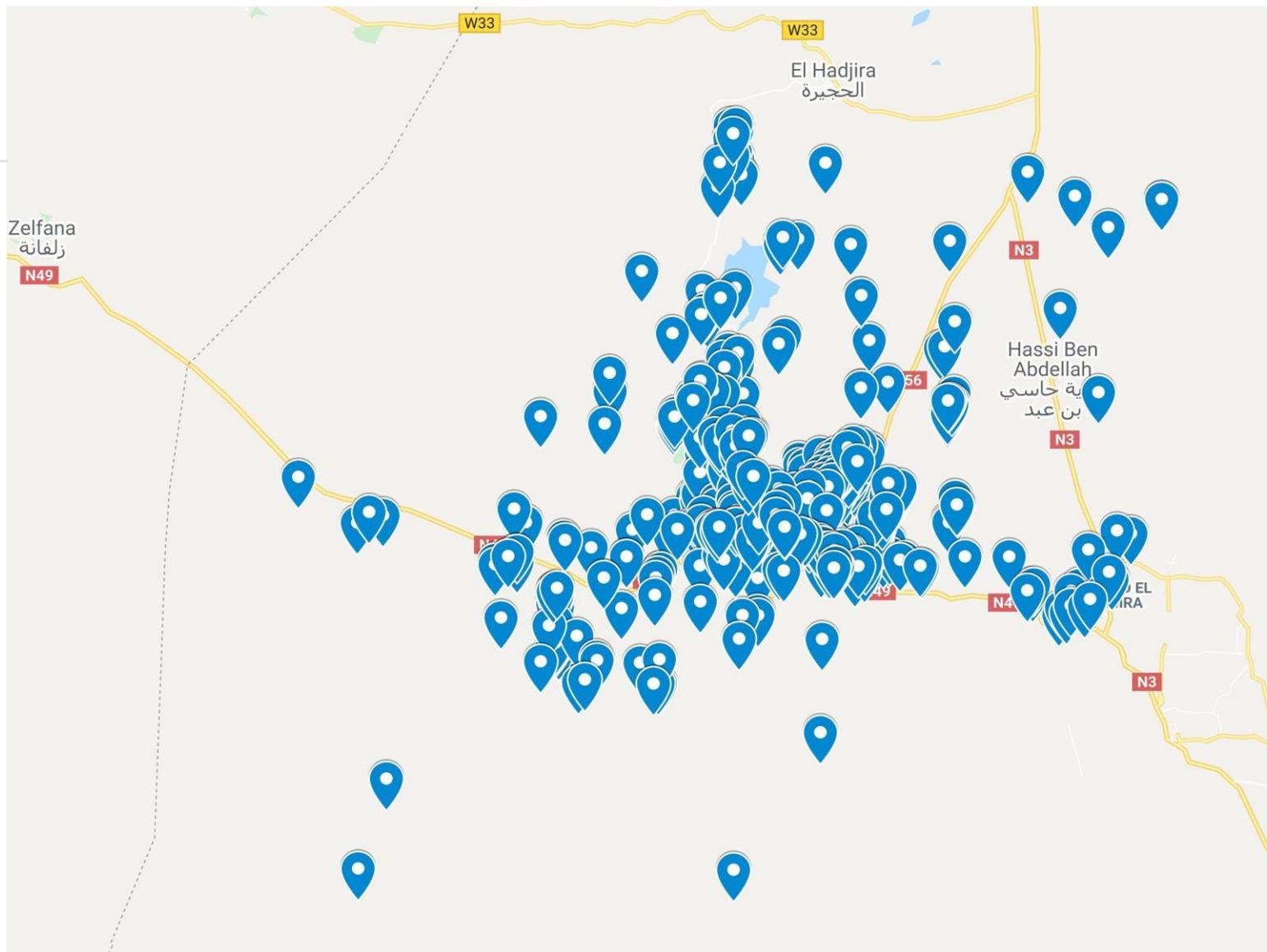


Figure 21: Cartographie des Forages du complexe terminal dans la cuvette d'Ouargla

