

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences appliquées

Département de Génie Civile et Hydraulique

Mémoire fin d'études

MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : Forage D'eau

THEME



**Etude Hydrodynamique des eaux souterraines
(Essais de pompage) -Gassi Touil-**

Soutenu publiquement le :07/06/2026

Prépar par :

Abes Abderraouf

Hafiane Mohamed Hichem

Zerrouki M	MCA	UKMO	Président
Gherairi Yamina	MAA	UKMO	Examineur
Mansouri Zina	MCA	UKMO	Encadreur

Année universitaire : 2025-2026

Introduction

Chapitre I : Caractéristiques hydrodynamiques des aquifères

I.1 : Propriétés hydrodynamiques des aquifères	1
I.1.1 Définition de l'aquifère	1
I.1.2 Types d'aquifères	2
I.1.3 Porosité	4
I.1.4 Perméabilité	6
I.1.5 Transmissivité	7
I.1.6 Coefficient d'emmagasinement	9
I.2 : Lois de l'écoulement souterrain	10
I.2.1 La loi de Darcy (Loi de Darcy)	11
I.2.2 Généralités sur l'écoulement souterrain	11
I.2.3 Loi de Darcy	12
I.2.4 Gradient hydraulique	13
I.2.5 Écoulement dans les milieux saturés et non saturés.....	15
I.2.6 Régimes d'écoulement souterrain	16
I.2.7 Cône de rabattement	17
I.3 Conclusion chapitre	18

Chapitre II : Les essais de pompage et méthodes d'interprétation

II-1 Généralités sur les essais de pompage	20
II.1.1 Définition des essais de pompage	20
II.1.2 Principe des essais de pompage	20
II.1.3 Objectifs des essais de pompage	22
II.1.3.1 Détermination des paramètres hydrodynamiques	22
II.1.3.2 Évaluation de la productivité du forage	23
II.2 Types d'essais de pompage.....	23
II.2.1 Essai par paliers.....	23
II.2.1.1 Définition	23

II.2.1.2 Principe de l'essai par paliers	24
II.2.1.3 Objectifs de l'essai par paliers	24
II.2.1.4 Déroulement de l'essai	24
II.2.1.5 Interprétation de l'essai par paliers	25
II.2.1.6 Courbe caractéristique du forage	26
II.2.2 Essai à débit constant	26
II.2.2.1 Définition	26
II.2.2.2 Principe de l'essai	27
II.2.2.3 Objectifs de l'essai	27
II.2.2.4 Déroulement de l'essai	27
II.2.2.5 Interprétation de l'essai	27
II.2.3 Essai de longue durée	28
II.2.3.1 Définition	28
II.2.3.2 Principe de l'essai	29
II.2.3.3 Objectifs de l'essai	29
II.2.3.4 Déroulement de l'essai	29
II.2.3.5 Interprétation des résultats	29
II.2.3.6 Courbe d'interprétation	30
II.3 Paramètres influençant les essais de pompage	30
II.3.1 Débit de pompage	30
II.3.2 Durée du pompage.....	31
II.3.3 Nature hydrodynamique de l'aquifère.....	31
II.3.4 Conditions aux limites.....	31
II.3.5 Rayon d'influence et cône de rabattement.....	31
II.4 Méthodes d'interprétation des essais de pompage.....	31
II.4.1 Méthode de Theis.....	31
II.4.1.1 Principe.....	31
II.4.1.2 Expression mathématique.....	32
II.4.1.3 Fonction de puits $W(u)$	32
II.4.1.3 Méthode d'interprétation	32

II.4.2 Méthode de Cooper-Jacob (1946).....	33
II.4.2.1 Principe.....	33
II.4.2.2 Méthode de Jacob simplifiée.....	33
II.5 Conclusion chapitre.....	34

Chapitre III : Étude expérimentale – Essai de pompage

III.1 : Cadre géographique et géologique.....	36
III.2 : Contexte hydrogéologique.....	38
III.3 : Présentation des forages.....	39
III.4 : Analyse hydrodynamique des essais de pompage et comportement piézométrique des aquifères et comportement piézométrique des aquifères.....	40
III.5 Discussion des résultats obtenus.....	50
III.6.2 Analyse de l'influence de la distance entre les forages.....	51
III.6 Conclusion chapitre.....	53
Conclusion	54

List de Figures

Figure I.1 : (Structure d'un aquifère).....	4
Figure I.2 (Perméabilité et écoulement)	7
Figure I.3 (Transmissivité)	8
FigureII.1 (Courbe caractéristique).....	26
FigureII.2 (la courbe semi-logarithmique).....	28
FigureII.3 (Courbe typique).....	30
Figure III.1 (Carte géographique présente la région de Gassi Touil).....	36
Figure III.2 (Coupe lithostratigraphique type de la région de Ouargla).....	37
Figure III.3 (Localisation des forages).....	40
Figure III.4.(Tubage)	41
Figure III.5 (Courbe caractéristique du forage F16).....	43
Figure III.6 (Courbe caractéristique du forage F17).....	44
Figure III.7 (Courbe caractéristique du forage F17.....	45

List de Tableau

Tableau III.1 : Caractéristiques techniques du forage F16.....	40
Tableau III.2 : Programme de tubage et de la colonne de captage.....	42
Tableau III.3 : par palier.....	42
Tableau III.4 : Caractéristiques techniques du forage F17.....	43
Tableau III.5 : Programme de tubage et de la colonne de captage.....	44
Tableau III.6 : Par palier	45
Tableau III.7 : Caractéristiques techniques du forage F13.....	46
Tableau III.8 : Programme de tubage et de la colonne de captage.....	47
Tableau III.9 : par paliers	47
Tableau III.10 : récapitulatif du forage 01.....	48
Tableau III.11 : récapitulatif du forage 04.....	49
Tableau III.12 : Programme de tubage	49
Tableau III.13 : Paramètres hydrodynamiques des forages étudiés.....	50

Remerciements

Tout d'abord nous remercions le Dieu tout puissant maître des cieux et de la terre, de nous avoir aidés et donnés le courage et la volonté pour pouvoir mener ce modeste travail à terme. Il nous est particulièrement agréable d'exprimer notre gratitude à notre promotrice Mme Mansouri Zina pour ces conseils précieux, son expérience et sa rigueur dans le travail. Ses travaux nous ont inspirés lors de nos recherches.

Nos profonds remerciements à Mr. Zerrouki d'avoir accepté de présider la commission du jury, On tient à remercier également Mma. Gherairi Yamina de nous avoir fait l'honneur d'accepter de juger et examiner ce travail.

On remercie également toute l'équipe pédagogique du Département des Hydraulique un remerciement spécial au ANRH . Merci à tous ceux qu'on n'a pas cité et qui par l'apport d'un petit rien ont contribué énormément à ce travail.

Dédicas

JE DÉDIE CE TRAVAIL À MES TRÈS CHERS
PARENTS POUR LEUR AMOUR, LEUR COURAGE,
LEUR PRIÈRES, LEUR SOUTIEN MORAL ET SURTOUT
POUR LEURS SACRIFICES POUR ME PERMETTRE
D'ATTEINDRE CETTE ÉTAPE DE MA VIE QUE
DIEU VOUS PROTÈGE ET VOUS PROCURE SANTÉ ET BONHEUR.

À MES FRÈRES ET MA CHÈRE SŒUR, QUI
M'ONT TOUJOURS ÉPAULÉ ET ENCOURAGÉ ET À
QUI JE SOUHAITE PROSPÉRITÉ ET VIVRE EN GAITÉ ;

À MON BINÔME HICHEM QUI MA SOUTENUS
PENDANT CETTE DURÉE DE TRAVAIL SANS
OUBLIÉ TOUTE SA FAMILLE.

À MES CHERS AMIS, NADIR , BAKIRO, MOHAMED,
AYMEN, SOFIANE, KRAMA ,ALI ,IMANE
ENFIN, À TOUS CEUX QUE J'AI ESTIMÉS
DURANT MON CURSUS UNIVERSITAIRE

ABDERRAOUF ABES

Dédicas

AU NOM DE DIEU, LE TOUT MISÉRICORDIEUX, LE TRÈS
MISÉRICORDIEUX.

LOUANGE À DIEU QUI M'A PERMIS D'ACCOMPLIR CE MODESTE
TRAVAIL.

JE DÉDIE LE FRUIT DE CET EFFORT À MES CHERS PARENTS, QUI M'ONT
SOUTENU ET FORTIFIÉ TOUT AU LONG DE MES ÉTUDES, ET À MA CHÈRE
ÉPOUSE POUR SA PATIENCE ET SES ENCOURAGEMENTS CONSTANTS.

JE LE DÉDIE ÉGALEMENT À MES CHERS FRÈRES ET SŒURS, QUI ONT
TOUJOURS ÉTÉ UNE SOURCE DE SOUTIEN, D'ENCOURAGEMENT ET
D'AMOUR, ET À TOUS LES MEMBRES DE MA FAMILLE QUI M'ONT
ENTOURÉ DE PRIÈRES ET D'ENCOURAGEMENTS.

J'EXPRIME MA SINCÈRE GRATITUDE À MES ESTIMÉS PROFESSEURS
QUI ONT CONTRIBUÉ À MON DÉVELOPPEMENT ACADÉMIQUE ET M'ONT
PRODIGUÉ CONSEILS ET ORIENTATIONS, AINSI QU'À MES COLLÈGUES
ET AMIS QUI ONT PARTAGÉ MON PARCOURS D'ÉTUDES ET ONT
CONTRIBUÉ À CRÉER LES CONDITIONS PROPICES À LA RÉALISATION
DE CE TRAVAIL.

À TOUS CEUX QUI M'ONT AIDÉ, DE PRÈS OU DE LOIN, JE DÉDIE CE
MODESTE TRAVAIL, ESPÉRANT QUE DIEU LE RENDRA PROFITABLE ET
UTILE.

MUHAMMAD HISHAM HAFIANE

Résumé

Les eaux souterraines constituent la principale ressource en eau dans les régions sahariennes où les ressources superficielles sont limitées. Leur exploitation durable nécessite une bonne connaissance des caractéristiques hydrodynamiques des aquifères afin d'assurer une gestion rationnelle des réserves disponibles.

Le présent travail porte sur l'étude hydrodynamique des eaux souterraines à travers l'interprétation des essais de pompage réalisés dans la région de Gassi Touil, située au sud de l'Algérie. L'objectif principal est de caractériser le comportement hydraulique des aquifères exploités et d'évaluer les performances des forages étudiés.

L'étude s'appuie sur l'analyse des données recueillies lors des essais de pompage effectués sur plusieurs forages captant les formations du Complexe Terminal. Les résultats obtenus ont permis d'évaluer les rabattements observés, d'analyser les débits spécifiques et d'interpréter le comportement piézométrique des aquifères exploités. Les analyses montrent une relative homogénéité hydrodynamique entre les différents ouvrages, tout en révélant certaines variations liées aux caractéristiques locales des formations aquifères et aux conditions d'équipement des forages.

Les essais réalisés mettent en évidence des conditions favorables à l'exploitation des eaux souterraines dans la région de Gassi Touil ainsi qu'un potentiel hydraulique appréciable des formations captées. Les résultats obtenus constituent une base importante pour l'optimisation de l'exploitation des forages et la gestion durable des ressources en eau souterraine dans cette région saharienne.

Mots-clés : Hydrodynamique, eaux souterraines, aquifère, essais de pompage, transmissivité, rabattement, piézométrie, Complexe Terminal, Gassi Touil.

Abstract

Groundwater represents the main water resource in arid and Saharan regions where surface water resources are scarce. Sustainable exploitation of these resources requires a thorough understanding of aquifer hydrodynamic properties in order to ensure efficient and rational water management.

This study focuses on the hydrodynamic analysis of groundwater through the interpretation of pumping tests carried out in the Gassi Touil region, located in southern Algeria. The main objective is to characterize the hydraulic behavior of the exploited aquifers and to evaluate the performance of the studied wells.

The study is based on the analysis of pumping test data collected from several wells tapping the Terminal Complex aquifer system. The obtained results made it possible to evaluate drawdown evolution, analyze specific discharge, and interpret the piezometric behavior of the exploited aquifers. The analyses reveal a relative hydrodynamic homogeneity between the studied wells, while highlighting some local variations related to aquifer characteristics and well completion conditions.

The pumping tests indicate favorable conditions for groundwater exploitation in the Gassi Touil area and demonstrate the significant hydraulic potential of the exploited formations. The obtained results provide valuable information for optimizing well operation and ensuring sustainable groundwater resource management in this Saharan region.

Keywords: Groundwater hydrodynamics, aquifer, pumping tests, transmissivity, drawdown, piezometry, Terminal Complex, Gassi Touil, Algeria.

ملخص

تُعدّ المياه الجوفية المورد المائي الأساسي في المناطق الصحراوية. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الخصائص الهيدروديناميكية للخزانات الجوفية بمنطقة غاسي طويل من خلال تحليل نتائج اختبارات الضخ المنجزة على عدة آبار تستغل مياه (Complexe Terminal) أظهرت النتائج مردودية جيدة للآبار وإمكانات هيدروليكية معتبرة للخزان الجوفي، مع تجانس نسبي في السلوك الهيدروديناميكي بين الآبار المدروسة. وتسهم هذه النتائج في تحسين استغلال المياه الجوفية وضمان إدارتها المستدامة في المنطقة.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، الهيدروديناميكا، اختبارات الضخ، الخزان الجوفي، غاسي طويل، المجمع النهائي.

Introduction

Introduction générale :

L'eau constitue une ressource naturelle indispensable au développement économique, social et environnemental des régions arides et semi-arides. Dans le sud algérien, où les précipitations sont faibles et les ressources en eau de surface quasi inexistantes, les eaux souterraines représentent la principale source d'approvisionnement pour les besoins domestiques, agricoles et industriels. La gestion rationnelle de ces ressources stratégiques nécessite une connaissance approfondie du fonctionnement hydrodynamique des aquifères et de leur capacité à répondre aux sollicitations liées à l'exploitation.

L'hydrodynamique des eaux souterraines est une discipline fondamentale de l'hydrogéologie qui étudie les mécanismes d'écoulement de l'eau dans les formations géologiques ainsi que les propriétés hydrauliques des aquifères. Elle permet notamment de caractériser les paramètres essentiels tels que la transmissivité, la conductivité hydraulique et le coefficient d'emmagasinement, indispensables à l'évaluation du potentiel des nappes souterraines et à la gestion durable des ressources en eau.

Parmi les méthodes les plus utilisées pour la caractérisation des aquifères, les essais de pompage occupent une place prépondérante. Ces essais consistent à soumettre un forage à un pompage contrôlé tout en observant l'évolution des niveaux d'eau au cours du temps. L'interprétation des données obtenues permet de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques des formations aquifères et d'évaluer les performances des ouvrages de captage.

La présente étude s'intéresse à la région de Gassi Touil, située dans le Sahara algérien, où les eaux souterraines constituent une ressource essentielle pour les activités humaines et industrielles. Cette région repose principalement sur les grands systèmes aquifères sahariens, notamment le Complexe Terminal, dont l'exploitation nécessite une connaissance précise de ses propriétés hydrauliques afin d'assurer une gestion durable et optimale des ressources disponibles.

La problématique principale de ce travail peut être formulée comme suit :

Comment les essais de pompage permettent-ils de déterminer les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères exploités dans la région de Gassi Touil et d'évaluer leurs capacités de production ?

Afin de répondre à cette problématique, cette étude repose sur l'analyse et l'interprétation des essais de pompage réalisés sur plusieurs forages de la région. Les données recueillies permettront d'évaluer le comportement hydraulique des aquifères, de déterminer les principaux paramètres hydrodynamiques et d'analyser les performances des ouvrages étudiés.

Objectifs de l'étude

Cette étude vise principalement à analyser le comportement hydrodynamique des aquifères exploités dans la région de Gassi Touil à travers l'interprétation des essais de pompage réalisés sur plusieurs forages du Complexe Terminal.

Les objectifs spécifiques de cette étude sont :

- Caractériser les formations aquifères exploitées dans la région de Gassi Touil ;
- Analyser les résultats des essais de pompage réalisés sur les différents forages ;
- Déterminer les principaux paramètres hydrodynamiques des aquifères ;
- Évaluer les performances hydrauliques des forages étudiés ;
- Étudier le comportement piézométrique des nappes souterraines ;
- Comparer les résultats obtenus entre les différents ouvrages de captage ;
- Contribuer à une meilleure gestion et exploitation des ressources en eau souterraine dans la région étudiée.

Chapitre I
Caractéristiques hydrodynamiques des
aquifères

Chapiter I: Caractéristiques hydrodynamiques des aquifères

I-1 Propriétés hydrodynamiques des aquifères :

I.1.1 Définition de l'aquifère :

L'aquifère est l'un des concepts de base en hydrogéologie, car il est défini comme une formation géologique saturée d'eau, qui a une capacité suffisante pour stocker et transporter les eaux souterraines en quantités significatives qui permettent de les exploiter économiquement. La définition d'un aquifère ne se limite pas à la simple présence d'eau dans le milieu, mais inclut également les caractéristiques de ce milieu qui permettent à l'eau de s'y déplacer sous l'influence d'un gradient hydraulique.

Les chercheurs distinguent entre les réservoirs souterrains et d'autres formations non productrices d'eau, car le réservoir doit avoir deux caractéristiques de base : la capacité de stockage et la capacité de transport. Les formations qui contiennent de l'eau mais ne permettent pas son mouvement (comme certains types d'argile) ne sont pas considérés comme des réservoirs souterrains efficaces, mais sont classés comme des couches imperméables (couche imperméable).

De plus, le concept d'aquifère est étroitement lié à la structure géologique et aux propriétés lithologiques des roches, où la nature des roches (sédimentaire, calcaire, volcanique...) joue un rôle crucial dans la détermination du comportement des eaux souterraines. Les roches de sable et de gravier, par exemple, sont d'excellents réservoirs en raison de leur forte porosité, tandis que les roches calcaires peuvent former de bons réservoirs en cas de fissures ou de vides karstiques.

La distribution, la taille et l'interconnexion des pores dans le milieu géologique sont également un facteur crucial pour déterminer l'efficacité de l'aquifère. Les pores non connectés ne contribuent pas au mouvement de l'eau, tandis que les pores connectés permettent la formation d'un réseau d'écoulement qui permet à l'eau de se déplacer dans la formation.[1]

D'autre part, l'aquifère est considéré comme un système dynamique soumis à un équilibre entre les processus d'alimentation (recharge) et de décharge (rejet). Le réservoir est alimenté en eau par l'infiltration des eaux de pluie ou des vallées, tandis qu'il est évacué par des sources, des puits ou même s'écoulant vers d'autres zones. Cet

équilibre affecte directement la durabilité de la ressource en eau, surtout dans les zones sèches où la nutrition est très limitée.

Dans ce contexte, comprendre la dynamique de l'aquifère est essentiel pour évaluer sa réponse aux processus d'exploitation, en particulier lors de la réalisation d'expériences de pompage qui perturbent l'équilibre naturel et conduisent à la formation d'un cône descendant autour du puits.

