

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 fin d'études

MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Hydraulique

Spécialité : Forage d'eau



Présenté par :

BOUGRINAT Mohammed Belkhir et YUCEF Mohammed Yassine

Thème :

Réalisation d'un forage d'eau pour l'irrigation dans la région de Megarine wilaya de Tougourt

Soutenu publiquement le : 06/06/2026

Devant le jury composé de :

OULHACI. Dalila

MCA (UKM Ouargla)

Président

BRAHIMI.A. Elouahed

MAA (UKM Ouargla)

Examineur

MANSOURI. Zina

MCA (UKM Ouargla)

Encadreur

Année Universitaire : 2025/2026

Remerciements

Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux. Louange à Allah, Seigneur des mondes, pour la grâce qui nous a permis de mener ce travail à son terme.

Nous exprimons notre profonde gratitude à Docteur Zina MANSOURI, Maître de Conférences classe B à l'Université Kasdi Merbah d'Ouargla, pour ses orientations précieuses, son encadrement rigoureux et son accompagnement constant tout au long de ce travail.

Nos remerciements les plus sincères vont également aux membres du jury d'examen, pour leur lecture attentive, leurs remarques constructives et leur contribution à l'enrichissement de ce mémoire.

Nous remercions également chaleureusement les superviseurs de l'agence ANRH, notamment Monsieur l'ingénieur M. BENGUEGA Mohammed. Salah, pour leur encadrement sur le terrain et leur soutien technique tout au long de la phase pratique de ce projet

Nos remerciements s'adressent aussi à l'ensemble des enseignants de la Faculté des Sciences Appliquées, ainsi qu'au personnel académique et administratif, pour leur accompagnement tout au long de notre parcours universitaire.

Enfin, nous exprimons notre reconnaissance à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Qu'Allah accorde à chacun la meilleure des récompenses.

Dédicace

Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux.

Louange à Allah, par la grâce duquel les bonnes actions sont achevées et qui m'a permis d'achever cet humble travail.

Je dédie le fruit de cet effort – une étape don't je rêve depuis longtemps – à ceux qui ont été la lumière de ma vie et mon soutien après Allah:

A mes chers parents ; aucun mot que j'écris ne pourra jamais vraiment rembourser ce que je leur dois. Ils ont mon plus profond amour, ma gratitude et ma reconnaissance.

À ma merveilleuse famille, qui a toujours été une source de soutien, de force et d'encouragement, et qui a partagé les moments de labeur qui ont précédé cette joie.

À mes estimés professeurs, qui ont porté la mission de connaissance avec tant de sincérité.

À mes amis et collègues qui m'ont accompagné dans ce parcours académique.

Et à tous ceux qui ont contribué, directement ou indirectement, à la réalisation de ces travaux .

Je vous dédie à tous cette humble réalisation, en priant Allah pour qu'elle marque le début d'un avenir rempli de succès et de prospérité.

Louange à Allah, premier et dernier.

Bougrinat mohammed belkhir

Dédicace

Louange à Allah, par qui les bonnes œuvres s'accomplissent et grâce à qui les réussites se concrétisent.

Je dédie le fruit de mes efforts intellectuels à ceux qu'Allah a honorés de noblesse — source de générosité infinie et piliers de ma vie : mes chers parents. Qu'Allah les récompense abondamment pour leur soutien indéfectible et leurs prières sincères, qui ont constitué mon plus précieux réconfort.

À ceux qui font battre mon cœur et qui m'accompagnent sur le chemin de la vie — mes frères et sœurs — auprès de qui j'ai puisé détermination et persévérance.

À mes amis et collègues qui ont partagé avec moi les exigences de la recherche et la passion du savoir ; le souvenir de nos moments partagés m'a encouragé à aller de l'avant.

À vous tous, je dédie ce modeste travail, en priant Allah le Tout-Puissant de le rendre bénéfique et de l'inscrire à la balance de vos bonnes actions.

Youcef mohammed Yassine

Résume :

Cette étude explore les détails de l'achèvement d'un puits de compensation des eaux souterraines à proximité de Megarine dans l'État de Touggourt, utilisant la technologie de forage rotatif avec de l'argile bentonite pour atteindre une profondeur finale de 170 mètres linéaires. Cette étude est divisée en deux parties : une théorique qui couvre les techniques de forage et l'étude hydrologique et géologique des couches pénétrantes d'argile, de sable grossier et de chaux, et une scientifique qui se concentre sur les résultats obtenus lors du pompage expérimental, où les débits maximaux (Q_{max}) ont atteint environ 118,83 m³/heure avec une dénivellation de 34,70 mètres. Les calculs techniques pour les opérations d'installation ont révélé un besoin de 1,10 m³ de lait de ciment (1,21 tonnes) pour la première étape, et un volume de 13,08 m³ (14,38 tonnes) pour la deuxième étape. Le volume de gravier filtrant (Gravillonnage) nécessaire pour l'espace annulaire de la colonne de captage d'une taille de 1,82 m³ a été calculé et la fiche technique du projet a été établie sous la supervision de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

Mots clés : nappe phréatique, puits, techniques de forage, rotatif, géologique, hydrologique, fiche technique, Touggourt

ملخص:

تستكشف هذه الدراسة تفاصيل إنجاز بئر تعويضي للمياه الجوفية بمحيط مقارين بولاية تڤرت، باستخدام تقنية الحفر الدوراني (Rotary) مع الطين البنتوني للوصول إلى عمق نهائي قدره 170 متراً خطياً. وتنقسم هذه الدراسة إلى جزئين: نظري يغطي تقنيات الحفر والدراسة الهيدرولوجية والجيولوجية للطبقات المخترقة من طين ورمل خشن وكلس، وعلمي يركز على النتائج التي تم الحصول عليها أثناء الضخ التجريبي حيث بلغت التدفقات القصوى (Q_{max}) حوالي 118.83 م³/ساعة مع هبوط قدره 34.70 متراً. كشفت الحسابات التقنية لعمليات التنشيط عن حاجة قدرها 1.10 م³ من الحليب الإسمنتي (1.21 طن) للمرحلة الأولى، وحجم 13.08 م³ (14.38 طن) للمرحلة الثانية. كما تم حساب حجم الحصى الفلتر (Gravillonnage) اللازم للفضاء الحلقي لعمود الالتقاط بحجم 1.82 م³، وإعداد البطاقة التقنية للمشروع تحت إشراف الوكالة الوطنية للموارد الهيدروليكية (ANRH).

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، بئر، تقنيات الحفر، الدوراني، الجيولوجية، الهيدرولوجية، البطاقة التقنية، تڤرت.

ABSTRACT:

This study examines the details of completing a replacement groundwater well in the vicinity of Magarin, in the province of Touggourt, utilizing rotary drilling technology with bentonite mud to reach a final depth of 170 linear meters. This study is divided into two parts: a theoretical section covering drilling techniques and the hydrological and geological analysis of the penetrated strata (clay, coarse sand, and limestone), and a practical section focusing on results obtained during test pumping, where maximum flow rates (Q_{max}) reached approximately 118.83 m³/h with a drawdown of 34.70 meters. Technical calculations for the cementing operations indicated a requirement of 1.10 m³ of cement slurry (1.21 tons) for the first stage and 13.08 m³ (14.38 tons) for the second stage. Additionally, the volume of filter gravel required for the annular space of the well casing was calculated at 1.82 m³, and the project's technical datasheet was prepared under the supervision of the National Agency for Hydraulic Resources (ANRH). **Keywords: Groundwater, well, drilling techniques, rotary drilling, geological, hydrological, technical datasheet, Touggourt.**

Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicace	II
Résumé :	IV
Sommaire	V
Liste des figures	1
Liste des tableaux :	2
Introduction générale	2
Chapitre I : Généralité sur la zone d'étude.....	4
1. Introduction:	5
2. Cadre générale de la zone d'étude :	5
2.1. Situation géographique:	5
2.2. Limites administrative:	6
2.3. Localisation de forage:	6
3. Aperçu climatologique :	7
3.1. Caractéristiques générales du climat de la région:.....	7
3.2. Température:	8
3.3. Précipitations:	9
3.4. Evaporation:.....	9
3.5. Le vent:	9
3.6. Humidité relative:	10
3.7. L'impact du climat sur les ressources en eau:	10
4. Conclusion:	10
Chapitre II : Aperçu Géologique et hydrogéologique	11
1. Introduction :	12
2. Cadre géologique général:	12
3. Stratigraphie:	12
3.1. Couches superficielles:	12
3.2. Couches d'argile et d'argile:	12
3.3. Couches de sable et de grès:	13
4. Cadre tectonique:	13
5. Etude hydrogéologique:	13
.5.1 Principaux réservoirs souterrains:	13
.5.2 Caractéristiques des réservoirs:	13
.5.3 Recharge des réservoirs souterrains:	14
.5.4 Profondeurs des eaux souterraines:	14
.5.5 Qualité de l'eau:	14
.6 La relation entre la géologie et le processus de forage:	14
.7 Conclusion:	15

Chapitre III : Technique De Forage	16
1. Introduction :	17
2. Definition le forage :	17
3. Les parameters de forage :	17
3.1. Debut des pompes :	17
3.2. Poids sue l'outil :	17
3.3. Vitesse de rotation :	17
4. Les outils :	18
4.1 Tête de forage:	18
4.2. Tiges de forage:	19
4.3. Pompe à boue:	19
4.4. Bassin de boue:	20
4.5. Tubages:	20
4.6. Crépines:	21
4.7. Gravier:	21
5. Technique des forages :	22
5.1. Forage au battage :	22
5.2. Le forage au marteau fond :	23
5.3. Forage rotary:	23
6. Boue de forage :	26
6.1. Définir la boue de forage :	26
6.2. Les paramètres :	27
6.3. avantages de la boue de forage :	29
6.4. Les inconvénients de la boue de forage :	29
6.5. Rôles principaux de la boue de forage :	30
6.6. Les objectifs principaux de contrôle des boues de forage:	30
7. Diagraphies :	31
8. Gamma ray :	31
9. Mesure du diamètre (caliper) :	33
10. Résistivité :	34
11. Principe du CBL (cément bond log) :	34
12. Principe du VDL (variable density log) :	34
13. Conclusion :	35
Chapitre IV : Cimentation	36
1. Introduction :	37
2. La cimentation :	37
2.1. Conception du laitier (slurry) :	38
2.2. paramètres opérationnels (pompage) :	38
3. Techniques de cimentation :	38