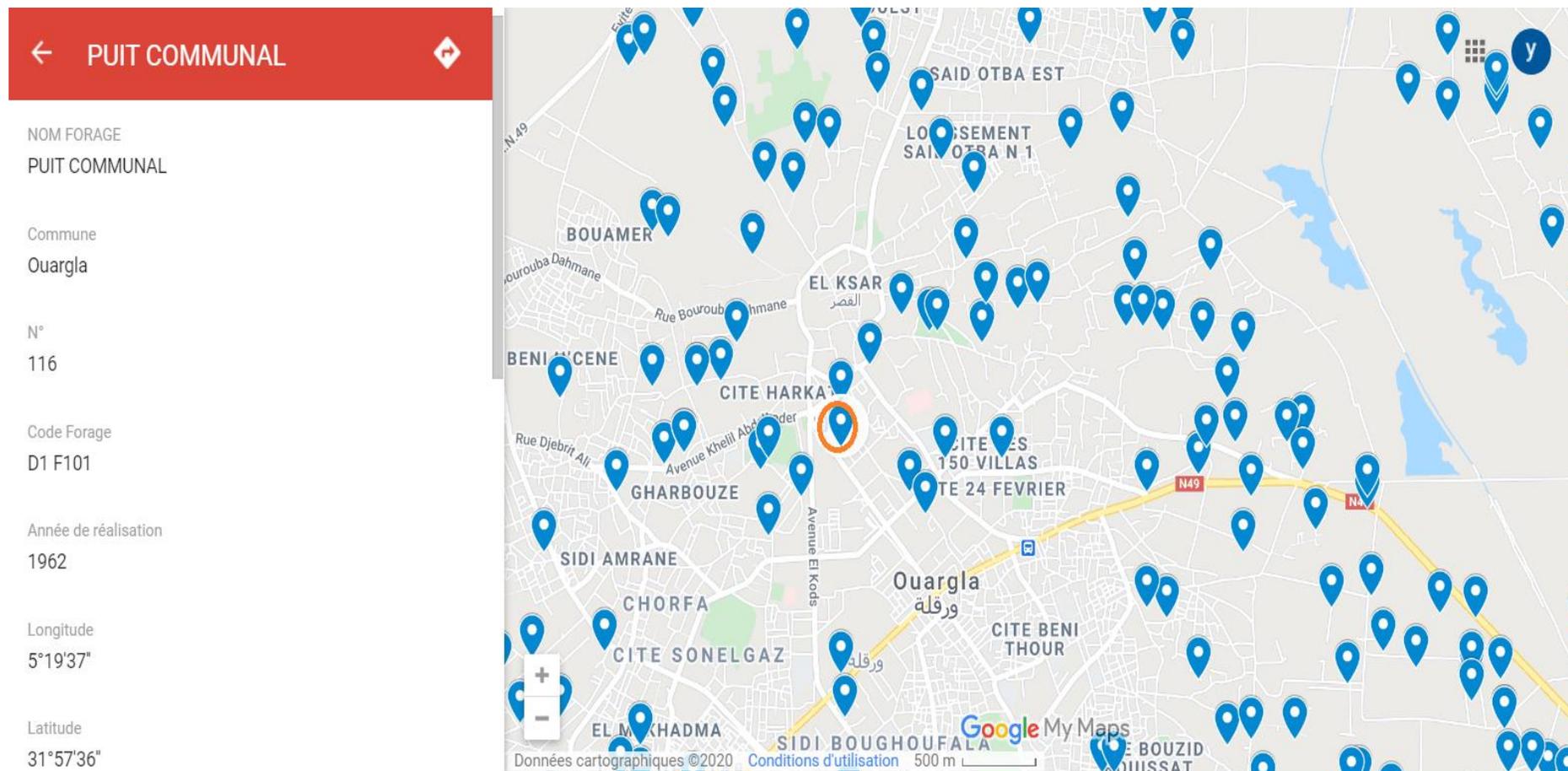


Figure 22: Exemple d'affichage des caractéristiques d'un forage

← PUIT COMMUNAL

Débit mobilisé (l/s)

20

Débit exploité (l/s)

20

Rabatement (m)

3.46

Année de mise en service

1962

Utilisation

DIVE

Maitre d'œuvre

ETAT

Napp exploité

MIO-PLIOCENE



Figure23 : suite des caractéristiques d'un forage

De façon générale la cartographie est principalement utilisée comme instrument pour :

- Présenter la localisation des forages du CT et leurs données de manière simple (La commune, le code et le nom de forage, les coordonnées (Latitude X, longitude Y, et Z) ,la profondeur (m),côte de tubage (m),Côte de la crépine (m),Le niveau statique (m) ,le niveau dynamique(m) ,le débit (l/s) (Le débit mobilisé, le débit exploité), le rabattement, le résidu sec, l'année de mise en service, utilisation (AEP, Irrigation, Mixte),Nappe exploité)
- Voir les variations que sera au niveau des forages.
- Métriser la gestion suivant les données

Conclusion

Conclusion

L'eau joue un rôle déterminant dans la vie, avec le temps, les besoins augmentent, ce qui entraîne une augmentation dans l'exploitation de l'eau.

On sait également que l'état d'Ouargla est connu par l'exploitation des eaux souterraines que s'est présenté en deux type des nappes, le continental intercalaire et le Complexe terminal.

La surexploitation conduit au manque de débit, l'abaissement du niveau d'eau et l'abondement des forages.

Pour éviter cela, nous avons fait une étude hydrogéologique dans quatre forages au niveau de la nappe moi-pliocène et nous avons obtenu des résultats à partir desquels nous avons eu une idée sur la productivité du la nappe.

La transmissivité varie d'un forage à l'autre, pour les forages étudiés elle est entre $4,73 \times 10^{-3}$ pour le forage de FRANE AEP et $32,94 \times 10^{-3}$ pour le forage AOUF I.

L'augmentation des pompages cause la diminution de la transmissivité.

Nous avons crée une cartographie des forages, elle nous aide à stocker, introduire facilement les données et à déterminer l'emplacement du forage plus précis afin que le changement des données se fasse périodiquement et que nous puissions en déduire l'effet de ces changements qui en résultent. A fin de maitriser l'exploitation des ces derniers.

Jusqu'à ce que nous atteignons ces résultats, nous avons visité plusieurs services pour collecter ces données, où nous avons rencontré des difficultés pour obtenir des données, cependant, il y a encore un grand manque des données, et cela est dû au manque des compagnes d'inventaires et à la contradiction des données entre les services avec la présence des forages illicites. D'autre part, nous avons trouvé plusieurs données des déférentes années, ce qui a rendu difficile pour pouvoir déterminer l'année et de trouver des données relatives à cette année.

