

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ KASDI MERBAH – OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie Civil et Hydraulique

Mémoire

MASTER ACADIMIQUE

Domaine : Science et Technologie

Filière : Hydraulique

Spécialité : FORAGE D'EAU

Présenté par :

HANANOU Mohammed Ihab

Thème

**SUIVI DE RÉALISATION D'UN FORAGE
DANS LA RÉGION DE HADJIRA**

Soutenu publiquement le: 2025

Devant le jury:

MAHI.R.

MAA UNIV. OUARGLA

PRESIDENT

DJEBARI Hacene MAA UNIV. OUARGLA

EXAMINATEUR

MANSOURI Zina MCA UNIV. OUARGLA

ENCADAREUR

Année universitaire : 2024/2025

الملخص

تُعتبر المياه عنصراً أساسياً للحياة، حيث تمثل 70 إلى 75% من وزن الكائنات الحية، مما يجعل توفير إمدادات كافية من المياه ضرورياً لرفاهية الإنسان. في منطقة حجيرة، تحديات كبيرة في تأمين مياه الشرب، مما يستدعي تنفيذ مشاريع حفر آبار لتحسين الإمدادات المائية. تتكون المنطقة من طبقات متعددة من المياه الجوفية، مما يسهل الوصول إلى هذه الموارد. يُستخدم الماء في الزراعة، وهو قطاع حيوي لضمان الأمن الغذائي.

ومع تزايد الضغوط الناتجة عن التغير المناخي والنمو السكاني، تبرز أهمية الإدارة المستدامة للمياه. لذا، يجب تعزيز الوعي العام بأهمية المياه الجوفية وتطبيق تقنيات حديثة للحفاظ عليها، مما يساهم في تحقيق التنمية المستدامة في المنطقة.

Abstract

Water is essential to life, representing 70 to 75% of the weight of living organisms. An adequate water supply is therefore essential to human well-being. In the Hadjira region, access to drinking water represents a major challenge, requiring the drilling of boreholes to improve water supply. The region is home to multiple aquifers, facilitating access to these resources. Water is used in agriculture, a sector vital for food security.

Faced with increasing pressures due to climate change and population growth, sustainable water management is increasingly important. It is therefore essential to raise public awareness of the importance of groundwater and implement modern technologies to preserve it, thus contributing to the region's sustainable development.

.Résumé

L'eau est un élément essentiel à la vie, représentant 70 à 75 % du poids des organismes vivants. Un approvisionnement adéquat en eau est donc indispensable au bien-être humain. Dans la région de Hadjira, l'accès à l'eau potable représente un défi majeur, nécessitant la mise en œuvre de forages pour améliorer l'approvisionnement en eau. La région abrite de multiples aquifères, facilitant l'accès à ces ressources. L'eau est utilisée dans l'agriculture, un secteur vital pour la sécurité alimentaire.

Face aux pressions croissantes dues au changement climatique et à la croissance démographique, la gestion durable de l'eau revêt une importance accrue. Il est donc essentiel de sensibiliser le public à l'importance des eaux souterraines et de mettre en œuvre des technologies modernes pour les préserver, contribuant ainsi au développement durable de la région.

REMERCEMENTS

Je remercie Dieu pour ses bénédictions innombrables, qui m'ont permis de terminer ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon honorable encadreur,
Madame [Zina MANSOURI], pour ses précieuses orientations et son soutien constant,

Ainsi qu'au Président [Dr. MAHI. R] et à Monsieur le Rapporteur [Dr. DJEBARI Hacene] pour l'honneur de leur présence et l'évaluation de mon travail.

Je remercie également l'ingénieure [M. BENGUEGA Mohammed. S] de l'agence ANRH pour son soutien technique.

J'exprime ma reconnaissance envers les professeurs de la Faculté des Sciences Appliquées et tous les enseignants et administrateurs qui m'ont soutenu tout au long de mon parcours académique.

Je n'oublie pas toutes les personnes qui ont contribué, directement ou indirectement, à la réalisation de ce travail. Qu'Allah vous récompense abondamment

Dédicace

À ceux qui m'ont appris la signification de la patience et de la persévérance,

À mes chers parents,

Qui ont sacrifié tout ce qui était précieux pour moi,

Et ont été mon plus grand soutien à chaque étape.

À mes frères, sœurs et ma famille,

Qui ont été une source d'inspiration et de soutien,

À mes amis qui ont marché avec moi sur le chemin du savoir,

Et ont été là pour moi dans les bons et les mauvais moments.

À tous ceux qui ont contribué à m'amener à ce moment,

Je dédie ce modeste effort,

En signe de gratitude et de reconnaissance qui ne saurait égaler ce qu'ils m'ont offert

Hananou Mohammed Ihab

Liste des figures

Figure I-1 : Différents types des puits et de forages.[8]	5
Figure I-2 :Cycle du fluide forage[10]	5
Figure I-3 : Cycle du fluide sur le site de forage[12]	6
Figure I-4 : Densité mètre [4].....	8
Figure I-5 :Schéma de filtre-presse A.P.I BAROID[4].....	9
Figure I-6 : Forage par havage	11
Figure I-7 : Appareil de forage par battage[17]	12
Figure I-8 : La technique de forage au Rotary [19].....	13
Figure I-9 : Configuration des aquifères: nappe libre, nappe captive [22].....	15
Figure I-10 : l'hydrogéologie des principaux aquifères en Algérie [23]	16
Figure I-11 : Classification des machines de forage [27].....	20
Figure II-1 : Situation de la région de Touggourt	21
Figure II-2 : Situation géologique [29]	22
Figure II-3 : Coupe hydrogéologique [31]	23
Figure II-4 : Situation géographique d'El Hadjira	23
Figure II-5 : Situation de la daïra d'El Hadjira : (1) commune d'El Alia (2) commune d'El Hadjira.....	24
Figure II-6 :Un échantillonnage du sol	25
Figure II-7 : Table rotation	25
Figure II-8 : Pompe de boue	25
Figure II-9 : Bassine de boue.....	25
Figure II-10 : Outils	26
Figure II-11 : Échantillon d'eau.....	26
Figure II-12 : Tige.....	26
Figure II-13 : masse tige	26
Figure II-14 : Piste cyclable en boue	27
Figure II-15 :L'eau du puits.....	27
Figure II-16 : sonde.....	28
Figure II-17 : Tête d'injection.....	28

Liste des tableaux

Tableau I-1: Vitesses approximatives de la perméabilité[25]	19
Tableau IV-1: Essai par pompage.....	35
Tableau IV 2: Essai à débit constant.....	36

Liste des abréviations et Symboles

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

API : American Petroleum Institute.

HTS : Haute Teneur en Soufre.

Résumé

Remerciements

Dédicace

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations et symboles

Introduction générale.....	01
Chapitre I: Généralités sur le forage.....	03
I. 1 Introduction :	03
I. 2 Historique de forage :	03
I. 3 Les eaux souterraines :	03
I. 4 Définition d'un forage :	04
I. 4. 1 Exploration	04
I. 4. 2 Les forages d'exploitation verticaux :	04
I. 4. 3 Les fluides de forage:	05
I. 5 . Fonction des fluides de forage :	6
I. 6 Propriétés physiques et chimiques des fluides de forage :	07
I. 6. 1 La densité	07
I. 6. 2 Rhéologie :	08
I. 6. 3 La filtration :	08
I. 6. 4 Shale Stabilisations :	09
I. 6. 5 pH :	09
I. 7 Différents types de boues :	10
I. 7. 1 Boue à la bentonite :	10
I. 7. 2 Boue au polymère :	10
I. 7. 3 Polymères naturels :	10
I. 7. 4 Polymères synthétiques :	10
I. 7. 5 Polymères synthétiques biodégradables :	10
I. 8 Différentes techniques de forage:	11
I. 8. 1 Le havage:	11

I. 8. 2	Forage par battage :	11
I. 8. 3	Technique Rotary :	12
I. 9	Objectif de l'étude hydrogéologique pour la réalisation d'un forage d'eau :	13
I. 10	Diversité de l'occurrence des eaux souterraines :	13
I. 11	Les nappes aquifères :	14
I. 11. 1	Eaux souterraines surface :	14
I. 11. 2	Eaux souterraines profondes :	14
I. 11. 3	Aquifères non confinés :	14
I. 11. 4	Les eaux confinées:	14
I. 12	Cartographie :	15
I. 12. 1	Cartes hydrogéologiques :	15
I. 12. 2	Cartes structurales :	16
I. 12. 3	Cartes piézométriques :	16
I. 12. 4	Photos aériennes :	16
I. 12. 5	Télédétection :	17
I. 13	Les paramètres hydrodynamiques :	17
I. 13. 1	Coefficient d'emmagasinement :	17
I. 13. 2	La Porosité :	17
I. 13. 3	La Perméabilité :	18
I. 13. 4	Le gradient géothermique :	19
I. 14	Conclusion :	20
Chapitre II:	Présentation de la zone d'étude	21
II. 1	La localisation générale de la région :	21
II. 1. 1	Situation géologique :	21
II. 2	Hydro-climatologie de région d'études :	22
II. 2. 1	L'hydrogéologie de région :	22
II. 3	Localisation de forage :	23
II. 4	Situation de la région d'étude:	24
II. 5	Travail sur le terrain :	24
II. 5. 1	Un échantillon du sol de la plaque géologique :	24
II. 5. 2	Table de rotation :	25
II. 5. 3	Pompe de boue :	25

II. 5. 4 Bassine boue :	25
II. 5. 5 L’outil de forage :	26
II. 5. 6 L’eau :	26
II. 5. 7 Tige :	26
II. 5. 8 La masse-tige :	26
II. 5. 9 Piste cyclable en boue :	27
II. 5. 10 L’eau extraite du puits :	27
II. 5. 11 La sonde :	27
II. 5. 12 Tête d’injection :	28
II. 6 Conclusion :	28
Chapitre III: Présentation du projet.....	29
III. 1 Présentation générale du projet :	29
III. 2 Les étapes de suivi du forage.....	29
III. 2. 1 Études préliminaires et préparation.....	29
III. 2. 2 Préparation du site de forage.....	30
III. 2. 3 Début du forage :	30
III. 2. 4 Pose des tubages :	30
III. 2. 5 Fin du forage :	30
III. 2. 6 Développement du puits.....	30
III. 2. 7 Phase finale comprenant :	30
III. 3 Fiche technique de forage :	31
III. 4 Critères hydrodynamiques de l’aquifère.....	31
III. 5 Observation.....	31
Chapitre IV: Essai de pompage.....	33
IV. 1 Etape de forage :	33
IV. 1. 1 Phase I : La construction du puits initial.....	33
IV. 1. 2 Phase II : La colonne de production.....	33
IV. 1. 3 Phase III : La colonne de captage.....	33
IV. 1. 4 Phase IV : Le développement du puits.....	33
IV. 2 Calcul du Volume de cercle pour l'espace Annulaire :	34
IV. 3 Essai de pompage :	34
IV. 4 TABLEAU ESSAI PAR POMPAGE :	34

IV. 5	TABLEAU ESSAI PAR POMPAGE.....	35
	Conclusion générale	37
	Références Bibliographiques.....	38

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Les eaux représentent 70 à 75% du poids des êtres vivants. Faut-il rappeler, malgré qu'elle couvre les trois quarts de la surface du globe terrestre [1]

Tous les organismes, y compris les humains, ont besoin d'eau pour survivre. Par conséquent, il est essentiel pour le bien-être humain de veiller à ce qu'un approvisionnement adéquat en eau soit disponible. Bien que notre planète soit souvent appelée la planète bleue, les avertissements de pénurie d'eau croissante dans le monde sont courants. Cependant, contrairement à l'huile, l'eau circule, formant des cycles hydrologiques fermés. La quantité d'eau ne diminuera pas sur des échelles de temps plus courtes que les échelles de temps géologiques.[2]

L'eau est l'une des ressources naturelles les plus importantes qui joue un rôle vital. Elle n'est pas seulement essentielle à la survie, mais aussi fondamentale pour le développement économique et social. L'eau se répartit dans l'environnement entre les rivières, les lacs et les eaux souterraines, ce qui la rend disponible pour une utilisation dans divers domaines.

Les eaux souterraines contribuent à satisfaire les besoins humains en eau douce, en particulier dans les régions souffrant d'un manque de sources d'eau de surface. Elles constituent une source durable d'eau, pouvant être extraites des puits et utilisées pour l'agriculture, la consommation et l'industrie.

L'agriculture est l'un des secteurs les plus dépendants de l'eau, car elle contribue à la production alimentaire et à la sécurité alimentaire. De plus, l'eau est nécessaire pour préserver l'environnement et l'équilibre écologique, soutenant la biodiversité et aidant à maintenir les écosystèmes.