L'aquifère est également classé dans des systèmes hydrologiques complexes, car il est affecté par plusieurs facteurs, y compris les caractéristiques physiques du milieu, les conditions climatiques, la structure tectonique, en plus de l'activité humaine. La surexploitation des eaux souterraines entraîne une baisse des niveaux d'eau, une détérioration de la qualité de l'eau, voire un épuisement dans certains cas, rendant impératif l'adoption de méthodes scientifiques précises pour évaluer et gérer ces ressources.

(Dans le contexte des études appliquées, la notion d'aquifère est particulièrement importante, car elle constitue le cadre dans lequel les techniques de pompage sont appliquées, visant à déterminer avec précision ses propriétés hydrodynamiques. En analysant la réponse du réservoir aux opérations de pompage, ses paramètres fondamentaux, tels que la conductivité et le coefficient de stockage, peuvent être estimés, permettant l'évaluation de sa capacité de production et la détermination des conditions pour son exploitation optimale.[2]

I.1.2 Types d'aquifères

Les aquifères (réservoirs d'eau souterraine) sont classés selon leurs conditions de rétention d'eau et la nature des limites géologiques environnantes, une classification essentielle pour comprendre le comportement des eaux souterraines lors du ruissellement ou de l'exploitation. Cette classification est essentielle dans les études hydrodynamiques, en particulier lors de l'analyse des résultats des expériences de pompage, car la réponse de chaque type de réservoir varie considérablement.

Cette classification est principalement basée sur la relation entre la couche aquifère et les couches environnantes en termes de perméabilité et de pression hydraulique, ce qui conduit à la distinction de plusieurs principaux types de réservoirs souterrains.[3]

a) Aquifère libre (eau souterraine):

Un aquifère libre est défini comme un réservoir non confiné, où sa surface supérieure est libre et exposée à la pression atmosphérique, et cette surface est connue sous le nom de niveau souterrain (niveau piézométrique). Ce type de réservoir est alimenté directement par des fuites de surface, telles que les eaux de pluie ou les vallées, ce qui le rend très vulnérable au changement climatique.

Cette espèce est également facile à exploiter, mais elle est aussi plus sensible à la pollution et aux chutes rapides du niveau de l'eau en raison d'un pompage intensif. Sa réponse aux expériences de pompage est clairement démontrée par une diminution progressive du niveau au fil du temps, avec la possibilité d'une récupération relativement rapide après l'arrêt du pompage. [8]

b) Aquifère confiné (confiné)

Un aquifère confiné se caractérise par sa présence entre deux couches imperméables ou peu perméables, ce qui conduit à ce que l'eau soit piégée à l'intérieur sous une pression supérieure à la pression atmosphérique. Lors du forage d'un puits dans ce type de réservoir, le niveau d'eau à l'intérieur du puits peut atteindre un niveau plus élevé que le plafond de la couche, et dans certains cas atteindre la surface du sol, ce qui est connu sous le nom de phénomène artésien (phénomène artésien).

La réponse de ce type de réservoir aux expériences de pompage diffère également des réservoirs libres, où la chute de pression est relativement plus rapide et le coefficient de stockage très faible car le stockage repose sur la compression de l'eau et de la roche plutôt que sur la vidange des pores. [8]

c) Aquifère semi-captif (semi-confiné)

Un réservoir semi-confiné représente un état intermédiaire entre les réservoirs libres et confinés, entouré de couches semi-perméables (couche semi-perméable) qui permettent le passage partiel de l'eau. Cette fuite conduit à un équilibre progressif des pressions à l'intérieur du réservoir, ce qui se reflète dans son comportement lors de l'exploitation.

L'analyse de ce type de réservoir nécessite également des modèles spéciaux qui prennent en compte le phénomène de fuite, qui est clairement montré dans les courbes

des expériences de pompage qui diffèrent des cas idéaux de réservoirs libres ou confinés. [8]

d) Aquifères fissurés et karstiques

En plus de la classification précédente, les réservoirs souterrains peuvent être classés selon la nature du milieu transportant l'eau. Dans les réservoirs fracturés (fissurés), l'eau circule à travers des fissures et des ruptures de roche, comme dans la roche solide. Dans les réservoirs karstiques, l'eau se déplace à travers de grands canaux et vides résultant de la dissolution des roches calcaires et un comportement irrégulier, avec des vitesses d'écoulement relativement élevées et difficile à prédire leur réponse aux expériences de pompage en utilisant des modèles classiques. [8]

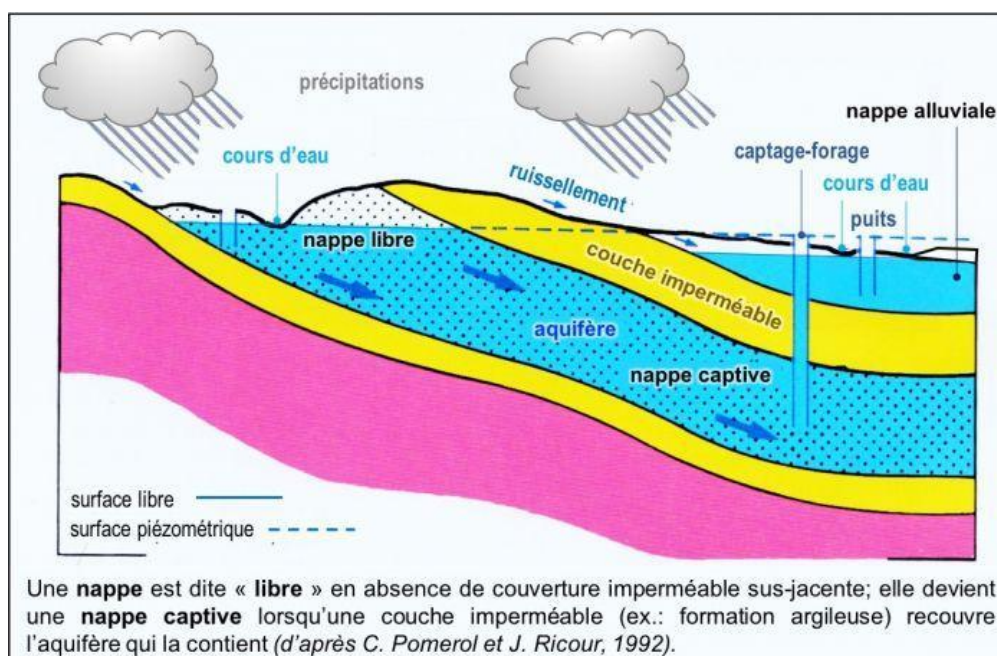


Figure I.1 (Structure d'un aquifère)

Source : Freeze, R.A., & Cherry, J.A. (1979)

I.1.3 Porosité :

(5) La porosité est l'une des propriétés physiques les plus importantes qui caractérise les environnements géologiques, car elle exprime la capacité de la formation rocheuse à stocker les eaux souterraines. La porosité est définie comme le rapport entre le volume des vides (Vides) dans un milieu et son volume total, et est une propriété de base qui contrôle la quantité d'eau qu'un aquifère peut contenir.

La porosité est exprimée mathématiquement par la relation suivante:

$$n = Vv / Vt$$

n: porosité

Vv: volume des espaces

Vt: volume total

Les valeurs de porosité varient en fonction du type de formation géologique, car elles sont élevées dans les sédiments incohérents tels que le sable et le gravier, et faibles dans les roches dures telles que le granit, à moins qu'elles ne soient fissurées.

Deux principaux types de porosité peuvent être distingués : la porosité totale (porosité totale) qui représente tous les vides dans le milieu, et la porosité efficace (porosité efficace) qui ne représente que les vides connectés qui contribuent réellement au mouvement de l'eau. La porosité effective est considérée comme la plus importante dans les études hydrodynamiques, car elle est directement liée au phénomène de l'écoulement des eaux souterraines.

Le degré de cohésion des pores joue également un rôle crucial, car la présence de vides discontinus ne contribue pas au transport de l'eau, même si la porosité globale est élevée. Cela explique la différence entre un support capable de stocker uniquement et un autre capable de stocker et de transporter ensemble.

La porosité est affectée par plusieurs facteurs, dont les plus importants sont la nature des grains (taille, forme, disposition) et le degré de cohésion, en plus des processus géologiques tels que la sédimentation et la compaction (Compaction) et la cimentation (Cimentation). Plus les granules sont homogènes et bien disposés, plus la porosité est grande, tandis que les processus ultérieurs la réduisent progressivement.

La porosité peut également se développer dans certaines roches à la suite de la fissuration ou de la fusion, comme c'est le cas dans les roches calcaires, où de grands vides sont formés qui augmentent la capacité de stockage, bien que cela ne signifie pas nécessairement une amélioration régulière de l'écoulement.

Dans le cadre des études appliquées, la porosité joue un rôle important dans l'explication du comportement de l'aquifère lors des expériences de pompage, en particulier pour déterminer le coefficient de stockage dans les réservoirs libres, car sa

valeur est directement liée à la porosité effective. Il permet également d'estimer le volume d'eau exploitable, où il dépend fortement des eaux souterraines. [8]

I.1.4 Perméabilité :

(7) La perméabilité est l'une des propriétés hydrodynamiques les plus importantes qui contrôlent le mouvement de l'eau dans les milieux géologiques. Il exprime la capacité d'un milieu poreux ou fracturé à laisser passer l'eau sous l'influence d'un gradient hydraulique.

La perméabilité n'est pas seulement liée à la présence de vides dans le milieu, mais dépend principalement de la mesure dans laquelle ces vides sont interconnectés, permettant la formation de voies d'écoulement efficaces dans la formation géologique.

La perméabilité est également généralement exprimée sous forme de coefficient K qui représente la conductivité hydraulique, est utilisé pour déterminer la vitesse d'écoulement dans les couches d'eau. Cette propriété joue un rôle essentiel dans l'explication du comportement des eaux souterraines, en particulier lors des opérations de pompage, car elle détermine la vitesse de propagation du cône descendant autour du puits.

Le concept de perméabilité est étroitement lié à la loi de Darcy, qui est la référence principale dans l'étude de l'écoulement en milieu poreux, car il montre que l'écoulement d'eau est directement proportionnel au gradient hydraulique et au coefficient de perméabilité. Le comportement de perméabilité varie également en fonction de la nature du milieu, car l'écoulement est régulier dans les milieux granulaires, alors qu'il devient plus complexe dans les milieux fissurés ou karstiques.

La perméabilité est affectée par plusieurs facteurs géologiques, dont les plus importants sont la taille et la distribution des grains. Il augmente dans les formations sablonneuses et graveleuses et est très faible dans les formations argileuses. L'agent de criblage granulaire joue également un rôle important dans la détermination du degré de cohésion des pores, améliorant ainsi ou entravant le flux d'eau.

Les processus géologiques tels que la compaction (compactage) et la cimentation (cimentation) réduisent également la perméabilité au fil du temps, tandis que les

fissures ou la fusion (comme dans les roches calcaires) peuvent augmenter considérablement la perméabilité, créant des systèmes d'écoulement complexes.

Dans le contexte appliqué, la perméabilité est considérée comme l'un des paramètres les plus importants déterminés lors des études hydrogéologiques, en particulier dans la construction de puits et les expériences de pompage, où elle est utilisée pour évaluer le rendement des couches d'eau. Plusieurs études algériennes ont montré que les caractéristiques de perméabilité dans les zones désertiques, telles qu'Ouargla et Wadi Souf, sont étroitement liées à la structure géologique et aux formations sédimentaires (Complexe Terminal et Continental Intercalaire).[8]

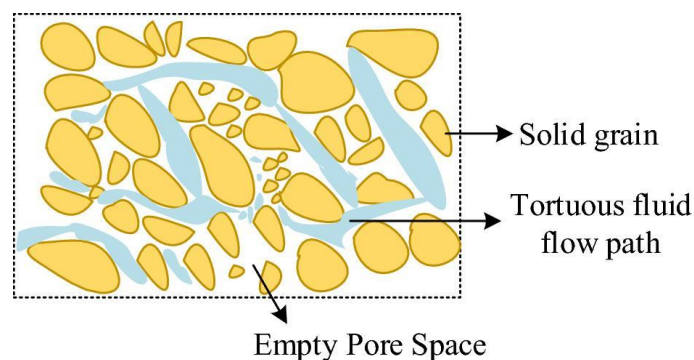


Figure I.3 (*Perméabilité et écoulement*)

Bear, J. (1979) *Hydraulics of Groundwater*. McGraw-Hill.

I.1.5 Transmissivité :

La conductivité (transmissivité) est définie comme la capacité d'une couche aqueuse à transporter l'eau sur toute son épaisseur saturée, et elle représente une propriété hydrodynamique complète qui combine les propriétés du milieu géologique (perméabilité) et ses dimensions (épaisseur).

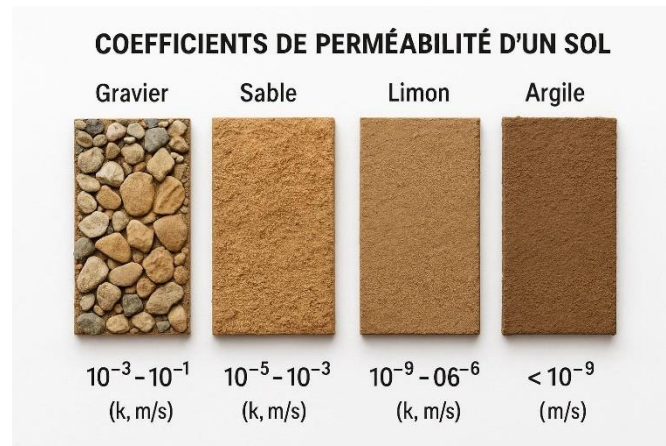


Figure I.3 (Transmissivité)

Todd & Mays (2005) – Groundwater Hydrology

Il est exprimé par la relation : $T = K \times b$

T : Moyen de transport (m²/s)

K : coefficient de perméabilité

b : Épaisseur de la couche saturée

La conductivité est l'un des paramètres les plus importants utilisés pour évaluer les réservoirs d'eau souterraine, car elle fournit une compréhension générale de la capacité d'une couche à fournir de l'eau, et pas seulement les caractéristiques d'un point spécifique en son sein.

La conductivité est directement liée au comportement d'écoulement des eaux souterraines, avec des valeurs élevées permettant à de grandes quantités d'eau de se déplacer facilement, comme dans les formations sablonneuses et graveleuses, tandis que des valeurs faibles indiquent une faible productivité des couches, comme dans les formations argileuses ou compactes.

Le transport joue également un rôle essentiel dans la détermination de l'extension du cône vers le bas résultant du pompage, car sa montée entraîne une propagation rapide de l'effet de pompage sur de plus grandes distances, tandis que sa diminution entraîne la concentration de cet effet près du puits

Dans les études appliquées, la conductivité est l'un des résultats les plus importants extraits des expériences de pompage, car elle est déterminée en analysant les courbes d'affaissement (rabattement) en termes de temps, à l'aide de méthodes mathématiques telles que la méthode Cooper-Jacob ou Theis. Cette valeur est utilisée pour évaluer la performance des puits et déterminer les quantités de pompage appropriées pour éviter l'épuisement.[9]

De nombreuses études menées dans le sud de l'Algérie ont montré que les valeurs de conductivité varient considérablement en fonction des formations géologiques. Des valeurs relativement élevées sont enregistrées dans les couches de Terminal Complexe, tandis que des valeurs modérées ou faibles sont enregistrées dans certaines parties du Continental Intercalaire, ce qui impacte directement l'exploitation des eaux souterraines.

L'étude de la conductivité est d'une importance particulière, compte tenu de la dépendance de la région aux ressources en eaux souterraines pour diverses activités, notamment industrielles. Connaître cette caractéristique permet de diriger les opérations de forage et de choisir les sites les plus appropriés pour la complétion des puits, en plus de déterminer des stratégies d'exploitation durable qui assurent le maintien de l'équilibre hydrodynamique du réservoir.

I.1.6 Coefficient d'emmagasinement

Le coefficient d'emmagasinement est l'une des propriétés hydrodynamiques les plus importantes des aquifères, car il exprime la quantité d'eau qu'un aquifère peut libérer ou stocker par unité de surface en raison d'un changement dans la charge hydraulique. Il est généralement symbolisé par S

Ce coefficient reflète la réponse de l'aquifère aux changements de pression, en particulier pendant les opérations de pompage, où une diminution de la pression libère une partie de l'eau stockée dans le milieu. Ainsi, le coefficient de stockage est un indicateur direct de la capacité du réservoir à réagir à l'exploitation.

Le coefficient de stockage varie considérablement en fonction du type d'aquifère. Dans les réservoirs libres (Aquifères libres), le coefficient de stockage est relativement élevé, car il dépend principalement de la porosité effective, où l'eau est libérée en vidant les vides. Dans les réservoirs confinés (Aquifères captifs), le

coefficient de stockage est très faible, car il est lié à la compression de l'eau et des roches, ce qui rend la réponse de ces réservoirs au pompage complètement différente.

Cette différence se reflète également clairement dans les résultats des expériences de pompage : les réservoirs libres présentent des variations de niveau importantes, tandis que les variations dans les réservoirs confinés sont moins prononcées mais plus complexes à analyser.

Le coefficient de stockage est affecté par plusieurs facteurs, dont les plus importants sont la nature du milieu géologique, son degré de compression et les propriétés du fluide. Dans les milieux granulaires incohérents, le stockage est lié à la taille des pores, tandis que dans les milieux cohésifs ou confinés, il est lié aux propriétés élastiques des roches et de l'eau.

L'épaisseur et le type de couche d'eau (libre ou confinée) jouent également un rôle important dans la détermination de la valeur de ce coefficient, en plus des conditions hydrologiques générales telles que la nutrition naturelle et le niveau d'exploitation.

Dans l'aspect appliqué, le coefficient de stockage est déterminé en analysant les données des expériences de pompage, à l'aide de méthodes telles que Theis ou Cooper-Jacob, où il est extrait de la forme des courbes d'affaissement au fil du temps. La connaissance de ce paramètre est essentielle pour comprendre le comportement à long terme de l'aquifère, en particulier en ce qui concerne sa capacité à répondre à un pompage continu. [11] [9]

Dans les zones désertiques cette caractéristique est d'une grande importance, car elle permet d'évaluer la durabilité de l'exploitation des eaux souterraines et d'éviter les phénomènes d'épuisement ou de forte baisse des niveaux.

I-2 Lois de l'écoulement souterrain :

Comprendre les lois de l'écoulement souterrain est essentiel pour étudier le mouvement de l'eau dans les aquifères, que ce soit dans des formations granulaires ou fracturées. Ces lois aident à expliquer le comportement de l'eau lors du pompage ou de la recharge naturelle, et sont utilisées dans la conception des puits, l'analyse des risques et l'évaluation de la durabilité de l'exploitation.

L'étude de l'écoulement des eaux souterraines se concentre sur trois éléments fondamentaux :

- Loi de Darcy's
- Pour l'écoulement dans les couches saturées et insaturées
- Cône descendant et effet de pompage

I.2.1 Loi de Darcy

L'étude des lois de l'écoulement souterrain constitue l'un des fondements essentiels de l'hydrodynamique des eaux souterraines. Elle permet de comprendre le déplacement de l'eau à travers les formations géologiques, d'interpréter le comportement des aquifères et d'évaluer leur réponse aux phénomènes naturels ou aux opérations de pompage.