De plus, certaines données étaient erronées et des corrections ont été apportées, Toutes ces lacunes influencent sur l'exploitation des nappes d'eau et la gestion de ces nappes.

Conclusion

À la fin de ce travail, nous avons pensé qu'il était utile de faire quelque recommandation bénéfique qui serait utiles pour lutter contre la surexploitation et préserver la nappe :

- Compléter les données des forages manquantes
- Une étude hydrogéologique précise et une réalisation du forage de manière correcte pour éviter l'arrêt ou l'abandonne
- Limiter la construction des nouveaux forages dans les régions les plus exploitées et respectez la distance légale entre les forages
- Organiser des campagnes d'inventaire périodiquement pour voir la variation de ces valeurs et leur influence au niveau du forage.
- Adopter un rythme de pompage en rapport avec les caractéristiques et les possibilités de forage. Eviter en particulière, dans la mesure du possible, les démarrages trop fréquents et le pompage en continue 24 heures sur 24.
- Respecter un niveau dynamique de l'eau de pompage qui ne dénoie en aucun cas la crépine de captage.
- Ne pas dépasser le débit maximum d'exploitation de forage.
- Entretenir régulièrement le forage.
- Faire introduire des nouvelles méthodes pour contrôler les forages quantitatif et qualitatif
- Une méthode de gestion de coté maintenance
- Consulter un spécialiste expérimenté dans la prise des décisions
- Il suffit de respecter les règles élémentaires d'une bonne maintenance et d'une bonne gestion des forages
- Un côntrôl qualitatif, analyse complète de l'eau de forage periodiquement.

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] Éric Gilli ; Christian Mangan et Jacques Mudry.2008. HYDROGÉOLOGIE . Objets, méthodes, applications. 2e édition. Dunod .354p
- [2] L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique - un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, Cap Net, RAOB, et IGRAC».2015
- [3] Barbara Suski. Caractérisation et suivi des écoulements hydriques dans les milieux poreux par la méthode du Potentiel Spontané. Géophysique [physics.geo-ph]. Université de droit, d'économie et des sciences - Aix-Marseille III, 2005. Français.
- [4] Frédéric PORTET.2003. Interprétation d'essais de pompage.
- [5] Jacques Beauchamp.2006. les systèmes aquifères.
- [6] Th. Kremer, Cl. Plumelle. Théorie et pratique de la géotechnique, Editions du Moniteur, Chapter: 16,Aquifère , nappes et essais d'eau, pp.725-848
- [7]J.P. Paillat.Janvier 1998. Rapport final Programme bassin versants et transmission des pollution au littoral Détermination des paramètres hydrodynamique de l'aquifère fissuré schisto-gréseux du périmètres expérimental Keverdréach.
- [8]J. Forkasiewicz.1972. Interprétation des données de pompage d'essai pour l'évaluation des paramètres des aquifères. Bureau de recherches géologiques et minières. Ministre de l'industrie. BRGM
- [9] Arjen van der Wal. Janvier 2009. Hydrogéologie et hygiène d'un forage
Publié par la Fondation PRACTICA.44p
- [10] jmvallee.2005.Etude de la porosité et de la perméabilité. Institut française de l'éducation.
- [11] Oulaà Jean Marc. 2011. Evaluation et analyse géostatistique des paramètres hydrodynamiques des aquifères fissurés de la région du N'zi-Comoé (centre-est de la Côte d'Ivoire). Institut National Polytechniques Houphouët Boigny de Yamoussoukro (INP-HB) - Technicien Supérieur des Mines et de Géologie
- [12] Gasse, F. 2005. Continental palaeohydrology and palaeoclimate during the Holocene. C. R. Geoscience, 337, 79–86.
- [13] Dubost, D. 1986. Nouvelles perspectives agricoles du Sahara algérien. Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée, N°41-42. pp. 339-356.
- [14] Système aquifère du sahara septentrional.Gestion commune d'un bassin transfrontière. OBSERVATOIRE DU SAHARA ET DU SAHEL.RESULTATS DE LA PREMIERE PHASE DU SASS.JUIN 2003