Avec l'augmentation des défis tels que le changement climatique et la croissance démographique, l'importance de la gestion durable des ressources en eau s'accroît. Cette gestion nécessite une prise de conscience de l'importance des eaux souterraines et l'application de techniques modernes pour les préserver.

On dit que les Chinois ont commencé à forer des puits profonds il y a environ 3000 ans, en utilisant des outils en bambou ou en corde, ainsi que des poteaux à ressort actionnés manuellement. Certaines écritures anciennes font référence à l'utilisation d'outils de forage à câble comme étant la méthode "chinoise" connue à cette époque. Ces innovations reflètent l'ingéniosité des Chinois dans l'exploitation des ressources en eau, contribuant au développement de techniques de forage qui ont ensuite été utilisées dans différentes régions du monde. [3]

Les Arabes ont creusé des puits à la main à quelques centaines de mètres il y a plusieurs siècles, et ils le font encore dans les régions les plus reculées du sud de l'Arabie. Cependant, dans le premier cas, l'absence de tubes de revêtement appropriés limitait cette approche aux formations solides et stables, et dans le cas des puits, les profondeurs étaient dictées par la nécessité d'assécher les puits au fur et à mesure que les hommes creusaient. L'approfondissement était souvent effectué plusieurs années plus tard, après une période exceptionnellement sèche. [3]

La région de El Hadjira est l'une des zones d'une grande importance en Algérie, où elle fait face à des défis croissants en matière de fourniture d'eau douce. Dans ce contexte, un projet de forage d'eau a été lancé dans le but d'améliorer l'approvisionnement en eau pour la population et de soutenir les activités agricoles et industrielles.

Ce travail comprend quatre chapitres :

Chapitre I :

Le chapitre aborde l'histoire et les techniques de forage, depuis la première opération de forage pétrolier au XIX^{ème} siècle jusqu'aux développements modernes dans ce domaine. Il met l'accent sur l'importance des eaux souterraines en tant que partie essentielle de l'écosystème et explique les différents types de forage, tels que le forage exploratoire et vertical. De plus, il discute du rôle des fluides utilisés lors du forage ainsi que de leurs propriétés physiques et chimiques.

Chapitre II:

Ce chapitre aborde la localisation de la zone de Touggourt d'un point de vue géographique et hydrogéologique. Il explique la composition géologique de la région, y compris les différentes couches d'eau souterraine, et l'importance de ces couches dans la gestion des ressources en eau.

Chapitre III:

Ce chapitre se concentre sur le projet de forage de nouveaux puits dans la région de Touggourt. Les étapes du projet sont expliquées, de la préparation et des études préliminaires à l'exécution de forage et au développement de puits. L'objectif est de fournir des sources d'eau pérennes aux agriculteurs pour soutenir la production agricole.

Chapitre IV:

Ce chapitre passe en revue les étapes de l'essai de pompage de l'eau après l'achèvement du forage. Cela inclut la mesure des niveaux d'eau et la détermination de ses caractéristiques hydrauliques, telles que la perméabilité et la productivité durable des puits, afin de garantir une utilisation efficace des eaux souterraines.

CHAPITRE I:
GÉNÉRALITÉS SUR LE
FORAGE

I. 1 Introduction :

Le forage est considéré comme l'une des opérations essentielles dans de nombreuses industries, y compris le pétrole et le gaz, nécessitant une compréhension approfondie des techniques et des évolutions historiques qui y sont liées. L'histoire du forage remonte au XIX^e siècle, avec la première opération de forage pétrolier réalisée aux États-Unis, marquant un tournant majeur dans l'industrie énergétique. Ce chapitre aborde l'historique du forage, les techniques d'exploration des eaux souterraines et des définitions essentielles pour comprendre les opérations associées.

I. 2 Historique de forage :

Le premier forage pétrolier a été effectué le 27 août 1859 par l'Américain E.L. Drake à Titusville, en Pennsylvanie. Cette opération marque un tournant dans l'histoire de l'industrie pétrolière. La technique classique du forage, inventée par Lucas, s'appuyait sur des méthodes simples au début, mais a connu une évolution significative au début du XX^e siècle. L'objectif de cette évolution était de résoudre les nombreux défis rencontrés lors du forage à cette époque.

Lucas a démontré au monde l'efficacité de la technique de forage rotatif grâce à la découverte du champ de Spindeltop au Texas, qui a eu un impact majeur sur l'industrie pétrolière. Depuis la fin des années 1930, le développement des techniques de forage optimisées a progressé de manière notable. Entre 1930 et 1947, les recherches se concentraient principalement sur l'étude de la composition et des propriétés des fluides utilisés dans les opérations de forage. Pendant cette période, il y avait peu d'intérêt pour la vitesse de progression du forage, l'accent étant mis sur la manière de forer le puits et de le compléter, un processus qui consiste à amener un puits en phase productive après son forage.

Entre 1947 et 1957, les recherches se sont orientées vers les tests des produits de base utilisés dans les fluides de forage, cherchant à relier les propriétés de ces fluides aux problèmes de stabilité des puits et à l'efficacité du nettoyage des trous. Le succès d'une opération de forage dépend de plusieurs facteurs, parmi lesquels le choix des fluides de forage. Ces fluides, en raison de leur nature complexe, sont communément appelés "boues de forage", jouant un rôle crucial dans la garantie de la stabilité et de l'efficacité de l'opération.[4]

I. 3 Les eaux souterraines :

De grandes quantités de précipitations tombent sur les continents, atteignant environ 113 000 km³ Par an. Ces quantités d'eau contribuent à alimenter les différents éléments du cycle hydrologique continental. Ces éléments comprennent le stockage superficiel, le ruissellement et l'écoulement des eaux dans les rivières. Lorsque les propriétés du sol, telles que la porosité et la perméabilité, sont favorables, l'eau peut s'infiltrer à l'intérieur du sol par un processus connu sous le nom d'infiltration.

Sous la surface du sol, les pores des formations géologiques contiennent à la fois de l'air et de l'eau. Cette zone est appelée la zone non saturée, qui renferme la réserve en eau du sol, souvent désignée comme l'eau « verte ». Lorsque le niveau d'humidité dans cette zone dépasse le

seuil requis, l'humidité excédentaire est transportée vers le bas par un processus appelé drainage gravitaire, se dirigeant vers des formations géologiques plus profondes et perméables.

Finalement, ces quantités d'eau accumulées dans les roches saturées forment ce qu'on appelle les eaux souterraines. Ces eaux constituent une partie vitale de l'écosystème, contribuant à répondre aux besoins des plantes et des animaux, ainsi qu'à leur utilisation par les humains dans diverses activités.

Le flux total des eaux douces souterraines du globe est de l'ordre de $10\,000\text{ km}^3/\text{an}$, soit près de 10 % du volume des précipitations annuelles continentales, contre $26\,000\text{ km}^3/\text{an}$ pour les eaux superficielles.[5]

I. 4 Définition d'un forage :

C'est une technique permettant de déterminer la présence d'eau souterraine et comporte deux techniques de base.

I. 4. 1 Exploration

Dans le contexte d'un environnement hydrogéologique difficile, comme celui où se trouvent des couches souterraines non sédimentaires ou plusieurs aquifères avec des niveaux salins, il est conseillé de forer des puits exploratoires. Ces puits jouent un rôle vital dans la détermination et l'évaluation de la présence et de la qualité des eaux souterraines, ainsi que dans la compréhension de la nature des couches souterraines environnantes. Cette compréhension aide à améliorer et à affiner l'étalonnage des mesures obtenues par des méthodes d'exploration géophysique.

En général, ces puits se caractérisent par leur étroitesse, le diamètre du revêtement utilisé variant de 43 à 100 mm. Une fois la phase d'exploration terminée, deux options sont disponibles : soit continuer à utiliser ces puits comme dispositifs de mesure de la pression des eaux, connus sous le nom de piézomètres, soit les fermer et les laisser abandonner s'il n'y a plus besoin de les utiliser.

De plus, des tests de pompage simples sont utilisés comme moyen de vérifier la présence d'eaux souterraines à ces endroits, fournissant des informations supplémentaires sur l'efficacité et la pression des eaux présentes dans les couches souterraines.[6]

I. 4. 2 Les forages d'exploitation verticaux :

Les ouvrages verticaux sont les plus couramment utilisés et les plus adaptés pour l'exploitation des aquifères poreux et étendus. La plupart des aquifères fissurés sont également exploités grâce à ces structures.

I. 4. 2. 1 Les puits :

Les puits sont des ouvrages de captage très répandus, généralement creusés à la main, ce qui leur permet de capter les nappes peu profondes. Leur diamètre est souvent conséquent, variant de 1 à 3 mètres. Ces ouvrages sont fréquemment mal protégés en surface et sont très sensibles aux variations du niveau des nappes, ne captant souvent que la partie supérieure. En conséquence, leur rendement est généralement faible en raison de cette méthode de captage.[7]

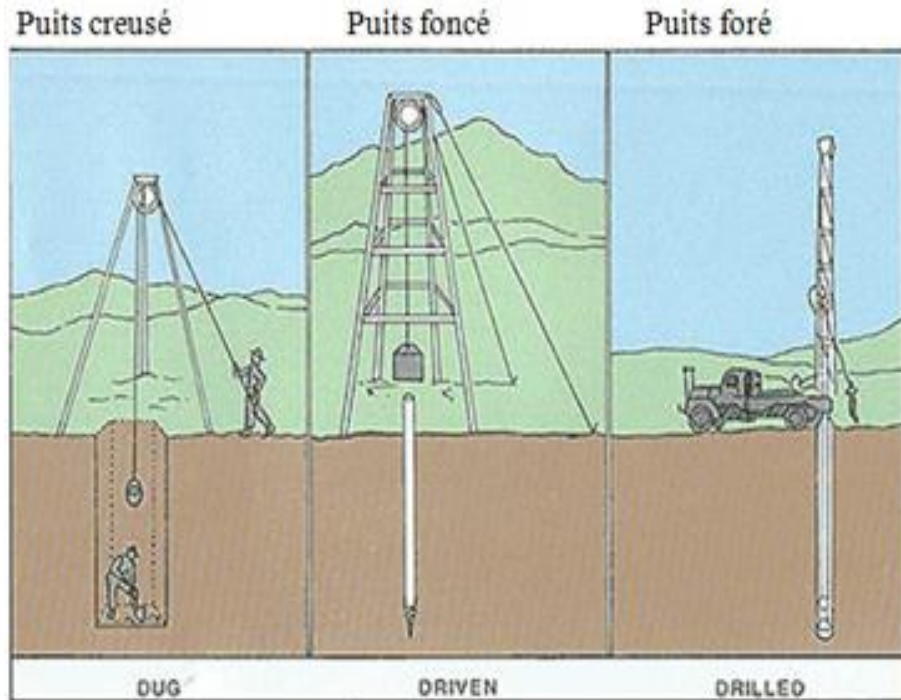


Figure I-1 : Différents types des puits et de forages.[8]

I. 4. 3 Les fluides de forage:

Le fluide de forage, également appelé boue de forage, est un système composé de divers composants liquides (comme l'eau et l'huile) et/ou gazeux (comme l'air ou le gaz naturel), contenant des additifs minéraux et organiques en suspension (tels que l'argile, les polymères, les tensioactifs, les déblais, le ciment, etc.). Le fluide de forage a été présenté pour la première fois en 1933 lors du premier Congrès Mondial du Pétrole, où le sujet a été abordé dans cinq communications.[9]

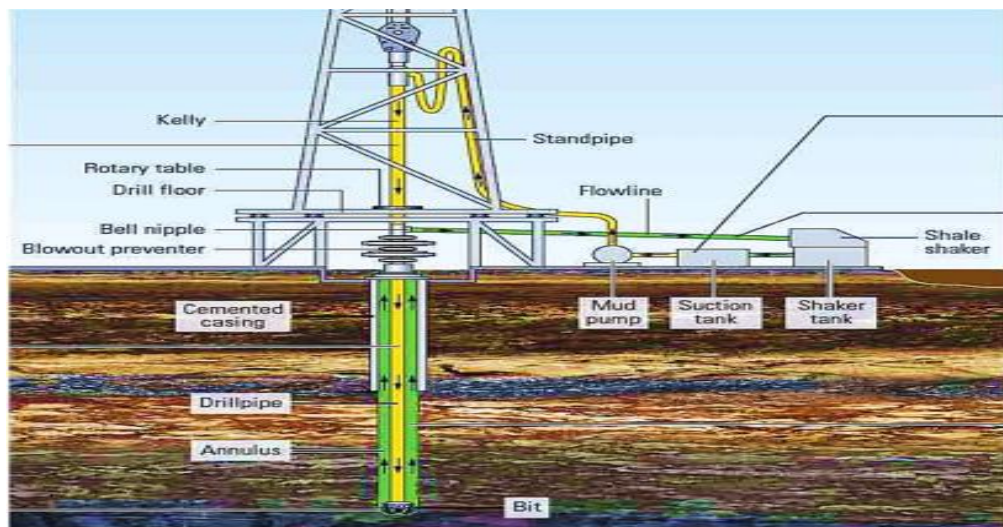


Figure I-2: Cycle du fluide forage[10]

Le premier traité sur les fluides de forage a été publié en 1936 par Evans et Reed. En 1979, l'American Petroleum Institute (API) a défini le fluide de forage comme un fluide qui circule en continu pendant toute la durée du forage, aussi bien lors de l'opération de forage que sur la surface. Le fluide est préparé dans des réservoirs de boue, puis injecté dans les tiges jusqu'à l'outil, puis il monte dans l'espace environnant, chargé des déchets provenant de la tête de forage .