L'écoulement des eaux souterraines correspond au mouvement de l'eau à l'intérieur des pores, fissures ou fractures des roches sous l'effet d'une différence de charge hydraulique. Ce mouvement dépend de plusieurs paramètres hydrodynamiques tels que la perméabilité, la porosité, le gradient hydraulique et les caractéristiques géologiques du milieu.

Dans les régions sahariennes algériennes, la compréhension des mécanismes d'écoulement souterrain est indispensable pour assurer une exploitation rationnelle des ressources hydriques contenues dans les grands aquifères du **Complexe Terminal** et du **Continental Intercalaire**.

L'analyse des lois de l'écoulement permet également :

- d'évaluer la circulation des eaux souterraines ;
- de déterminer la direction et la vitesse d'écoulement ;
- d'interpréter les essais de pompage ;
- d'estimer les paramètres hydrodynamiques des aquifères ;
- de prévoir l'impact du pompage sur les nappes.

I.2.2 Généralités sur l'écoulement souterrain :

L'écoulement souterrain résulte de l'infiltration des eaux de pluie ou des eaux de surface à travers les couches géologiques perméables. Après infiltration, l'eau migre progressivement vers les zones saturées sous l'effet des différences de charge hydraulique.

Contrairement aux eaux de surface, les eaux souterraines circulent généralement à faible vitesse en raison de la résistance exercée par les particules du milieu poreux. La vitesse d'écoulement dépend principalement :

- de la nature lithologique des formations ;
- du degré de perméabilité ;
- de la porosité efficace ;
- de la pente hydraulique ;
- de la viscosité de l'eau.

Dans les milieux sableux ou graveleux, la circulation de l'eau est relativement facile grâce à l'existence de pores interconnectés. En revanche, dans les formations argileuses, l'écoulement devient très faible à cause de la faible perméabilité.

L'écoulement souterrain peut se produire :

- dans les milieux poreux ;
- dans les milieux fissurés ;
- dans les milieux karstiques.

Les aquifères sahariens profonds sont principalement caractérisés par des écoulements dans des formations poreuses et parfois fissurées.[11]

I.2.3 Loi de Darcy :

La loi de Darcy constitue la base fondamentale de l'étude des écoulements souterrains dans les milieux poreux. Elle a été établie en 1856 par l'ingénieur français Henry Darcy à partir d'expériences réalisées sur des colonnes de sable.

Cette loi stipule que :

le débit d'écoulement est proportionnel au gradient hydraulique et à la conductivité hydraulique du milieu.

La relation mathématique de la loi de Darcy est donnée par :

$$Q = K * A * \Delta h / L$$

Avec :

- Q: débit d'écoulement (m^3/s) ;
- K: conductivité hydraulique (m/s)(m/s)(m/s) ;
- A: section traversée par l'eau (m^2) ;
- Δh : différence de charge hydraulique (m) ;
- L: longueur du trajet d'écoulement (m).

Cette loi montre que l'écoulement augmente lorsque :

- la perméabilité du milieu est élevée ;
- le gradient hydraulique est important ;
- la surface traversée est grande.

La loi de Darcy est largement utilisée dans :

- l'étude des aquifères ;
- l'interprétation des essais de pompage ;
- la modélisation hydrodynamique ;
- le calcul de la transmissivité ;
- la conception des ouvrages de captage.

Cependant, son application reste valable principalement dans le cas des écoulements laminaires. Lorsque la vitesse devient importante, notamment dans les fractures ou les milieux karstiques, l'écoulement peut devenir turbulent.[4]

I.2.4 Gradient hydraulique :

Le gradient hydraulique représente la force motrice de l'écoulement souterrain. Il correspond à la variation de charge hydraulique entre deux points séparés par une certaine distance.

Il est exprimé par la relation :

$$i = \Delta h / L$$

- i : gradient hydraulique ;
- Δh : différence de charge hydraulique ;
- L : distance d'écoulement.

L'eau souterraine circule toujours :

des zones de forte charge hydraulique vers les zones de faible charge hydraulique.

Plus le gradient hydraulique est élevé, plus la vitesse d'écoulement augmente.

Le gradient hydraulique joue un rôle fondamental dans :

- la direction des écoulements ;
- la vitesse de circulation des eaux ;
- l'évolution des rabattements pendant les pompages ;
- l'alimentation des nappes.

Dans les régions sahariennes, les gradients hydrauliques sont généralement faibles en raison du relief peu accentué, ce qui entraîne des vitesses d'écoulement relativement lentes.

Chapitre I : Caractéristiques hydrodynamiques des aquifères

la charge hydraulique représente l'énergie totale de l'eau souterraine. Ainsi, l'eau circule naturellement :

des zones à forte charge hydraulique vers les zones à faible charge hydraulique.

Ce phénomène explique le déplacement continu des eaux souterraines à l'intérieur des aquifères profonds.

Le gradient hydraulique influence directement :

- la vitesse d'écoulement ;
- l'intensité du débit souterrain ;
- l'extension du cône de rabattement ;
- la propagation des effets de pompage.

Lorsque la valeur du gradient hydraulique augmente, la vitesse d'écoulement devient plus importante, ce qui favorise une circulation rapide des eaux souterraines. À l'inverse, un faible gradient entraîne un écoulement lent, caractéristique des grandes nappes sahariennes profondes.

Dans les régions désertiques du Sahara algérien, les gradients hydrauliques sont généralement faibles en raison :

- du relief peu accidenté ;
- de la faible recharge naturelle ;
- de l'étendue importante des aquifères profonds.

Cette faible pente hydraulique explique les vitesses réduites de circulation des eaux dans les nappes profondes du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal.

Le gradient hydraulique joue également un rôle essentiel dans l'interprétation des essais de pompage. Lorsqu'un pompage est effectué, une perturbation de la charge hydraulique apparaît autour du forage, ce qui provoque une augmentation locale du gradient hydraulique et entraîne la migration progressive de l'eau vers le puits pompé.

L'analyse de cette variation permet :

- d'évaluer la réponse de l'aquifère ;
- d'estimer la transmissivité ;
- d'étudier les conditions d'alimentation de la nappe ;
- de comprendre l'évolution du rabattement.

Sur le plan pratique, le gradient hydraulique est souvent déterminé à partir des cartes piézométriques. Ces cartes représentent les lignes d'égale charge hydraulique appelées *courbes piézométriques*. L'eau souterraine s'écoule perpendiculairement à ces lignes, dans le sens des charges décroissantes.[6]

il convient de souligner que le gradient hydraulique constitue un paramètre indispensable dans toutes les études hydrogéologiques et hydrodynamiques. Sa maîtrise permet de mieux comprendre le fonctionnement des aquifères et d'assurer une gestion durable des ressources en eau souterraine, particulièrement dans les régions arides où l'eau représente une ressource stratégique.

I.2.5 Écoulement dans les milieux saturés et non saturés :

L'écoulement des eaux souterraines peut se produire dans deux types de milieux : les milieux saturés et les milieux non saturés. Cette distinction est essentielle en hydrodynamique souterraine, car le comportement de l'eau diffère selon le degré de remplissage des pores du sol ou des formations géologiques.

Dans un milieu saturé, tous les vides et les pores du terrain sont entièrement remplis d'eau. L'écoulement se fait alors sous l'effet des différences de charge hydraulique et suit généralement la loi de Darcy. Ce type d'écoulement est le plus important dans les études hydrogéologiques, car il concerne directement les nappes souterraines exploitées par les forages.

Les aquifères profonds rencontrés dans les régions sahariennes algériennes fonctionnent principalement en régime saturé. Dans ces formations, l'eau circule lentement à travers les pores ou les fissures des roches perméables, ce qui permet l'alimentation continue des ouvrages de captage.

L'écoulement en milieu saturé joue un rôle fondamental dans :

- l'alimentation des forages ;
- les essais de pompage ;
- le calcul de la transmissivité ;
- l'évaluation des réserves en eau souterraine.

À l'inverse, dans un milieu non saturé, les pores contiennent à la fois de l'eau et de l'air. L'eau ne remplit donc pas complètement l'espace poreux, ce qui rend l'écoulement plus complexe que dans un milieu saturé.

le mouvement de l'eau dépend non seulement du gradient hydraulique, mais aussi des forces capillaires et de la tension superficielle. L'infiltration des eaux de pluie vers les nappes souterraines se produit principalement à travers cette zone.

L'écoulement non saturé est généralement observé près de la surface du sol, notamment dans les zones d'infiltration et les secteurs de recharge des aquifères. Dans cette partie du sous-sol, les pores contiennent simultanément de l'eau et de l'air, ce qui rend le mouvement de l'eau plus complexe que dans un milieu saturé. La vitesse de cet écoulement dépend de plusieurs facteurs, tels que la teneur en eau du sol, la texture du terrain, la perméabilité des formations géologiques ainsi que les conditions climatiques, notamment les précipitations et l'évaporation. Ainsi, les sols sableux favorisent une infiltration rapide, tandis que les sols argileux ralentissent considérablement la circulation de l'eau.

l'écoulement non saturé reste limité en raison de la faible pluviométrie et de l'importante évaporation. Cependant, il joue un rôle important dans les mécanismes de recharge naturelle des nappes profondes.

La distinction entre écoulement saturé et non saturé est indispensable pour comprendre le fonctionnement global des systèmes aquifères et interpréter correctement les phénomènes hydrodynamiques observés lors des essais de pompage.[15]

I.2.6 Régimes d'écoulement souterrain :

L'écoulement des eaux souterraines peut se présenter sous différents régimes selon les caractéristiques hydrodynamiques du milieu géologique et la vitesse de circulation de l'eau. En hydrogéologie, on distingue principalement l'écoulement laminaire et l'écoulement turbulent. Cette distinction est importante car elle permet de déterminer les conditions d'application des lois hydrodynamiques, notamment la loi de Darcy.

L'écoulement laminaire correspond à un mouvement régulier et ordonné des particules d'eau à l'intérieur des pores ou des fissures du milieu géologique. Dans ce régime, les filets d'eau circulent de manière parallèle avec une faible vitesse, sans perturbations importantes. Ce type d'écoulement est le plus fréquent dans les aquifères poreux, particulièrement dans les formations sableuses et graveleuses des nappes sahariennes profondes. La loi de Darcy reste parfaitement applicable dans ces conditions, ce qui facilite l'étude et l'interprétation des phénomènes hydrodynamiques.

En revanche, l'écoulement turbulent apparaît lorsque la vitesse de circulation devient élevée. Dans ce cas, le mouvement de l'eau devient désordonné et irrégulier, provoquant des turbulences et des pertes de charge importantes. Ce type d'écoulement se rencontre généralement dans les milieux fortement fissurés, les conduits karstiques ou à proximité immédiate des forages soumis à des débits de pompage élevés.

Le passage d'un régime laminaire à un régime turbulent dépend principalement :

- de la vitesse de l'eau ;
- des dimensions des pores ou des fractures ;
- de la viscosité du fluide ;
- des caractéristiques du milieu géologique.

Pour distinguer ces deux régimes, les hydrogéologues utilisent souvent le nombre de Reynolds, qui représente un indicateur du comportement de l'écoulement à l'intérieur du milieu poreux.

l'écoulement est généralement laminaire en raison des faibles vitesses de circulation des eaux souterraines et de la nature poreuse des formations géologiques. Toutefois, des écoulements turbulents peuvent apparaître localement lors des essais de pompage intensifs ou dans les zones très fracturées.

La connaissance des régimes d'écoulement est essentielle pour interpréter correctement les essais de pompage, évaluer les pertes de charge et comprendre le comportement hydraulique des aquifères exploités.

I.2.7 Cône de rabattement :

Lorsqu'un pompage est effectué dans un forage, le niveau piézométrique de la nappe diminue progressivement autour du puits sous l'effet de l'extraction de l'eau. Cette diminution de charge hydraulique provoque la formation d'une dépression appelée cône de rabattement. Ce phénomène représente l'une des manifestations les plus importantes de la réponse d'un aquifère au pompage.

Le cône de rabattement se développe progressivement à partir du forage pompé et s'étend radialement dans toutes les directions. La profondeur et l'étendue du cône dépendent de plusieurs facteurs, notamment le débit de pompage, la durée de l'essai, la transmissivité de l'aquifère et le coefficient d'emmagasinement.

Au début du pompage, le rabattement est très important à proximité du forage, puis il diminue progressivement en s'éloignant du puits. Cette variation traduit la perte progressive de charge hydraulique à l'intérieur de la nappe.

Le cône de rabattement constitue un élément fondamental dans les études hydrodynamiques, car son analyse permet :

- d'évaluer le comportement hydraulique de l'aquifère ;
- de déterminer les paramètres hydrodynamiques ;
- d'interpréter les essais de pompage ;
- d'estimer l'influence des forages voisins.

Dans les régions sahariennes, où les ressources en eau souterraine représentent une réserve stratégique, l'étude du cône de rabattement est particulièrement importante afin d'éviter les phénomènes de surexploitation des nappes profondes.

Lors des essais de pompage et l'observation de l'évolution du rabattement permet de suivre la réponse de l'aquifère au cours du temps et d'évaluer la capacité du forage à produire de l'eau dans des conditions d'exploitation durables.

Ainsi, l'analyse du cône de rabattement joue un rôle essentiel dans la gestion rationnelle des ressources hydriques et dans la compréhension du fonctionnement hydrodynamique des aquifères profonds.[2]

Conclusion :

Ce premier chapitre a permis de présenter les bases théoriques et conceptuelles de l'hydrodynamique des eaux souterraines. Les principales propriétés hydrodynamiques des aquifères, notamment la porosité, la perméabilité, la transmissivité, la conductivité hydraulique et le coefficient d'emmagasinement, ont été exposées afin de mieux comprendre les mécanismes régissant le mouvement de l'eau dans le sous-sol.

L'étude des lois de l'écoulement souterrain, en particulier la loi de Darcy, a mis en évidence les paramètres qui contrôlent la circulation des eaux souterraines dans les milieux poreux saturés et non saturés. Les notions de gradient hydraulique, de régimes d'écoulement et de cône de rabattement constituent des éléments essentiels pour l'interprétation du comportement des aquifères soumis à une exploitation par pompage.

Ainsi, ce cadre théorique fournit les fondements scientifiques indispensables à la compréhension des essais de pompage et à la détermination des paramètres hydrodynamiques qui seront abordés dans le chapitre suivant.

Chapitre II
Les Essais De Pompage Et Méthodes
D'interprétation

Chapitre II : Les essais de pompage et méthodes d'interprétation

II-1 Généralités sur les essais de pompage :

II.1.1 Définition des essais de pompage :

Les essais de pompage sont des tests hydrodynamiques réalisés sur un forage ou un puits, consistant à extraire de l'eau souterraine à un débit contrôlé et à observer la variation du niveau piézométrique (rabattement) en fonction du temps.

Ces essais permettent de reproduire, à petite échelle, le comportement réel d'un aquifère soumis à une exploitation. [17]

II.1.2 Principe des essais de pompage :

Le principe des essais de pompage repose sur un concept fondamental de l'hydrogéologie :

lorsqu'un puits pompe de l'eau dans un aquifère, il crée une **perturbation hydraulique** qui se propage dans le milieu poreux.

Cette perturbation se traduit par :

- une baisse du niveau piézométrique autour du puits,
- la formation d'un **gradient hydraulique artificiel** dirigé vers le forage,
- et la mise en mouvement de l'eau souterraine vers la zone de pompage.

1. Formation du cône de rabattement

Dès le début du pompage, le niveau d'eau autour du puits commence à diminuer, formant une structure appelée :

2.Cône de rabattement

Ce cône représente :

- une zone déprimée hydrauliquement,
- dont la profondeur est maximale au niveau du puits,
- et diminue progressivement avec la distance.

Plus le temps de pompage augmente :

- plus le cône s'élargit,
- plus l'influence atteint des zones éloignées.

Ce phénomène est la base de toute interprétation hydrodynamique. [18][19][8][10].

3. Propagation de l'onde de pression hydraulique

Le pompage au sein d'un ouvrage engendre une onde de dépression qui se propage de manière radiale à travers l'aquifère. La dynamique et la vitesse de cette propagation sont intrinsèquement liées aux propriétés hydrodynamiques et réservoirs du milieu, notamment la **transmissivité (T)**, le **coefficient d'emmagasinement (S)**, la **perméabilité intrinsèque**, ainsi que la **nature géologique de la formation** (qu'il s'agisse de sables un consolidés, de grès ou de calcaires fracturés).

De ce fait, le comportement du rabattement varie significativement selon le contexte :

- **Dans un aquifère très perméable** : L'onde se propage rapidement, entraînant une extension prompte mais souvent plus stabilisée du cône de rabattement.
- **Dans un aquifère peu perméable** : La propagation est nettement plus lente, mais le processus s'inscrit dans la durée avec des rabattements locaux souvent plus profonds et persistants.

4. Écoulement vers le puits

Le mouvement de l'eau au sein de l'aquifère est régi par la **loi de Darcy**, qui stipule que l'écoulement se fait naturellement des zones à forte charge hydraulique vers les zones de faible charge, créées par l'aspiration au niveau du puits pompé. Dans la réalité, ce flux présente une géométrie complexe : il est **radial convergent** à l'échelle de l'aquifère, devient **tridimensionnel** à l'approche immédiate du forage (en raison des effets d'entrée et de la pénétration partielle), et peut être assimilé à un écoulement **horizontal** dans les modèles hydrogéologiques simplifiés. On qualifie globalement ce phénomène d'**écoulement convergent vers un puits en régime transitoire**, où les charges hydrauliques évoluent en fonction du temps. [18][19][8][10].

5. Régime transitoire et régime permanent

a. Régime transitoire (le plus important)

Au début du pompage :

- le niveau baisse continuellement,
- l'aquifère n'est pas encore stabilisé,
- les formules de Theis sont utilisées.

b. Régime pseudo-permanent

Après un certain temps :

- la variation devient linéaire ou stable,
- influence des limites hydrauliques (rivière, faille, recharge).

c. Régime permanent (rare en réalité)

- le rabattement devient constant,
- entrée d'eau = débit pompé,

- situation idéale mais rarement atteinte en milieu naturel.

7. Hypothèses de base du principe théorique

Pour interpréter les essais, on suppose généralement :

- aquifère homogène et isotrope (simplification)
- épaisseur constante
- écoulement radial horizontal
- puits totalement pénétrant
- débit constant (dans certains essais)
- eau et matrice incompressibles (approximation)

Ces hypothèses permettent l'application des solutions analytiques comme Theis et Cooper-Jacob. [18][19][8][10].

a. Signification hydrodynamique du principe

Le principe des essais de pompage permet de transformer un système naturel complexe en modèle quantifiable.

En pratique, on utilise le pompage pour :

- “forcer” l'aquifère à répondre,
- mesurer sa réaction hydraulique,
- et en déduire ses propriétés physiques.

Donc :

L'aquifère ne se mesure pas directement, il se déduit de sa réponse au pompage. [18][19][8][10].