4. Avantages de la cimentation :	38
7. Importance de cimentation :	39
8. Les roles de cimentation :	39
9. Objectifs de la cimentation :	39
10. Les 4 étapes de cimentation :	40
10.1. Préparation du puits de forage :	40
10.2. Conception et préparation du coulis de ciment :	40
10.3. Pompage de la boue de ciment :	40
10.4. controle de la cimentation (ou prise du ciment) :	40
11. Déroulement des travaux de forage :	40
11.1. Etude et préparation (étapes préliminaires) :	40
11.2. La foration (le forage proprement dit) :	41
11.3. L'équipement du puits (complétion) :	41
11.4. Finition et mise en service :	41
12. Définition GESFOR :	42
12.1. Utilisations et fonctionnalités du programme GesFor :	42
12.2. Comment utiliser le programme (étapes générales) :	44
Chapitre V : Suivi de la réalisation du forage Megarine	48
1. Introduction :	49
2. Description des travaux de la réalisation de forage :	49
3. Cimentation de l'espace annulaire de 02 Phases de forage Megarine wilaya de Touggourt.	50
3.1. Colonne 1 ^{ère} phase (tube guide) :	50
3.2. Colonne 2 ^{ème} phase (colonne de production) :	50
3.3. Colonne 3 ^{ème} phase (colonne de captage) Ø 8''5/8 :	51
4. Dossier technique du forage du puits Megarine:	52
5. Conclusion :	56
Les Références :	57

Liste des figures

Figure 1 : Localisation géographique de la région de Megarine dans l'état de Touggourt.	3
Figure 2 : Localisation de forage Megarine par Google Earth.....	5
Figure 3 : Tête de forage.....	16
Figure 4 : Tiges de forage.....	17
Figure 5 : pompe à boue de forage.....	17
Figure 6 : Bassin de boue.....	18
Figure 7 : tubes d'emballage.....	18
Figure 8 : crépine.....	19
Figure 9 : Gravier.....	19
Figure 10 : appareil de forage par battage.....	20
Figure 11 : Appareil de forage.....	22
Figure 12 : Un schéma illustratif de l'appareil de forage et de ses pièces.....	23
Figure 13 : boue de forage.....	25
Figure 14 : Évaluation de la qualité de la corrosion et de la cimentation d'un puits d'eau (dossier CBL - VDL)	30
Figure 15 : le caliper (diamètreur), sorcelog hydro.....	31
Figure 16 : ciment integrity logs- CBL/VDL.....	33
Figure. 17 : Exemple d'une colonne de tubage cimenté.....	35
Figure 18 : message de bienvenue.....	40
Figure 19 : Liste de sélection et de tri des ouvrages de la base de données GesFor.....	41
Figure 20 : fenêtre de description d'un nouvel ouvrage.....	42
Figure 21 : Tableau récapitulatif des tronçons d'un ouvrage.....	43
Figure 22 : Coupes lithologique, technique et d'équipement de GesFor.....	44

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Les coordonnées géographiques	4
Tableau 2 : Caractéristiques générales de la zone d'étude	6
Tableau 3 : Températures mensuelles moyennes dans la région de Touggourt	6
Tableau 4 : Normes de contrôle et de mesure (boue)	26
Tableau 5 : Coupe lithologique de forage	48

Introduction générale

Les eaux souterraines constituent l'une des sources naturelles d'eau douce les plus importantes de la planète et jouent un rôle essentiel dans la satisfaction des besoins humains croissants. Compte tenu du changement climatique et de la rareté des ressources en eaux de surface, le processus de forage de puits d'eau est devenu un pilier essentiel pour garantir la sécurité de l'eau potable, soutenir le secteur agricole et répondre aux exigences des activités industrielles et de développement. [1]

Le processus de forage de puits n'est pas seulement un processus mécanique d'ouverture du sol, mais plutôt une ingénierie intégrée qui combine les sciences de la géologie, de l'hydrologie (science de l'eau) et des techniques d'ingénierie modernes. Ce processus commence par des études géophysiques visant à déterminer l'emplacement et la profondeur des aquifères, puis passe à l'étape de sélection de la technique de forage appropriée (telle que le forage à percussion ou le forage rotatif) en fonction de la nature des formations rocheuses. Le processus est complété par les étapes de tubage, de nivellement du gravier et de pompage d'essai pour garantir la sécurité du puits, la durabilité de sa productivité et la pureté de son eau contre les polluants. [1]

Dans le présent travail, nous avons suivi la réalisation d'un forage avec la technique rotary dans la ville de megarine, dans le but de fournir de l'eau d'irrigation à l'état de Touggourt.

Pour ce faire, nous avons suivi le plan de travail suivant :

- **Chapitre I** : Généralité sur la zone d'étude
- **Chapitre II** : Aperçu Géologique et hydrogéologique
- **Chapitre III** : Technique de forage
- **Chapitre IV** : Cimentation
- **Chapitre V** : Suivi de la réalisation du forage Megarine

Chapitre I :

Généralité sur la zone

d'étude

1. Introduction:

L'étude des caractéristiques générales de la zone d'étude est une étape essentielle pour comprendre les conditions naturelles et humaines qui affectent un projet de forage de puits d'eau. Cette étude permet de déterminer le potentiel hydrique, de comprendre la nature des sols et des formations géologiques, en plus d'analyser les facteurs climatiques et hydrologiques qui contrôlent la disponibilité des eaux souterraines.

La région de Megarine est située dans l'état de Touggourt, au sein de zones désertiques qui dépendent fortement des eaux souterraines comme principale source d'eau, que ce soit pour un usage agricole ou domestique. Compte tenu de l'importance de ces ressources, l'étude des conditions de la zone contribue à assurer le succès du processus de forage et à exploiter le puits de manière durable. [1]

2. Cadre générale de la zone d'étude :

2.1. Situation géographique:

La commune de Megarine est située au sud-est de l'Algérie, au sein de l'État de Touggourt, et fait partie de la région de Wadi Rig connue pour l'étendue des oasis et l'activité agricole, notamment la culture du palmier.

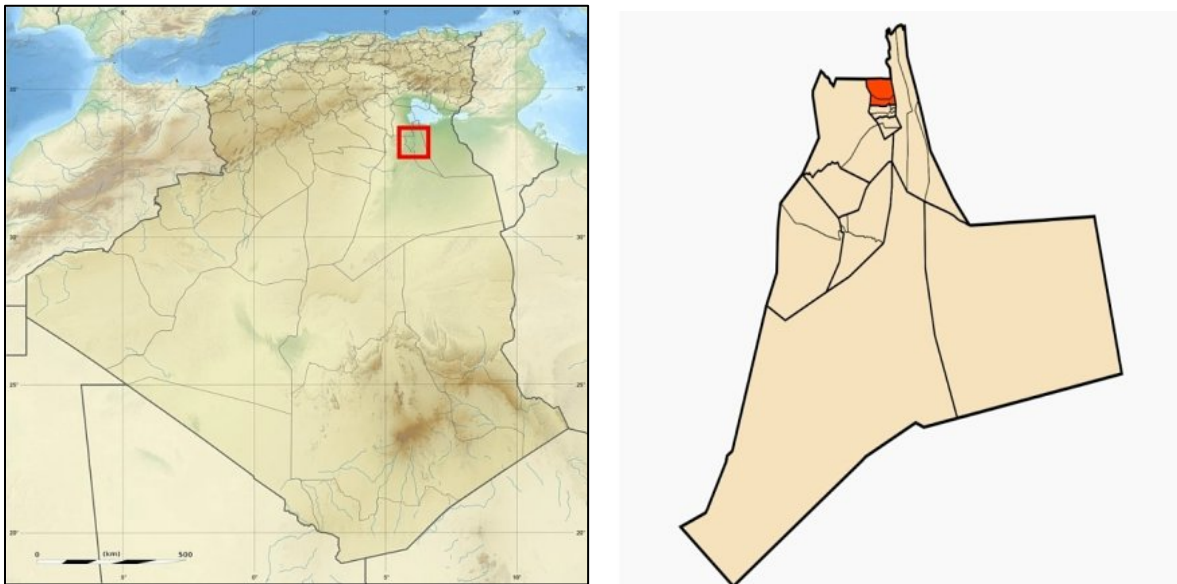


Figure 1. Localisation géographique de la région de Megarine dans l'état de Touggourt.[5]

- La zone est caractérisée par des coordonnées géographiques approximatives:

Tableau 1 : Les coordonnées géographiques.

Longitude	Latitude	Hauteur
6° 04' 24.3"	33° 11' 47.22"	62m

Coordonnées géographiques WGS84 :

Système UTM

X : 0227170.3E

Y : 3676882.56 N

Fuseau 32 S

La région appartient au désert, où règne un climat sec, caractérisé par des températures élevées en été et basses en hiver, avec des précipitations faibles et irrégulières.

La région est également située dans le vaste bassin souterrain du désert du nord (système aquifère du Sahara), ce qui la rend riche en eaux souterraines profondes.