Références Bibliographiques

- [15] Rapport de l'Agence National De Ressources Hydraulique.2020
- [16] Estouri salim. 2008.étude d'adaptation d'une turbine aux forages albiens pour une autosuffisance en énergie électrique. mémoire de magister .institut national agronomique Alger
- [17] Ben saadia Mokhtar et Ghebbache Mohamed.2014. Etude qualitative des eaux de forages d'AEP de la vallée d'Oued Righ : Variation des teneurs en Fluorure en fonction de la piézométrie. Mémoire de Master.univ Ouargla.63p
- [18] Rapport de la Direction de l'agriculture (rapport de ministère)
- [19] Simon weber.2014. interprétation des essais de pompage dans les aquifères a nappe captive en cas d'interferences. 261p
- [20] BELAID Hosni , ZIN Youcef et RAHAL Nariman.2014. Contribution à l'étude des propriétés physico chimique des eaux albiennes et optimisation de son utilisation.mém licence . univ Eloued.46p
- [21] Thomas Klinka. 24 juin 2012. Exploitation des eaux souterraine .BRGM
- [22] L'intégration de la gestion des eaux souterraines pour les Organismes de Bassins Transfrontaliers en Afrique - un manuel de formation produit par AGW-Net, BGR, IWMI, CapNet, RAOB, et IGRAC».
- [23] G. P. Kruseman, n. A. De ridder .1974. International institute for land reclamation. Traduction du bulletin 11 : analysis and evaluation of pumping test data; ilri .wageningen, 1973, 2nd edition. And improvement wagening en then et her lands
- [24] Bouselsal Boualem. FORAGE D'EAU .Procédés et mesures .univ Ouargla.
- [25] Guide d'application de l'arrêté interministériel du 11/9/2003 relatif à la rubrique 1.1.0 de la nomenclature eau : sondage, forage, puits, ouvrage souterrain non domestique 41 .Fiche 8 – Tests de pompages
- [26] essai de pompage. Extrait de référentiel technique EPA.république de Hiiti .projet DINEPA..-OIEau- UNICEF 2012/2013
- [27] BRGM.2012.Guide méthodologique Forages et prélèvements d'eau souterraine
- [28] Jean François Dadoun. Essais de Pompage. Office intrnational de l'eau.
- [29] Leger, C. 2003. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires pluviales et d'irrigation. Mesures de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Volet étude d'impact sur l'environnement mission IIB : caractérisation environnementale de la situation actuelle.ONA, BG .42p.
- [30] Azémard Pierre, LRPC d'Aix. mars 2009. Collectivité Territoriale de Corse

Références Bibliographiques

Déviation Borgo Vescovato. Etude hydrogéologique visant à dimensionner le drainage du déblai D2. CETE. Méditerranée.49p

- [31] Mohamed amine BEDRANE.2019. Les types des essais de pompage. Agronomie info
- [32] Stéphane OROFINO. 28 JANVIER 2009. Interprétation du pompage d'essai .COMMUNE D'UPAIX (05) .DIAGNOSTIC AEP. GINGER Environnement & Infrastructures – Agence de Limoges pour la Commune d'Upaix.
- [33] Marie Boucher. Estimation des propriétés hydrodynamiques des aquifères par Résonance Magnétique des Protons dans différents contextes géologiques, de l'échantillon à l'échelle hydrogéologique. Hydrologie. Université d'Orléans, 2007. Français
- [34] Dictionnaire la Rousse français en ligne 2020
- [35] Abdelbaki C., Benhamouda F., Chikh M., 2012, SIG: Outils de gestion des réseaux d'alimentation en eau potable , Cas du réseau de la ville de Birtouta -Alger, Algérie, Editions universitaires européennes, ISBN : 978-3-8417-8907-5.
- [36] Dubief, J. 1953. Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. Ed. Service des études scientifique, Alger, 457 p.
- [37] Chikha Belgacem Bilal et Debbar Hocine.2017. Etude Hydrologique et Hydrogéologique de la région de Tébessapar application de la télédétection et SIG. mémoire Master . univ Ouargla
- [38] Rapport annuelle de la direction de Planification et de l'aménagement des territoires (D.P.A.T) .2010
- [39] Rouvillois-Brigol 1975. Le pays d'Ouargla, variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Pub. Univ. Sorbonne, Paris, pp 110-120
- [40] Aumassip, G., Dagorne, A., Estorges, P., Lefevre-Witier, Ph., Mahrouf, M., Marmier, F., Nesson, C., Rouvillois-Brigol, M., & Trecolle, G. 1972. Aperçu sur l'évolution du paysage Quaternaire et le peuplement de la région d'Ouargla. Lybica, Tome xx, pp206-256
- [41] Khadraoui ,A. 2004. Eau et impact environnemental dans le Sahara Algérien. Définition, évaluation et perspective de développement. Ed. ISBN .310p
- [42] Julien Gloor.2015. La contribution de Google Maps dans les applications de gestion. La contribution de Google Maps dans les applications de gestion. Qu'une histoire de carte ? Travail de Bachelor réalisé en vue de l'obtention du Bachelor HES. Haute Ecole de gestion Genève. Filière Informatique de Gestion.71p

ANNEXE

ANNEXE :01 Courbes des méthode d'interprétation des essais de pompage

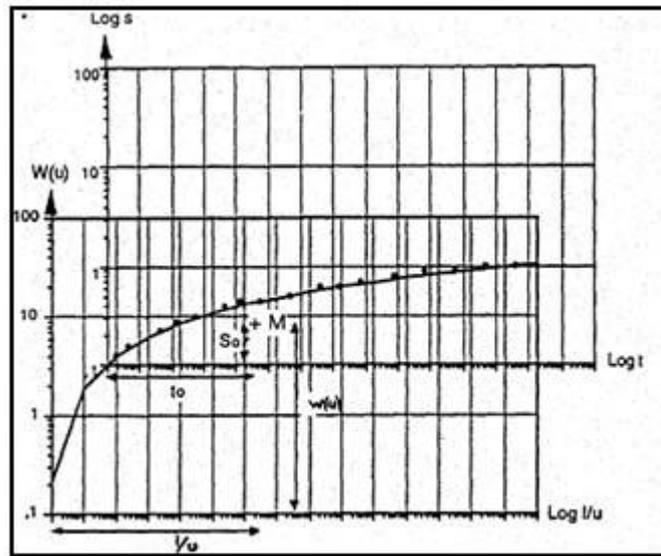


Figure 1 : Exemple d'application de la méthode de THEIS (M. DETAY, 1993). [23]