Lorsque le fluide sort du puits, il subit plusieurs traitements, tels que le criblage, la dilution et l'ajout de produits chimiques, dans le but d'éliminer le désordre transporté et de ramener ses propriétés physiques et chimiques à leurs valeurs initiales. Ensuite, il est réutilisé.[11]

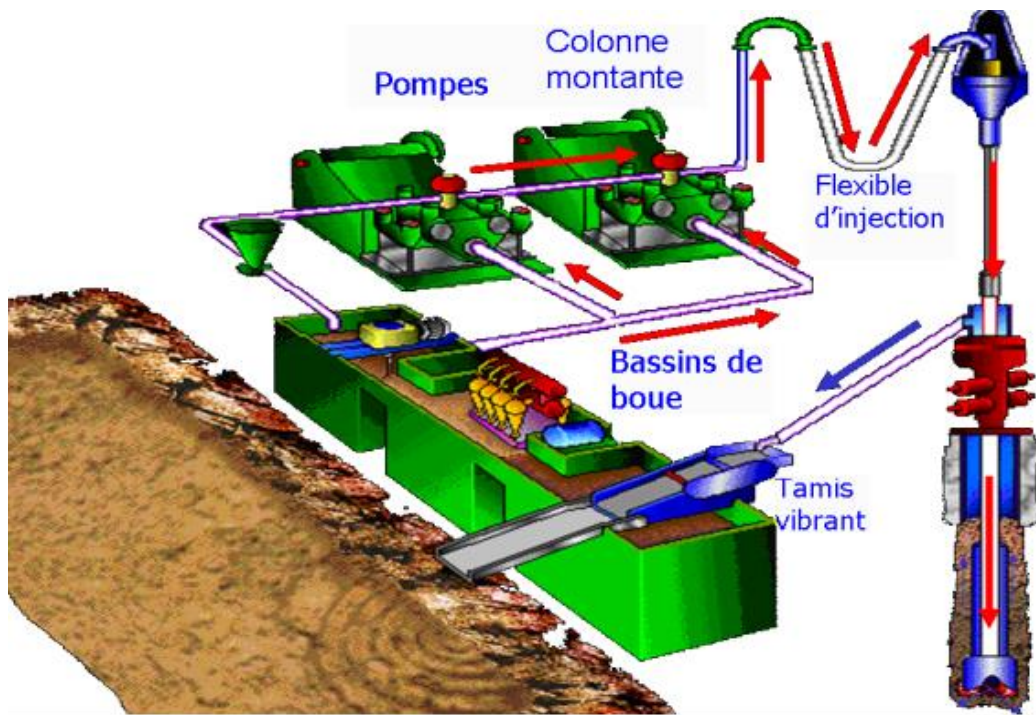


Figure I-3 : Cycle du fluide sur le site de forage[12]

I. 5. Fonction des fluides de forage :

Les fluides de forage sont conçus et formulés pour remplir un large éventail de fonctions. Bien que la liste soit longue et variée[9], les principales caractéristiques de performance sont les suivantes :

- Contrôle de la pression .
- Assurer la suspension et le transport des déblais de forage .
- Maintenir les parois du puits, contrôler les taux de corrosion, gérer et réduire l'impact de la corrosion sur l'équipement.

Les fonctions secondaires d'un fluide de forage comprennent [10]:

- ❖ Protéger la formation productrice : Préserver l'intégrité des couches productrices de pétrole ou de gaz.
- ❖ Refroidir et lubrifier l'outil : Réduire le frottement et la chaleur des outils et de la tige de forage pour éviter l'usure rapide des pièces métalliques en mouvement.
- ❖ Faciliter l'extraction des données : Soutenir la collecte et l'analyse des données géologiques des formations et fournir un soutien pour la diagraphe.
- ❖ Nettoyage des puits : La boue doit débarrasser le trou des débris de roche issus du forage, connus couramment sous le nom de déblais

I. 6 Propriétés physiques et chimiques des fluides de forage :

Les propriétés physiques et chimiques d'un fluide de forage jouent un rôle important dans le succès d'une opération de forage. Les propriétés du fluide de forage sont peut-être les seules variables de l'ensemble du processus de forage qui peuvent être modifiées rapidement pour améliorer l'efficacité du forage. Ces propriétés reçoivent généralement la plus grande attention.[13]

I. 6. 1 La densité

La densité est un paramètre important des boues de forage. Elle doit être suffisamment élevée pour que la pression hydrostatique exercée par la boue sur la formation empêche les venues d'eau, d'huile et de gaz et par conséquent les éruptions. Il ne faut pas également qu'elle dépasse la limite de résistance des couches pour ne pas les fracturer et causer des pertes en cours de circulation. La boue exerce une pression sur les parois du puits donnée par l'expression suivante [4]:

$$P = 0.981 \cdot \frac{h \cdot d}{10} \quad (1)$$

Avec :

P : la pression hydrostatique en bar (bar).

h : la profondeur en mètre (m).

d : la densité en (Kg.f/dm³).

L'alourdissement des boues s'effectue généralement à l'aide de sulfate de baryum (Baryte) ou à l'aide de carbonate de calcium.

La figure suivante (**Figure I .4**) représente l'appareil utilisé pour mesurer la densité ainsi que ses composants de base.

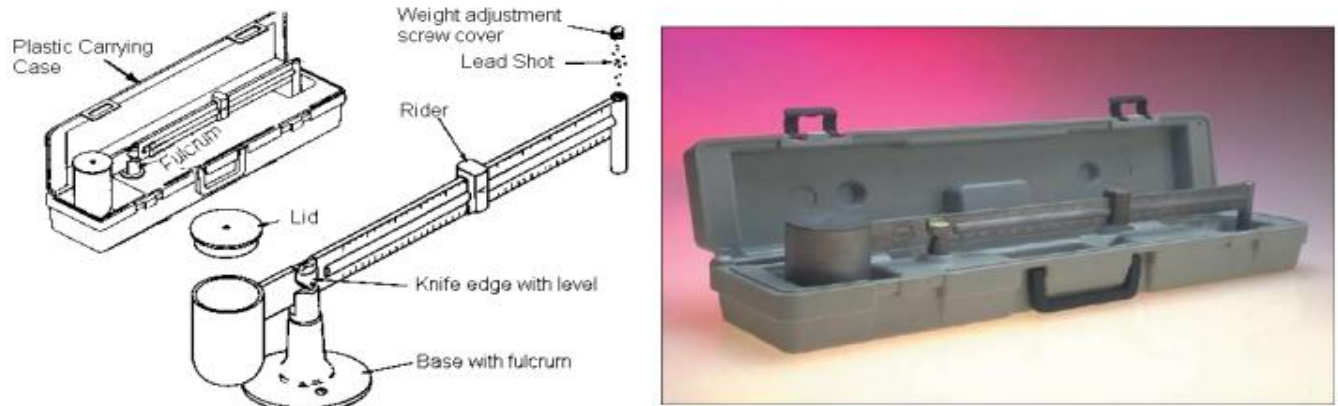


Figure I-4: Densité mètre [4]

I. 6.2 Rhéologie :

Est la science de la déformation et de l'écoulement de la matière, Lorsqu'elle est appliquée aux fluides de forage, la rhéologie traite de la relation entre le débit et la pression d'écoulement et leurs effets combinés sur les caractéristiques d'écoulement du fluide

La propriété de rhéologie présente plusieurs avantages pour le processus de forage, qui sont les suivants[4] :

- Pertes de charge dans le système de circulation
- Erosion du trou due au frottement du fluide
- Densité de circulation équivalente
- Surtensions / pressions d'écouvillon pendant les opérations de déclenchement
- Suspension des déblais et des matériaux de pondération
- Pressions requises pour amorcer la circulation.

I. 6.3 La filtration :

Le passage du filtrat dans la formation en raison de la pression différentielle. Solides ne peuvent pas bloquer les pores et/ou les fractures, la boue s'écoulera dans la formation (circulation perdue)

Les phénomènes de filtration de la boue sont extrêmement importants car ils conditionnent en partie[4] :

- La vitesse d'avancement du forage
- La tenue des terrains forée.
- L'envahissement des couches perméables

La figure suivante représente le premier type des deux appareils pour trouver la valeur du filtrat :

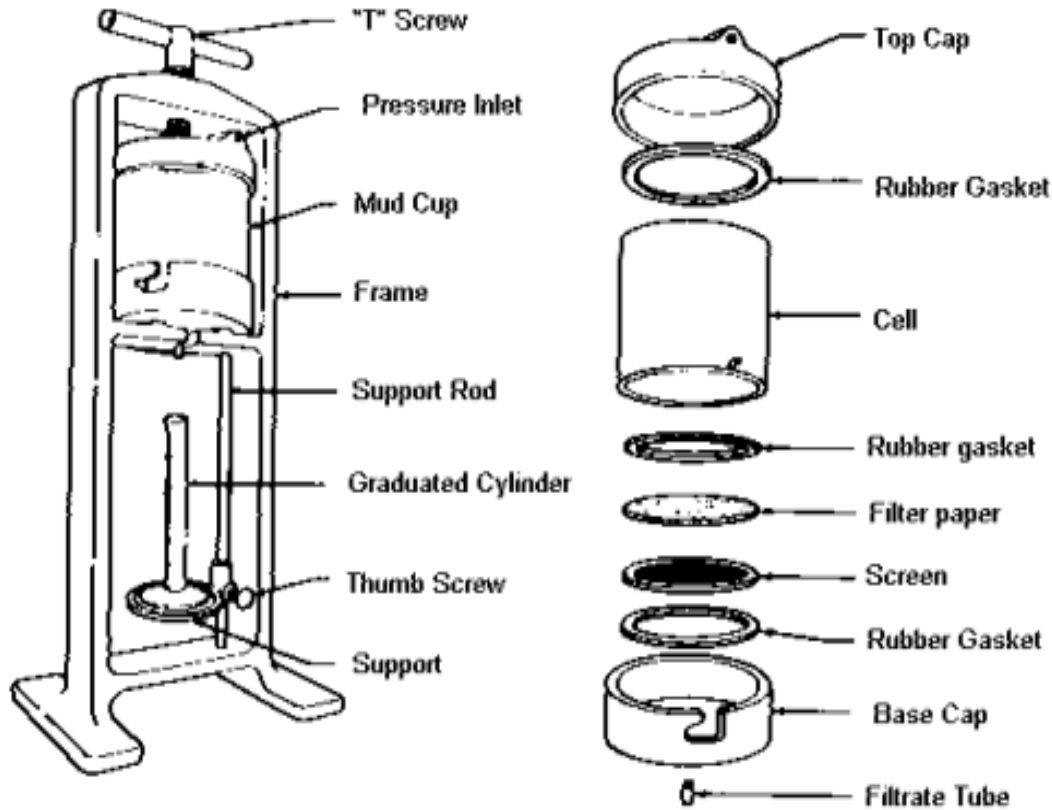


Figure I-5:Schéma de filtre-presse A.P.I BAROID[4]

I. 6. 4 Shale Stabilisations :

Les fluides de forage sont principalement utilisés pour empêcher la décomposition des roches argileuses, également connues sous le nom de schiste, pendant les opérations de forage.

Ce contrôle s'effectue en influençant les interactions de l'eau avec les roches argileuses. Ainsi, des matériaux spécifiques sont ajoutés aux fluides pour contribuer à atteindre cet objectif. Parmi ces matériaux, le potassium (K^+) et les polymères sont considérés comme des composants principaux. Le potassium aide à réduire l'érosion des roches et à améliorer leur stabilité, tandis que les polymères renforcent les propriétés du fluide et augmentent sa viscosité, réduisant ainsi l'impact de l'eau sur les roches argileuses.[14]

I. 6. 5 pH :

Une solution aqueuse peut contenir divers ions elle contient toujours, plus ou moins une grande quantité, H^+ et OH^- dissociés. Pratiquement le pH des boues couramment utilisées varie entre 6 et 13,5 environ. Les boues dont le pH est inférieur à 10,5 sont dites à bas pH, celles dont le pH est supérieur à 10,5 sont dites à pH élevé.[4]

Le pH est mesuré :

- Soit par une méthode colorimétrie (papier pH ou indicateurs colorés) ;
- Soit par une méthode électrométrie (pH-mètre), au moyen d'électrodes en verre.