2.2. Limites administrative:

La commune d'Al-Megarine est bordée par plusieurs communes et régions administratives, qui sont:

- Nord : commune de Touggourt
- Sud : municipalité d'Al-Taybat
- Est : municipalité de Nakhla
- Ouest : commune de Tamasin

Megarine appartient administrativement à l'Etat de Touggourt, récemment créé, et auparavant affilié à l'Etat de Ouargla.[5]

2.3. Localisation du forage:

Le chantier de fouilles est situé sur le territoire de la municipalité d'Al-, Megarine dans une zone agricole, où s'étendent des oasis et des terres plantées de palmiers. Le site de forage est choisi en fonction de plusieurs critères d'ont les plus importants sont:

- Disponibilité d'indicateurs hydrogéologiques (présence de couches aquifères)[6]

- La nature du sol (sableux, argileux ou mixte)
- Proximité des zones d'exploitation agricole
- Accès facile à l'équipement
- Résultats des études géophysiques

Les puits de cette zone sont souvent profonds et ciblent des aquifères tels que:

- Terminal complexe
- Continental Intercalaire

Ce sont deux des réservoirs souterrains les plus importants du sud algérien



Figure 2 : Localisation de forage Megarine par Google Erat.[5]

3. Aperçu climatologique :

3.1. Caractéristiques générales du climat de la région:

La zone d'étude appartient au climat désertique chaud (Climat Aride), qui se caractérise par:

Les températures augmentent la majeure partie de l'année

Précipitations faibles et irrégulières

Taux d'évaporation élevés

Air sec la plupart du temps

Ce type de climat est considéré comme l'un des climats les plus influents sur l'épuisement des ressources en eau.

Tableau 2 : Caractéristiques générales de la zone d'étude.[6]

Article	Valeur
État	Touggourt
Municipalité	Megarine
Climat	Désert sec
Activité principale	Agriculture
Ressource en eau	Eaux souterraines
Hauteur	Vers 70 après JC

3.2. Température:

La région de Megarine se caractérise par une augmentation significative des températures, surtout en été, comme suit:

Les températures estivales varient entre 35°C et 48°C

Elle peut dépasser 50°C à certaines périodes

En hiver, il fait entre 5°C et 20°C

Ce contraste thermique conduit à:

Évaporation accrue

Impact sur la stabilité du sol lors de l'excavation

La difficulté du travail sur le terrain en été.

Tableau 3 : Températures mensuelles moyennes dans la région de Touggourt année 2024. [6]

Mois	Température °C	Mois	Température °C
Janvier	12	Juillet	42
Février	15	Août	41

Mars	20	Septembre	36
Avril	26	Octobre	28
Mai	32	Novembre	20
Jeanne	38	Décembre	14

3.3. Précipitations:

Les précipitations dans la région sont très faibles et irrégulières:

Le taux annuel varie de 50 à 100 mm [6]

La pluie tombe souvent sous forme d'averses courtes et soudaines

Des années peuvent s'écouler sans précipitations significatives

Cela affecte directement:

Mauvaise recharge des eaux souterraines [6]

Forte dépendance aux réservoirs profonds

3.4. Evaporation:

Les taux d'évaporation sont très élevés dans la région en raison de:

Températures élevées

Intensité du rayonnement solaire

Vitesse du vent

Le taux d'évaporation annuel peut dépasser 2 000 à 3 000 mm, ce qui dépasse largement la quantité de précipitations, entraînant un déficit hydrique permanent. [6]

3.5. Le vent:

La région est caractérisée par des vents forts, notamment:

Vent du nord-est

Al-Shahili (vents chauds) en été

Ces vents entraînent:

Transport de sable et exploration des dunes

Impact sur les équipements de forage [6]

Évaporation accrue.

3.6. Humidité relative:

L'humidité est faible pendant la plupart des périodes de l'année:

Entre 20 et 40%

Il monte légèrement en hiver

Cela renforce la sensation de sécheresse et augmente la perte d'eau par évaporation. [6]

3.7. L'impact du climat sur les ressources en eau:

Le climat désertique affecte directement les ressources en eau de la région:

Une faiblesse importante dans la recharge naturelle des nappes phréatiques

Dépendance aux eaux souterraines profondes (non renouvelables)

Consommation élevée d'eau dans l'agriculture en raison de l'évaporation

La nécessité de s'appuyer sur des techniques d'irrigation modernes [6]

4. Conclusion:

En étudiant les caractéristiques climatiques de la région de Megarine , il apparaît clairement qu'il s'agit d'une région au climat désertique rigoureux caractérisé par la rareté des pluies, des températures élevées et l'évaporation. Ces conditions affectent grandement les ressources en eau, rendant l'exploitation des eaux souterraines vitale.

Cette étude confirme également l'importance d'une bonne planification des projets de forage de puits, prenant en compte l'impact des facteurs climatiques pour assurer la durabilité de la ressource en eau et obtenir le meilleur rendement possible.

Chapitre II :

Aperçu Géologique et

Hydrogéologique.

1. Introduction :

L'étude géologique et hydrogéologique est l'une des étapes fondamentales les plus importantes des projets de forage de puits d'eau, car elle permet de comprendre la nature des formations géologiques et les caractéristiques des réservoirs souterrains, ce qui aide à déterminer les profondeurs de forage, le type de couches et la possibilité de présence d'eau .

La zone de Megarine est située au sein du bassin sédimentaire du Sahara algérien, caractérisé par la présence d'importants réservoirs d'eau, ce qui rend nécessaire une étude minutieuse de ces formations pour assurer le succès du processus de forage et l'exploitation durable de l'eau.

2. Cadre géologique général :

La zone d'étude appartient au Grand Bassin Sédimentaire du Sahara Nord, caractérisé par l'accumulation de couches sédimentaires remontant à différentes époques géologiques (Tertiaire, Jurassique, Crétacé). Ces couches sont principalement constituées de:

- Sable et gravier
- Grès
- Argile et terre
- Calcaire

Ces formations se caractérisent par leur gradation verticale, où des couches perméables (aquifères) alternent avec des couches imperméables (isolantes) .[6]

3. Stratigraphie :

La colonne stratigraphique de la région de Megarine est constituée de plusieurs couches dont les plus importantes sont:

3.1. Couches superficielles :

Il se compose de sable frais et de dunes de sable

Son épaisseur varie de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres

Il est très perméable mais pauvre en eau .[4]

3.2. Couches d'argile et d'argile :

- Ils agissent comme des couches isolantes
- Empêche les fuites d'eau vers le bas ou le haut

- Il joue un rôle Important dans la protection des réservoirs souterrains [4]

3.3. Couches de sable et de grès :

- Il est considéré comme l'une des couches aquifères les plus importantes
- Il se caractérise par une bonne perméabilité et porosité
- Il contient des quantités importantes d'eau souterraine [4]

4. Cadre tectonique :

La région se caractérise par une relative stabilité tectonique, comme suit:

- Il y a moins de différences majeures
- Il est dominé par une structure sédimentaire horizontale ou semi-horizontale

Cette stabilité permet:

- Conservation des eaux souterraines à l'Intérieur des réservoirs
- Réduire le risque d'effondrement pendant le forage [4]

5. Etude hydrogéologique :

5.1. Principaux réservoirs souterrains :

La zone de Megarine contient deux principaux systèmes aquifères:

a) Continental Intercalative – CI :

- Cuve très profonde
- Contient de l'eau ancienne (fossile)
- Il se caractérise parfois par une pression élevée
- Sa profondeur peut dépasser 1 000 mètres dans certaines zones [4]

b) Terminal Complexe – CT :

- Un réservoir moins profond
- Il est constitué de calcaire et de sable
- Plus exploité dans l'agriculture
- Sa profondeur varie généralement entre 100 et 400 mètres [4]

5.2. Caractéristiques des réservoirs :

Les réservoirs souterrains de la région se caractérisent par:

- Une bonne porosité permet le stockage de l'eau
- Perméabilité variable selon le type de roche
- Eau avec une salinité modérée à élevée dans certains cas [3]

5.3. Recharge des réservoirs souterrains :

L'approvisionnement de ces réservoirs est très faible en raison de:

- Megarine de précipitations
- Évaporation élevée
- Nature désertique

Par conséquent, la majeure partie de cette eau est classée comme:

Eau non renouvelable (eau fossile) [3]

5.4. Profondeurs des eaux souterraines :

Les profondeurs d'eau varient selon le réservoir:

- Composition finale : entre 100 et 300 mètres (environ)
- Intercontinental : peut dépasser 800 mètres
- Dans le cas du puits Megarine, la profondeur finale : 170 mètres
- Ce qui Indique l'exploitation du réservoir composé final [3]

5.5. Qualité de l'eau :

La qualité de l'eau dans la zone varie entre:

- Eau adaptée à l'irrigation
- Eau à salinité moyne
- Parfois, il contient des niveaux élevés de sels minéraux
- Dans certains cas, il faut la traiter en fonction de son usage [3]

6. La relation entre la géologie et le processus de forage :

La géologie joue un rôle fondamental pour déterminer:

- Méthode de forage rotatif
- Type d'argile utilisé (Bentonite) [4]

Sélection de tubes de tubage :

- Déterminer les zones pour placer les écrans.

Cela aide également à:

- Éviter les effondrements
- Améliorer le rendement du puits

7. Conclusion :

A travers l'étude géologique et hydrogéologique de la zone de Megarine, il ressort clairement qu'il s'agit d'une zone riche en réservoirs souterrains, notamment le complexe final et intercontinental, malgré sa faible recharge naturelle.

La conclusion à laquelle je suis parvenu dans cette conclusion est logique et scientifique basée sur la comparaison entre le volume de stock et le volume d'alimentation

Comprendre la nature des formations géologiques et les caractéristiques des réservoirs d'eau est essentiel pour assurer le succès des opérations de forage et exploiter l'eau de manière rationnelle et durable, notamment à la lumière des conditions climatiques rigoureuses qui caractérisent la région.