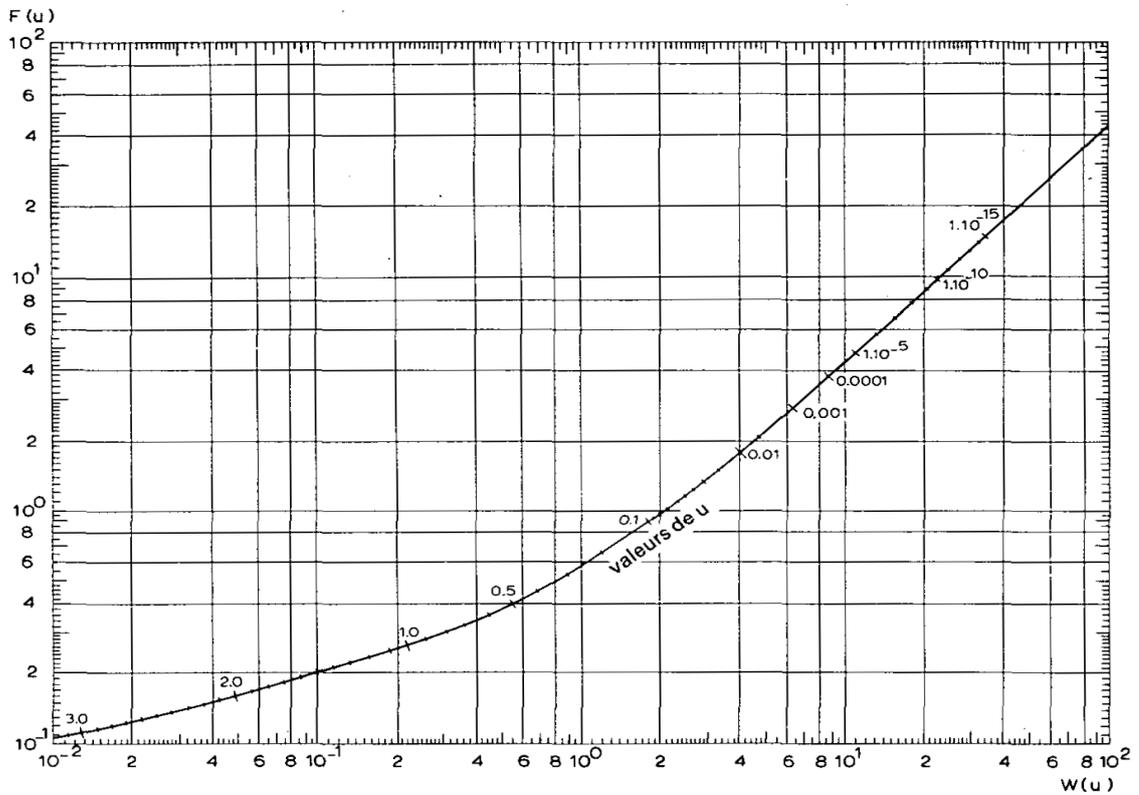


Figure 2 : Exemple de la courbe Abaque de Chow, donnant la relation entre F(u), W(u) et t u. [23]

ANNEXE 02 : Tableaux des essais de pompage forage FRANE AEP

NS	La descente			La remonté		
	Temps (min)	Nd	rabattement (m)	t/t'+1	Nd	rabattement
26,4	1	41,1	14,7	721	44,35	17,95
26,4	2	42,1	15,7	361	30,1	3,7
26,4	3	42,6	16,2	241	28,3	1,9
26,4	4	42,9	16,5	181	27,8	1,4
26,4	5	43,1	16,7	145	27,79	1,39
26,4	7	43,25	16,85	103,857143	27,7	1,3
26,4	9	43,35	16,95	81	27,6	1,2
26,4	11	43,47	17,07	66,4545455	27,53	1,13
26,4	13	43,55	17,15	56,3846154	27,47	1,07
26,4	15	43,62	17,22	49	27,42	1,02
26,4	20	43,72	17,32	37	27,37	0,97
26,4	25	43,8	17,4	29,8	27,3	0,9
26,4	30	43,85	17,45	25	27,2	0,8
26,4	40	43,8	17,4	19	27,18	0,78
26,4	50	43,79	17,39	15,4	27,13	0,73
26,4	60	43,81	17,41	13	27,08	0,68
26,4	75	43,84	17,44	10,6	27,04	0,64
26,4	90	43,86	17,46	9	26,99	0,59
26,4	105	43,86	17,46	7,85714286	26,94	0,54
26,4	120	43,89	17,49	7	26,92	0,52
26,4	135	43,93	17,53	6,33333333	26,88	0,48
26,4	150	43,97	17,57	5,8	26,86	0,46
26,4	165	44,03	17,63	5,36363636	26,84	0,44
26,4	180	44,08	17,68	5	26,82	0,42
26,4	210	44,08	17,68	4,42857143	26,8	0,4
26,4	240	43,96	17,56	4	26,76	0,36
26,4	270	43,99	17,59	3,66666667	26,72	0,32
26,4	300	43,99	17,59	3,4	26,68	0,28
26,4	360	43,99	17,59	3	26,63	0,23
26,4	420	44,28	17,88	2,71428571	26,6	0,2
26,4	480	44,29	17,89	2,5	26,55	0,15
26,4	600	44,35	17,95	2,2	26,51	0,11
26,4	720	44,35	17,95	2	26,48	0,08