II.1.3 Objectifs des essais de pompage :

Les essais de pompage constituent une étape fondamentale dans les études hydrogéologiques. Ils ont pour objectif principal d'évaluer le comportement hydraulique d'un aquifère soumis à une exploitation artificielle par pompage. Ces essais permettent d'obtenir des informations quantitatives et qualitatives indispensables pour la gestion des ressources en eaux souterraines.

II.1.3.1 Détermination des paramètres hydrodynamiques

L'un des objectifs essentiels des essais de pompage est la détermination des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère, notamment :

a. La transmissivité (T)

Elle représente la capacité de l'aquifère à transmettre l'eau horizontalement sous l'effet d'un gradient hydraulique.

b. La conductivité hydraulique (K)

Elle traduit la perméabilité du milieu géologique et dépend de la nature lithologique des formations aquifères.

c. Le coefficient d'emmagasinement (S)

Il indique la quantité d'eau libérée ou stockée par l'aquifère sous l'effet d'une variation de charge hydraulique.

Ces paramètres sont indispensables pour la modélisation des écoulements souterrains et l'évaluation du potentiel hydrique des nappes.

II.1.3.2 Évaluation de la productivité du forage

Un autre objectif important consiste à définir :

- le débit critique ;
- le débit économique ;
- le débit d'exploitation durable du forage.

Cette étape est essentielle afin de :

- préserver les réserves souterraines ;
- éviter l'épuisement de la nappe ;
- limiter l'abaissement excessif du niveau piézométrique.

Dans les régions arides comme le Sahara algérien, cette détermination revêt une importance stratégique en raison de la faible recharge naturelle des aquifères.[2][3][9][10]

II.2 Types d'essais de pompage :

II.2.1 Essai par paliers :

II.2.1.1 Définition :

L'essai par paliers est un essai de pompage réalisé en appliquant plusieurs débits successifs croissants durant des intervalles de temps déterminés. À chaque palier, le débit reste constant tandis que le rabattement évolue jusqu'à atteindre une quasi-stabilisation.

Cet essai est principalement utilisé pour :

- évaluer les performances hydrauliques du forage ;
- déterminer les pertes de charge ;
- estimer le débit optimal d'exploitation.

Il constitue généralement la première étape avant l'essai à débit constant.[12]

II.2.1.2 Principe de l'essai par paliers :

Le principe consiste à pomper le forage avec plusieurs débits croissants :

$$Q_1 < Q_2 < Q_3 < Q_4$$

Chaque débit est maintenu pendant une durée fixe : **30 min, 60 min**, ou plus selon les conditions du terrain.

Durant chaque palier :

Pendant l'essai, le **niveau dynamique** de l'eau est mesuré régulièrement afin d'enregistrer précisément l'évolution du **rabattement** correspondant au fil du temps. Le suivi rigoureux de ces variations hydrauliques permet d'analyser en continu la réponse de l'aquifère face à la sollicitation du pompage. Les observations mettent en évidence une corrélation directe entre le flux extrait et la déformation de la surface piézométrique : **à mesure que le débit de pompage augmente, le rabattement s'accroît également**. Cette baisse du niveau est amplifiée par les **pertes de charge** (linéaires et quadratiques), qui deviennent de plus en plus importantes à fort débit en raison des frottements de l'eau dans l'aquifère et à l'approche immédiate des crépines du forage.

À mesure que le débit augmente :

- le rabattement augmente également ;
- les pertes de charge deviennent plus importantes. [21]

II.2.1.3 Objectifs de l'essai par paliers :

Détermination			
Pertes de charge	rendement du forage	débit critique	l'essai principal
-des pertes linéaires liées à l'aquifère. - des pertes quadratiques liées au forage.	-l'efficacité du captage. -la qualité du développement du puits. -l'état des crépines et du massif filtrant.	-des rabattements excessifs. -une turbulence importante. -une dégradation du forage	-le débit adapté pour l'essai à débit constant

II.2.1.4 Déroulement de l'essai :

L'exécution d'un essai de pompage par paliers de débit suit un protocole rigoureux, structuré en plusieurs phases chronologiques :

Le processus débute impérativement par la **mesure du niveau statique**, qui consiste à relever le niveau piézométrique initial de la nappe avant toute sollicitation de

l'ouvrage, servant ainsi de ligne de référence. Une fois cette constante établie, la **mise en marche de la pompe** est effectuée en appliquant un faible débit initial contrôlé.

Par la suite, l'essai procède à une **augmentation progressive du débit** : après chaque intervalle de temps prédéterminé (généralement d'une à deux heures), le débit est incrémenté pour entamer un nouveau palier de pompage. Durant l'intégralité de l'essai, un suivi continu et rigoureux assure la **mesure des rabattements** ; les variations du niveau dynamique sont minutieusement relevées afin d'enregistrer les couples de données temps-rabattement pour chaque palier.

Enfin, la **fin de l'essai** intervient après la stabilisation du dernier palier : le pompage est alors arrêté et, dans la majeure partie des cas, un essai de remontée est immédiatement enclenché pour suivre la restauration de la charge hydraulique dans l'aquifère.[10]

II.2.1.5 Interprétation de l'essai par paliers :

L'interprétation repose sur la relation entre :

- le débit pompé Q
- et le rabattement s

Jacob (1947) a proposé l'équation suivante :

$$s=BQ+CQ^2$$

Avec :

- BQ : pertes de charge linéaires de l'aquifère ;
- CQ^2 : pertes de charge quadratiques du forage.

Cette relation permet : d'évaluer l'efficacité du forage et de distinguer les pertes liées à l'aquifère et au puits.[10]

II.2.1.6 Courbe caractéristique du forage :

es résultats sont représentés sur une courbe reliant :

- le débit Q
- au rabattement s

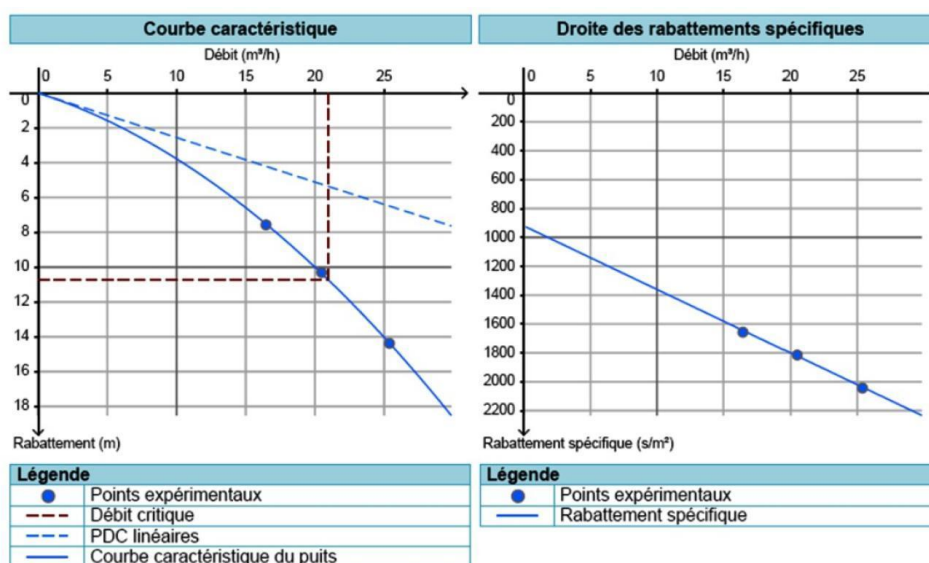


Figure II.1 (Courbe caractéristique)

Source : SIGES France – Pompages d'essai.

La courbe caractéristique du forage représente la relation entre le débit de pompage Q et le rabattement s observé dans le forage durant l'essai par paliers. Cette courbe est obtenue en reportant graphiquement les différentes valeurs de rabattement mesurées pour chaque débit appliqué pendant l'essai. Elle permet d'évaluer le comportement hydraulique du forage ainsi que son rendement d'exploitation. En général, plus le débit augmente, plus le rabattement devient important en raison des pertes de charge dans l'aquifère et dans l'ouvrage de captage.

L'analyse de cette courbe permet de déterminer le débit optimal d'exploitation du forage et d'identifier les anomalies hydrauliques éventuelles. Une courbe régulière traduit généralement un bon fonctionnement hydraulique, tandis qu'une augmentation rapide du rabattement indique des pertes de charge excessives ou un mauvais développement du forage. La courbe caractéristique constitue ainsi un outil essentiel pour le diagnostic hydraulique des puits et pour le choix des conditions d'exploitation les plus adaptées.[21]

II.2.2 Essai à débit constant :

II.2.2.1 Définition :

L'essai à débit constant est un essai de pompage hydrodynamique réalisé en maintenant un débit de pompage fixe et contrôlé pendant toute la durée de l'expérience. Durant cet essai, le niveau piézométrique dans le forage et éventuellement dans les piézomètres voisins est mesuré en fonction du temps afin d'observer l'évolution du rabattement. Ce type d'essai constitue une méthode fondamentale pour l'étude du comportement des aquifères sous exploitation continue.

II.2.2.2 Principe de l'essai :

Le principe de l'essai à débit constant repose sur l'application d'un pompage à débit constant dans un forage captant une nappe souterraine. Cette action crée une perturbation hydraulique dans le milieu, provoquant une baisse progressive du niveau piézométrique autour du puits.

Cette baisse forme un cône de rabattement qui s'étend avec le temps et l'espace. L'évolution de ce cône dépend directement des caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère, notamment sa capacité à transmettre et à stocker l'eau.

Ainsi, l'aquifère est analysé à travers sa réponse à une contrainte hydraulique imposée par le pompage. [21]

II.2.2.3 Objectifs de l'essai :

Cet essai permet principalement :

- de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère (transmissivité et coefficient d'emmagasinement)
- d'étudier le comportement global de la nappe sous exploitation
- d'analyser la capacité de production de l'aquifère dans des conditions proches du réel
- d'identifier d'éventuelles limites hydrauliques (recharge, barrières, discontinuités)
- de fournir des données fiables pour la gestion des ressources en eaux souterraines

II.2.2.4 Déroulement de l'essai :

L'essai débute par la mesure du niveau statique initial avant pompage. Ensuite, la pompe est mise en marche et réglée pour maintenir un débit constant pendant toute la durée de l'essai.

Les mesures du rabattement sont effectuées à intervalles de temps rapprochés au début de l'essai, puis progressivement espacés lorsque l'évolution devient plus lente. L'essai peut durer plusieurs heures ou plusieurs jours selon la nature de l'aquifère.

À la fin de l'essai, le pompage est arrêté et une phase de remontée peut être observée pour compléter l'analyse.

II.2.2.5 Interprétation de l'essai :

L'interprétation repose sur l'analyse des courbes rabattement–temps.

(rabattement en fonction du temps) $s=f(t)$

Représentation semi-log :

- axe du temps en logarithmique
- axe du rabattement en linéaire

Deux méthodes principales sont utilisées :

- la méthode de Theis, basée sur une solution analytique du régime transitoire
- la méthode de Cooper-Jacob, simplification applicable aux temps tardifs en représentation semi-logarithmique

Pour les temps tardifs, l'évolution du rabattement suit la relation :

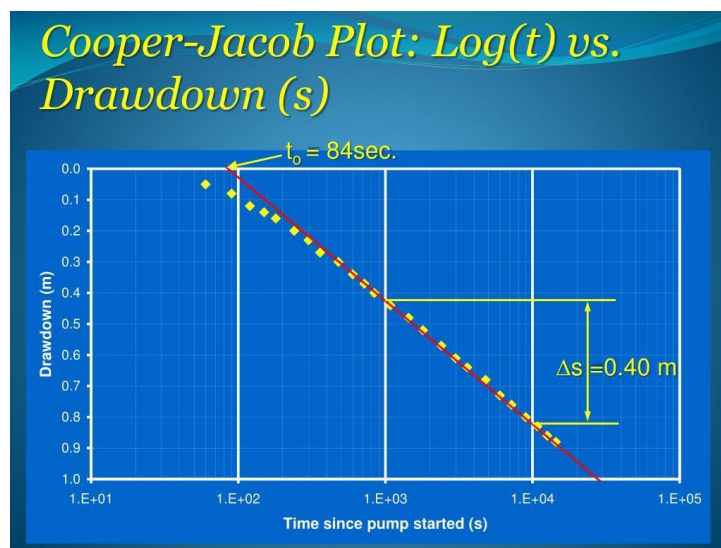
$$s = Q/4\pi T * \ln(t) + C$$

Ces méthodes permettent de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère à partir des données mesurées.

Cette relation permet de déterminer :

- la transmissivité (T)
- le coefficient d'emménagement (S)

Elle est utilisée sur la partie linéaire de la courbe semi-logarithmique.



FigureII.2 (la courbe semi-logarithmique)

Source: USGS (Pumping test analysis)

II.2.3 Essai de longue durée :

II.2.3.1 Définition :

L'essai de longue durée est un essai de pompage réalisé sur une période prolongée, allant généralement de plusieurs jours à plusieurs semaines, avec un débit maintenu constant ou quasi constant. Contrairement aux essais de courte durée, cet essai vise à observer le comportement réel de l'aquifère sur une échelle de temps suffisamment

longue pour mettre en évidence les effets de stockage, de recharge ou de limites hydrauliques.

II.2.3.2 Principe de l'essai :

Le principe repose sur le pompage continu d'un forage afin de provoquer une perturbation hydraulique durable dans l'aquifère. Cette perturbation se traduit par l'expansion progressive du cône de rabattement, qui peut atteindre des zones éloignées du point de pompage.

Avec le temps, la réponse de l'aquifère permet d'identifier non seulement ses propriétés intrinsèques, mais aussi son interaction avec les conditions extérieures telles que les frontières imperméables, les zones de recharge ou les connexions avec d'autres nappes.

Cet essai permet donc d'étudier le comportement global du système aquifère sur le long terme. [22][2][3]

II.2.3.3 Objectifs de l'essai :

- analyser le comportement hydrodynamique de l'aquifère sur une longue période
- identifier les limites hydrauliques (barrières, rivières, fractures, recharge)
- vérifier la stabilité de l'exploitation dans le temps
- évaluer la durabilité du débit d'exploitation
- affiner les paramètres hydrodynamiques obtenus par les essais courts

II.2.3.4 Déroulement de l'essai :

L'essai commence par la mesure du niveau statique initial, suivie de la mise en marche de la pompe à débit constant. Le pompage est ensuite maintenu de manière continue sur une durée prolongée. [22][2][3]

Les mesures de rabattement sont effectuées de façon très rapprochée au début, puis progressivement espacées selon l'évolution du système. L'essai nécessite une surveillance continue afin de garantir la stabilité du débit et la fiabilité des données.

II.2.3.5 Interprétation des résultats

L'interprétation repose sur l'analyse des courbes rabattement-temps sur une échelle semi-logarithmique. Dans les phases tardives, les effets des limites hydrauliques deviennent visibles sous forme de déviation de la droite théorique.

Ces déviations permettent de détecter :

- la présence de frontières imperméables (augmentation du rabattement)
- la présence de recharge (stabilisation ou diminution du rabattement)
- l'influence d'autres aquifères connectés

L'essai de longue durée est donc essentiel pour comprendre le comportement réel du système aquifère. [22][2][3]

II.2.3.6 Courbe d'interprétation :

L'interprétation repose principalement sur la courbe :

$$\text{rabattement} - \text{temps} : s=f(t)$$

Cette représentation permet de transformer la courbe en une droite pendant la phase transitoire.

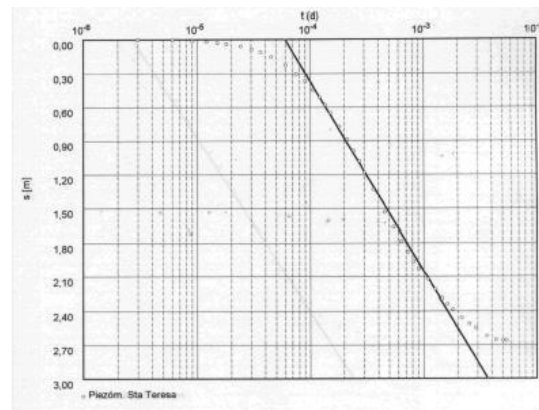


Figura 7. Ajuste de Cooper y Jacob de la localidad de Santa Teresa.

FigureII.3 (Courbe typique)

Source (Cooper, H.H. & Jacob, C.E. (1946)*Semi-logarithmic method.*)

Dans la phase tardive de l'essai, le rabattement suit la relation simplifiée :

$$s=Q/4\pi T * \ln(t) +C$$

Cette relation permet de déterminer :

- la transmissivité (T)
- et d'analyser l'évolution du système dans le temps long [22][2][3]

II.3 Paramètres influençant les essais de pompage :

Les essais de pompage sont influencés par plusieurs facteurs hydrogéologiques et techniques qui conditionnent directement la forme des courbes de rabattement ainsi que la précision des paramètres hydrodynamiques obtenus. Ces paramètres doivent être bien maîtrisés afin d'assurer la fiabilité de l'interprétation.

II.3.1 Débit de pompage :

Le débit de pompage est un paramètre fondamental qui influence directement l'amplitude du rabattement. Plus le débit est élevé, plus la baisse du niveau piézométrique est importante et rapide. Un débit mal stabilisé peut entraîner des erreurs d'interprétation et fausser les résultats hydrodynamiques.

II.3.2 Durée du pompage :

La durée de l'essai conditionne la qualité de l'information obtenue. Un pompage trop court ne permet pas d'atteindre un régime hydraulique stable ou représentatif, tandis qu'un essai prolongé permet d'observer l'évolution réelle de l'aquifère et l'influence des limites hydrauliques. [3]

II.3.3 Nature hydrodynamique de l'aquifère

Le comportement de l'aquifère dépend de sa nature (libre, captif ou semi-captif), de sa porosité et de sa perméabilité. Un aquifère homogène répond de manière régulière au pompage, alors qu'un milieu hétérogène ou fracturé peut produire des variations complexes du rabattement.[6]

II.3.4 Conditions aux limites :

Les limites hydrauliques influencent fortement l'évolution du rabattement. La présence de barrières imperméables, de zones de recharge ou de contacts avec d'autres aquifères modifie la forme des courbes et peut provoquer des déviations par rapport au comportement théorique.[3]

II.3.5 Rayon d'influence et cône de rabattement

Le rayon d'influence correspond à la distance maximale atteinte par la perturbation hydraulique générée par le pompage. Le cône de rabattement représente la zone déprimée autour du puits. Leur évolution dépend du temps de pompage et des propriétés de l'aquifère, et influence directement l'interprétation des résultats.[2][3][6]

II.4 Méthodes d'interprétation des essais de pompage

Les méthodes d'interprétation des essais de pompage ont pour objectif principal de déterminer les paramètres hydrodynamiques des aquifères, notamment la transmissivité (T) et le coefficient d'emmagasinement (S), à partir de l'évolution du rabattement en fonction du temps. Ces méthodes reposent sur des solutions analytiques ou des approximations simplifiées permettant d'exploiter les données obtenues sur le terrain.