Chapitre III :

Technique De Forage

1. Introduction :

Différentes technique de forage ont été développées en fonction du type d'ouvrage recherché et du contexte géologique. Dont trois (3) technique courantes de forage d'eau à savoir : le forage au battage, le forage rotary et le forage par percussion marteau fond de trou (MFT). [9]

2. Definition le forage :

Le forage est un procédé de construction et technique utilisé pour pénétrer les couches géologiques de la terre afin d'accéder aux ressources naturelles ou de recueillir des informations géologiques, tout en assurant la stabilité des parois du puits pendant et après le processus de forage. [10]

3. Les paramètres de forage :

3.1. Débit des pompes :

Les pompes utilisant de la boue ou de l'air doivent permettre une vitesse de remontée des cuttings (déblais) d'au moins 60 mètres par minute. Le choix de la puissance de la pompe et de son moteur doit être adapté au volume total de boue nécessaire pour les forages les plus profonds, en prenant en compte les pertes de charge ,la viscosité de la boue et les dimensions des tiges . [10]

3.2. Poids sur l'outil :

L'avancement du forage depend du poids appliqué sur l'outil, qui augmente progressivement à mesure que les tiges sont montées. Il est important de surveiller ce poids pour éviter une usure prématurée des lames, des dents et des roulements des outils à molettes. Un dynamomètre mesure la tension du brin mort du câble pour donner le poids de tout ce qui est suspendu au crochet. [10]

3.3. Vitesse de rotation :

la vitesse de rotation de la table de rotation est cruciale. Une vitesse faible est recommandée pour les terrains durs. Tandis qu'une vitesse plus élevée est appropriée pour les terrains tendres. Cette vitesse doit être calculée en fonction des moteurs et du rapport des transmissions, puis vérifiée à l'aide d'un appareil de control. [10]

En surveillant attentivement ces trois paramètres cité supra, il est possible d'améliorer considérablement le rendement de l'atelière du forage rotary, assurant ainsi des opérations de forage plus efficaces et productives. [10]

4. Les outils :

Les outils désignent les instruments ou équipements utilisés pour accomplir une tâche spécifique dans un processus donné, les outils utilisée dans le puits est :

4.1. Tête de forage:

Fonction : briser les roches et la terre.

Types: Trépan tricône ,Trépan à lames, Trépan PDC, Marteau fond de trou (MFT).



Figure 3 : Tête de forage

4.2. Tiges de forage:

Fonction: Transfèrent le mouvement de rotation et la boue de forage vers la tête de forage.

Fabriqué à partir de: Acier à haute résistance.



Figure 4 : Tiges de forage

4.3. Pomp à boue:

Fonction: Pompage de boue de forage dans le puits.

Avantages de la boue de forage: Refroidissement de la tête de forage, Enlèvement de fragments de roche, Installation des parois du puits.



Figure 5 : pompe à boue de forage

4.4. Bassin de boue:

Réservoirs à boue et bassins

Fonction: Préparation et recyclage des boues de forage



Figure 6 : Bassin de boue

4.5. Tubages:

Fonction : stabiliser les parois du puits et empêcher leur effondrement.

Types : Boîtier de surface, Boîtier de production, Boîtier en PVC, Boîtier en acier



Figure 7 : tubes d'emballage.

4.6. Crépines:

Fonction: Laisser passer l'eau et empêcher le sable de pénétrer.

Types: Écran Johnson, Écran en PVC, Écran en acier inoxydable



Figure 8 : crépine

4.7. Gravier:

Fonction: Filtration sur sable fin et amélioration de la productivité des puits



Figure 9 : Gravier.

5. Technique des forages :

5.1. Forage au battage :

Forage au battage est une méthode traditionnelle utilisée pour forer des puits peu profonds. Cette technique consiste à enfoncer un tube en acier dans le sol en utilisant un marteau ou une masse. Le tube est équipé d'un trépan à son extrémité pour percer le sol. à mesure que le tube est enfoncé, de l'eau ou de la boue peut être utilisée pour faciliter l'élimination des débris de forage. Cette méthode est souvent employée pour les puits peu profonds dans les formations de sol meuble ou de roches tendresse. [9]



Figure 10 : appareil de forage par battage

5.1.1. Les avantages :

Simplicité de mise en œuvre, pas besoin de boue de forage, ce qui facilite grandement le processus et permet une récupération aisée d'échantillons.

Peu d'eau est nécessaire (environ 40 à 50 l/h) et cette peut être de n'importe quelle qualité.

la détection la nappe d'eau, même à faible pression, est facile : l'arrivée de l'eau à basse pression est directement perceptible dans. [10]

5.1.2. Les inconvénients :

Le forage se déroule par étapes, ou le forage est suivi curage des déblais et ainsi de suite

Le processus de forage est lent et il n'y a pas de contrôle précis de la rectitude du trou. [10]

5.2. Le forage au marteau fond :

Le forage au marteau fond de trou est une technique de forage utilisée pour creuser des puits dans les formations géologiques dures. Dans cette méthode, un marteau perforateur est attaché à l'extrémité de la tige de forage. Le marteau frappe le fond du trou de forage avec une grande force, tandis que de l'air comprimé, de l'eau ou boue de forage est utilisée pour éliminer les débris et refroidir le trépan. [10]

5.2.1. Les avantages :

Efficace dans les formations rocheuses dures ; cette méthode est bien adaptée aux terrains difficiles ou d'autres techniques de forage pourraient rencontrer des difficultés.

Contrôle de la rectitude : le forage au marteau fond de trou offre un meilleur contrôle de la rectitude du trou par rapport à certaines autres méthodes de forage.

Taux de pénétration élevé : grâce à l'énergie du marteau perforateur, cette technique permet un taux de pénétration élevé dans les formations rocheuses dures. [10]

5.2.2. Les inconvénients :

Coûts élevés : cette méthode peut être plus coûteuse en raison de l'utilisation d'équipements spécialisés et de la consommation d'énergie pour le marteau perforateur.

Nécessite une expertise technique : le forage au marteau fond de trou exige une expertise technique pour opérer efficacement l'équipement et assurer la sécurité du processus de forage.

5.3. Forage rotary:

Le forage rotary est une technique couramment utilisée pour le forage de puits dans diverses formations géologiques, y compris les roches dures et les sols meubles. Cette méthode de forage implique la rotation d'une tige creuse équipée d'un trépan à son extrémité.

Le trépan est muni de dents de coupe ou de rouleaux qui cassent ou écrasent le sol ou la roche pendant la rotation. [10]



Figure 11. Appareil de forage

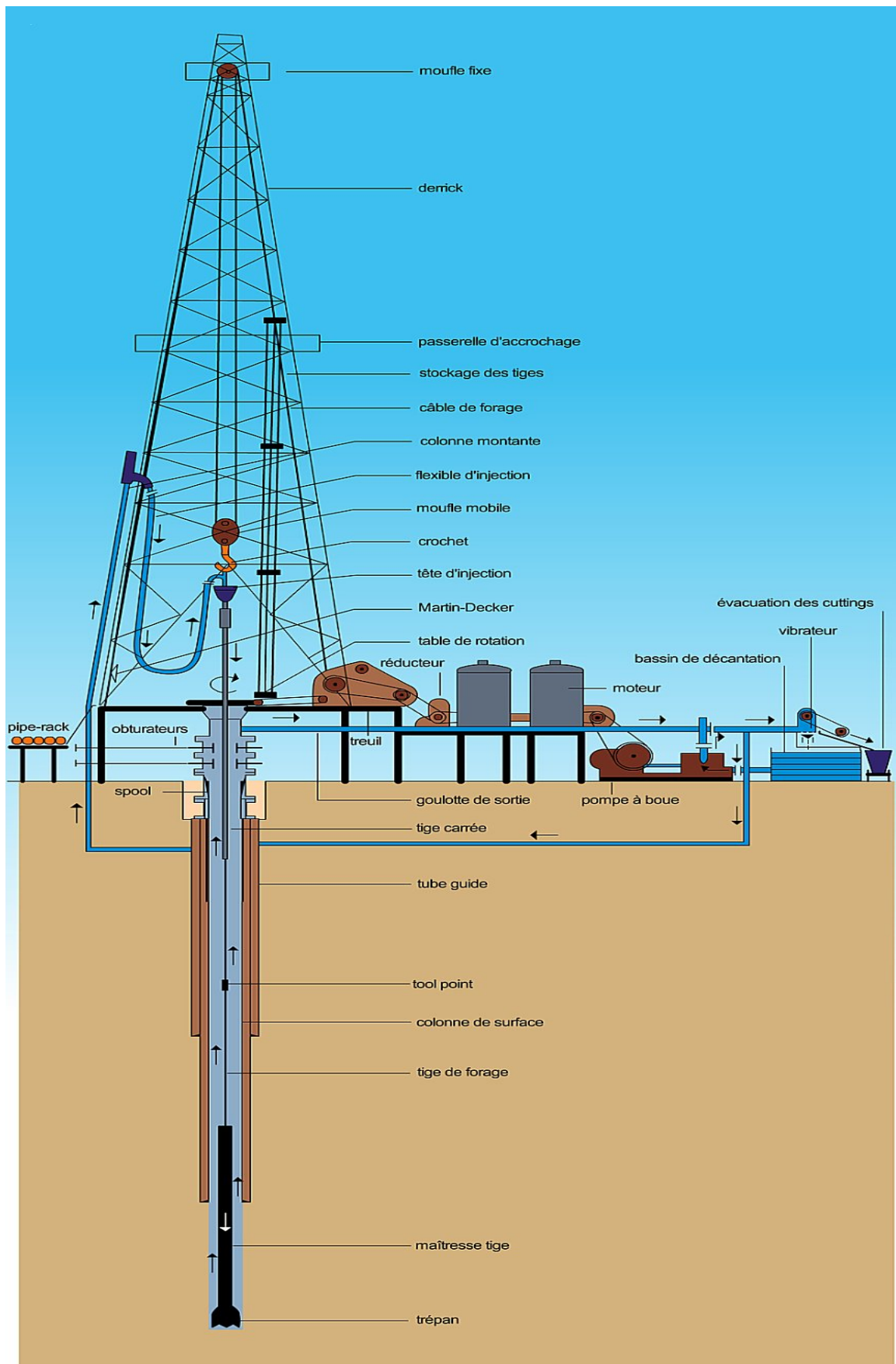


Figure 12 : Un schéma illustratif de l'appareil de forage et de ses pièces.