ANNEXE 03 : Tableaux des essais de pompage forage OUDJANA II

NS	La descente			La remonté		
	temps (mn)	ND	rabattement (m)	t/t'+1	ND	Rabattement
23,9	1	27,96	4,06	601	24,95	1,05
23,9	2	27,97	4,07	301	24,83	0,93
23,9	3	27,99	4,09	201	24,74	0,84
23,9	4	28	4,1	151	24,68	0,78
23,9	5	28,02	4,12	121	24,63	0,73
23,9	7	28,06	4,16	86,7142857	24,56	0,66
23,9	9	28,09	4,19	67,6666667	24,53	0,63
23,9	11	28,13	4,23	55,5454545	24,47	0,57
23,9	13	28,15	4,25	47,1538462	24,43	0,53
23,9	15	28,18	4,28	41	24,4	0,5
23,9	20	28,23	4,33	31	24,37	0,47
23,9	25	28,25	4,35	25	24,34	0,44
23,9	30	28,27	4,37	21	24,3	0,4
23,9	40	28,34	4,44	16	24,28	0,38
23,9	50	28,36	4,46	13	24,26	0,36
23,9	60	28,39	4,49	11	24,24	0,34
23,9	75	28,42	4,52	9	24,22	0,32
23,9	90	28,44	4,54	7,6666667	24,19	0,29
23,9	105	28,48	4,58	6,71428571	24,18	0,28
23,9	120	28,52	4,62	6	24,17	0,27
23,9	135	28,56	4,66	5,44444444	24,16	0,26
23,9	150	28,59	4,69	5	24,15	0,25
23,9	165	28	4,1	4,63636364	24,14	0,24
23,9	180	28,6	4,7	4,33333333	24,12	0,22
23,9	195	28,6	4,7	4,07692308	24,1	0,2
23,9	210	28,61	4,71	3,85714286	24,09	0,19
23,9	225	28,62	4,72	3,66666667	24,08	0,18
23,9	240	28,63	4,73	3,5	24,07	0,17
23,9	270	28,64	4,74	3,22222222	24,05	0,15
23,9	300	28,65	4,75	3	24,03	0,13
23,9	330	28,66	4,76	2,81818182	24,01	0,11
23,9	360	28,68	4,78	2,66666667	23,98	0,08
23,9	420	28,7	4,8	2,42857143	23,96	0,06
23,9	480	28,72	4,82	2,25	23,94	0,04
23,9	540	28,73	4,83	2,11111111	23,92	0,02
23,9	600	28,74	4,84	2	23,9	0
23,9	660	28,75	4,85			
23,9	720	28,76	4,86			
23,9	780	28,77	4,87			
23,9	840	28,78	4,88			
23,9	900	28,79	4,89			

23,9	960	28,79	4,89			
23,9	1020	28,8	4,9			
23,9	1080	28,8	4,9			
23,9	1140	28,81	4,91			
23,9	1200	28,81	4,91			
23,9	1260	28,82	4,92			
23,9	1320	28,83	4,93			
23,9	1380	28,84	4,94			
23,9	1440	28,84	4,94			
23,9	1560	28,85	4,95			
23,9	1680	28,85	4,95			
23,9	1800	28,85	4,95			
23,9	1920	28,86	4,96			
23,9	2040	28,86	4,96			
23,9	2160	28,86	4,96			
23,9	2280	28,87	4,97			
23,9	2400	28,87	4,97			
23,9	2520	28,88	4,98			
23,9	2640	28,89	4,99			
23,9	2760	28,89	4,99			
23,9	2880	28,89	4,99			
23,9	3060	28,89	4,99			
23,9	3240	28,89	4,99			
23,9	3420	28,89	4,99			
23,9	3600	28,89	4,99			
23,9	3780	28,89	4,99			
23,9	3460	28,89	4,99			
23,9	4140	28,89	4,99			
23,9	4320	28,89	4,99			

ANNEXE 04 : Tableaux des essais de pompage forage ABDASSMED II

NS	La descente			La remonté		
	temps (mn)	ND	rabattement (m)	t/t' +1	ND	rabattement (m)
24,7	1	28,05	3,35	541	25,5	0,8
24,7	2	28,15	3,45	271	25,46	0,76
24,7	3	28,21	3,51	181	25,4	0,7
24,7	4	28,24	3,54	136	25,35	0,65
24,7	5	28,26	3,56	109	25,3	0,6
24,7	7	28,28	3,58	78,1428571	25,25	0,55
24,7	9	28,32	3,62	61	25,22	0,52
24,7	11	28,34	3,64	50,0909091	25,19	0,49
24,7	13	28,36	3,66	42,5384615	25,18	0,48
24,7	15	28,38	3,68	37	25,17	0,47