II.4.1 Méthode de Theis

La méthode de Theis est une solution analytique fondamentale utilisée pour interpréter les essais de pompage en régime transitoire dans un aquifère captif. Elle est considérée comme la base théorique de toutes les méthodes modernes d'interprétation [21]

II.4.1.1 Principe :

La méthode de Theis constitue la première solution analytique rigoureuse décrivant l'écoulement transitoire de l'eau souterraine vers un puits pompé dans un aquifère captif. [21]

Elle repose sur la résolution de l'équation de diffusion sous les hypothèses suivantes :

- aquifère homogène et isotrope
- épaisseur constante
- débit de pompage constant
- absence de recharge durant l'essai

II.4.1.2 Expression mathématique :

$$s(r,t)=Q/4\pi T *W(u)$$

avec :

- s : rabattement (m)
- Q : débit de pompage (m^3/s)
- T : transmissivité (m^2/s)
- $W(u)$: fonction puits de Theis
- $u=r^2S/4Tt$

II.4.1.3 Fonction de puits $W(u)$:

La fonction $W(u)$ est une fonction exponentielle intégrale tabulée, ce qui nécessite l'utilisation :

- de tables de Theis
- ou de la méthode de courbe type (type-curve matching) [21]

II.4.1.3 Méthode d'interprétation :

L'interprétation graphique repose sur la superposition entre :

- la courbe théorique $W(u)$
- la courbe expérimentale $s(t)$

Cette correspondance permet de déterminer les paramètres hydrodynamiques T et S . [21]

a. Avantages

- Méthode théoriquement rigoureuse
- Référence fondamentale en hydrogéologie quantitative

b. Inconvénients

- Méthode graphique complexe
- Sensible aux erreurs de mesure

- Nécessite un ajustement (matching)[2][3]

II.4.2 Méthode de Cooper-Jacob (1946) :

II.4.2.1 Principe :

La méthode de Cooper-Jacob est une approximation simplifiée de la solution de Theis valable pour les temps suffisamment grands, lorsque :

$$U \ll 1$$

Expression simplifiée :

$$s = Q/4\pi T * \ln(2.25Tt/r^2S)$$

L'interprétation se fait en traçant :

- l'axe des temps en échelle logarithmique
- le rabattement sss en échelle linéaire

On obtient alors une droite appelée droite de Jacob.

- a. Détermination de la transmissivité :

$$T = 0.183Q/\Delta s$$

où Δs représente la pente de la droite semi-logarithmique.

- b. Détermination du coefficient d'emménagement :

$$S = 2.25 * T t_0 / r^2$$

où t_0 est l'intersection de la droite avec l'axe des temps.

II.4.2.2 Méthode de Jacob simplifiée :

La méthode de Jacob simplifiée constitue une forme pédagogique et pratique de la méthode de Cooper-Jacob, utilisée principalement pour faciliter les calculs manuels.

Elle repose sur l'exploitation directe de la droite semi-logarithmique $S=f(\log t)$

Contrairement à la méthode de Theis, cette approche ne nécessite pas de résolution analytique complexe, mais uniquement :

- la pente de la droite
- l'interception avec l'axe des temps

Elle est largement utilisée :

- dans l'enseignement
- dans les travaux pratiques
- dans les études hydrogéologiques préliminaires

Conclusion

Les essais de pompage constituent une étape fondamentale dans l'étude hydrodynamique des eaux souterraines, car ils permettent d'évaluer le comportement réel des aquifères sous l'effet d'un pompage contrôlé. À travers les différents types d'essais réalisés, notamment les essais par paliers, à débit constant, de remontée et de longue durée, il est possible de déterminer les principales caractéristiques hydrodynamiques telles que la transmissivité, la conductivité hydraulique et le coefficient d'emmagasinement.

Les méthodes d'interprétation, en particulier celles de Theis et de Cooper-Jacob, jouent un rôle essentiel dans l'analyse des données de rabattement et dans la compréhension du fonctionnement hydraulique des nappes souterraines. Ces essais représentent ainsi un outil indispensable pour la gestion rationnelle et durable des ressources en eau, particulièrement dans les régions sahariennes où les eaux souterraines constituent la principale source d'alimentation hydrique.

Chapitre III :Étude expérimentale – Essai de pompage

III.1 Cadre géographique et géologique de la région de Gassi Touil :

La région de **Gassi Touil** constitue un vaste couloir géographique situé dans le Sahara algérien, au sud-est du pays, à environ 150 km au sud-est de Hassi Messaoud. Elle fait partie intégrante du grand bassin sédimentaire saharien et appartient plus précisément au domaine structural du bassin de Berkine, qui représente l'un des ensembles géologiques les plus importants de la plateforme saharienne.

Sur le plan géographique, Gassi Touil est caractérisé par un environnement désertique dominé par de vastes étendues dunaires et des surfaces reg compactes. Le relief est globalement plat à légèrement ondulé, ce qui favorise de très faibles gradients hydrauliques et influence directement la circulation des eaux souterraines profondes.

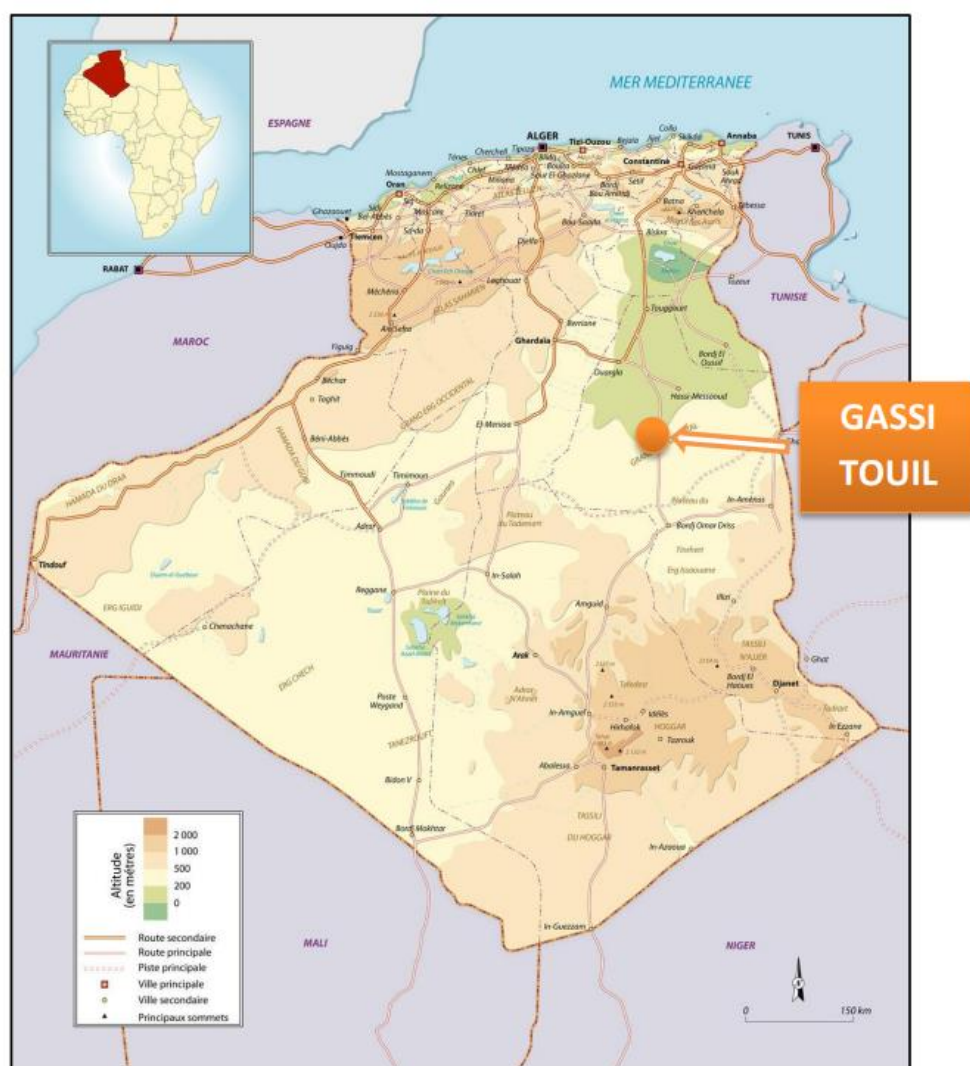


Figure III.1 (Carte géographique présente la région de Gassi Touil)

Source : DSPACE Université Ouargla – documents champ Gassi Touil

Chapitre III :Étude expérimentale essai de pompage

Les conditions climatiques de la région sont typiquement sahariennes, marquées par :

- des températures élevées en été ;
- une forte amplitude thermique journalière ;
- une pluviométrie très faible et irrégulière ;
- une évaporation potentielle très importante.

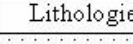
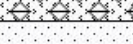
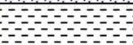
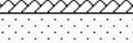
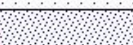
Ces conditions extrêmes rendent les ressources en eaux souterraines essentielles pour toute activité humaine ou industrielle dans la région.

Sur le plan géologique, la région de Gassi Touil repose sur une série sédimentaire épaisse appartenant à la plateforme saharienne. Cette série est constituée principalement de formations mésozoïques et paléozoïques reposant sur un socle ancien. Les principaux faciès rencontrés sont :

- des grès ;
- des sables consolidés ;
- des argiles ;
- des niveaux carbonatés ;
- des formations évaporitiques.

Figure III.2 (Coupe lithostratigraphique type de la région de Ouargla)

Source : DSPACE Université Ouargla –

Ere	Etages		Prof	Chronostratigraphie	Lithologie
CÉNOZOÏQUE	QUATERNAIRE		10m	Sable	
				Argile	
				Évaporite	
				Sable	
	Mio-pliocène		Argile		
			Gravie		
			Grés		
			Argile		
	ÉOCÈNE	Moyen	180m	Argile Lagunaire	
		Inférieur		Dolomie	
MESOZOÏQUE			280m		
	Sénonien		500m	Calcaire	
	Calcaire			Evaporite	
	Sénonien Lagunaire			Anhydrite	
				Sel massif	
			Argile		
			Marne		
	Turonien		1100m	Calcaire marneux	
	Cénomaniens		1160m	Dolomie	
			Argile		
			Anhydrite		
			Marne		
	Vraconien		1320m	Argile et dolomie	
	Albien		1450m	Sable	
			Grés		
Argile sableuse					
Aptien			1660m	Dolomie	
Barrémien		1680m	Sable		
			Et		
			Grés		

Ces formations présentent une organisation stratigraphique complexe liée aux phases tectoniques successives ayant affecté le bassin de Berkine. Les structures géologiques sont dominées par des systèmes de failles et des structures en horsts et grabens, influençant fortement la répartition des réservoirs.

Le système aquifère de la région est essentiellement représenté par les grands ensembles hydrogéologiques du Sahara septentrional, notamment :

- le Complexe Terminal (CT) ;
- le Continental Intercalaire (CI).

Dans la zone de Gassi Touil, les formations réservoirs les plus importantes sont associées aux niveaux triasiques, notamment :

- le TAGS (Trias Argilo-Gréseux Supérieur) ;
- le Trias carbonaté intermédiaire ;
- le TAGI (Trias Argilo-Gréseux Inférieur).

Ces unités représentent les principaux réservoirs hydrauliques et pétroliers de la région, caractérisés par une porosité et une perméabilité variables selon la nature lithologique et le degré de cimentation.

Le TAGS constitue généralement le réservoir le plus productif, formé de dépôts gréseux à granulométrie moyenne à grossière, témoignant d'un environnement fluvial à deltaïque. Le TAGI, quant à lui, représente la base du système réservoir et est souvent associé à des formations plus anciennes et plus hétérogènes.

La complexité structurale de la région, combinée à la diversité des formations géologiques, explique la richesse en ressources souterraines et en hydrocarbures, mais également la variabilité des paramètres hydrodynamiques observés lors des essais de pompage.

Ainsi, le cadre géographique et géologique de Gassi Touil joue un rôle fondamental dans la compréhension du comportement hydrodynamique des aquifères, notamment en ce qui concerne la circulation des eaux souterraines, la réponse des formations aux sollicitations de pompage et la distribution des propriétés hydrauliques dans les différents réservoirs.[24]

III.2 Contexte hydrogéologique de la région de Gassi Touil :

Dans le cadre de cette étude hydrodynamique réalisée dans la région de Gassi Touil, un suivi technique et analytique a été effectué sur six (06) forages principaux, à savoir : F01, F04, F11, F13, F16 et F17. Ces ouvrages captent principalement les formations aquifères profondes du Complexe Terminal et constituent des points d'exploitation stratégiques utilisés pour l'alimentation en eau dans la région.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer le comportement hydrodynamique des aquifères exploités à travers l'analyse des essais de pompage réalisés sur les différents forages. Ces investigations permettent de déterminer les principales caractéristiques hydrauliques des formations aquifères, notamment la transmissivité, la conductivité

hydraulique, le coefficient d'emmagasinement ainsi que le débit spécifique des ouvrages.

Le présent chapitre s'articule autour de plusieurs axes complémentaires. Il débute par une présentation du cadre géographique et géologique de la région de Gassi Touil, suivie d'une description du contexte hydrogéologique général de la zone d'étude. Une attention particulière est ensuite portée aux caractéristiques techniques des forages étudiés, notamment les opérations de forage, de tubage, de crépinage et d'équipement.

Par ailleurs, ce chapitre présente les différentes étapes de réalisation des essais de pompage, incluant les essais par paliers, les essais à débit constant ainsi que les essais de remontée et d'interférence. L'analyse et l'interprétation des données obtenues permettent de mieux comprendre la réponse des aquifères aux sollicitations de pompage et d'évaluer les performances hydrauliques des forages.

Enfin, une étude piézométrique est réalisée afin d'analyser l'évolution des niveaux d'eau souterraine, le sens général de l'écoulement ainsi que les interactions hydrauliques existantes entre les différents ouvrages étudiés. Cette approche permet d'obtenir une vision globale du fonctionnement hydrodynamique des aquifères dans la région de Gassi Touil et de contribuer à une meilleure gestion des ressources en eau souterraine.

III.3 Présentation des forages :

Dans le cadre de cette étude hydrodynamique réalisée dans la région de Gassi Touil, plusieurs forages exploitant les formations aquifères du Complexe Terminal ont fait l'objet d'un suivi technique et analytique détaillé. Les essais de pompage réalisés sur ces ouvrages avaient pour objectif principal l'évaluation des propriétés hydrodynamiques des aquifères ainsi que l'analyse du comportement piézométrique des nappes souterraines sous l'effet des sollicitations hydrauliques.

Les essais ont été réalisés à débit constant durant une période de 48 heures afin d'assurer une stabilisation progressive des rabattements et de permettre une interprétation fiable des paramètres hydrauliques des formations captées. Les mesures effectuées concernent principalement le niveau statique initial (NS), l'évolution des niveaux dynamiques, les rabattements observés ainsi que les débits d'exploitation appliqués durant les essais.

Les forages étudiés sont présentés ci-après avec leurs principales caractéristiques hydrauliques et conditions expérimentales :

Les différents forages étudiés présentent des caractéristiques hydrauliques relativement variables selon les débits appliqués et les propriétés des formations aquifères captées. Les données recueillies durant les essais constituent une base essentielle pour l'interprétation hydrodynamique, la détermination des paramètres hydrauliques et l'analyse piézométrique des aquifères exploités dans la région de Gassi Touil.

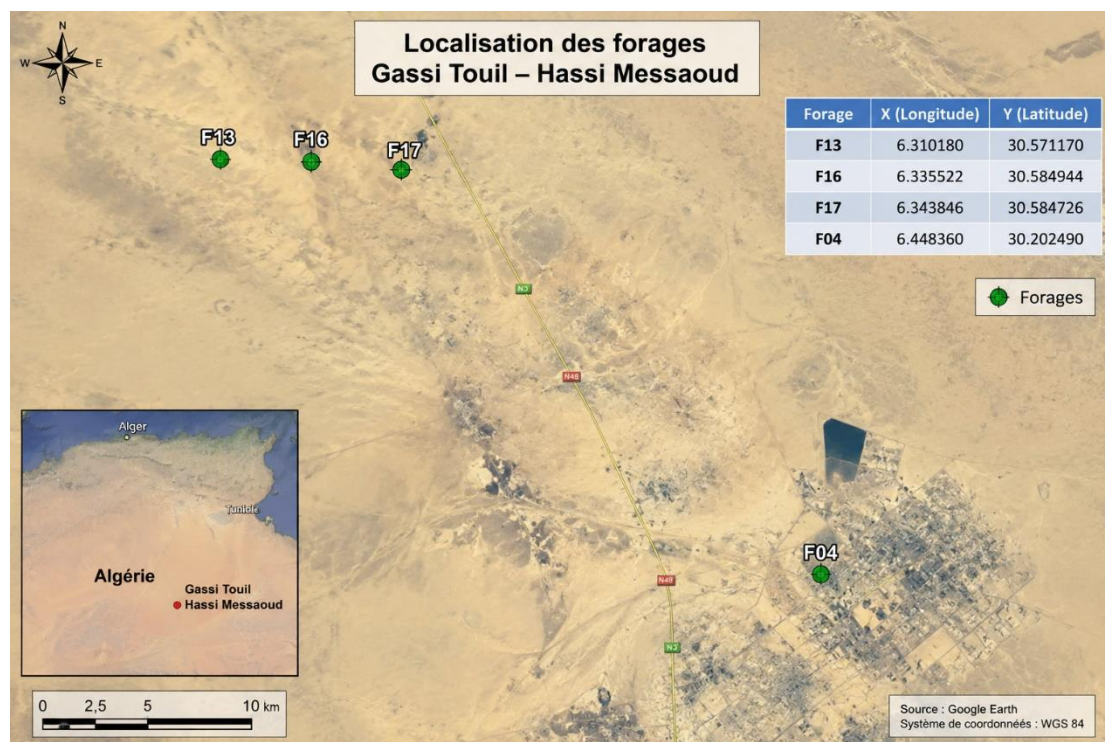


Figure III.3 (Localisation des forages)

III.3 Analyse hydrodynamique des essais de pompage et comportement piézométrique des aquifères :

1. Forage F16 : (courbes + tableaux + analyse détaillée)

Tableau III.1 : Caractéristiques techniques du forage F16 :

Paramètre	Valeur
Forage	F16
Région	Gassi Touil
Coordonnées	X = 6.335522° Y = 30.584994°
Profondeur totale	250 m
Aquifère capté	Complexe Terminal
Débit d'essai	48.50 l/s
Durée du pompage	48 h
Niveau statique	47.24 m
Tubage	API Ø13''3/8
Colonne captante	Inox Ø8''5/8
Développement	Air

Le programme d'équipement du forage comprend une colonne de production en acier API Ø13''3/8 installée entre +0.5 m et 135 m de profondeur. La colonne de captage inox Ø8''5/8 est composée de tubes pleins et de crépines Johnson Slot 20 réparties au niveau des horizons aquifères productifs identifiés lors des opérations de diagraphie.

La colonne de captage présente une longueur totale de 122.85 m comprenant :

- 35.1 m de tubes pleins inox ;
- 87.75 m de crépines Johnson Slot 20 ;
- un sabot de décantation destiné à limiter l'accumulation des particules fines dans le forage.