5.3.1. Les avantages :

Adaptabilité : le forage rotary est polyvalent et peut être utilisé dans une grande variété de formations géologiques, des sols meubles aux roches dures.

Profondeur de forage : cette méthode permet d'atteindre de grandes profondeurs, ce qui en fait une option appropriée pour les puits plus profonds, tels que les puits géothermiques ou pétroliers.

Contrôle des débris : l'eau ou une boue de forage est utilisée pour éliminer les débris de forage, permettant ainsi de contrôler leur évacuation et de faciliter le processus de forage.

Contrôle de la rectitude : le forage rotary offre un bon contrôle de la rectitude du trou, ce qui est essentiel pour de nombreux types de puits. [10]

5.3.2. Les inconvénients :

Cout : le forage rotary peut être plus coûteux que certaines autres méthodes de forage en raison de la nécessité d'équipements spécifiques et boue de forage.

Temps : le forage rotary peut prendre plus de temps pour atteindre certaines profondeurs par rapport à d'autres techniques de forage plus spécialisées. [10]

6. Boue de forage :

6.1. Définir la boue de forage :

Le fluide de forage est un mélange complexe de matières constitué d'une phase liquide et/ou gazeux contenant en suspension d'autres additifs minéraux ou organiques (polymères, argiles) d'où les proportions sont ajustées selon la géologie du sous-sol.

La formulation des fluides de forage est fonction de certains facteurs comme type de la formation, la température, la pression, la qualité de l'eau en compte les considérations écologiques et environnementales. [9]



Figure 13 : boue de forage

6.2. Les paramètres :

- **Viscosité :** une viscosité élevée provoque des difficultés pour le pompage de la boue, alors qu'une boue à viscosité moins élevée perd sa propriété pour consolider les parois. Une boue possédant une viscosité correcte permet : d'avoir un outil bien dégagé, une

bonne remontée des cuttings, réduire les fosses de charge dans le train de sonde et le dépôt plus rapide des cuttings dans les fosses de décantation. [9]

- **Densité** : une boue densité favorise l'ascension des cuttings et permet l'équilibre des pressions hydrostatiques. Pour une boue à densité élevée, il ya risque de détachement des parois (de la boue), et de retombée dans le trou de forage provoquant le coincement de l'outil.
- **Filtrat** : c'est la phase liquide du fluide de forage qui (pénètre) dans la formation rocheuse. [1]
- **Cake** : c'est la propriété de laisser déposer une couche d'argile sur la paroi. Il joue le rôle inverse de filtrat.
le cake ne se forme pas sur une paroi non perméable. La pénétration importante de filtrat, dans certains terrains, peut accélérer un phénomène de délitage entraînant des éboulements ou des gonflements. [9]
- **Thixotropie** : c'est la propriété d'une boue de passer d'une consistance rigide à un aspect fluide sous l'effet de brassage (agitations).
- **Yield value** : c'est la tension limite de cisaillement au dessus de la quelle le fluide ne s'écoule pas.
- **Teneur en sable** : provenant du terrain de forage, le sable est dangereux par son action abrasive dans tout le circuit ou il circule (spécialement pour les pompes à boue), et il alourdit la densité de la boue. On recommande de ne pas dépasser une teneur maximale de 5%. [9]
- **Ph** : le ph permet d'indiquer l'acidité ou l'alcalinité de la boue, une boue dont le ph + 7 provoque un risque de floculation, alors qu'une boue dont le ph – 10 indique sa contamination par le ciment ou par l'eau de l'aquifère. [9]

Le fluide est testé périodiquement dans le laboratoire sur place afin de garantir qu'elle reste conforme aux spécifications requises.

Tableau 4 : Normes de contrôle et de mesure (boue)

Standard	Importance technique	Quel de mesure
Densité	Contrôle de la pression hydrostatique et prévention des explosions	Boue échelle(d'argile équilibrer)
Viscosité	S'assurer de la capacité du liquide à transporter des fragments de roche	(entonnoir des marais)

Filtration	Mesure de la quantité de liquide perdue entre les couches	Dispositif de pression de (filtre presse)
ph	Maintenir l'efficacité des additifs chimiques la corrosion	Appareil ph-mètre

6.3. avantages de la boue de forage :

6.3.1. Stabilité du puits (stabilité du trou) :

La pression hydrostatique exercée par la colonne de boue de forage s'oppose aux pressions de formation, empêchant ainsi l'effondrement des parois du puits. C'est crucial dans les formations géologiques non consolidées ou fragiles . [10]

6.3.2. Évacuation des déblais (cuttings) :

La vitesse élevée de boue lorsqu'elle sort des buses de l'outil de forage soulève efficacement les fragments de roche (déblais) du fond du puits et les transporte vers la surface. Cela permet de garder l'outil de forage propre et d'assurer une pénétration continue.

6.3.3. Refroidissement et lubrification du puits :

Le processus de forage génère une chaleur immense et des frictions dans le puits. La boue en circulation refroidit et lubrifie le trou ainsi que la garniture de forage, prolongeant considérablement leur durée de vie opérationnelle et évitant les dommages. [10]

6.3.4. Formation du "cake " (gâteau de filtration) :

La boue dépose une fine couche de faible perméabilité appelée " filter cake " (gâteau de filtration) sur les parois du puits. Ceci réduit la perte de fluide (filtrat) de la garniture de forage vers la formation environnante, ce qui protège les zones perméables et préserve les propriétés de la boue [10]

6.4. Les inconvénients de la boue de forage :

6.4.1. Impact environnemental :

C'est la le principal inconvénient. Les boues à base d'hydrocarbures et certains liquides synthétiques peuvent être extrêmement toxiques. Les rejets accidentels peuvent

contaminer les sols et les eaux souterraines. Une réglementation stricte et des procédures de gestion des déchets sont donc indispensables.

6.4.2. Coûts et logistique :

Ce système est complexe et coûteux, nécessitant d'importants équipements de surface tels que des machines de forage à boue, des pompes, des moteurs vibrants, un système de dégazage et un approvisionnement continu en boue. Le maintien de la boue peut s'avérer très onéreux. [10]

6.4.3. Dommages aux formations :

Dans certains cas, la boue de forage peut s'infiltrer et endommager la roche réservoir qu'elle cherche à évaluer. Les fines particules ou les réactions chimiques avec la formation peuvent réduire la transparence autour du puits, compromettant potentiellement la production future de pétrole ou d'eau. [10]

6.4.4. Gestion et élimination des déchets :

Les importantes quantités de boue de forage utilisées et les déblais contaminés générés nécessitent un traitement approprié. Celui-ci implique souvent leur transport vers des installations spécialisées ou leur injection dans des puits d'injection profonds, ce qui augmente les coûts d'exploitation et l'impact environnemental. [10]

6.5. Rôles principaux de la boue de forage :

- Nettoyage du puits
- Stabilisation des parois
- Refroidissement et lubrification
- Maintien des déblais en suspension
- Formation d'un "cake" (mud cake)
- Transmission de la puissance hydraulique

6.6. Les objectifs principaux de contrôle des boues de forage :

- Évacuation des déblais
- Refroidissement et lubrification
- Stabilisation des parois
- Contrôle des pressions de formation
- Formation de cake

- Suspension des déblais
- Information géologique

7. Diagrapheins :

Définition :

On appelle diagraphie (well log) du grec dia ^à travers et graphein (dessiner), tout enregistrement en continu en fonction de la profondeur, d'une caractéristique physique donnée des formations traversées par le sondage. [10]

La courbe enregistrée est appelée « log » les diagraphies peuvent être subdivisées en diagraphies différées, diagraphies instantanées et en diagraphies auxiliaires ou accessoires.

8. Gamma ray :

C'est un enregistrement de radioactivité gamma naturelle des formations. Les seuls éléments radiocatifs ayant une concentration notable dans les matériaux naturels sont le potassium, l'uranium et le thorium. [10]

Pour les formations sédimentaires on enregistre une radioactivité importante dans :
les formations argileuses qui renferment du potassium (illite spécialement) ;

- les sels de potassium.
- les formations riches en matière organique peuvent concentrer l'uranium.
- les formations détritiques contenant des feldspaths (potassium) ou enrichies en minéraux lourds.