24,7	20	28,4	3,7	28	25,15	0,45
24,7	25	28,43	3,73	22,6	25,12	0,42
24,7	30	28,45	3,75	19	25,1	0,4
24,7	40	28,47	3,77	14,5	25,08	0,38
24,7	50	28,49	3,79	11,8	25,07	0,37
24,7	60	28,51	3,81	10	25,05	0,35
24,7	75	28,54	3,84	8,2	25,04	0,34
24,7	90	28,56	3,86	7	25,02	0,32
24,7	105	28,6	3,9	6,14285714	25	0,3
24,7	120	28,61	3,91	5,5	24,98	0,28
24,7	135	28,62	3,92	5	24,96	0,26
24,7	150	28,64	3,94	4,6	24,94	0,24
24,7	165	28,65	3,95	4,27272727	24,92	0,22
24,7	180	28,66	3,96	4	24,9	0,2
24,7	195	28,67	3,97	3,76923077	24,88	0,18
24,7	210	28,69	3,99	3,57142857	24,85	0,15
24,7	225	28,7	4	3,4	24,81	0,11
24,7	240	28,72	4,02	3,25	24,78	0,08
24,7	270	28,73	4,03	3	24,75	0,05
24,7	300	28,74	4,04	2,8	24,74	0,04
24,7	330	28,75	4,05	2,63636364	24,73	0,03
24,7	360	28,76	4,06	2,5	24,72	0,02
24,7	420	28,77	4,07	2,28571429	24,71	0,01
24,7	480	28,78	4,08	2	24,7	0
24,7	540	28,78	4,08			
24,7	600	28,79	4,09			
24,7	660	28,8	4,1			
24,7	720	28,81	4,11			
24,7	780	28,82	4,12			
24,7	840	28,83	4,13			
24,7	900	28,84	4,14			
24,7	960	28,86	4,16			
24,7	1020	28,87	4,17			
24,7	1140	28,88	4,18			
24,7	1200	28,89	4,19			
24,7	1260	28,89	4,19			
24,7	1320	28,9	4,2			
24,7	1380	28,91	4,21			
24,7	1440	28,92	4,22			
24,7	1560	28,93	4,23			
24,7	1680	28,96	4,26			
24,7	1800	28,96	4,26			
24,7	1920	28,97	4,27			
24,7	2040	28,97	4,27			
24,7	2160	28,98	4,28			

24,7	2280	28,98	4,28		
24,7	2400	28,99	4,29		
24,7	2520	28,99	4,29		
24,7	2640	29	4,3		
24,7	2760	29	4,3		
24,7	2880	29	4,3		
24,7	3060	29,01	4,31		
24,7	3240	29,01	4,31		
24,7	3420	29,01	4,31		
24,7	3600	29,01	4,31		
24,7	3780	29,01	4,31		
24,7	3460	29,01	4,31		
24,7	4140	29,01	4,31		
24,7	4320	29,01	4,31		

ANNEXE 05 : Tableaux des essais de pompage forage AOUF I

NS	La descente			La remonté		
	Temps (min)	Nd	rabattement (m)	t/t'+1	ND	Rabattement
26,9	1	29,9	3	541	27,9	1
26,9	2	30	3,1	271	27,7	0,8
26,9	3	30,1	3,2	181	27,63	0,73
26,9	4	30,13	3,23	136	27,62	0,72
26,9	5	30,15	3,25	109	27,6	0,7
26,9	7	30,17	3,27	78,1428571	27,58	0,68
26,9	9	30,19	3,29	61	27,55	0,65
26,9	11	30,22	3,32	50,0909091	27,52	0,62
26,9	13	30,25	3,35	42,5384615	27,49	0,59
26,9	15	30,27	3,37	37	27,47	0,57
26,9	20	30,3	3,4	28	27,45	0,55
26,9	25	30,34	3,44	22,6	27,43	0,53
26,9	30	30,36	3,46	19	27,4	0,5
26,9	40	30,46	3,56	14,5	27,38	0,48
26,9	50	30,43	3,53	11,8	27,35	0,45
26,9	60	30,45	3,55	10	27,33	0,43
26,9	75	30,47	3,57	8,2	27,3	0,4
26,9	90	30,49	3,59	7	27,28	0,38
26,9	105	30,51	3,61	6,14285714	27,25	0,35
26,9	120	30,53	3,63	5,5	27,23	0,33
26,9	135	30,54	3,64	5	27,2	0,3
26,9	150	30,55	3,65	4,6	27,18	0,28
26,9	165	30,56	3,66	4,27272727	27,15	0,25
26,9	180	30,57	3,67	4	27,13	0,23
26,9	195	30,59	3,69	3,76923077	27,1	0,2