Les opérations de gravillonnage ont été réalisées dans l'espace annulaire compris entre 128 m et 250 m à l'aide de graviers siliceux lavés et calibrés de diamètre compris entre 3 et 5 mm. Le volume total du massif filtrant injecté est estimé à 07 m³.

Une opération de cimentation de l'espace annulaire Ø17''1/2 × Ø13''3/8 a également été effectuée afin d'assurer l'étanchéité du forage et d'éviter les circulations parasites entre les formations traversées. Le volume du laitier de ciment utilisé est estimé à 7.5m³ avec une quantité totale de ciment sec atteignant 9.25 tonnes.

Avant le début des essais de pompage, un traitement chimique à l'Hexa métaphosphate a été appliqué avec un dosage de 4 %, suivi d'un développement du forage par air lift jusqu'à l'obtention d'une eau claire dépourvue de particules en suspension. Cette opération permet d'améliorer les échanges hydrauliques entre l'aquifère et la colonne captante du forage.



Figure III4.(Tubage)

Tableau III.2 : Programme de tubage et de la colonne de captage

Programme de tubage et de la colonne de captage	
Longueurs des tronçons	Nombre et caractéristiques des tubes
<u>Colonne de production en API Ø 13’’3/8: De+0.5 à 135</u>	<u>Tubages API Grade d’acier K55 poids:54Lbm/ft</u>
<u>Colonne de captage en Inox Ø8’’5/8 :</u> 128m-133.8m 133.8m-168.6m 168.6 -174.4 m 174.4m-197.8m 197.8m-209.4m 209.4m-226.8m 226.8m-232.6m 232.6m-244.2m 244.2m-250m	Tube plein de réserve (5,85m, soit 01TP) Crépines (34.8 soit 06TC) Tube plein (5,85m, soit 01 TP) Crépines (23.2m, soit 04 TC) Tube plein (11.7m, soit 02TP) Crépines (17.4m, soit 03TC) Tube plein (5,85m, soit 01 TP) Crépines (11.7m, soit 02TC) Sabot de décantation (5.85m, soit 01TP)

Tableau III.3 : par paliers

Paliers de débits	Débits pompés l/s	Rabattement (m)	Débits spécifique l/s/m	Rabattement spécifiques s/Q m/l/s
1	25	7.68	3,25520833	0,3072
2	35	12.03	2,90939318	0,34371429
3	40	13.96	2,86532951	0,349
4	48.50	19.75	2,4556962	0,40721649

1. Évolution du couple Débit-Rabattement : L'analyse des données du forage F16 (NS = 47.24 m) révèle une relation proportionnelle et régulière entre le débit pompé (Q) et le rabattement induit (s). En passant du premier palier (Q = 25 l/s) au quatrième et dernier palier (Q = 48.50 l/s), le rabattement augmente logiquement de 7.68 m pour atteindre sa valeur maximale de 19.75 m. Cette progression stable indique une réponse élastique et saine de la formation aquifère (Complexe Terminal) face aux sollicitations de pompage.

2. Analyse du rabattement spécifique et pertes de charge (s/Q) : Le rabattement spécifique (s/Q) affiche une légère augmentation progressive avec l'accroissement du débit, passant de 0.307 à 0.407 m/l/s. Cette légère élévation s'explique sur le plan hydrodynamique par l'apparition de **pertes de charge quadratiques**. Ces dernières sont générées par les turbulences de l'écoulement de l'eau lors de son franchissement des ouvertures de la crépine aux forts débits, un phénomène classique dans l'exploitation des forages profonds.

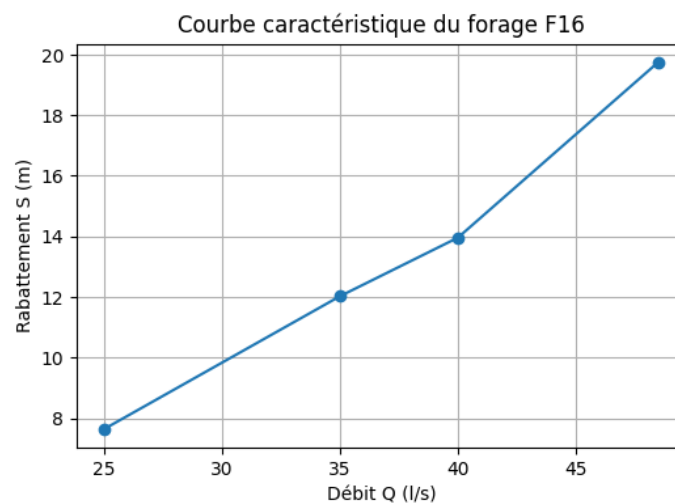


Figure III.5 (Courbe caractéristique du forage F16)

2. Forage F17 : (courbes + tableaux + analyse détaillée)

Tableau III.4 : Caractéristiques techniques du forage F17

Paramètre	Valeur
Forage	F17
Région	Gassi Touil
Profondeur totale	250 m
Aquifère capté	Complexe Terminal
Colonne captante	122.85 m
Longueur crépinée	99.45 m
Type de crépine	Johnson Slot 20
Développement	Air lift

Les essais de pompage réalisés sur le forage F17 avaient pour objectif principal l'évaluation des performances hydrauliques de l'ouvrage ainsi que la détermination des propriétés hydrodynamiques des formations aquifères captées dans la région de Gassi Touil.

Après l'achèvement des opérations de forage et de diagrapie, le forage a été équipé par une colonne de production en API Ø13''3/8 et une colonne de captage en inox Ø8''5/8. L'équipement comprend également des crépines Johnson Slot 20 réparties au niveau des horizons aquifères reconnus lors des opérations de diagrapie. La longueur totale des crépines atteint 99.45 m réparties sur 17 crépines, tandis que la longueur totale de la colonne captante atteint 122.85 m.

Les opérations de gravillonnage ont été réalisées dans l'espace annulaire compris entre 117.15 m et 240 m à l'aide de graviers siliceux lavés et calibrés de diamètre compris entre 3 et 5 mm. Le volume total injecté est estimé à 07 m³.



FigureIII.6 (gravillonnage)

Tableau III.5 : Programme de tubage et de la colonne de captage

Programme de tubage et de la colonne de captage	
Longueurs des tronçons	Nombre et caractéristiques des tubes
<u>Colonne de production en API Ø 13’’3/8:</u> <u>De+0.5 à 120</u>	<u>Tubages API Grade d’acier K55 poids:54Lbm/ft</u>
<u>Colonne de captage en Inox Ø8’’5/8 :</u> 117.15m-123m 123m-169.80m 169.80-181.50m 181.50m-234.15m 234.15m-240m	 Tube plein de réserve (5,85m, soit 01TP) Crépines (46,8 soit 08 TC) Tube plein (11.60m, soit 02 TP) Crépines (52.62m, soit 09 TC) Sabot de décantation (5.85m, soit 01 TP)

Une opération de cimentation de l'espace annulaire Ø17’’1/2 × Ø13’’3/8 a ensuite été effectuée entre la surface et 120 m de profondeur afin d'assurer l'étanchéité de l'ouvrage et d'éviter les circulations parasites entre les horizons traversés.

Tableau III.6 : Par palier

Paliers de débits	Débits pompés l/s	Rabatement (m)	Débits spécifique l/s/m	Rabatement spécifiques s/Q m/l/s
1	30	23.85	1,25786164	0,795
2	35	24.86	1,40788415	0,71028571
3	40	25.71	1,55581486	0,64275
4	47.50	25.78	1,84251358	0,54273684

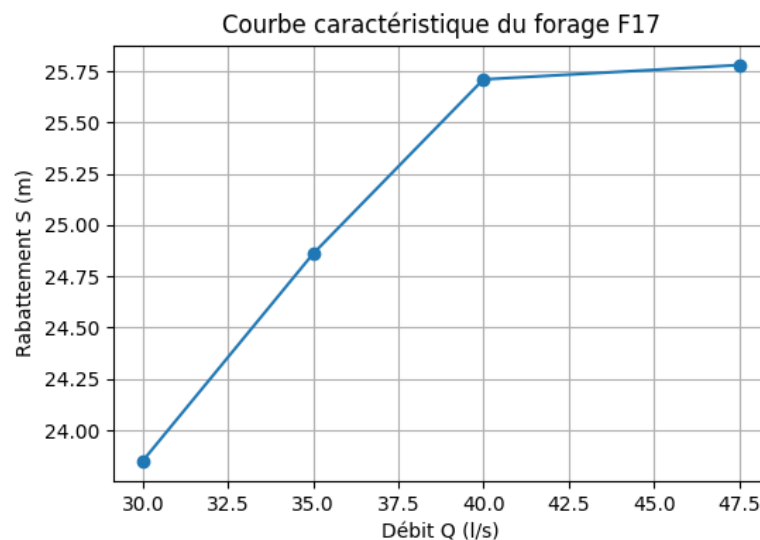


Figure III.7 (Courbe caractéristique du forage F17)

1.Évolution atypique du couple Débit-Rabatement : Contrairement au comportement classique observé dans le F16, les données du forage F17 (dont le niveau statique initial est $NS = 45.49$ m) montrent une évolution très singulière. En augmentant le débit pompé de manière significative (passant du premier palier à 30 l/s jusqu'au quatrième palier à 47.50 l/s, le rabattement (s) n'augmente que très faiblement. Il passe de 23.85 m à seulement 25.78 m. Une augmentation de débit de 17.5 l/s n'a généré qu'un rabattement supplémentaire minime de 1.93 m

2. Analyse inversée du rabattement spécifique (s/Q) : L'anomalie se confirme dans le calcul du rabattement spécifique (s/Q). Au lieu d'augmenter avec les débits (à cause des pertes de charge quadratiques comme c'est la norme), la valeur de s/Q **diminue** progressivement, chutant de 0.795 m/l/s au premier palier à 0.542 m/l/s au dernier palier. Parallèlement, le débit spécifique (Q/s) s'améliore, passant de 1.25 à 1.84 l/s/m. L'ouvrage devient paradoxalement plus performant à mesure que l'on pompe plus fort.

Cette signature hydraulique inversée est l'indicateur classique d'un **développement du forage en cours de pompage (Auto-développement)**. Cela signifie que le forage présentait initialement un "effet de peau" (colmatage partiel des crépines ou de l'aquifère par la boue de forage ou les éléments fins). L'application de débits de plus en plus forts lors des paliers successifs a agi comme une force de nettoyage (dégorgement), expulsant les particules fines du massif filtrant et de la formation, ce qui a ouvert les pores et amélioré la perméabilité à l'interface puits/aquifère en temps réel.

3. Forage F13 : (Forage principal)

3.1 Analyse hydrogéologique

Les niveaux statique mesurés au niveau des deux forages sont très proches ce qui indique qu'il capte la même nappe aquifère. Le pompage du forage F11 avec un débit de 44 l/s sur une durée de 48 heures a généré un rabattement important de 18.57m traduisant une forte sollicitation de la nappe.

Influence sur le forage F13 : Compte tenu de la distance (800m) et de l'intensité du pompage :

Le forage F13 se situe dans la zone d'influence du cône de dépression généré par F11. Une baisse du niveau piézométrique est attendue au niveau de F13.

L'ampleur estimée de cette baisse est de l'ordre de 0.50m selon la perméabilité de la formation aquifère.

L'effet est progressif et s'accroît avec la durée de pompage.

Tableau III.7 : Caractéristiques techniques du forage F13

Paramètre	Valeur
Forage	F13
Région	Gassi Touil
Profondeur totale	250 m
Aquifère capté	Complexe Terminal
Tubage	API Ø13''3/8
Colonne captant	Inox Ø8''5/8
Longueur colonne captant	122.85 m
Nombre de crépines	18
Longueur crépinée	105.3 m
Type de crépine	Johnson Slot 20
Gravillonnage	113 – 230 m
Massif filtrant	Gravier siliceux 3–5 mm
Développement	Air lift + traitement chimique

Tableau III.8 : Programme de tubage et de la colonne de captage

Le forage F13 constitue l'un des principaux ouvrages hydrauliques étudiés dans la région de Gassi Touil. Cet ouvrage a fait l'objet d'un programme complet d'essais hydrodynamiques visant à évaluer les performances du forage ainsi que les caractéristiques hydrauliques des formations aquifères captées.

Après l'achèvement des travaux de forage et des opérations de diagraphie, le forage a été équipé par une colonne de production en acier API Ø13''3/8 installée entre la surface et 120 m de profondeur. La colonne de captage est constituée de tubes inox Ø8''5/8 totalisant une longueur de 122.85 m.

Le programme d'équipement comprend :

- des tubes pleins inox ;
- des crépines Johnson Slot 20 ;
- un sabot de décantation ;

Programme de tubage et de la colonne de captage	
Longueurs des tronçons	Nombre et caractéristiques des tubes
<u>Colonne de production en API Ø 13''3/8:</u> <u>De+0.5 à 113</u>	<u>Tubages API grade d'acier K55 poids:54Lbm/ft</u>
<u>Colonne de captage en Inox Ø8''5/8 :</u> <u>Crépines Johnson Slot20 et Tubes pleins</u> 107,15m-113m 113m-159,8m 159,8m-165.65m 165,65m-224.15m 224,15m-230 m	Tube plein de réserve (5.85m, soit 01TP) Crépines (46.8m, soit 08TC) Tube plein (5.85m, soit 01TP) Crépines (58.5m, soit 10TC) Sabot de de cantation (5,85m, soit 01TP)

Tableau III.9 : par paliers

Palier	Débit pompé Q (l/s)	ND stabilisé (m)	Rabattement S (m)	Débit spécifique Q/S (l/s/m)	Rabattement spécifique S/Q (m/l/s)
1	20	72.66	27.36	0.731	1.368
2	25	78.74	33.44	0.748	1.338
3	30	83.30	38.00	0.789	1.267

Le rabattement augmente progressivement avec le débit appliqué, passant de 27.36 m à 38.00 m. Cette évolution traduit une réponse normale de l'aquifère face à l'augmentation du pompage. Le débit spécifique reste relativement stable autour de 0.75 l/s/m, ce qui indique une productivité moyenne du forage F13.

3.2 Interprétation

Les observations et données disponible permettre de conclure que :

- Les forages F11 ET F13 sont hydrauliquement connectés.
- Le pompage intensif de F11 induit une interférence sur F13
- Cette interférence confirme l'existence d'un système aquifère commun.

3.3 Recommandation

- Eviter l'exploitation a fort débit des deux forages sans études préalable
- Réaliser un suivi piézométrique forage F13 .

Le pompage du forage F11 A UN DEBIT DE 44 L/s pendant 48 heures exerce une influence notable sur le forage F13 situé a 800m cette influence se traduit par une baisse du niveau d'eau et confirme l'interconnexion hydraulique entre les deux ouvrages.

NB :.

Les données utilisées dans l'étude piézométrique du forage F13 proviennent de l'essai d'interférence réalisé à partir du forage F11. Durant cet essai, le forage F11 a été soumis à un pompage à débit constant de 44 l/s pendant 48 heures, tandis que le forage F13 a servi comme forage d'observation afin de suivre l'évolution des niveaux piézométriques. Cette méthode a permis d'évaluer la continuité hydraulique de l'aquifère et de mettre en évidence l'influence du pompage sur les ouvrages voisins.

4. Forage F01-F04 :

Tableau III.10 : récapitulatif du forage 01 :

Paramètre	Valeur
Forage	F04
Aquifère capté	Complexe Terminal
Débit d'essai	44 l/s
Niveau statique (NS)	61.20 m
Durée de pompage	48 h
Type d'essai	Débit constant
Tubage PVC Ø315 mm	Oui
Gravillonnage	Oui

Tableau III.11 : récapitulatif du forage 04

Paramètre	Valeur
Forage	F04
Aquifère capté	Complexe Terminal
Débit d'essai	44 l/s
Niveau statique (NS)	61.20 m
Durée de pompage	48 h
Type d'essai	Débit constant
Tubage PVC Ø315 mm	Oui
Gravillonnage	Oui

Les deux forages présentent des niveaux statiques très proches ainsi qu'un débit d'exploitation identique, ce qui suggère des conditions hydrogéologiques similaires au sein du Complexe Terminal exploité dans la région de Gassi Touil. Les faibles différences observées peuvent être attribuées à l'hétérogénéité locale des formations aquifères ou aux conditions d'équipement des ouvrages.

Tableau III.12 : Programme de tubage

Programme de tubage	
Longueurs des tronçons	Nombre et caractéristiques des tubes
Colonne de production en PVC Ø315mm : De +0.5 à 110m	Tubes en PVC Ø315mm/PN16 (soit 31TP+0.5m)
Colonne de captage en PVC Ø315mm : 121.3-160.3m 160.3m-164.2m 164.2m-168.1m 168.1m-172m 172m-179.8m 179.8m-183.7m 183.7m-222.7m 222.7m-238.3m 238.3m-246.1m 246.1m-250m	Tubes crépines (39m, soit 10TC) Tubes pleins (03.90m, soit 01TP) Tubes crépines (3.90m, soit 01TC) Tubes pleins (03.90m, soit 01TP) Tubes crépines (7.8m, soit 2TC) Tubes pleins (3.90m, soit 01TP) Tubes crépines (39m, soit 10TC) Tubes pleins (15.6m, soit 04TP) Tubes crépines (7.8m, soit 02TC) Sabot de décantation (3.90m, soit 01TP)

Les forages F01 et F04 présentent des caractéristiques hydrauliques très proches. Les niveaux statiques mesurés avant pompage montrent une faible différence de seulement 0,10 m, traduisant des conditions piézométriques similaires.

Cette proximité confirme l'homogénéité générale de l'aquifère exploité dans la région de Gassi Touil.

III.5 Discussion des résultats obtenus :

Tableau III.13(paramètres hydrodynamiques des forages étudiés)

Forage	NS (m)	Q (l/s)	Rabatement max (m)	Q/S (l/s/m)	Transmissivité (T)
F16	47.24	48.50	19.75	2.46	0.0119 m ² /s
F17	45.49	47.50	25.78	1.84	0.00250 m ² /s
F13	61.45	44	38	0.79	0.000554 m ² /s
F11	60.93	44	18.75	2.34	0.00280 m ² /s
F01	60.30	44	22.2	1.98	0.00264 m ² /s
F04	61.20	44	32.30	1.36	0.00168 m ² /s

Les essais de pompage réalisés sur les forages F01, F04, F11, F13, F16 et F17 ont permis de mettre en évidence les caractéristiques hydrodynamiques des formations aquifères exploitées dans la région de Gassi Touil. L'analyse des résultats obtenus révèle des différences notables entre les ouvrages étudiés, malgré leur appartenance au même système aquifère, ce qui témoigne de l'existence d'hétérogénéités locales au sein des formations du Complexe Terminal.

L'examen des niveaux statiques mesurés avant pompage montre que les forages présentent des valeurs relativement proches, comprises entre 45,49 m et 61,45 m. Cette faible variation suggère que les ouvrages exploitent un aquifère caractérisé par une continuité hydraulique régionale. Les niveaux statiques les plus faibles ont été enregistrés au niveau des forages F16 et F17, tandis que les forages F01, F04, F11 et F13 présentent des valeurs similaires avoisinant 61 m. Cette différence peut être liée à la position topographique des forages, aux conditions locales d'alimentation de l'aquifère ou à la nature des formations géologiques traversées.