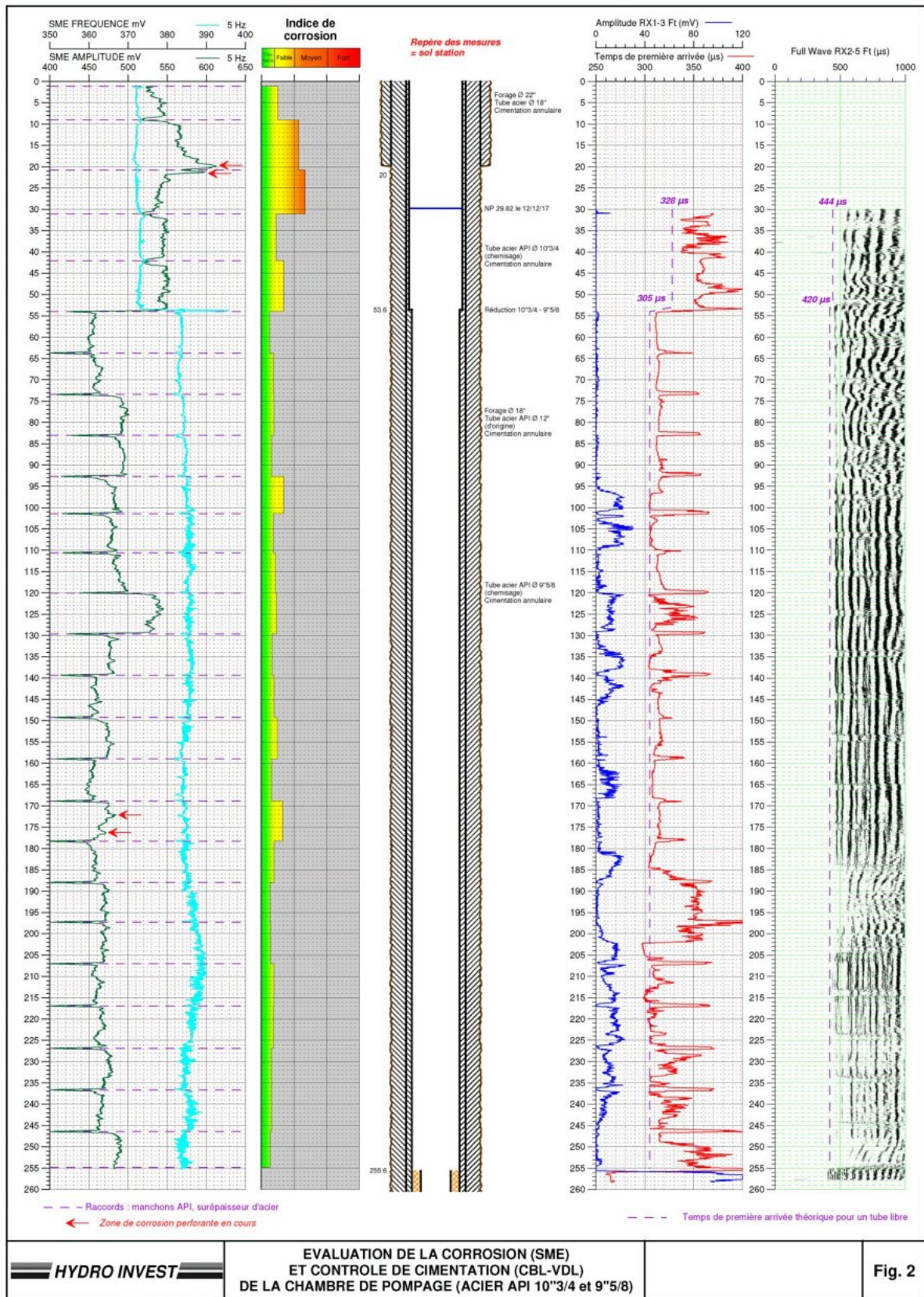


Figure 14 :Évaluation de la qualité de la corrosion et de la cimentation d'un puits d'eau
(dossier CBL - VDL)

9. Mesure du diamètre (caliper) :

Le diamètre d'un trou de forage est en principe légèrement supérieur à celui du trépan. En fait, il varie avec la cohésion des roches traversées, leur porosité, leur texture, leur structure et la diagenèse qu'elles ont subie. Au droit des roches poreuses et perméables, on observe un rétrécissement léger du diamètre du au dépôt d'une couche constituée par les éléments solides de la boue, qui ne peuvent pas pénétrer dans les pores des roches (le terme américain est mud-cake, ce qui se traduit littéralement par ^^ gateau de boue ^^). Les graviers et sables non consolidés peuvent s'ébouler, les argiles et les roches fracturées s'effriter, occasionnant de fortes augmentations de diamètre du trou et souvent son ovalisation. En revanche, des argiles gonflantes ou sous _ compactées réduisent le diamètre du trou et peuvent même bloquer le trépan ou la sonde diagaphique [10]

le principe de la mesure repose sur l'ouverture de trois bars en fond de forage avec une acquisition des données à la remontée. La sonde mesure en continu l'ouverture de chaque bars et détermine ainsi un diamètre.



Figure 15 : le caliper (diamètreur), source:log hydro

10. Résistivité :

La diagrapie de résistivité mesure la résistance électrique des formations rocheuses traversées par un forage pour identifier la lithologie, la porosité et la saturation en fluides (eau vs hydrocarbures). Des électrodes (normales) ou des outils d'induction injectent un courant, PERMETTANT DE DISTINGUER LES Zones perméables et d'évaluer la qualité du réservoir. [10]

11. Principe du CBL (cement bond log) :

Elle permet d'étudier et de quantifier la qualité de la cimentation par la mesure d'adhérence entre tubage et ciment, un train d'onde de fréquence variant entre 15 et 30 KHz selon les appareillages, est périodiquement généré par un émetteur.

Cette onde traverse la boue, passe dans le tubage, le ciment et la formation si ces divers milieux sont couplés acoustiquement, puis est détectée par un récepteur qui se trouve sur le corps de l'outil (généralement à 3 pieds de l'émetteur) .

L'énergie acoustique voyageant le long d'un tube se propage plus rapidement que les ondes de formation elles-mêmes plus rapides que les ondes de boue.

12. Principe du VDL (variable density log) :

L'étude de la qualité de la cimentation peut être faussée par un certain nombre de phénomènes. Il s'est avéré utile d'enregistrer l'ensemble du train d'ondes sonores reçues par un récepteur situé généralement à 5 pieds de l'émetteur. Enregistré en complément du CBL, le VDL permet de définir l'adhérence ciment formation.

La présentation de cet enregistrement est :

sous forme du train d'onde complet ou de sa partie positive uniquement (" Wave forme " , "signature curve") : la lecture est difficile.

En densité variable (VDL), seules les arches positives étant reproduites en une échelle de gris d'autant plus foncées que l'amplitude est plus grande.

Cette présentation permet de contrôler la présence des ondes de formation et leurs variations en fonction de la profondeur, ainsi que l'amplitude des ondes de tubage. [10]

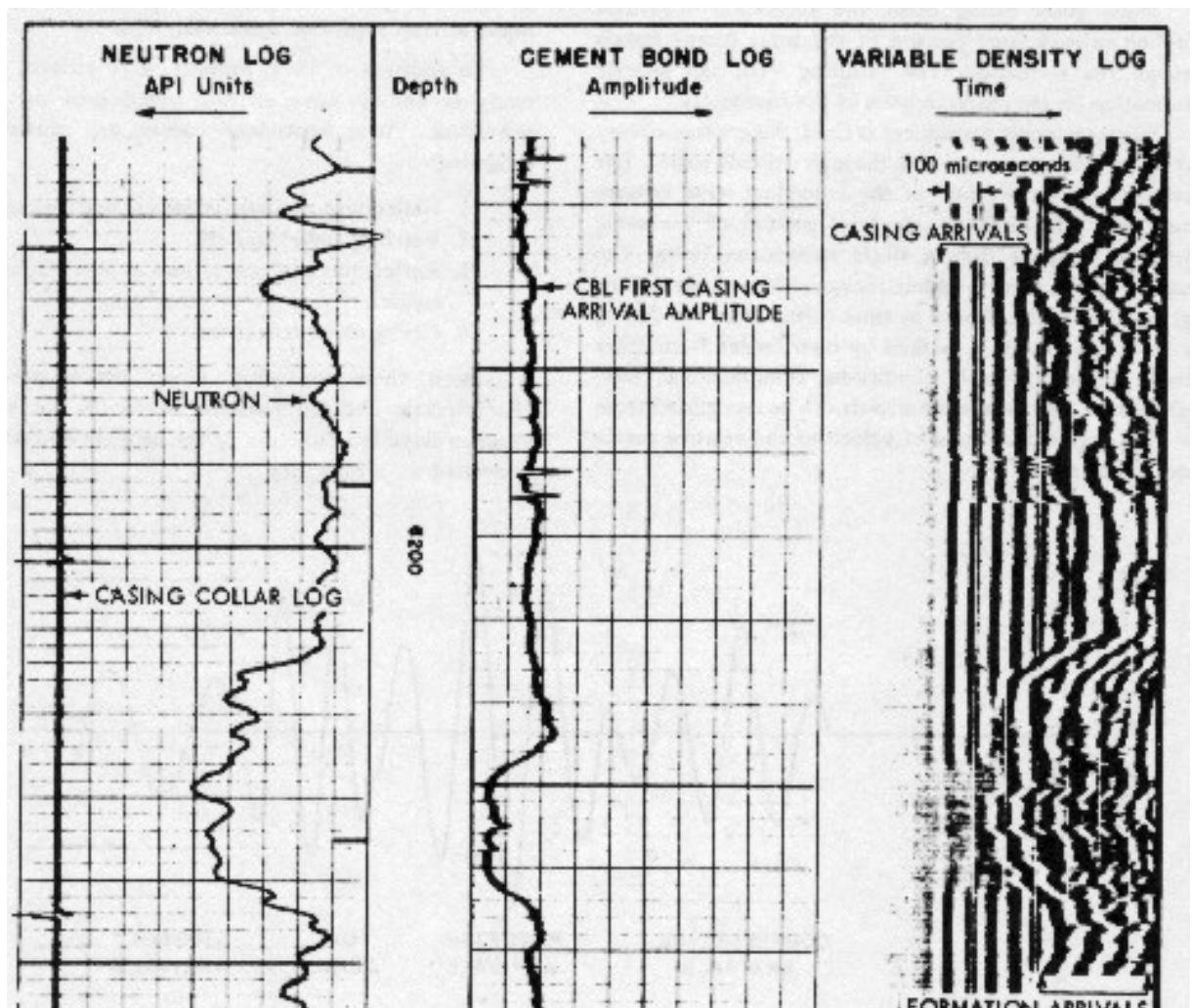


Figure 16 : cement integrity logs- CBL/VDL

13.Conclusion :

Le forage constitue la méthode d'approche directe des caractéristiques d'un gisement que ce soit pour l'acquisition de données, ou il s'agit alors de parfaire la connaissance d'un site ou que ce soit pour l'exploitation d'un niveau identifié, quand il s'agit de préciser des conditions de production.