26,9	210	30,6	3,7	3,57142857	27,08	0,18
26,9	225	30,6	3,7	3,4	27,06	0,16
26,9	240	30,6	3,7	3,25	27,04	0,14
26,9	270	30,61	3,71	3	27,02	0,12
26,9	300	30,62	3,72	2,8	27	0,1
26,9	330	30,63	3,73	2,63636364	26,98	0,08
26,9	360	30,65	3,75	2,5	26,96	0,06
26,9	420	30,68	3,78	2,28571429	26,94	0,04
26,9	480	30,69	3,79	2,125	26,92	0,02
26,9	540	30,7	3,8	2	26,9	0
26,9	600	30,7	3,8			
26,9	660	30,71	3,81			
26,9	720	30,72	3,82			
26,9	780	30,73	3,83			
26,9	840	30,73	3,83			
26,9	900	30,74	3,84			
26,9	960	30,74	3,84			
26,9	1020	30,75	3,85			
26,9	1080	30,75	3,85			
26,9	1140	30,76	3,86			
26,9	1200	30,76	3,86			
26,9	1260	30,77	3,87			
26,9	1320	30,77	3,87			
26,9	1380	30,78	3,88			
26,9	1440	30,79	3,89			
26,9	1560	30,79	3,89			
26,9	1680	30,8	3,9			
26,9	1800	30,8	3,9			
26,9	1920	30,8	3,9			
26,9	2040	30,8	3,9			
26,9	2160	30,81	3,91			
26,9	2280	30,81	3,91			
26,9	2400	30,81	3,91			
26,9	2520	30,81	3,91			
26,9	2640	30,81	3,91			
26,9	2760	30,81	3,91			
26,9	2880	30,81	3,91			
26,9	3060	30,81	3,91			
26,9	3240	30,81	3,91			
26,9	3420	30,81	3,91			
26,9	3600	30,81	3,91			
26,9	3780	30,81	3,91			
26,9	3460	30,81	3,91			
26,9	4140	30,81	3,91			
26,9	4320	30,81	3,91			

Résumé

Les aquifères d'Ouargla fait partie au système aquifère du Sahara septentrional, ce dernier est composé d'une superposition de deux aquifères : le complexe terminal (CT) et le continental intercalaire (CI). Ce travail base sur la nappe de Complexe Terminal.

La nappe du complexe terminal est la plus exploitée dans la région de Ouargla , cette exploitation excessive forme un changement et un impact majeurs que ce soit au niveau de la nappe ou du forage, pour cela, l'objectif de notre étude est de collecter et compléter les données des forages pour l'organiser et l'exploiter ces données de manière simple et la contribution à adopter une bonne méthode de gestion.

La collection des données est faite par la consultation de plusieurs services qui ont une relation avec la gestion de l'eau, et malgré le manque des inventaires périodiques et la différence en présentation des données on a essai de les organisées notant que le travail nécessite de compléter.

Le calcul de la transmissivité nous permet d'avoir une idée sur le rendement de la nappe, elle varie d'un forage à l'autre, pour les forages étudiés elle est entre 4.73×10^{-3}

Pour le forage de FRANE AEP et 32.94×10^{-3} pour le forage AOUF I.

La cartographie des forages est faite par Google Maps, elle présente l'emplacement des forages dans la région étudiée et leurs données de manière facile.

Mots clés : Aquifère, complexe terminal, forage, Ouargla, paramètres hydrogéologique.

Abstract

The Ouargla aquifers are part of the northern Sahara aquifer system, which is made up of a superposition of two aquifers: the terminal complex (CT) and the intercalary continental (CI).

This work is based on the Complexe Terminal groundwater.

The terminal complex aquifer is the most exploited in the Ouargla region, this excessive exploitation forms a major change and impact whether it is at the level of the water table or of the drilling, for this, the objective of our study is to collect and complete the drill data to organize and use this data in a simple way and the contribution to adopting a good management method.

The collection of data is made by consulting several services that have a relation with water management, and despite the lack of periodic inventories and the difference in presentation of the data we have tried to organize them noting that the work requires complete.

Calculating the transmissivity allows us to have an idea of the yield of the groundwater, it varies from one drill to another, for those studied, it is between 4.73×10^{-3} for drilling FRANE AEP and 32.94×10^{-3} for drilling AOUF I.

The drill mapping is done by Google Maps, it presents the location of the drills in the study area and their data in an easy way.

Keywords: Aquifer, terminal complex, drill, Ouargla, hydro geological parameters.

ملخص

تعتبر طبقات المياه الجوفية في ورقلة جزءاً من نظام الخزان الجوفي الشمالي للصحراء ، والذي يتكون من تراكب من خزائين: المركب النهائي و الطبقة القارية الوسيطة و يعتمد هذا العمل على منسوب المياه الجوفي المركب النهائي.

يعتبر منسوب المياه في المركب النهائي هو الأكثر استغلالاً في منطقة ورقلة ، وهذا الاستغلال المفرط يشكل تغييراً وتأثيراً رئيسياً سواء كان ذلك على مستوى منسوب المياه الجوفية أو على مستوى الحفر ، ولهذا الغرض من دراستنا هو جمع و اكمال بيانات الابار لتنظيم واستخدام هذه البيانات بطريقة مبسطة والمساهمة في تبني طريقة إدارة جيدة.

يتم جمع البيانات من خلال استشارة عدة خدمات لها علاقة بإدارة المياه ، وعلى الرغم من عدم وجود قوائم جرد دورية والاختلاف في عرض البيانات فقد حاولنا تنظيمها مع ملاحظة أن العمل يتطلب تكملة .

يسمح لنا حساب النفاذية بالحصول على فكرة عن إنتاجية منسوب المياه الجوفية ، فهي تختلف من بئر إلى آخر ، حيث تتراوح نفاذية الآبار المدروسة بين 4.73×10^{-3} و 32.94×10^{-3}

يتم إنشاء خريطة توزع الآبار بواسطة Google Maps ، حيث تعرض موقع الآبار في منطقة الدراسة وبياناتها بطريقة سهلة .

الكلمات المفتاحية : الخزان الجوفي ، المركب النهائي ، البئر ، ورقلة ، المؤشرات الهيدروجيولوجية .