I. 7 Différents types de boues :

I. 7. 1 Boue à la bentonite :

Bentonite est un type d'argile à particules très fines, dont la taille ne dépasse pas 1 micromètre et la densité est de 2,6. Lorsqu'elle est hydratée, son volume augmente de 12 à 15 fois, et parfois jusqu'à 30 fois. Un gramme de bentonite dispersé dans l'eau peut offrir une surface de contact allant de 4 à 5 mètres carrés.

Des additifs sont ajoutés à la boue bentonitique pour la rendre compatible avec, le sol, ou la pression de la nappe phréatique, ou pour restaurer les propriétés initiales de la boue. On distingue deux catégories de bentonite : la bentonite calcique naturelle et la bentonite sodique naturelle, qui sont les plus utilisées pour les boues de forage. La bentonite peut être définie par :

- ses limites de liquidité - ses limites de plasticité.
- et son indice de plasticité, constituant les limites d'Atterberg.[15]

I. 7. 2 Boue au polymère :

C'est une substance formée par l'union bout à bout de deux molécules ou plus de la même qualité de chaîne dans un autre composant d'éléments et de proportions analogues, mais à plus haut poids moléculaire et à propriétés physiques différentes. Les polymères peuvent être utilisés directement en tant que boue ou comme additif aux boues bentonitiques, et sont subdivisés en polymères naturels et polymères artificiels (synthétiques). [15]

I. 7. 3 Polymères naturels :

Il s'agit d'un produit organique obtenu à partir de gommages de Guar. La boue polymère permet pour le même poids de matière, de produire un gel 10 fois plus qu'une boue bentonitique, à la même viscosité (60 s au cône de Marsh). Parmi les polymères naturels on cite : le Revert, permettant avec un dosage de 8kg/m³ d'eau à 20°C, de donner une viscosité de 30 secondes (Marsh) au bout de 5 jours ; alors qu'à une température 38°C, on obtient la même viscosité au bout de 2 jours.[15]

I. 7. 4 Polymères synthétiques :

Les polymères synthétiques peuvent être utilisés avec des boues bentonitiques ou d'autres polymères. En général, ils ne sont pas biodégradables, et leur destruction nécessite une action chimique pour réduire leur viscosité à celle de l'eau (lavage). Les solvants utilisés pour la destruction doivent être soigneusement sélectionnés afin de ne pas obstruer la formation aquifère, le massif filtrant et les crépines, et pour éviter la pollution des nappes phréatiques.[15]

I. 7. 5 Polymères synthétiques biodégradables :

Ils ne sont efficaces que si leur durée de vie est plus longue que celle des polymères naturels, et lorsqu'ils peuvent être éliminés avant le début du processus de dégradation (pour éviter la prolifération des bactéries). Ils doivent également être non toxiques et non polluants.

Parmi les produits qui répondent à ces critères, on peut citer : AQUA GS et D 800 ou AQUA J (Johnson).[15]

I. 8 Différentes techniques de forage:

Les techniques de forage sont des éléments fondamentaux dans les domaines de l'exploitation minière, du pétrole et de la géologie. Ces techniques varient en fonction de l'objectif de forage et de l'environnement.

I. 8. 1 Le havage:

Le havage consiste à creuser le terrain à la base du tubage en position verticale. Cette méthode, qui repose sur un processus de creusement contrôlé, permet de créer un espace adéquat pour l'installation du tubage, essentiel pour assurer la stabilité de la structure. Le tubage, quant à lui, s'enfonce sous l'effet de son poids, ce qui facilite son intégration dans le sol.

Pour optimiser cette technique, on peut utiliser des buses en béton empilées progressivement au fur et à mesure de leur enfoncement. Ces buses agissent comme des supports temporaires, permettant d'éviter l'effondrement des parois du trou pendant le processus de hissage. Cependant, il est important de noter que cette technique est limitée à des ouvrages peu profonds, ce qui restreint son utilisation dans des projets nécessitant des profondeurs plus importantes. En raison de cette limitation, il est souvent nécessaire d'explorer d'autres méthodes de forage pour des applications plus complexes ou profondes.[16]



Figure I-6: Forage par havage

I. 8. 2 Forage par battage :

Cette méthode consiste à soulever un trépan lourd et à le laisser tomber sur le terrain. La hauteur et la fréquence de la chute varient selon la dureté des formations. On distingue le battage au treuil et le battage au câble, cette dernière étant la plus courante. Le trépan est suspendu à un câble qui est tendu et relâché alternativement, permettant un effet de martèlement. Un émerillon permet au trépan de pivoter à chaque coup, et le trou est nettoyé grâce à une soupape qui remonte les débris. Ce procédé permet de forer sans eau ni boue.[17]



Figure I-7: Appareil de forage par battage[17]

I. 8. 3 Technique Rotary :

Elle est relativement récente, ses premières utilisations remontent au 1920. La technique rotary est utilisée spécialement dans les terrains sédimentaires non consolidés, pour les machines légères, mais les machines puissantes de rotary peuvent travailler dans les terrains durs. Un outil appelé trépan (tricône ou trilame) est mis en rotation, depuis la surface du sol, par l'intermédiaire d'un train de tiges. L'avancement de l'outil s'effectue par abrasion et broyage (deux effets) du terrain sans choc, mais uniquement par translation et rotation (deux mouvements). Le mouvement de translation est fourni principalement par le poids des tiges au-dessus de l'outil.[18]

▪ Avantages du forage Rotary:

- La perméabilité de la formation autour du trou reste peu affectée par le fluide de forage.
- Les forages de grands diamètres sont réalisés rapidement et de manière économique.
- Aucun tubage n'est nécessaire durant le forage.
- Installation facile du filtre.
- De bons rendements sont observés dans les terrains souples.
- La consommation d'énergie est économique.

▪ Inconvénients du forage Rotary:

- Une grande quantité d'eau est requise.
- Un investissement important en matériel est nécessaire.
- Seules les zones accessibles peuvent être forées avec cet équipement lourd.
- Un fluide de forage est indispensable, ce qui empêche l'observation directe de la qualité des eaux des formations traversées.

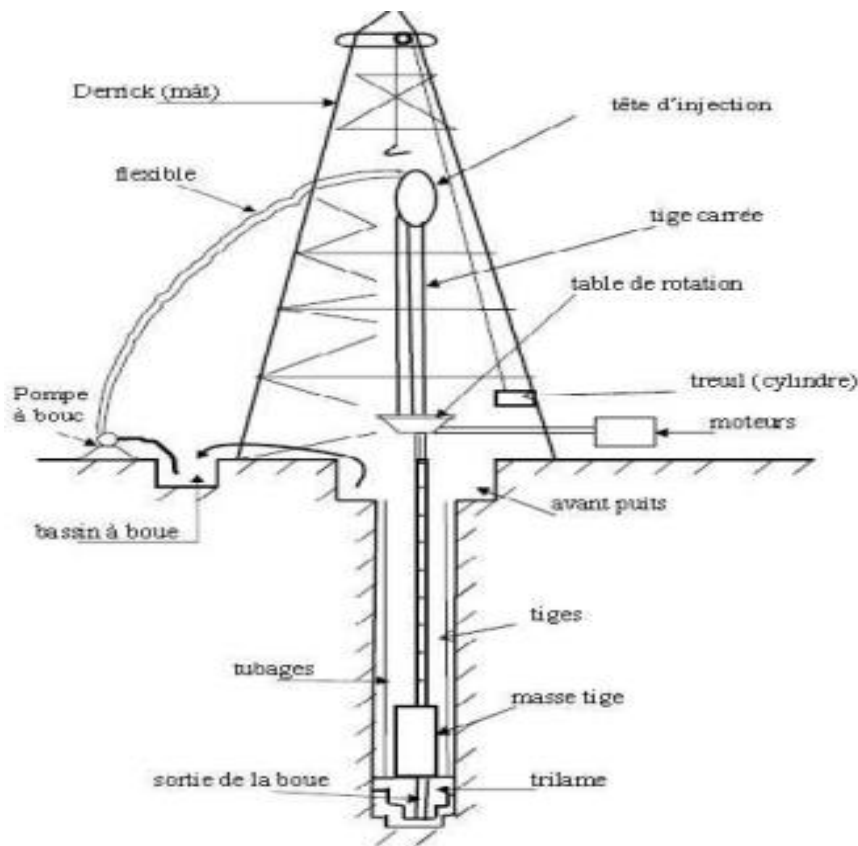


Figure I-8: La technique de forage au Rotary [19]

I. 9 Objectif de l'étude hydrogéologique pour la réalisation d'un forage d'eau :

L'étude hydrogéologique vise à évaluer les ressources en eau disponibles et à garantir leur durabilité à travers le forage. Cette étude comprend l'analyse de la quantité et de la qualité de l'eau, ainsi que l'identification du type et de la profondeur des couches aquifères disponibles. Elle a également pour but d'évaluer les impacts environnementaux potentiels sur l'écosystème local et les nappes d'eau environnantes. En comprenant ces facteurs, il est possible de déterminer l'emplacement optimal pour le forage, assurant ainsi une extraction efficace et durable de l'eau. De plus, l'étude contribue à identifier les risques potentiels.

I. 10 Diversité de l'occurrence des eaux souterraines :

Le volume des réserves mondiales d'eau souterraine est jusqu'à 100 fois plus important que le volume d'eau douce de surface. L'augmentation de la demande en eau douce depuis les années 1950 se traduit par une augmentation de l'utilisation de cette ressource. À l'échelle mondiale, cette ressource est utilisée à 25 % pour l'alimentation en eau potable[1].

I. 11 Les nappes aquifères :

L'aquifère, également connu sous le nom d'eau souterraine, est l'eau qui se trouve sous la surface de la Terre. Cette eau peut être trouvée dans les pores et les fissures des roches et du sol. Cette eau est une source importante nécessaire aux humains et à la vie en général. Les eaux souterraines jouent également un rôle essentiel dans l'écosystème, en aidant à maintenir les niveaux d'humidité du sol et en influençant la répartition des plantes et des animaux dans l'environnement. La durabilité de ces ressources en eau est essentielle pour garantir une eau propre aux générations futures.[20]

I. 11. 1 Eaux souterraines surface :

C'est l'eau qui se trouve près de la surface du sol. Source nutritionnelle : se nourrit principalement de la pluie et des eaux de surface, qui s'accumulent et sont stockées dans les couches supérieures du sol. Ils sont généralement plus accessibles et faciles à utiliser pour l'irrigation et la boisson, et sont sensibles à la pollution et aux changements environnementaux.[20]

I. 11. 2 Eaux souterraines profondes :

Cette eau se trouve à une profondeur plus grande que les eaux souterraines de surface. Nature du lieu : Souvent confiné entre des couches rocheuses, ce qui rend leur régénération plus longue. Elles contiennent généralement plus de minéraux et peuvent être moins sensibles à la contamination que les eaux souterraines de surface, mais elles nécessitent également une gestion durable.[20]

I. 11. 3 Aquifères non confinés :

Les aquifères non confinés sont des couches d'eau souterraine ouvertes à l'atmosphère à travers un couvert de sol perméable. Ces aquifères peuvent recevoir une recharge directe des précipitations qui s'infiltrent et pénètrent dans la zone non saturée (ou zone vadose) jusqu'à la nappe phréatique. Ces aquifères sont également connus sous le nom de nappes phréatiques, où l'eau qu'ils contiennent est sous pression atmosphérique. Lorsque ces aquifères sont pompés, le niveau de la nappe phréatique baisse. Ils se forment généralement dans des roches cristallines qui se trouvent près de la surface, mais deviennent imperméables en profondeur où elles ne sont pas altérées.[21]

I. 11. 4 Les eaux confinées:

Les aquifères confinés sont des couches d'eau souterraine enfouies sous des matériaux imperméables. Ils se trouvent souvent dans des bassins sédimentaires où des couches sédimentaires perméables et poreuses plongent sous des couches imperméables, les isolant ainsi de la surface terrestre. Ces aquifères ne reçoivent pas de recharge directe des précipitations en raison de la couche imperméable qui les sépare de la surface, mais ils peuvent recevoir une recharge à partir de points éloignés où les couches aquifères affleurent à la surface. L'eau dans les aquifères confinés est généralement maintenue sous pression, connue sous le nom de pression piézométrique, ce qui fait que l'eau monte dans le forage lorsqu'un puits est foré dans un aquifère confiné. Lorsque l'eau est pompée, la pression piézométrique diminue, mais l'aquifère reste complètement saturé.[21]