Chapter IV

Cimentation

1. Introduction :

La cimentation d'un tubage dans un forage est une opération capital pour la préservation de la qualité des eaux souterraines et la durée de vie de l'ouvrage. C'est une opération importante lors de la réalisation d'un ouvrage de captage des eaux.

La réussite du forage et sa longévité dépendront d'un grande partie de cette opération.

Qu'il s'agisse donc d'isoler diverses formation géologiques ou tout simplement de protéger la tête de forage contre les éventuelles pollutions provenant de la surface, il faut procéder à une opération de cimentation de l'espace annulaire sur la profondeur de puits.

Dans ce chapitre, nous définirons tout ce qui concene l'opération de cimentation et suivrons ses différentes étapes. [1]

2. La cimentation :

La cimentation consiste à injecter dans le trou un laitier de ciment (mélange ciment +eau), soit pour cimenter une colonne de tubage (casing), soit pour mettre en place un bouchon de ciment dans le but de colmater une perte. [9]

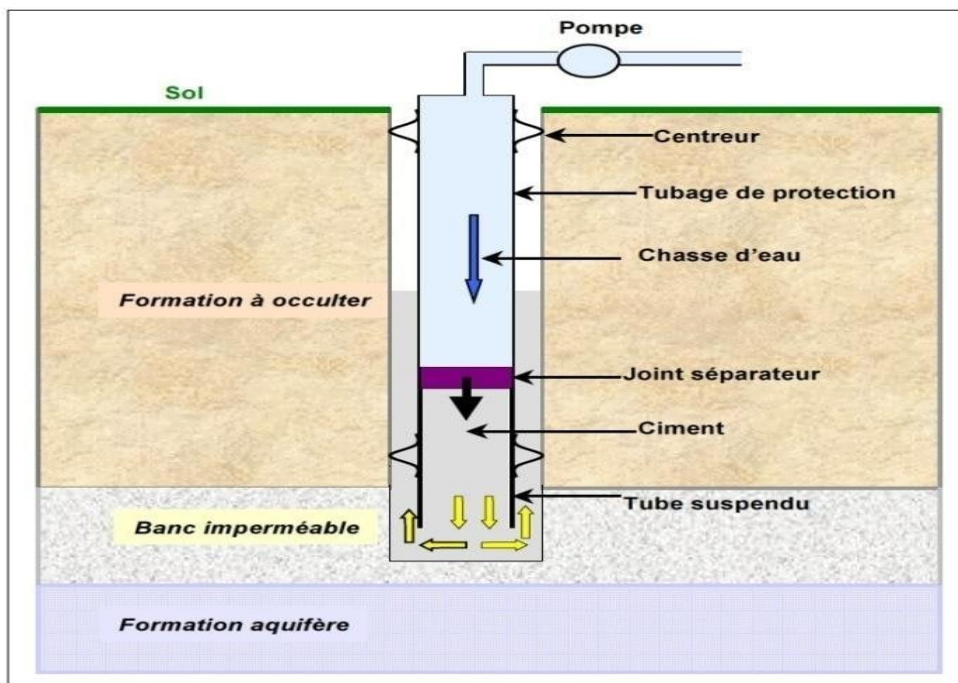


Figure. 17 :Exemple d'un colonne de tubage cimenter.

2.1. Conception du laitier (slurry) :

- **Densité** : Agustée (souvent avec des additifs) pour équilibrer la pression de formation.
- **Rhéologie** : viscosité et seuil d'écoulement pour assurer le déplacement efficace de la boue de forage. [9]
- **Temps de prise (épaississement)** : temps disponible pour pomper le ciment avant qu'il ne durcisse.
- **Filtrt** : volume d'eau perdu vers la formation, à contrôle pour éviter une prise prématurée.
- **Résistance à la compression** : vitesse de développement de la solidité. [9]

2.2. paramètres opérationnels (pompage) :

- **débit de pompage** : doit être suffisant pour créer un régime turbulent ou laminaire efficace pour enlever la boue.
- **pression de cimentation** : surveillée pour ne pas fracturer la formation.
- **volumes de pré-flush/laiter** : surveillée pour remplir l'espace annulaire prévu.
- **centrage du tubage** : un bon centrage évite les chenaux de boue (mauvaise cimentation). [9]

3. Techniques de cimentation :

- **cimentation primaire** : Réalisée juste après le forage pour l'isolation de base.
- **cimentation à double étage (DV)** : Utilisée pour de grandes hauteurs d'annulaire ou des formations fragiles.

4. Avantages de la cimentation :

- **Durabilité et longévité** : le ciment est une structure durable qui résiste à l'usure, à l'eau, à l'humidité, et aux conditions environnementales difficiles sur le long terme.
- **Résistance mécanique élevée** : Elle offre une forte résistance, cruciale pour les sondations, les infrastructures, et le maintien de l'intégrité des puits de forage.
- **Isolation et étanchéité** : Elle crée un joint hydraulique étanche, isolant différentes formations géologiques, empêchant la contamination des aquifères, et bloquant la migration des fluides. [9]
- **Renforcement du tubage** : Dans les forages, elle fixe le tubage (casing) contre les parois, supportant le poids des équipements et renforçant les zones instables.
- **Rapidité de prise** : Le ciment permet des travaux rapides, avec des temps de prise souvent accélérables, facilitant la progression rapide du chantier ou du forage. [9]

6. Inconvénients de la cimentation :

- **Santé et sécurité** : le ciment frais est irritant et peut causer des brûlures, un dessèchement de la peau, et de l'eczéma allergique (dermite de contact) en raison de ses composants. [9]
- **Complexité opérationnelle** : La cimentation de puits est une opération complexe qui nécessite une expertise, un matériel spécialisé, et comporte des risques techniques lors de la descente du ciment.
- **Coûts variable** : Bien qu'optimisable, le processus de cimentation peut entraîner des fuites de fluides, posant des risques pour l'environnement, notamment la contamination des nappes phréatiques.
- **Risques environnementaux** : Des défaillances de cimentation peuvent entraîner des fuites de fluides, posant des risques pour l'environnement, notamment la contamination des nappes phréatiques. [9]

7. Importance de cimentation :

- Stabilité et soutien du forage.
- Isolation des zones.
- protection des tubage.
- contrôle de la production.
- Sécurité et environnement.

8. Les rôles de cimentation :

- Isolation des zones (étanchéité).
- Soutien et fixation du tubage.
- Protection contre la corrosion.
- Contrôle de pression.
- Blocage des pertes de circulation.
- Abandon de puits.

9. Objectifs de la cimentation :

- Isoler formations productives.
- Protéger les niveaux aquifères de la pollution.
- éviter l'éboulement du trou, supporter la paroi du trou.

- Ancrer et suspendre les tubages.
- Permettre la mise en tension des tubage.
- Faire un isolation thermique.
- Prévenir le dévissage des tubes pendant le forage.
- Canaliser en surface les fluides exploités.
- fermer les couches à haute pression pour éliminer les risques d'éruption.

10. Les 4 étapes de cimentation :

10.1. Préparation du puits de forage :

Avant la cimentation, le puits est préparé en le nettoyant et en assurant la stabilité des parois. Cela inclut souvent la circulation de la boue de forage pour éliminer les débris et conditionner le trou, ainsi que la descente de la colonne de tubage. [9]

10.2. Conception et préparation du coulis de ciment :

Un laitier de ciment (mélange de ciment sec, d'eau et d'additifs) est conçu pour répondre aux spécificités du puits (température, pression, profondeur).il est ensuite préparé en surface. [9]

10.3. Pompage de la boue de ciment :

Le ciment est pompé à l'intérieur du tubage, suivi d'un fluide de chasse pour le pousser vers l'espace annulaire (entre le tubage et la formation géologique). Des bouchons de cimentation (inférieur et supérieur) sont souvent utilisés pour séparer le ciment de la boue et éviter la contamination.

10.4. controle de la cimentation (ou prise du ciment) :

Après l'injection, le ciment est laissé à durcir (prise). Enfin, des tests sont effectués (comme des diagrphties) pour vérifier la qualité de la cimentation,sa hauteur dans l'annulaire et son étanchéité. [9]

11. Déroulement des travaux de forage :

11.1. Etude et préparation (étapes préliminaires) :

- **étude hydrogéologique :** Analyse du terrain pour localiser la nappe et définir la profondeur.

- **Implantation et aménagement** : Marquage du point de forage, nivellement du terrain, et installation de la foreuse.
- **Gestion des boues** : Création de fosses pour la circulation des fluides de forage (pour refroidir l'outil et remonter les débris). [10]

11.2. La foration (le forage proprement dit) :

- **Forage** : Utilisation de la technique adaptée (rotary, marteau fond de trou) pour creuser.
- **Ajout de tiges** : Rallongement du train de tiges au fur et à mesure de la descente.
- **Echantillonnage** : Analyse des sédiments (cuttings) pour identifier les couches géologiques

11.3. L'équipement du puits (complétion) :

- **Tubage** : Mise en place de tubes en PVC (ou acier) pour éviter l'effondrement des parois.
- **Crépinage** : Insertion de tubes perforés (crépines) au niveau de l'aquifère pour laisser l'eau.
- **Gravillonnage** : Mise en place de gravier calibré entre le tube et la paroi pour filtrer l'eau.
- **Cimentation** : Scellement de la partie supérieure pour éviter les pollutions de surface.