Les résultats des essais de pompage montrent également une variabilité importante des rabattements maximaux observés. Le forage F13 présente le rabattement le plus élevé avec une valeur de 38 m, suivi du forage F04 avec 32,30 m et du forage F17 avec 25,78 m. À l'inverse, les forages F11 et F16 enregistrent les rabattements les plus faibles, respectivement 18,75 m et 19,75 m. Cette différence traduit des capacités de transmission variables au sein de l'aquifère et met en évidence l'influence des caractéristiques hydrauliques locales sur le comportement des ouvrages.

L'analyse du débit spécifique (Q/S) constitue un indicateur pertinent pour évaluer la productivité des forages. Les résultats montrent que le forage F16 présente la meilleure performance hydraulique avec un débit spécifique de 2,46 l/s/m, suivi du forage F11 avec 2,34 l/s/m. Ces valeurs indiquent que ces deux ouvrages produisent des débits relativement élevés pour des rabattements modérés, ce qui traduit une

bonne transmissivité des formations aquifères captées. En revanche, le forage F13 présente le débit spécifique le plus faible (0,79 l/s/m), ce qui témoigne d'une productivité plus limitée et d'une résistance plus importante à l'écoulement de l'eau vers le forage.

Les différences observées entre les ouvrages peuvent être attribuées à plusieurs facteurs hydrogéologiques. Parmi les plus importants figurent la perméabilité des couches aquifères, l'épaisseur des horizons productifs, la répartition des crépines, la qualité du développement du forage ainsi que la présence éventuelle de niveaux moins perméables au voisinage des ouvrages. Ces paramètres influencent directement les pertes de charge observées pendant le pompage et expliquent les écarts enregistrés entre les différents forages.

Par ailleurs, la comparaison des résultats obtenus met en évidence le bon comportement hydrodynamique général du système aquifère exploité. Malgré certaines variations locales, l'ensemble des forages étudiés a permis d'assurer des débits d'exploitation relativement importants, compris entre 44 et 48,50 l/s. Cette capacité de production confirme l'intérêt hydrogéologique du Complexe Terminal dans la région de Gassi Touil et son rôle essentiel dans l'alimentation en eau des activités présentes dans la zone.

Les observations réalisées permettent également de conclure que les forages F16 et F11 représentent les ouvrages les plus performants du champ captant étudié. Leur faible rabattement associé à des débits spécifiques élevés traduit une meilleure connexion hydraulique avec l'aquifère et une efficacité accrue de leur équipement. À l'inverse, les forages F04 et F13 présentent des performances plus modestes, probablement en raison de conditions géologiques locales moins favorables ou de caractéristiques constructives différentes.

D'une manière générale, les résultats obtenus confirment que les aquifères exploités dans la région de Gassi Touil possèdent un potentiel hydraulique appréciable. Les essais de pompage ont permis de caractériser efficacement le comportement des ouvrages et de mettre en évidence les différences de productivité observées à l'échelle du champ captant. Ces informations constituent une base essentielle pour l'optimisation de l'exploitation des forages et pour la mise en œuvre d'une gestion durable des ressources en eau souterraine dans cette région saharienne.

III.6.2 Analyse de l'influence de la distance entre les forages :

L'étude des forages réalisés dans la région de Gassi Touil met en évidence l'importance de la distance séparant les ouvrages dans le comportement hydrodynamique de l'aquifère. En effet, lorsqu'un forage est soumis à un pompage prolongé, la baisse de charge hydraulique générée autour de celui-ci peut se propager sur une distance plus ou moins importante selon les caractéristiques de l'aquifère. Ce phénomène se traduit par la formation d'un cône de rabattement dont l'extension dépend principalement de la transmissivité et du coefficient d'emménagement des formations exploitées.

Dans la zone étudiée, les forages appartiennent au même système aquifère du Complexe Terminal. Malgré les distances qui les séparent, les résultats obtenus

montrent des comportements hydrauliques relativement comparables, notamment en ce qui concerne les débits d'exploitation et l'évolution des niveaux d'eau. Cette similitude suggère l'existence d'une continuité hydraulique entre les différentes parties de l'aquifère.

Le cas des forages F11 et F13 est particulièrement intéressant. Bien qu'ils soient séparés par une distance d'environ 800 m, les résultats obtenus indiquent des tendances hydrodynamiques relativement proches. Cette observation confirme que les effets du pompage peuvent se transmettre à travers l'aquifère sur des distances importantes lorsque celui-ci présente une bonne perméabilité et une continuité géologique suffisante.

Par ailleurs, les faibles différences observées entre les niveaux statiques des différents forages témoignent également d'un certain équilibre piézométrique à l'échelle du champ captant. Cette situation traduit une alimentation relativement homogène des formations aquifères exploitées et confirme l'appartenance des différents ouvrages à un même système hydraulique régional.

Toutefois, les variations observées au niveau des rabattements maximaux montrent que l'influence de la distance n'est pas le seul facteur déterminant. Les propriétés locales des formations géologiques, l'épaisseur des horizons productifs, la qualité du développement des forages et les caractéristiques des équipements installés jouent également un rôle important dans le comportement hydraulique des ouvrages.

D'une manière générale, l'analyse de l'influence de la distance entre les forages met en évidence une bonne continuité hydraulique du Complexe Terminal dans la région de Gassi Touil. Cette caractéristique constitue un élément favorable pour l'exploitation des ressources en eau souterraine, mais elle nécessite également une gestion coordonnée des débits de pompage afin d'éviter les interférences excessives entre les différents ouvrages.

III.6.3 Proposition d'exploitation optimale :

Les résultats obtenus à partir des essais de pompage permettent de proposer plusieurs recommandations visant à assurer une exploitation rationnelle et durable des ressources en eau souterraine dans la région de Gassi Touil.

L'analyse comparative des performances hydrauliques montre que le forage F16 présente les meilleures conditions d'exploitation parmi les ouvrages étudiés. Avec un débit spécifique élevé et un rabattement relativement faible, ce forage peut être considéré comme l'un des principaux ouvrages de production du champ captant. Le forage F17 présente également des performances satisfaisantes et peut constituer un ouvrage complémentaire capable de contribuer efficacement à l'alimentation en eau de la zone.

Les forages F01 et F04 présentent des performances intermédiaires compatibles avec une exploitation régulière. Toutefois, une surveillance périodique de leur comportement hydraulique demeure nécessaire afin de détecter toute évolution anormale des rabattements ou des niveaux piézométriques.

Le forage F13, qui a enregistré le rabattement le plus important parmi les ouvrages étudiés, nécessite une attention particulière. Une augmentation excessive du débit de pompage pourrait entraîner une baisse importante du niveau d'eau et réduire progressivement les performances de l'ouvrage. Il est donc recommandé de maintenir son exploitation dans des limites compatibles avec les capacités hydrauliques de l'aquifère.

Afin de préserver l'équilibre du système aquifère, il est également recommandé de mettre en place un programme de suivi piézométrique régulier permettant de contrôler l'évolution des niveaux d'eau souterraine. Ce suivi constitue un outil essentiel pour prévenir les risques de surexploitation et garantir la pérennité des ressources disponibles.

Par ailleurs, les opérations de maintenance et de réhabilitation des forages doivent être réalisées périodiquement afin de limiter l'encrassement des crépines et de maintenir les performances hydrauliques des ouvrages. Une attention particulière doit être accordée au développement des forages et au contrôle de la qualité de l'eau produite.

En conclusion, l'exploitation optimale des aquifères de Gassi Touil repose sur une gestion équilibrée des débits de pompage, un suivi régulier des niveaux piézométriques et une maintenance adéquate des ouvrages. Ces mesures permettront d'assurer une utilisation durable des ressources en eau souterraine tout en préservant le potentiel hydraulique du Complexe Terminal pour les besoins futurs.

Conclusion du Chapitre III :

Ce chapitre a été consacré à l'étude pratique des essais de pompage réalisés sur plusieurs forages implantés dans la région de Gassi Touil. Après la présentation du cadre géographique, géologique et hydrogéologique de la zone d'étude, les principales caractéristiques techniques des forages exploités ont été décrites ainsi que les conditions de réalisation des essais de pompage.

L'analyse des résultats obtenus a permis de mettre en évidence le comportement hydrodynamique des aquifères exploités et d'évaluer les performances hydrauliques des différents ouvrages. Les essais réalisés sur les forages F13, F16 et F17 ont montré des réponses satisfaisantes, caractérisées par des débits d'exploitation importants et des rabattements compatibles avec les capacités de production des formations aquifères captées.

L'étude comparative des résultats a révélé une relative homogénéité hydrodynamique entre les différents forages, traduisant l'appartenance de ces ouvrages à un même système aquifère. Les observations effectuées ont également confirmé l'existence d'une continuité hydraulique au sein des formations du Complexe Terminal, malgré certaines variations locales liées aux caractéristiques géologiques et aux conditions d'équipement des forages. Dans l'ensemble, les résultats obtenus démontrent que les aquifères exploités dans la région de Gassi Touil présentent un potentiel hydraulique appréciable permettant une exploitation durable des ressources en eau souterraine. Ces résultats constituent une base essentielle pour la gestion rationnelle de la ressource et l'optimisation future des ouvrages de captage.

Conclusion :

Ce chapitre a été consacré à l'étude pratique des essais de pompage réalisés sur plusieurs forages implantés dans la région de Gassi Touil. Après la présentation du cadre géographique, géologique et hydrogéologique de la zone d'étude, les principales caractéristiques techniques des forages exploités ont été décrites ainsi que les conditions de réalisation des essais de pompage.

L'analyse des résultats obtenus a permis de mettre en évidence le comportement hydrodynamique des aquifères exploités et d'évaluer les performances hydrauliques des différents ouvrages. Les essais réalisés sur les forages, ont montré des réponses satisfaisantes, caractérisées par des débits d'exploitation importants et des rabattements compatibles avec les capacités de production des formations aquifères captées.

L'étude comparative des résultats a révélé une relative homogénéité hydrodynamique entre les différents forages, traduisant l'appartenance de ces ouvrages à un même système aquifère. Les observations effectuées ont également confirmé l'existence d'une continuité hydraulique au sein des formations du Complexe Terminal, malgré certaines variations locales liées aux caractéristiques géologiques et aux conditions d'équipement des forages.

Dans l'ensemble, les résultats obtenus démontrent que les aquifères exploités dans la région de Gassi Touil présentent un potentiel hydraulique appréciable permettant une exploitation durable des ressources en eau souterraine. Ces résultats constituent une base essentielle pour la gestion rationnelle de la ressource et l'optimisation future des ouvrages de captage.

- [1] Fetter, C.W. (2001). Applied Hydrogeology (4th ed.). Prentice Hall, New Jersey, pp. 4–12.
- [2] Kruseman, G.P. & de Ridder, N.A. (1994). Analysis and Evaluation of Pumping Test Data (2nd ed.). ILRI, Wageningen, pp. 20–25
- [3] Freeze, R.A., & Cherry, J.A. (1979). Groundwater. Prentice Hall, Englewood Cliffs, pp. 15–25
- [4] Bear, J. (1979). Hydraulics of Groundwater. McGraw-Hill, New York.
- [5] Domenico, P.A., & Schwartz, F.W. (1998). Physical and Chemical Hydrogeology (2nd ed.). Wiley, New York, pp 20-35
- [6] Todd, D.K., & Mays, L.W. (2005). Groundwater Hydrology (3rd ed.). Wiley, New York.
- [7] Mémoire de Master – Université Kasdi Merbah Ouargla, Modélisation de l'écoulement des eaux souterraines (2019)
- [8] Mémoire de Master – Université Kasdi Merbah Ouargla, Étude hydrogéologique et hydrochimique des eaux souterraines dans la région d'Ilizi (2025)
- [9] Mémoire de Master – Université Kasdi Merbah Ouargla Étude hydrogéologique de la région de Ouargla (2018)
- [10] Mémoire de Master – Université de Biskra Analyse des essais de pompage dans les aquifères sahariens (2021).
- [11] Abou Zeid, M.A. (2005). Hydrogéologie : principes des eaux souterraines. Dar El Fikr El Arabi.
- [12] Mémoire de Master – Université Kasdi Merbah Ouargla, Hydrodynamique des aquifères sahariens (2020).
- [13] Mémoire de Master – Université Mohamed Khider Biskra, Application de la loi de Darcy dans les aquifères sahariens (2019).
- [14] Mémoire de Magister – Université de Batna 2, Étude hydrodynamique des aquifères sahariens (2008).
- [15] Mémoire de Master – Université 8 Mai 1945 Guelma, Étude des écoulements souterrains dans les milieux poreux (2021).
- [16] Mémoire de Master – Université Kasdi Merbah Ouargla, Comportement hydrodynamique des aquifères sahariens (2022).
- [17] Université Kasdi Merbah Ouargla (UKMO) Cours : Hydrogéologie appliquée Master Hydraulique.
- [18] Castany, G. (1967) Hydrogéologie – Principes et méthodes.
- [19] ANRH (Algérie) Études des nappes sahariennes (Ouargla, Sahara septentrional).
- [20] Theis, C.V. (1935) The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage.
- [21] Jacob, C.E. (1947) Drawdown test to determine effective radius of artesian well.
- [22] Ould Baba Sy, M. (Université d'Oran) Hydrogéologie appliquée et essais de pompage
- [23] Abdelfatah Mourad Hydrogéologie appliqué université de Baghdâd
- [24] DSPACE Université Ouargla – documents champ Gassi Touil

Liste des annexes

Essais Par Palier

Forage: 016 B4 Date: du 10/08/10 au 10/08/10

Niveau pose de la pompe: 108 m

NS/Tubage: m Tubage/Sol: m ND/Tubage: m

Temps réel = 30s

Palier N°01 Q = 30 l/s

Palier N°02 Q = 30 l/s

Palier N°03 Q = 30 l/s

DESCENTE		REMONTEE		DESCENTE		REMONTEE		DESCENTE		REMONTEE	
t (mn)	ND(m)	t (mn)	ND(m)	t (mn)	ND(m)	t (mn)	ND(m)	t (mn)	ND(m)	t (mn)	ND(m)
0	61.80	0	72.80	0	70.80	0	70.80	0	70.80	0	70.80
1	61.10	1	73.10	1	71.10	1	71.10	1	71.10	1	71.10
2	61.70	2	74.10	2	71.80	2	71.80	2	71.80	2	71.80
3	71.10	3	75.10	3	80.10	3	80.10	3	80.10	3	80.10
4	71.10	4	76.10	4	80.10	4	80.10	4	80.10	4	80.10
5	71.10	5	76.10	5	80.10	5	80.10	5	80.10	5	80.10
6	71.10	6	76.10	6	80.10	6	80.10	6	80.10	6	80.10
7	71.10	7	76.10	7	80.10	7	80.10	7	80.10	7	80.10
8	71.10	8	76.10	8	80.10	8	80.10	8	80.10	8	80.10
9	71.10	9	76.10	9	80.10	9	80.10	9	80.10	9	80.10
10	71.10	10	76.10	10	80.10	10	80.10	10	80.10	10	80.10
11	71.10	11	76.10	11	80.10	11	80.10	11	80.10	11	80.10
12	71.10	12	76.10	12	80.10	12	80.10	12	80.10	12	80.10
13	71.10	13	76.10	13	80.10	13	80.10	13	80.10	13	80.10
14	71.10	14	76.10	14	80.10	14	80.10	14	80.10	14	80.10
15	71.10	15	76.10	15	80.10	15	80.10	15	80.10	15	80.10
16	71.10	16	76.10	16	80.10	16	80.10	16	80.10	16	80.10
17	71.10	17	76.10	17	80.10	17	80.10	17	80.10	17	80.10
18	71.10	18	76.10	18	80.10	18	80.10	18	80.10	18	80.10
19	71.10	19	76.10	19	80.10	19	80.10	19	80.10	19	80.10
20	71.10	20	76.10	20	80.10	20	80.10	20	80.10	20	80.10
21	71.10	21	76.10	21	80.10	21	80.10	21	80.10	21	80.10
22	71.10	22	76.10	22	80.10	22	80.10	22	80.10	22	80.10
23	71.10	23	76.10	23	80.10	23	80.10	23	80.10	23	80.10
24	71.10	24	76.10	24	80.10	24	80.10	24	80.10	24	80.10

Essai à longue durée

Forage: 016 B4 Date: du 10/08/10 au 10/08/10

Niveau pose de la pompe: 108 m

NS/Tubage: m Tubage/Sol: m ND/Tubage: m

Temps réel = 44s

Palier N°01 Q = 30 l/s

Palier N°02 Q = 30 l/s

Palier N°03 Q = 30 l/s

DESCENTE		DESCENTE (suite)		REMONTEE	
t (mn)	ND(m)	t (mn)	ND(m)	t (mn)	ND(m)
0	61.80	0	72.80	0	70.80
1	61.10	1	73.10	1	71.10
2	61.70	2	74.10	2	71.80
3	71.10	3	75.10	3	80.10
4	71.10	4	76.10	4	80.10
5	71.10	5	76.10	5	80.10
6	71.10	6	76.10	6	80.10
7	71.10	7	76.10	7	80.10
8	71.10	8	76.10	8	80.10
9	71.10	9	76.10	9	80.10
10	71.10	10	76.10	10	80.10
11	71.10	11	76.10	11	80.10
12	71.10	12	76.10	12	80.10
13	71.10	13	76.10	13	80.10
14	71.10	14	76.10	14	80.10
15	71.10	15	76.10	15	80.10
16	71.10	16	76.10	16	80.10
17	71.10	17	76.10	17	80.10
18	71.10	18	76.10	18	80.10
19	71.10	19	76.10	19	80.10
20	71.10	20	76.10	20	80.10
21	71.10	21	76.10	21	80.10
22	71.10	22	76.10	22	80.10
23	71.10	23	76.10	23	80.10
24	71.10	24	76.10	24	80.10