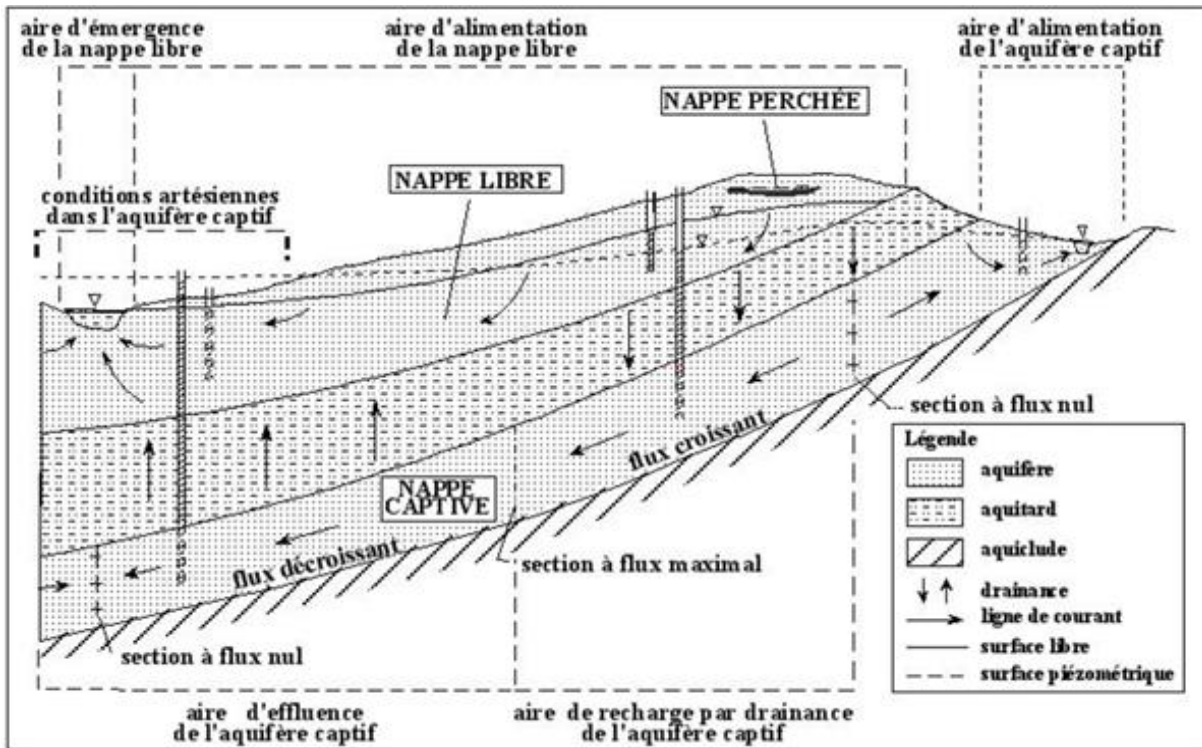


Figure I-9 : Configuration des aquifères: nappe libre, nappe captive [22]

I. 12 Cartographie :

La cartographie géologique et hydrogéologique fournit des informations sur les caractéristiques de l'aquifère, notamment [15] :

Localisation et étendue de l'aquifère

Type de nappe ; (libre, captive, semi-captive)

Structure de l'aquifère (fissures, failles, etc.)

Limites ; toit et substratum

Relations avec les écoulements de surface (cours d'eau, plans d'eau, etc.)

I. 12. 1 Cartes hydrogéologiques :

Les études géologiques et structurales permettent de créer des cartes et coupes hydrogéologiques. Ces dernières superposent des données d'écoulement souterrain sur des coupes géologiques, incluant la surface piézométrique.

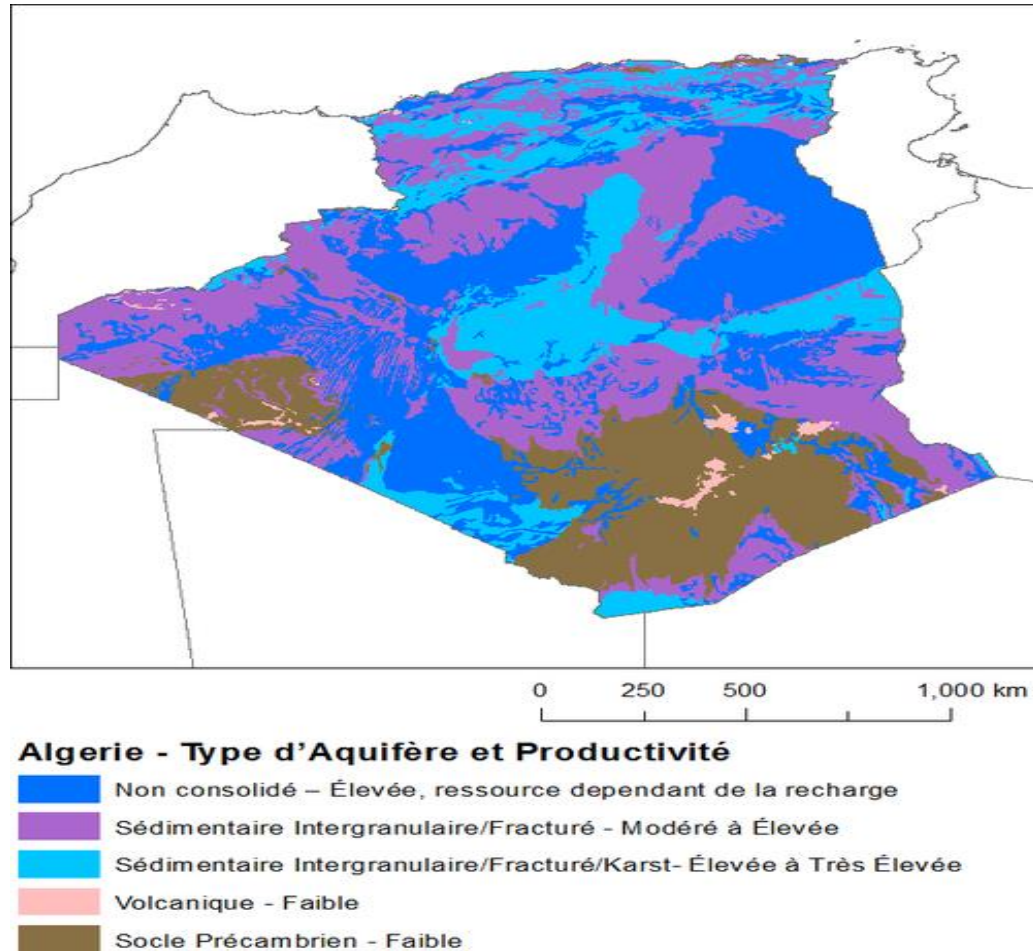


Figure I-10: l'hydrogéologie des principaux aquifères en Algérie [23]

I. 12. 2 Cartes structurales :

Est cartes présentent les formations perméables (réservoirs) en synthétisant des données géologiques et hydrodynamiques (perméabilité, pente, vitesse). Elles permettent d'établir des cartes isohypses, isobathes et isopaches.

I. 12. 3 Cartes piézométriques :

Est montrent la distribution de la charge hydraulique à un moment donné, basée sur des mesures de niveaux piézométriques. L'analyse de la surface piézométrique aide à tracer les lignes de courant et à déterminer le sens d'écoulement. Les variations du gradient hydraulique sont liées à la perméabilité et à l'épaisseur de la nappe. Des anomalies peuvent indiquer des accidents tectoniques.

I. 12. 4 Photos aériennes :

Les photographies aériennes révèlent des informations invisibles sur le terrain, comme des failles et anciens lits de rivières. Elles aident à identifier les fractures et les linéaments, indiquant des zones de grande perméabilité, et fournissent des données pour l'implantation de forages.

I. 12. 5 Télédétection :

Les images satellitaires permettent un traitement numérique pour simplifier l'analyse des informations géologiques. Elles identifient les structures géologiques, les zones humides, et mettent à jour les données d'occupation du sol.

I. 13 Les paramètres hydrodynamiques :**I. 13. 1 Coefficient d'emmagasinement :**

Est l'un des paramètres fondamentaux en hydrogéologie, jouant un rôle clé dans la compréhension du comportement des eaux souterraines dans les couches de la terre. Il est défini comme le rapport entre le volume d'eau pouvant être stocké dans une nappe aquifère et le volume de cette nappe. Il est exprimé en unités (litres par mètre cube ou en pourcentage).

Cette coefficient est utilisé pour déterminer la capacité d'une nappe aquifère à retenir de l'eau, et il est particulièrement important dans des contextes tels que la gestion des ressources en eau et l'analyse de la durabilité des aquifères. Lorsque de l'eau est pompée d'une nappe aquifère, la pression hydraulique diminue, ce qui entraîne la libération de l'eau stockée. Le coefficient d'emmagasinement indique la quantité d'eau qui peut être libérée en raison de cette diminution de pression.

Les valeurs du coefficient d'emmagasinement sont influencées par plusieurs facteurs, notamment les caractéristiques des roches et des sols, le degré d'altération, la densité des fissures et la nature des matériaux constituant la couche. Par exemple, les couches de sable peuvent avoir un coefficient d'emmagasinement élevé en raison de leur forte porosité, tandis que les couches d'argile peuvent avoir un coefficient d'emmagasinement faible en raison de leurs pores étroits.

L'étude du coefficient d'emmagasinement est essentielle dans des domaines tels que la planification de l'utilisation de l'eau, l'évaluation des risques liés au changement climatique et l'analyse de l'impact des activités humaines telles que l'agriculture et l'industrie sur les ressources en eau souterraine. Il est également utilisé dans la modélisation du mouvement des eaux souterraines et l'estimation des quantités d'eau disponibles pour l'utilisation.[24]

I. 13. 2 La Porosité :

Est une caractéristique statique des terrains, ce qui signifie qu'elle décrit la structure interne d'un matériau indépendamment du mouvement de l'eau qui peut s'y trouver. Elle est essentielle pour évaluer la capacité d'un sol ou d'une roche à retenir et à transmettre l'eau. Pour un échantillon donné d'une formation, qu'elle soit aquifère ou non, la porosité s'exprime par le rapport entre le volume des vides (les espaces non occupés par des particules solides) et le volume total de l'échantillon.

Ce rapport est un nombre sans unité, généralement exprimé en pourcentage (%). Par exemple, si un échantillon a un volume total de 100 cm^3 et que le volume des vides est de 30 cm^3 , la porosité sera de 30 %.

La porosité est influencée par plusieurs facteurs, notamment la taille et la forme des particules, ainsi que l'agencement des grains dans le matériau. Comprendre la porosité est donc fondamentale pour les études hydrogéologiques, car elle influence non seulement la quantité d'eau stockée, mais aussi la manière dont l'eau se déplace à travers le sol ou la roche. Cela a des implications importantes pour la gestion des ressources en eau, l'agriculture et la prévention des inondations.[25]

I. 13. 3 La Perméabilité :

La perméabilité, en revanche, se réfère à la présence et au mouvement de l'eau, ce qui en fait une notion dynamique. Elle désigne la capacité d'un terrain aquifère à permettre à l'eau de s'écouler à travers lui, sous l'effet de la pression ou de la dépression. Cette propriété est également connue sous le nom de conductivité hydraulique des roches ou des sols.

Un terrain est considéré comme plus perméable lorsqu'il permet un passage accru de l'eau qui, dans un intervalle de temps donné, sous une pression (ou dépression) spécifique, traverse une section déterminée de ce terrain. Le volume d'eau qui s'écoule durant ce laps de temps est ce que l'on appelle le débit. La pression (ou dépression) qui entraîne le mouvement de l'eau est souvent désignée sous le terme de charge, ou plus précisément, le gradient hydraulique.

Ainsi, pour une température donnée, la perméabilité peut être définie par une formule qui relie ces éléments. Cette relation est essentielle pour comprendre comment l'eau se déplace à travers les différentes couches géologiques, ce qui a des implications significatives pour la gestion des ressources en eau et l'ingénierie environnementale [25] :

K : perméabilité (ou coefficient de perméabilité).

Q : débit.

S : section traversée.

i: gradient hydraulique.

$$K = Q/Si$$

Le tableau ci-dessous, selon G. CASTANY, fournit des valeurs approximatives de la perméabilité (ou du coefficient de perméabilité), exprimées sous forme de vitesses en centimètres par seconde, pour divers types de terrains.

Tableau I-1: Vitesses approximatives de la perméabilité[25]

<i>PERMEABILITE</i>	10^2	$10 \ 10^{-1} \ 10^{-2}$	$10^{-3} \ 10^{-4} \ 10^{-5}$	$10^{-7} \ 10^{-8} \ 10^{-9}$
(en cm/sec)			10^{-6}	

<i>TERRAINS</i>	Galets Graviers Gravillons dépourvus d'éléments fins	Sables purs Sables et graviers dépourvus d'éléments fins	Sables très fins Silts et mélanges de sable et d'argile	Argiles homogènes
<i>QUALIFICATION</i>	Très perméables	Perméables	Peu perméables	Imperméables

I. 13. 4 Le gradient géothermique :

Un gradient géothermique est une mesure de l'augmentation de la température à l'intérieur de la Terre avec la profondeur. Cet indice est important pour comprendre la distribution thermique de la Terre, car ses valeurs varient en fonction de la situation géographique et de la géologie locale. Ce concept est utilisé dans divers domaines, tels que l'exploration de l'énergie géothermique, l'étude de l'activité volcanique et l'analyse des ressources en eau.[26]

Les machines de forage: sont des équipements essentiels indispensables dans de nombreuses industries

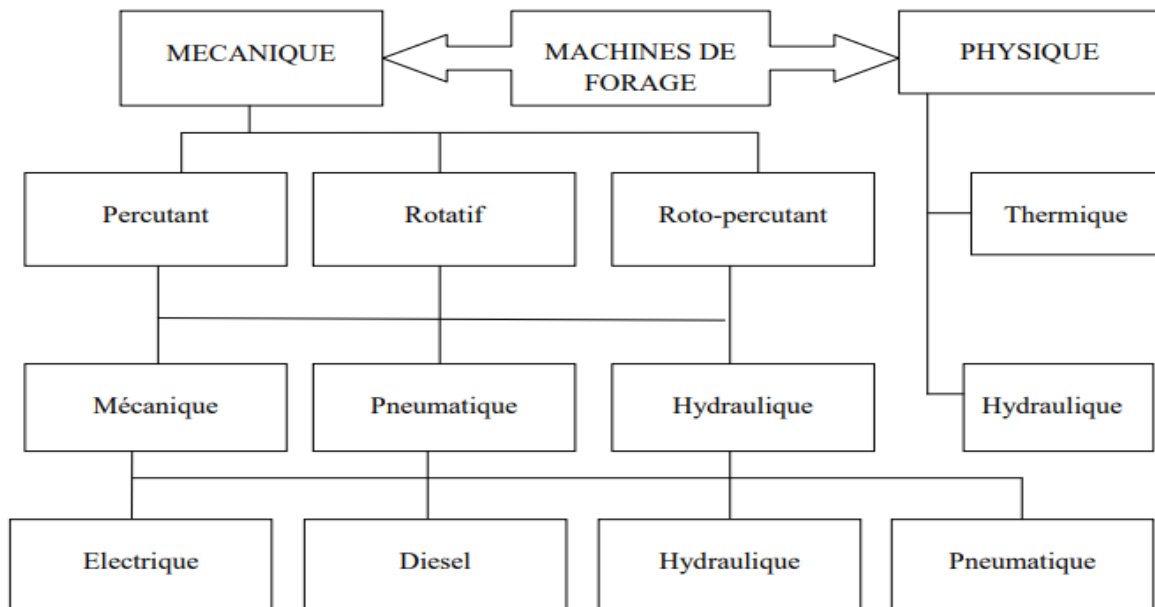


Figure I-11 : Classification des machines de forage [27]

I. 14 Conclusion :

Le forage en tant que processus vital dans l'exploration des ressources naturelles est évidente, contribuant à une meilleure compréhension de l'environnement souterrain. Les développements techniques continus dans ce domaine ouvrent de nouvelles perspectives pour améliorer l'efficacité et la durabilité de l'exploitation des ressources en eau. Il est crucial de traiter ces opérations avec précaution afin d'assurer la protection de l'environnement et la disponibilité de l'eau pour les générations futures.

CHAPITRE II: PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

II. 1 La localisation générale de la région :

Touggourt la capitale historique de la région d'Oued Righ comprise entre le grand Erg Oriental au sud - est et la zone de Chotts au nord. La zone de Touggourt est située entre les latitudes Nord 32°54' et 34°9' Nord et les longitudes Est 5°30' et 6°20'. L'altitude moyenne est d'environ 70 m. La superficie totale de cette zone est de 18.74 km².

Du point de vue administratif, la daïra de Touggourt appartient à la wilaya d'Ouargla. Elle est située à 600 km au Sud –Est d'Alger dans le Sahara Nord Oriental. Elle est limitée : au nord par la daïra Djamaa; au sud et l'ouest par la Daïra d'El Hadjira ; a l'est par la daïra de Taibet).



Figure II-1: Situation de la région de Touggourt

II. 1. 1 Situation géologique :

Sur le plan géologique, la zone appartient à la plateforme saharienne, constituée d'un socle précambrien qui représente le fond de cette plateforme. Ce socle est visible uniquement à travers les sédiments du massif du Hoggar, situé au cœur du Sahara, ainsi que dans le massif des Eglab, présent dans le Sahara Occidental.[28]

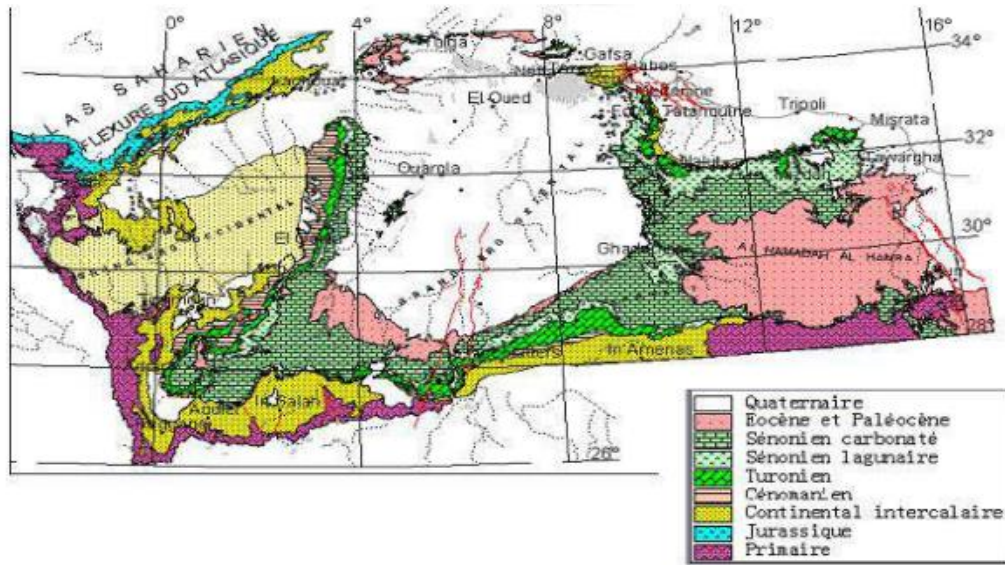


Figure II-2 : Situation géologique [29]

II. 2 Hydro-climatologie de région d'études :

II. 2. 1 L'hydrogéologie de région :

D'un point de vue hydrogéologique, le système aquifère de la cuvette de Touggourt est caractérisé par la superposition des couches d'eaux souterraines. Ces couches forment un système complexe qui contribue à la distribution efficace des eaux souterraines dans la région.

ce qui influence les caractéristiques de chaque couche et sa capacité à stocker l'eau. Comprendre ce système hydrogéologique est essentiel pour gérer les ressources en eau de manière durable, surtout face aux défis environnementaux croissants et aux besoins croissants de la population dans la région.

Ainsi, l'étude de ces trois couches d'eaux souterraines offre des perspectives précieuses sur la manière dont l'eau interagit avec le sol et l'environnement, ce qui aide à développer des stratégies efficaces pour préserver ces ressources vitales [30], il s'agit de bas en haut:

- L'aquifère continental intercalaire constituée de sables est de grés argileux d'âge albien et barrémien.
- L'aquifère du complexe terminal constitué de deux nappes; la nappe decalcie d'âge Sénonien carbonatée et la nappe de sable d'âge mio-pliocène.
- L'aquifère superficiel est libre et constitué de formations détritiques d'âge Quaternaire représentées par de sables, de gré et de graviers avec présence de gypse et des niveaux des concrétions calcaires[31]

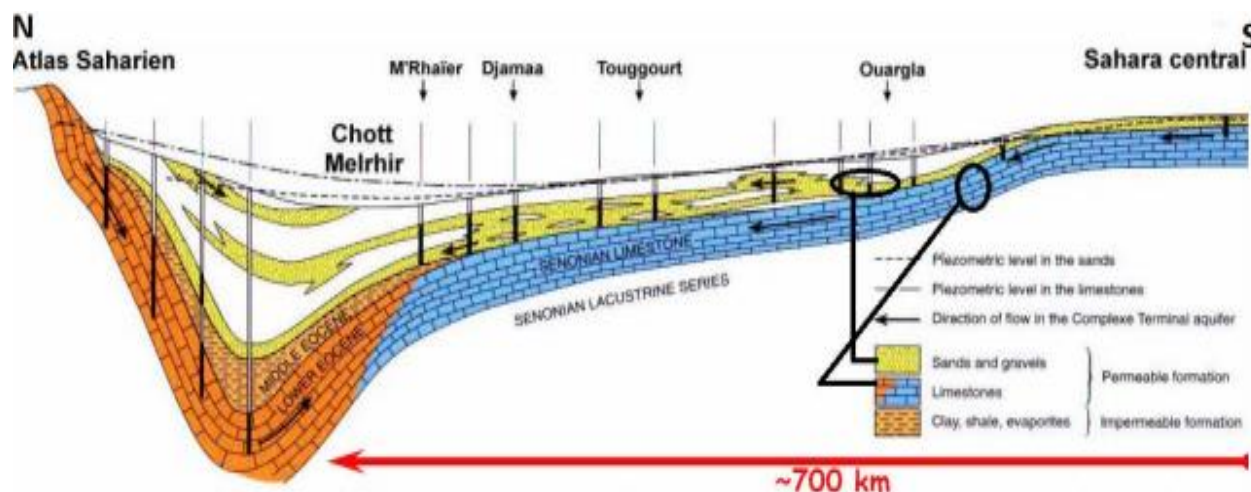


Figure II-3 : Coupe hydrogéologique [31]

II. 3 Localisation de forage :

El Hadjira est la wilaya de Touggourt, elle a une population de 14 965 habitants et une densité de 6,1 hab /km². La commune couvre une superficie de 2 459 km²

Elle est limitée administrativement :

- Au Nord : par Tèmacene et Blidet Amor
- Au Sud : par La commune de N'Goussa et Hassi ben Abdellah
- À l'Est : par la commune de M'nagueur et Daïra de Taïbet
- Au Sud-ouest : par la commune d'El Allia.



Figure II-4 : Situation géographique d'El Hadjira

II. 4 Situation de la région d'étude:

L'étude a été réalisée dans la daïra d'El Hadjira, Wilaya de Ouargla au Sud-est de l'Algérie

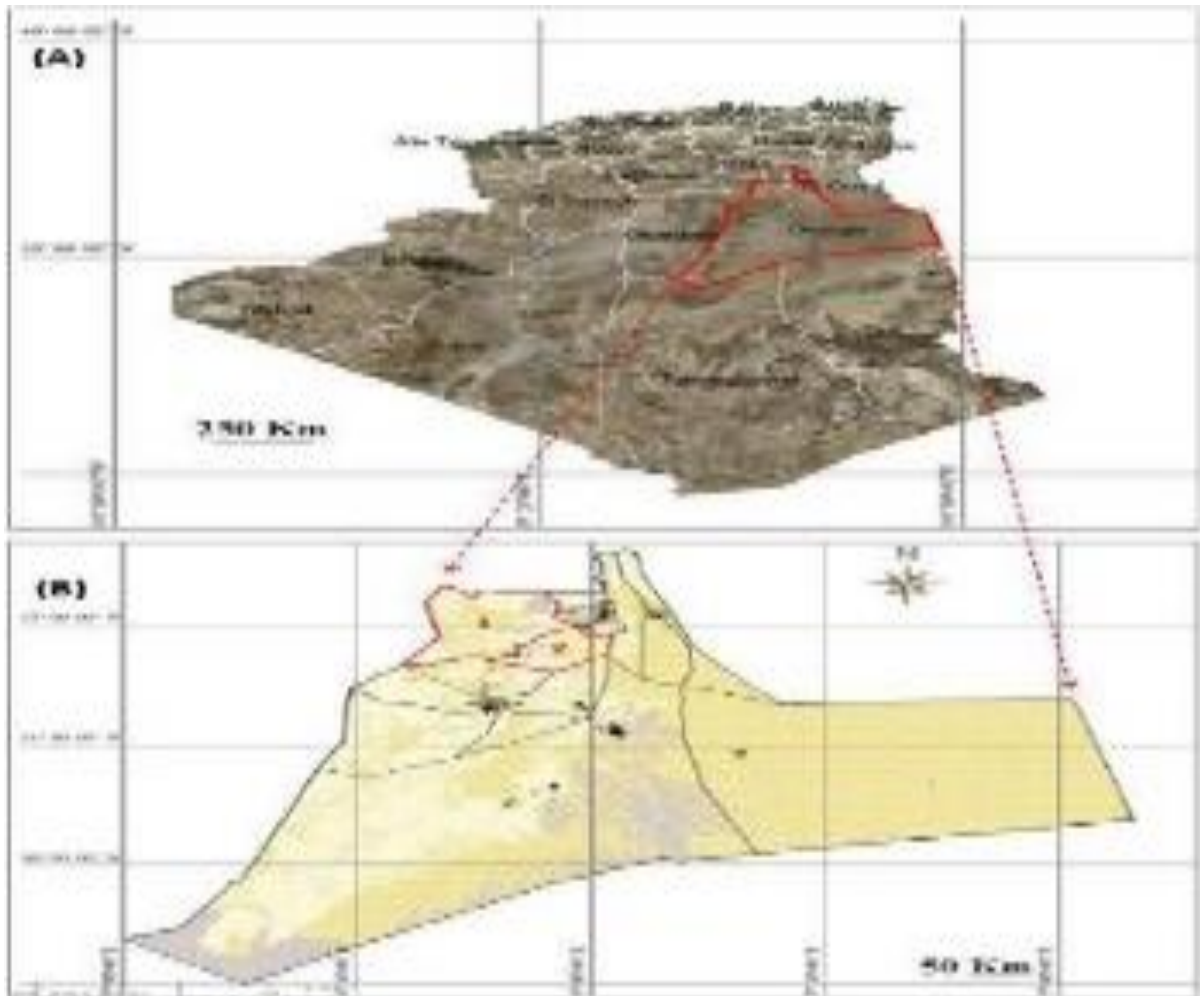


Figure II-5: Situation de la daïra d'El Hadjira : (1) commune d'El Alia (2) commune d'El Hadjira

II. 5 Travail sur le terrain :

II. 5. 1 Un échantillon du sol de la plaque géologique :

Utilisé pour analyser les propriétés du sol avant ou pendant le forage, ce qui aide à choisir les outils et techniques appropriés.