Essais Par Palier

Forage: 044 LB Date: du 10/08/10 au 10/08/10

Niveau pose de la pompe: 108 m

NS/Tubage: m Tubage/Sol: m ND/Tubage: m

Temps réel = 30s

Palier N°01 Q = 30 l/s

Palier N°02 Q = 30 l/s

Palier N°03 Q = 30 l/s

DESCENTE		REMONTEE		DESCENTE		REMONTEE		DESCENTE		REMONTEE	
t (mn)	ND(m)	t (mn)	ND(m)	t (mn)	ND(m)	t (mn)	ND(m)	t (mn)	ND(m)	t (mn)	ND(m)
0	61.80	0	81.80	0	80.80	0	80.80	0	80.80	0	80.80
1	71.10	1	83.10	1	90.10	1	90.10	1	90.10	1	90.10
2	81.10	2	85.10	2	91.10	2	91.10	2	91.10	2	91.10
3	81.10	3	85.10	3	91.10	3	91.10	3	91.10	3	91.10
4	81.10	4	85.10	4	91.10	4	91.10	4	91.10	4	91.10
5	81.10	5	85.10	5	91.10	5	91.10	5	91.10	5	91.10
6	81.10	6	85.10	6	91.10	6	91.10	6	91.10	6	91.10
7	81.10	7	85.10	7	91.10	7	91.10	7	91.10	7	91.10
8	81.10	8	85.10	8	91.10	8	91.10	8	91.10	8	91.10
9	81.10	9	85.10	9	91.10	9	91.10	9	91.10	9	91.10
10	81.10	10	85.10	10	91.10	10	91.10	10	91.10	10	91.10
11	81.10	11	85.10	11	91.10	11	91.10	11	91.10	11	91.10
12	81.10	12	85.10	12	91.10	12	91.10	12	91.10	12	91.10
13	81.10	13	85.10	13	91.10	13	91.10	13	91.10	13	91.10
14	81.10	14	85.10	14	91.10	14	91.10	14	91.10	14	91.10
15	81.10	15	85.10	15	91.10	15	91.10	15	91.10	15	91.10
16	81.10	16	85.10	16	91.10	16	91.10	16	91.10	16	91.10
17	81.10	17	85.10	17	91.10	17	91.10	17	91.10	17	91.10
18	81.10	18	85.10	18	91.10	18	91.10	18	91.10	18	91.10
19	81.10	19	85.10	19	91.10	19	91.10	19	91.10	19	91.10
20	81.10	20	85.10	20	91.10	20	91.10	20	91.10	20	91.10
21	81.10	21	85.10	21	91.10	21	91.10	21	91.10	21	91.10
22	81.10	22	85.10	22	91.10	22	91.10	22	91.10	22	91.10
23	81.10	23	85.10	23	91.10	23	91.10	23	91.10	23	91.10
24	81.10	24	85.10	24	91.10	24	91.10	24	91.10	24	91.10

Essai à longue durée

Forage: 044 LB Date: du 10/08/10 au 10/08/10

Niveau pose de la pompe: 108 m

NS/Tubage: m Tubage/Sol: m ND/Tubage: m

Temps réel = 44s

Palier N°01 Q = 30 l/s

Palier N°02 Q = 30 l/s

Palier N°03 Q = 30 l/s

DESCENTE		DESCENTE (suite)		REMONTEE	
t (mn)	ND(m)	t (mn)	ND(m)	t (mn)	ND(m)
0	61.80	0	72.80	0	70.80
1	71.10	1	73.10	1	71.10
2	81.10	2	74.10	2	71.80
3	81.10	3	75.10	3	80.10
4	81.10	4	76.10	4	80.10
5	81.10	5	76.10	5	80.10
6	81.10	6	76.10	6	80.10
7	81.10	7	76.10	7	80.10
8	81.10	8	76.10	8	80.10
9	81.10	9	76.10	9	80.10
10	81.10	10	76.10	10	80.10
11	81.10	11	76.10	11	80.10
12	81.10	12	76.10	12	80.10
13	81.10	13	76.10	13	80.10
14	81.10	14	76.10	14	80.10
15	81.10	15	76.10	15	80.10
16	81.10	16	76.10	16	80.10
17	81.10	17	76.10	17	80.10
18	81.10	18	76.10	18	80.10
19	81.10	19	76.10	19	80.10
20	81.10	20	76.10	20	80.10
21	81.10	21	76.10	21	80.10
22	81.10	22	76.10	22	80.10
23	81.10	23	76.10	23	80.10
24	81.10	24	76.10	24	80.10

Projet de réalisation de 04 forages CT au profit de SARL GLOBAL AGRIFOOD Périmètre Hassi Lahdaou – Gassi Touil /C.HassiMessaoud
Programmed'équipements d'un forage CT
Entreprisederéalisation: FORAQUASPA

A Monsieur Le Chef de projet

Gassi Touil- Hassi Messaoud FORAQUA SPA

Objet : A/S du Programme d'équipement technique du forage (F04) – Pfd. 250ML

Copie pour information : Directeur de l'exploitation Agricole HASSI LAHDAOU SPA GLOBAL AGRIFOOD

Dans le cadre de la réalisation de 35 forages à usages agricoles, au profit du SARL GLOBAL AGRIFOOD, dont la réalisation de 28 forages a été affectée à l'entreprise FORAQUA SPA, alors que le suivi technique est confié à l'ANRH EPIC, et suite à l'achèvement de l'opération de reconnaissance du forage F04, suivi d'une opération d'enregistrement de diagraphie, qui servira pour la délimitation des horizons aquifères; j'ai l'honneur de vous faire parvenir dans les tableaux ci-après, le programme d'équipements du présent forage:

Programme d'équipement technique d'un (01) forage CT : F04

Programmedetubage	
Longueurs destronçons	Nombre et caractéristiques des tubes
Colonne de production en PVC Ø315mm : De +0.5 à 110m	Tubes en PVC Ø315mm/PN16 (soit 31TP+0.5m)
Colonne de captage en PVC Ø315mm : 121.3-160.3m 160.3m-164.2m 164.2m-168.1m 168.1m-172m 172m-179.8m 179.8m-183.7m 183.7m-222.7m 222.7m-238.3m 238.3m-246.1m 246.1m-250m	Tubes crépines (39m, soit 10TC) Tubes pleins (03.90m, soit 01TP) Tubes crépines (3.90m, soit 01TC) Tubes pleins (03.90m, soit 01TP) Tubes crépines (7.8m, soit 2TC) Tubes pleins (3.90m, soit 01TP) Tubes crépines (39m, soit 10TC) Tubes pleins (15.6m, soit 04TP) Tubes crépines (7.8m, soit 02TC) Sabot de décantation (3.90m, soit 01TP)

Projet de réalisation de 30 forages CT au profit de 3A SPA
Périmètre Gassi Touil 02—Commune de Hassi Messaoud
Programme d'équipements du forage F16
Entreprise de réalisation : FORAQUA SPA

A Monsieur
Le Chef de projet FORAQUA Gassi Touil 02/Hassi Messaoud

Objet : A/S du Programme d'équipement technique du forage F16 – Profondeur. 250ML

Copie pour information : Directeur Exploitation et Technique (3A SPA)

Dans le cadre de la réalisation de 30 forages CT à usage agricole, au profit de la 03A SPA, dont la réalisation a été affectée à l'entreprise FORAQUA SPA, alors que le suivi technique est confié à l'ANRH EPIC, et suite à l'achèvement de l'opération de reconnaissance du forage F16, suivi d'une opération d'enregistrement de diagraphie, qui servira pour la délimitation des horizons aquifères; j'ai l'honneur de vous faire parvenir dans les tableaux ci-après, le programme d'équipement tubulaires de forage :

Programme d'équipement technique du forage CT : F16

Programme de tubage et de la colonne de captage	
Longueurs des tronçons	Nombre et caractéristiques des tubes
Colonne de production en API Ø 13''3/8 : De +0.5 à 135	Tubages API Grade d'acier K55 poids: 54Lbm/ft
Colonne de captage en Inox Ø8''5/8 : 128m-133.8m 133.8m-168.6m 168.6-174.4m 174.4m-197.8m 197.8m-209.4m 209.4m-226.8m 226.8m-232.6m 232.6m-244.2m 244.2m-250m	Tube plein de réserve (5.85m, soit 01TP) Crépines (34.8 soit 06TC) Tube plein (5.85m, soit 01 TP) Crépines (23.2m, soit 04 TC) Tube plein (11.7m, soit 02TP) Crépines (17.4m, soit 03TC) Tube plein (5.85m, soit 01 TP) Crépines (11.7m, soit 02TC) Sabot de décantation (5.85m, soit 01TP)

Récapitulatif relatif à la colonne du captage inox Ø8''5/8 :

Longueur unitaire des tubes pleins et crépines en Inox : 5,85m

Longueur totale des tubes pleins et crépines en Inox : 122.85m soit 21 tubes (y compris le sabot de décantation).

Longueur totales des pleins inox : 35,1 m, soit 06 tubes (y compris le sabot de décantation)

Longueur totales des crépines Johnson slot 20 : 87.75m, soit 15 crépines.

Programme de gravillonnage et cimentation

Horizon à gravillonné	Caractéristique
- Annulaire 315mm X 482.6mm (19'') : de 250 à 09 m (soit 24m)	Graviers siliceux, lavés et calibrés, de Ø entre 3 à 5 mm Volume totale du gravier à injecter : 27m ³
Horizon à cimenté	Caractéristique
Mise en place d'un volume suffisant d'argile gonflante (au niveau de l'annulaire 19'') De Ø8 à 09m (soit 0m)	Volume d'argile pour étanchéité : 0.25m ³
Cimentation de l'espace annulaire : Ø315mm X Ø482.6mm (19'') De 08m, 00m (soit 08 m)	Volume de laitier de ciment (densité 1.8): 2m ³ Quantité de ciment (HTS): 3100kg ou 62 sacs de 50kg Volume d'eau de gâchage : 1.2m ³ (50 L d'eau pour 100kg)

N.B :

- L'opération de gravillonnage sera accompagnée d'un allègement de la boue et une circulation à faible débit, pour permettre une lente descente du massif filtrant, ainsi, qu'une distribution uniforme et progressive sur les parois de la colonne en PVC.

- La mise en place de 02 tubes en PVC PN10 Ø60, d'une longueur de 10.5m chacun, ces derniers seront insérés de part et d'autre, dans l'espace annulaire Ø24" x Ø315mm; la hauteur de ces 02 tubes sera de 0.25m de sol, mené de bouchons pour obturation.

- Etablir un développement primaire à l'air lift, afin d'entasser le gravier, suivi d'une mise en place d'un volume de 0.25m³ d'argile gonflante pour éviter l'intrusion du laitier du ciment dans le massif filtrant (étanchéité).

- Cimentation au jour de la partie supérieure de l'annulaire Ø24" x Ø315mm sur une hauteur de 08m, avec attente de prise du ciment pendant 48 heures.

- Procéder au traitement chimique par l'Hexamétophosphate (400kg d'hexa. dans 10m³ d'eau) soit un dosage de 4% (soit 40 kg d'hexa pour 10m³ d'eau); laissé prendre effet pendant 24 heures, établir en suite un développement du forage à l'air lift, jusqu'à l'obtention d'une eau claire, dépourvue de toutes particules en suspension.

Copies pour information :

- Le Directeur Régional Sud/ANRH-Ouargla
- Le Chef de Département Eaux et Sols /ANRH-Ouargla

Etabli par Mr. :

Vérifié et validé par Mr. :

Horizon à gravillonné	Caractéristique
- Annulaire 12''1/4 X 8''5/8 : de 128 à 250 (soit 122m)	Graviers siliceux, lavés et criblés, de Ø entre 3 à 5mm Volume totale du gravier à injecter : 07 m ³
Horizon à cimenté	Caractéristique
- Cimentation de l'espace annulaire : Ø17''1/2 X Ø 13''3/8 De 113m à 0.00m (soit 100m)	- Volume de laitier du ciment (densité 2.5): 7.5m ³ - Quantité du ciment sec (HTS): 9.25 tons ou 180 sacs de 50kg Volume d'eau du gâchage : 4.3m ³ Equivalent à (55 L d'eau pour 100kg) Le volume de la boue de chasse : 08m ³

N.B :

- L'opération de gravillonnage sera accompagnée d'un allègement de la boue et une circulation à faible débit, pour permettre une lente descente du massif filtrant, ainsi, qu'une distribution uniforme et progressive sur les parois de la colonne du captage inox 8''5/8.

- Procéder au traitement chimique par l'Hexamétophosphate (200kg d'hexa. dans 05m³ d'eau) soit un dosage de 4% (soit 40 kg d'hexa pour 01m³ d'eau); laissé prendre effet pendant 24 heures, établir en suite un développement du forage à l'air lift, jusqu'à l'obtention d'une eau claire, dépourvue de toutes particules en suspension.

Copie pour information :

- Le Directeur Régional Sud/ANRH-Ouargla

Etabli par Mr. :

Actualisé et validé par.

RAACHE Mohammed Merouane

[illegible]

ESSAIS LONGUE DUREE

Projet : Réalisation de 05 forages 3A-SH

Localité : Gassi Touil 2

Nom du forage : F13	Repère par rapport au sol : 0,5 m	Niveau de pose pompe : 90 m
Niveau statique / Repère : 45,71 m	A la date du 11/09/2025	Au 13/09/2025

Débit : 35 l/s	
DESCENTE	
Temps	ND
(mn)	(m)

DESCENTE	
Temps	ND
(mn)	(m)

REMONTEE	
Temps	ND
(mn)	(m)

0	45.73
1	57.06
2	68.10
3	81.62
4	84.48
5	85.10
7	85.20
9	85.50
11	85.90
13	86.17
15	86.17
20	86.17
25	86.13
30	86.13
40	86.10
50	86.10
60	86.10
75	86.06
90	86.06
105	86.06
120	86.06
150	86.06
180	86.06
210	86.06
240	86.06
300	86.06

1560	
1680	
1800	
1920	
2040	
2160	
2280	
2400	
2520	
2640	
2760	
2880	

RAPPORT TECHNIQUE D'INTERFERENCE ENTRE FORAGE F11 ET F13 DANS LA ZONE DE GASSI TOUIL

1. Objet.

Le présent rapport a pour objet l'analyse de l'influence du pompage du forage F11 (AGRIFOOD) sur le forage F13 Situé dans la même zone hydrogéologique.

2. Données techniques

➤ Forage F11
Cote Tubage F11 = 1.60m

Forage	Débit (l/s)	NS(m)	ND(m)	Rab(m)	Durée de pompage(h)
F11	44	60.93	79.50	18.57	48

➤ Forage F13

Cote Tubage F13 =1.00m

Forage	Débit (l/s)	NS(m)	ND(m)	Rab(m)	Durée de pompage(h)
F13		61.45			

- Distance entre forages

- Distance entre F11-F13 : 800m

3. Analyse hydrogéologique

Les niveaux statique mesurés au niveau des deux forages sont très proches ce qui indique qu'il capte la même nappe aquifère

Le pompage du forage F11 avec un débit de 44 l/s sur une durée de 48 heures a généré un rabattement important de 18.57m traduisant une forte sollicitation de a nappe.

3. Influence sur le forage F13

Compte tenu de la distance (800m) et de l'intensité du pompage :

- Le forage F13 se situe dans la zone d'influence du cône de dépression généré par F11
- Une baisse du niveau piézométrique est attendue au niveau de F13.
- L'ampleur estimée de cette baisse est de l'ordre de 0.50m selon la perméabilité de la formation aquifère.
- L'effet est progressif et s'accroît avec la durée de pompage.

Ouargla, le 18/09/2025

Projet de réalisation de 30 forages CT au profit de 3A SPA
 Périmètre Gassi Touil 02—Commune de Hassi Messaoud
 Programme d'équipements du forage F17
 Entreprise de réalisation : FORAQUA SPA

A Monsieur

Le Chef de projet FORAQUA Gassi Touil 02/Hassi Messaoud

Objet : 4/S du Programme d'équipement technique du forage F17—Profondeur : 250ML

Copie pour information : Directeur Exploitation et Technique (3A SPA)

Dans le cadre de la réalisation de 30 forages CT à usage agricole, au profit de la 03A SPA, dont la réalisation a été affectée à l'entreprise FORAQUA SPA, alors que le suivi technique est confié à l'ANRH EPIC, et suite à l'achèvement de l'opération de reconnaissance du forage F17 suivi d'une opération d'enregistrement de diagraphie, qui servira pour la délimitation des horizons aquifères; j'ai l'honneur de vous faire parvenir dans les tableaux ci-après, le programme d'équipement tubulaires de forage :

Programme d'équipement technique du forage CT : F17

Programme de tubage et de la colonne de captage	
Longueurs des tronçons	Nombre et caractéristiques des tubes
<u>Colonne de production en API Ø 13''3/8:</u> <u>De +0.5 à 120</u>	<u>Tubages API Grade d'acier K55 poids:54Lbm/ft</u>
<u>Colonne de captage en Inox Ø8''5/8 :</u> 117.15m-123m 123m-169.80m 169.80-181.50m 181.50m-234.15m 234.15m-240m	Tube plein de réserve (5.85m, soit 01TP) Crépines (46.8 soit 08 TC) Tube plein (11.60m, soit 02 TP) Crépines (52.62m, soit 09 TC) Sabot de décantation (5.85m, soit 01 TP)

Récapitulation relatif à la colonne du captage inox Ø8''5/8 :

Longueur unitaire des tubes pleins et crépines en Inox : 5,85m

Longueur totale des tubes pleins et crépines en Inox : 122.85m soit 21 tubes (y compris le sabot de décantation).

Longueur totales des pleins inox : 23,40 m, soit 04 tubes (y compris le sabot de décantation)

Longueur totales des crépines Johnson slot 20 : 99,45m, soit 17 crépines.

FORAGE F17 3A NS =45.49m

X :

Y :

Paliers de débits	Débits pompés l/s	Rabattement (m)	Débits spécifique l/s/m	Rabattement spécifiques s/Q m/l/s
1	30	23.85	1,25786164	0,795
2	35	24.86	1,40788415	0,71028571
3	40	25.71	1,55581486	0,64275
4	47.50	25.78	1,84251358	0,54273684

FORAGE F16 3A NS = 47.24m

X :

Y :

Paliers de débits	Débits pompés l/s	Rabattement (m)	Débits spécifique l/s/m	Rabattement spécifiques s/Q m/l/s
1	25	7.68	3,25520833	0,3072
2	35	12.03	2,90939318	0,34371429
3	40	13.96	2,86532951	0,349
4	48.50	19.75	2,4556962	0,40721649

Programme de gravillonnage et cimentation

Horizon à gravillonné	Caractéristique
- Annulaire 12''1/4 X 8''5/8 : de 117.15 à 240 (soit 122.85 m)	Graviers siliceux, lavés et criblés, de Ø entre 3 à 5mm Volume totale du gravier à injecter : 07 m3
Horizon à cimenté	Caractéristique
- Cimentation de l'espace annulaire : Ø17''1/2 X Ø 13''3/8 De 120m à 0,00m (soit 120m)	- Volume de laitier du ciment (densité 1.75): 7.5m3 - Quantité du ciment sec (HTS): 9.25 tons ou 190 sacs de 50kg Volume d'eau du gâchage : 4.8m3 Équivalent à 55 L d'eau pour 100kg Le volume de la boue de chasse : 09m3

N.B :

- L'opération de gravillonnage sera accompagnée d'un allègement de la boue et une circulation à faible débit, pour permettre une lente descente du massif filtrant, ainsi, qu'une distribution uniforme et progressive sur les parois de la colonne du captage inox 8''5/8.

- Procéder au traitement chimique par l'Hexamétaphosphate (200kg d'hexa. dans 05m3 d'eau) soit un dosage de 4% (soit 40 kg d'hexa pour 01m3 d'eau); laissé prendre effet pendant 24 heures, établir en suite un développement du forage à l'air lift, jusqu'à l'obtention d'une eau claire, dépourvue de toutes particules en suspension.

Copie pour information :

- Le Directeur Régional Sud/ANRH-Ouargla

Etabli par Mr. :

Actualisé et validé par.

RAACHE Mohammed Merouane