Figure II-6:Un échantillonnage du sol

II. 5. 2 Table de rotation :

Sert à faire tourner la tige de forage de manière circulaire, responsable de l'entraînement des outils de forage à travers les couches géologiques.



Figure II-7 : Table rotation

II. 5. 3 Pompe de boue :

Injecte le fluide de forage (comme la bentonite) dans le puits pour évacuer les débris rocheux et refroidir les outils de forage.



Figure II-8: Pompe de boue

II. 5. 4 Bassine boue :

Bassin utilisé pour recueillir la boue remontée du puits afin de la filtrer et la réutiliser dans le circuit.



Figure II-9: Bassine de boue

II. 5. 5 L'outil de forage :

Partie coupante située à l'extrémité inférieure de tige, utilisée pour pénétrer les roches et le sol.



Figure II-10: Outils

II. 5. 6 L'eau :

Échantillon d'eau extrait pendant le forage.

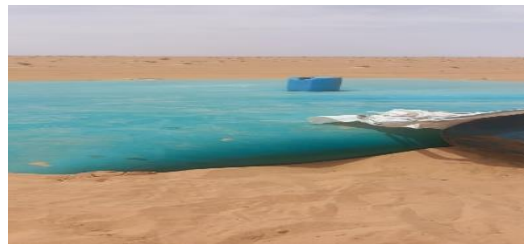


Figure II-11: Échantillon d'eau

II. 5. 7 Tige :

Tige métallique longue qui transmet le mouvement de rotation de la surface vers l'outil de forage au fond du puits.



Figure II-12: Tige

II. 5. 8 La masse-tige :

Pour alourdir la tige de forage et améliorer sa capacité de pénétration.



Figure II-13: masse tige

II. 5. 9 Piste cyclable en boue :

Désigne le trajet emprunté par la boue lors du forage, aller-retour entre la surface et le fond du puits



Figure II-14: Piste cyclable en boue

II. 5. 10 L'eau extraite du puits :

Sert à analyser la qualité de l'eau souterraine et à évaluer son potentiel d'exploitation.



Figure II-15: L'eau du puits

II. 5. 11 La sonde :

Sert à réaliser un forage vertical dans le sol ou la roche pour atteindre les couches profondes, que ce soit pour prélever des échantillons géologiques, accéder à l'eau souterraine ou aux ressources énergétiques comme le pétrole et le gaz. Elle est équipée d'outils de coupe et de rotation, et fonctionne en coordination avec le reste de l'équipement de forage (boue, pompes) pour garantir l'efficacité et la sécurité du processus.



Figure II-16: sonde

II. 5. 12 Tête d'injection :

Utilisée pour injecter de l'eau, de la boue ou des produits chimiques dans la tige de forage.



Figure II-17: Tête d'injection

II. 6 Conclusion :

La région illustre parfaitement l'interaction complexe entre géographie et hydrogéologie. L'étude du contexte géographique, géologique et hydrogéologique permet de comprendre comment gérer durablement les ressources en eau. Comprendre les différents aquifères et étudier leurs caractéristiques permet d'élaborer des stratégies efficaces pour préserver ces ressources vitales.

CHAPITRE III :

PRÉSENTATION DU PROJET

III. 1 Présentation générale du projet :

Ce projet a été réalisé dans le cadre d'un programme d'amélioration des ressources en eau destiné, sous la supervision de la direction des ressources en eau de la wilaya de Touggourt, en tant que maître d'ouvrage, chargée du suivi de l'avancement des travaux ainsi que de la coordination des différents aspects techniques et administratifs liés au projet. L'Entreprise Nationale de Forage de Puits (ANRH), de Touggourt, qui possède une grande expertise dans ce domaine et dispose des ressources humaines et techniques nécessaires pour exécuter le projet dans les délais impartis et selon les normes exigées.

L'objectif principal de ce projet est de forer et de réaliser un linéaire total de 1000 mètres de puits agricoles, répartis sur les territoires des daïras de Touggourt et El Hadjira. Ce projet vise à soutenir les agriculteurs en leur fournissant des sources d'eau permanentes et fiables pour l'irrigation, ce qui contribuera à améliorer la productivité agricole et à encourager l'investissement dans le secteur dans cette région. Le site des travaux a été administrativement localisé dans la commune d'El Hadjira, relevant de la Daïra du même nom, dans la wilaya de Touggourt, une région à vocation agricole bien connue pour son besoin accru en ressources hydriques supplémentaires.

Sur le plan technique, les travaux ont démarré en avril 2025. Le forage a été réalisé en utilisant la méthode rotative (Rotary), reconnue pour son efficacité à atteindre de grandes profondeurs tout en garantissant une bonne qualité de forage. Le puits a une profondeur de 162 mètres, une profondeur suffisante pour atteindre les nappes phréatiques exploitables à des fins agricoles. La boue de forage utilisée était à base de bentonite, choisie pour ses propriétés permettant de stabiliser les parois du puits et d'éviter les effondrements pendant le forage. Pour assurer une précision maximale dans la localisation du puits, un système de géolocalisation GPS a été utilisé, avec les coordonnées suivantes : Longitude X : 05° 30' 44", Latitude Y : 32° 36' 48", et Altitude Z : 119 mètres au-dessus du niveau de la mer.

III. 2 Les étapes de suivi du forage

III. 2. 1 Études préliminaires et préparation

Cette phase comprend l'analyse des données géologiques et hydrogéologiques de la zone, avec identification des aquifères cibles comme le Complexe Terminal (CT) ou le Continental Intercalaire (CI). Le site de forage est choisi en fonction des cartes des nappes souterraines et des études antérieures dans la région.

III. 2. 2 Préparation du site de forage

Cette étape implique :

- L'installation de la plateforme de forage et des équipements annexes (pompes à boue).
- Le stockage des matériaux essentiels (bentonite, ciment, produits chimiques).
- La sécurisation des sources d'énergie et d'eau nécessaires.

III. 2. 3 Début du forage :

Le forage commence avec la technique rotary, utilisant un tricône. Les paramètres de la boue (densité, viscosité) sont surveillés pour stabiliser les parois. Les caractéristiques des couches géologiques sont enregistrées.

III. 2. 4 Pose des tubages :

Après atteinte de la profondeur prévue :

- Des tubages sont descendus et cimentés pour :
 - Isoler hydrauliquement les couches.
 - Prévenir les effondrements.
 - Préparer les phases suivantes.

III. 2. 5 Fin du forage :

Forage avec des outils plus petits pour atteindre l'aquifère cible :

- Utilisation d'outils adaptés aux roches dures.
- Surveillance des indicateurs d'eau (changement des cuttings).
- Prélèvement d'échantillons pour analyse.

III. 2. 6 Développement du puits

Opérations post-forage :

- Nettoyage par air lift pour éliminer les sédiments.
- Mise en place du gravier autour des crépines.
- Tests de pompage pour évaluer la productivité.

III. 2. 7 Phase finale comprenant :

- Un rapport technique détaillé.
- L'enregistrement des résultats des tests.
- Des recommandations pour la maintenance

III. 3 Fiche technique de forage :

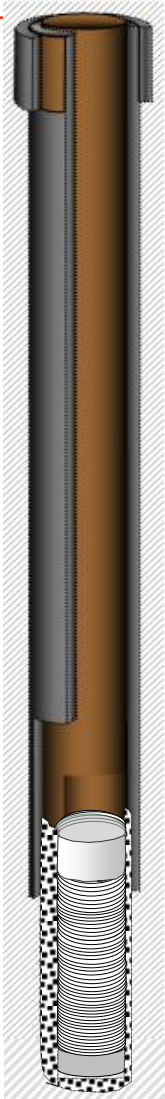
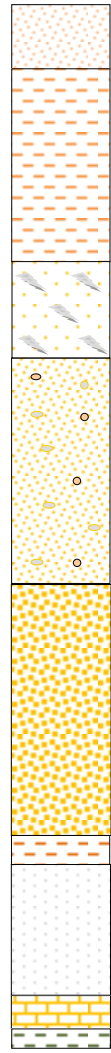
Le document suivant est une fiche technique contenant des informations détaillées sur l'opération de forage, telles que le type de forage utilisé, la profondeur du forage, la nature du sol, les équipements utilisés, ainsi que les mesures de sécurité. Ce document est utilisé pour la planification et le suivi des travaux de forage dans les projets géologiques ou d'ingénierie.

III. 4 Critères hydrodynamiques de l'aquifère

- Niveau statique : 27.23 m
- Niveau dynamique : 52.15 m
- Débit : 40 l/s

III. 5 Observation

- Pas de perte enregistrée
- Échantillonnage tous les mètres

Maître de l'ouvrage : Touggourt – Destination de Forage : Irrigation – Date de réalisation : Avril 2025	• Commune : Hadjira • Daïra : Hadjira Wilaya : Touggourt	– Coordonnées : X ; 05° 30' 44", Y: 32° 36' Y ; 48", Z: 119 m		
<u>Critère hydrodynamique d'aquifère</u>	Colonne de complétion	Cote (m)	Coupe Lithologique	
* Niveau Statique : 27.23 m. * Niveau Dynamique: 52.15 m. * Débit : 40 l/s. <u>Observation :</u> Pas de perte..... Echantillonnage tous les mètres..... .	<u>Avant puit :</u> Forage en Ø 24". Tube guide Ø 18^{5/8"}. Cimenté en HTS, de (00 à 10) m. <u>Colonne de Production :</u> Forage en Ø 12^{1/4"} Ilargissage en Ø 17^{1/2"}. Tube API Ø 13^{3/8"}. Ciment HTS, de (+0.5 à 135) m. <u>Colonne de captage :</u> Forage en Ø 12^{1/4"}. *Tube de réserve : Inox Johnson Ø 8^{5/8"} de (124 à 142) m. *Crépine : Inox Johnson Ø 8^{5/8"} de (142 à 166) m. *Sabot de décantation : Inox Johnson Ø 8^{5/8"} de (166 à 172) m. <u>Gravillonnage :</u> En gravier siliceux, lavé et calibré de (4 - 6) mm. échelle de la coupe : 1cm→17.16 m			

CHAPITRE IV:

ESSAI DE POMPAGE

IV. 1 Etape de forage :**IV. 1. 1 Phase I : La construction du puits initial**

Les opérations de forage commencent par la construction de la partie initiale du puits. Un forage est réalisé avec un diamètre de 24 pouces de 0 à 10 mètres, suivi par la pose d'un tube guide de 18^{5/8} pouces sur une longueur de 10 mètres. Ensuite, la cimentation de l'espace annulaire entre le trou de 24 pouces et le tube de 18^{5/8} pouces est effectuée pour la même profondeur (0-10 m), suivi d'un temps d'attente de prise de 48 heures. Un forage de reconnaissance est alors réalisé avec un diamètre de 12^{1/4} jusqu'à l'apparition des premiers indices de la nappe phréatique, autour de 14 mètres. Le trou est ensuite élargi à un diamètre de 17^{1/2} de 10 à 140 mètres. Une colonne de production (casing) est installée avec un diamètre de 13^{3/8} sur toute la profondeur de 0 à 140 mètres, puis cimentée avec un ciment HTS, suivie d'un temps d'attente pour la prise.

IV. 1. 2 Phase II : La colonne de production

Cette phase comprend la cimentation de l'espace annulaire entre le trou de 17^{1/2} et le tubage de 13^{3/8}, en utilisant 9 m³ de laitier de ciment HTS. Le volume de chasse du ciment est calculé comme suit :

$$130 \times 89 \text{ l/m} = 11,57 \text{ m}^3.$$

Après une attente de 48 heures pour la prise du ciment, le forage de reconnaissance est repris avec un diamètre de 12^{1/4} de la profondeur 140 à 172 m, correspondant à la zone d'apparition des argiles (substruction). Une colonne de captage est ensuite installée avec un diamètre de 8^{5/8}, composée comme suit : de 172 m à 166 m, un sabot TP de(6 m) de (166 m) à (142 m), un tube crépiné de(24 m) de 142 m à 124 m, un tube plein de réserve de 18 m.

IV. 1. 3 Phase III : La colonne de captage

Dans cette phase, on procède au gravillonnage de l'espace annulaire entre le trou de 12^{1/4} et le tubage en inox de 8^{5/8}. La densité volumique utilisée est de 38,17 l/m. Pour une section de 48 m (172 m – 124 m), le volume total de gravier est

De $48 \times 38,17 = 1,83 \text{ m}^3.$

Sachant que 1 m³ de gravier équivaut à 16 brouettes, et qu'une brouette équivaut à 6 bidons, on en déduit la quantité totale de matériel nécessaire. Une fois le gravier placé, le puits est lavé à l'eau claire.

IV. 1. 4 Phase IV : Le développement du puits

Le développement commence par le nettoyage du puits à l'eau claire en circulation. Ensuite, un développement est effectué à l'aide d'un compresseur pour améliorer l'écoulement et dégager .

IV. 2 Calcul du Volume de circule pour l'espace Annulaire :

Entre $\varnothing$: 17"2/1 et Tubage $\varnothing$: 13"8/3

Entre 17"2/1 et $\varnothing$: 13"8/3 = 64, 4 l / in

Le volume l'ailier de **corient** est 64. 4x140 in= 9016 L=9m³

1m3 de l'ailier ↔ 630 l d'eau

9m3 ↔ X

(9× 630)/1 = 5,68 m3 d'eau

- **Quantité de ciment :**

1m3 ↔ 20 Sac

9m3 ↔ X

(9x20)/1 =180/ 1=180 Sacs

γ= densité ↔ 1,7 ↔ 1,8

1 Sacs de **ciment** ↔ 30l d'eau.

IV. 3 Essai de pompage :

Le test est généralement effectué après la fin du forage du puits. Il consiste à pomper de l'eau à un débit constant ou variable tout en surveillant la variation du niveau d'eau (l'abaissement) à l'intérieur du puits et le temps nécessaire à sa stabilisation. Cet essai permet de déterminer des paramètres hydrauliques tels que la perméabilité, la conductivité hydraulique, ainsi que d'estimer la productivité durable du puits

IV. 4 TABLEAU ESSAI PAR POMPAGE :

Essai débit par palier : $Q_1 = 20$ l/s, $Q_2 = 30$ l/s, $Q_3 = 40$ l/s.

Niveau statique/Tubage NS = 27.23m. **Rejet :** réseau d'irrigation.

Tableau IV-1: Essai par pompage

Hours	Min	Sec	Niveaux Dynamiques (m)			Remontée (m)	Observation
			Forage				
			Palier 1	Palier 2	Palier 3		
	0	0	27.23	Regl Q	Regl Q	51.91	Eau Claire
	1	60	36.85	39.80	43.17	34.32	
	2	120	37.81	41.58	48.78	32.12	
	3	180	38.19	42.08	49.74	31.36	
	4	240	38.41	42.26	50.11	30.97	
	5	300	38.57	42.32	50.30	30.69	
	7	420	38.67	42.36	50.44	30.37	
	9	540	38.75	42.41	50.56	30.13	
	10	600	38.78	42.45	50.66	30.04	
	15	900	38.95	42.46	50.73	29.65	
	20	1200	39.05	42.53	50.89	29.38	
	25	1500	39.13	42.58	51.00	29.24	
	30	1800	39.20	42.62	51.09	29.08	
	45	2700	39.33	42.65	51.15	28.76	
1	60	3600	39.42	42.74	51.31	28.55	
	75	4500	39.48	42.83	51.42	28.39	
	90	5400	39.55	42.89	51.51	28.28	
	105	6300	39.61	42.94	51.60	28.18	
2	120	7200	39.67	42.99	51.69	28.10	
3	180	10800	39.70	43.04	51.77	27.67	
4	240	14400	39.74	43.07	51.82	27.53	
5	300	18000	39.76	43.11	51.87	27.37	
6	360	21600	39.78	43.13	51.89	27.30	
7	420	25200	39.79	43.15	51.90	27.24	
8	480	28800	39.80	43.16	51.91	27.23	

IV. 5 TABLEAU ESSAI PAR POMPAGE

Essai à débit constant : 40 l/s

Niveau statique/Tubage : 27.23 m.

Rejet : réseau d'irrigation.

TableauIV2-: Essai à débit constant

Heures	Min	Niveaux Dynamiques (m)	Remontée (m)	Observation
		Forage		
	0	27.23	52.15	Eau Claire
	1	43.63	33.22	
	2	46.80	31.26	
	3	47.89	30.64	
	4	48.39	30.34	
	5	48.68	30.16	
	7	49.03	29.93	
	9	49.27	29.77	
	10	49.36	29.70	
	15	49.81	29.25	
	20	49.95	29.23	
	25	50.12	29.08	
	30	50.26	28.95	
	45	50.56	28.63	
1	60	50.80	28.47	
	75	51.01	28.31	
	90	51.14	28.19	
	105	51.25	28.10	
2	120	51.35	28.02	
3	180	51.43	27.72	
4	240	51.51	27.43	
5	300	51.59	27.30	
6	360	51.66	27.27	
7	420	51.70	27.23	
8	480	51.86	27.23	
9	540	51.92		
10	600	51.96		
11	660	52.09		
12	720	52.13		
13	780	52.14		
14	840	52.15		
16	960	52.15		

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

L'eau est une ressource vitale qui joue un rôle essentiel dans la vie humaine et le développement des sociétés. Dans ce contexte, cette note a abordé l'importance des eaux souterraines, en particulier dans la région de TOUGGOURT qui fait face à de grands défis pour fournir de l'eau. Ce projet de forage de puits représente une étape stratégique vers l'amélioration de l'approvisionnement en eau, contribuant ainsi à répondre aux besoins des populations locales.

Les résultats de ce projet ont montré que les eaux souterraines ne représentent pas seulement une source d'eau, mais également un élément clé pour assurer la sécurité alimentaire et le développement économique de la région. Avec l'augmentation des pressions dues à la croissance démographique et aux changements climatiques, il devient essentiel de renforcer les stratégies de gestion de l'eau pour garantir sa durabilité.

De plus, les stratégies futures devraient inclure le renforcement de la coopération entre les autorités gouvernementales, le secteur privé et les communautés locales. Une coopération efficace peut favoriser le développement de projets d'eau durables et améliorer la qualité de l'eau tout en réduisant la pollution.

En conclusion, ce projet représente une étape importante vers l'amélioration de la gestion des ressources en eau dans la région de TOUGGOURT, et reflète les efforts déployés pour atteindre un développement durable et le bien-être des habitants. Investir dans les eaux souterraines n'est pas seulement une nécessité économique, mais également une responsabilité sociale et environnementale visant à garantir un avenir durable pour tous.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

- [1] F. Chaumont, "Les mouvements de l'eau dans les organismes vivants: l'exemple de la plante Communication présentée au colloque:«Or bleu, indispensable, inodore et sans saveur», Institut de mathématique de l'Université de Liège, le vendredi 3 décembre 2010," *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 2010.
- [2] T. Oki and S. Kanae, "Global hydrological cycles and world water resources," *science*, vol. 313, no. 5790, pp. 1068-1072, 2006.
- [3] K. Cruse, "A review of water well drilling methods," *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, vol. 12, no. 2, pp. 79-95, 1979.
- [4] B. Friha, "Etude comparative sur les fluides de forage à base d'eau et base d'huile et leurs traitements," UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.
- [5] G. de MARSILY and M. Besbes, "Les eaux souterraines," in *Annales des Mines-Responsabilite et environnement*, 2017, no. 2: Cairn/Softwin, pp. 25-30.
- [6] T. R. P. A. B. ET, R. PINHAS, and F.-S. D. U. M. DE, "Deleuze épars."
- [7] B. Bouselsal, "FORAGE D'EAU procédés et mesures," *Destiné aux étudiants de 3ème année licence Hydrogéologie. Université de Kasdi Merbah-OuarglaFaculté des hydrocarbures, des Energies renouvelables et des Sciences de la terre et de l'univers Département des Sciences de la terre et de l'univers*, 2014.
- [8] <https://wikiwater.fr/E28-Les-divers-types-de-puits-et-de-forages-Generalites>.
- [9] R. Caenn, H. C. Darley, and G. R. Gray, *Composition and properties of drilling and completion fluids*. Gulf professional publishing, 2011.
- [10] Z. BAZZINE, "Étude de l'altération de la mouillabilité des roches réservoirs par les tensioactifs dans les fluides de forage à base d'huile," 2022.
- [11] G. Landriot, "Fluide de forage," *édition Technip*, vol. 6, 1968.
- [12] K. Fourar, "Amélioration des propriétés rhéologiques des fluides de forage à base de biopolymères," Boumerdes, Université M'hamed Bougara. Faculté des Sciences, 2007.
- [13] S. Tama Ali, A. Belhabib, and F. Balla, "LES FLUIDE DE FORAGE A BASE D'HUILE: IMPACTS SUR L'ENVIRNEMENT ET TECHNIQUE DE TRAITEMENT."
- [14] E. Van Oort, "On the physical and chemical stability of shales," *journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 38, no. 3-4, pp. 213-235, 2003.
- [15] M. METAICHE and M. de Conférencess, "FORAGE," 2013.
- [16] G. d. a. d. l'arrêté and interministériel, "relatif à la rubrique 1.1.0 de la nomenclature Eau.

Sondage, forage, création de puits ou d'ouvrage souterrain non domestique exécuté en vue

de la recherche, de la surveillance ou d'un prélèvement d'eau souterraine septembre 2004.90p," du 11 septembre 2003

- [17] I. R. S. GHETTAS and A. RAHMOUNI, "Méthodes et techniques utilisées pour la réalisation d'un forage d'eau profond Cas du forage Albo-barrémien de Tigdidine," UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.
- [18] Y. Moulay Omar and Y. Seddiki, "Suivi d'un forage d'eau dans la région de Bouhraoua (Wilaya de Ghardaïa)."
- [19] B. Hadjebar, H. Belouis, and A. Ouerdane, "Etude de la boue de forage et dimensionnement de la pompe à boue triplex à simple effet," UMMTO, 2019.
- [20] R. LeGates, *City and regional planning*. Routledge, 2022.
- [21] V. Vaessen and R. Brentführer, "Integration of groundwater management: Into transboundary basin organizations in Africa," 2014.
- [22] G. Castany and J. Margat, "Dictionnaire français d'hydrogéologie," 1977.

Références Bibliographiques

- [23] "https://earthwise.bgs.ac.uk/index.php/Hydrog%C3%A9ologie_d%27Alg%C3%A9rie."
- [24] C. Fetter, "Applied Hydrogeology 4th edition. Prantice-Hall," *Inc. New Jersey*, 621p, 2001.
- [25] A. Mabillot, *Le forage d'eau: guide pratique*. Crépines Johnson-France, 1995.
- [26] A. Mabillot, *Le forage d'eau: guide pratique*. Johnson Filtration Systems, 1971.
- [27] A. Houam, "Electromécanique minière," 2024.
- [28] UNESCO., ""Projet Reg 100. Etude Des Ressources En Eau Du Sahara Septentrional. Rapport Sur Les Résultats Du Projet." In. :," *UNESCO Paris*, 1972. .
- [29] A. LIMANE, "Etude géochimique des nappes du complexe terminal (CT) dans la cuvette de Ouargla," 2016.
- [30] O. d. S. et du Sahel, "System Aquifère du Sahara Septentrional SASS, gestion commune d'un bassin transfrontière. Principaux Résultats," ed: On-line], available from: www.unesco.org/oss, 2003.
- [31] A. Zeddouri, "Caractérisation hydrogéologique et hydrochimique des nappes du complexe terminal de la région de Ouargla," *These de Doctorat, Univ. Annaba*, 2008.