11.4. Finition et mise en service :

- **Développement** : Nettoyage du forage par pompage intensif ou air-lift pour enlever les boues et améliorer le rendement.
- **Essais de débit** : Pompage de longue durée pour déterminer le débit maximal et le niveau de la nappe.
- **Installation de pompe** : Mise en place de la pompe immergée et raccordement hydraulique.

12. Définition GESFOR :

GesFor est un progiciel spécialisé destiné aux ingénieurs hydrogéologues, géologues et professionnels du forage. Il est développé et maintenu par le Bureau français de recherches géologiques et minières (BRGM) et est mis gratuitement à la disposition des acteurs du secteur pour les aider à gérer les données et la documentation technique des opérations de forage. [1]

12.1. Utilisations et fonctionnalités du programme GesFor :

La connexion à GesFor commence par l'affichage d'un message de bienvenue, diverses options s'affichent en fonction de la tâche que vous effectuez. [11]

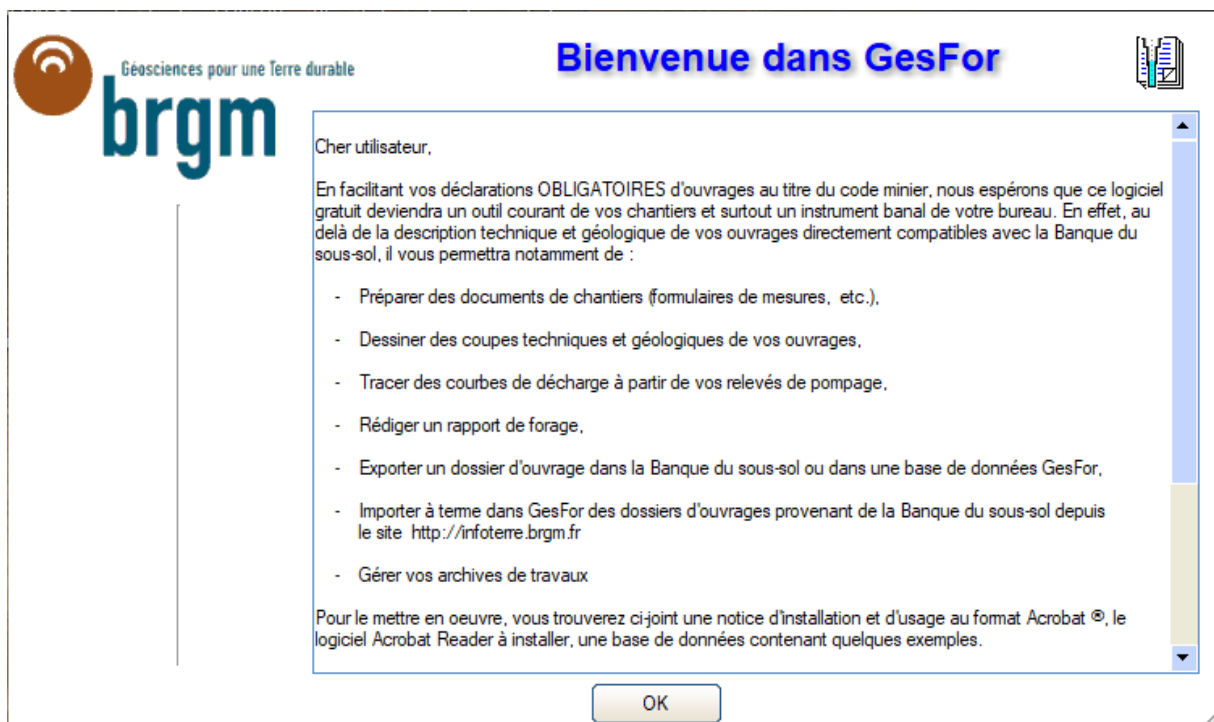


Figure 18 : Message de bienvenue

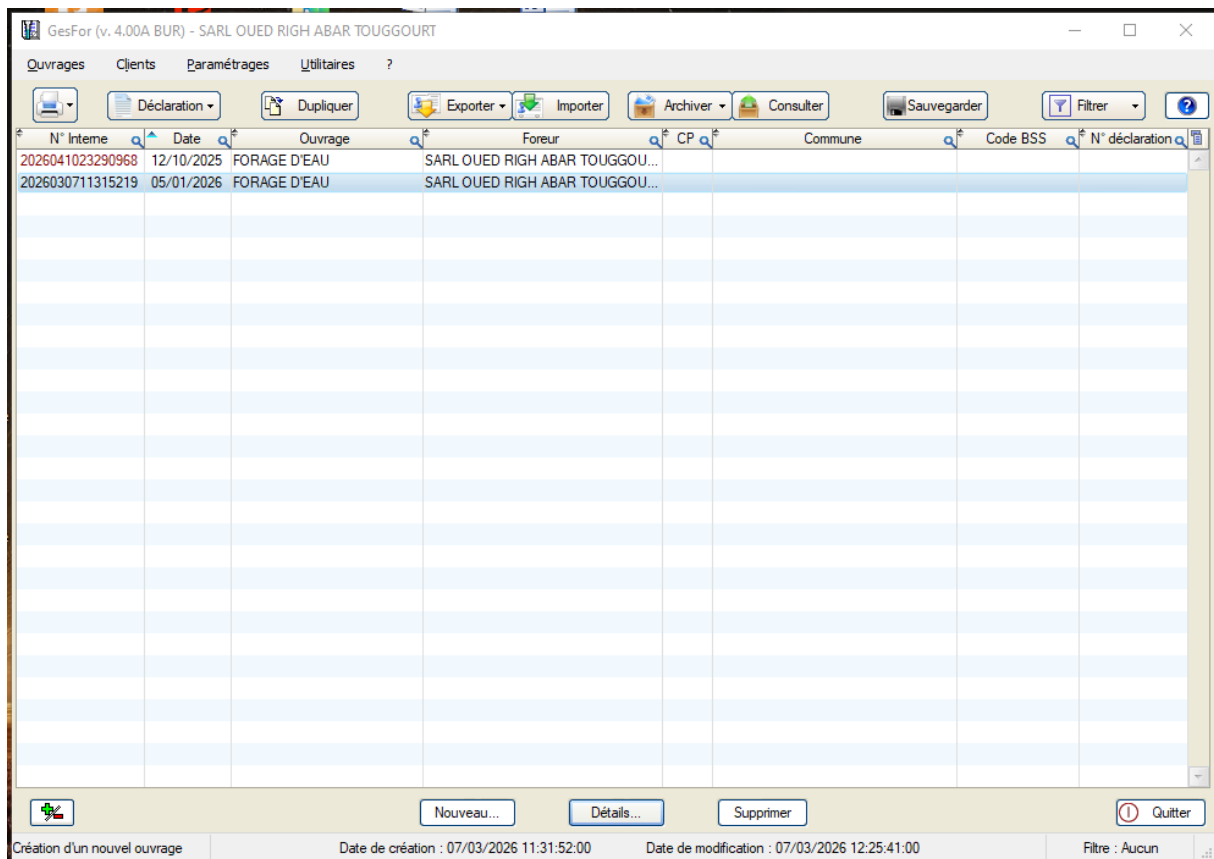


Figure 19 : Liste de sélection et de tri des ouvrages de la base de données GesFor.

Le programme est principalement utilisé pour numériser et organiser les données de terrain résultant des opérations de forage de puits, et ses tâches les plus importantes sont:

Préparer les documents de chantier : tels que les fiches de mesures et les listes de contrôle pour l'atelier. [11]

Dessin de coupes techniques et géologiques pour puits : permet de convertir les données descriptives des couches de sol en diagrammes verticaux (coupes lithologiques et techniques) qui montrent les couches de sol, les profondeurs et la conception du tubage et des écrans.

Analyse des données expérimentales de pompage : tracé des courbes de débit et de rabattement issues des essais de pompage.

Emission des rapports de forage : rédaction des rapports techniques finaux et organisés à soumettre aux autorités tutélaires.

Gestion des archives et export des données : Enregistrez les fichiers de puits et exportez-les dans des formats compatibles avec la Base Nationale de Stratigraphie du Subsurface (BSS) de France ou d'autres bases de données. [11]

12.2. Comment utiliser le programme (étapes générales) :

Le travail sur le programme dépend d'une séquence logique qui commence depuis la collecte des données sur le terrain jusqu'à l'extraction du graphique final:

Premièrement : saisissez les données générales du projet (Données du projet)

Lorsque vous ouvrez le programme, un nouveau fichier est créé pour le tracteur ou le puits à documenter.

Les coordonnées géographiques du puits (X, Y, Z), le nom de la région, le nom du maître d'ouvrage, ainsi que les dates de début et de fin des travaux sont renseignés. [11]

Fiche d'un ouvrage

Numéro interne : 2026041023290968 N° Déclaration : Code National BSS : N° Pol. eau :

Identification

Foreur : SARL OUED RIGH ABAR TOUGGOURT

Maître d'ouvrage : DIRECTION HYDRAULIQUE WILAYA TOUGGOURT

Maître d'oeuvre : ANRH - EPIC UNITE TERRITORIAL TOUGGOURT

Exploitant : SARL OUED RIGH ABAR - TRAKA SALAH

Ouvrage : FORAGE D'EAU

Objet de la recherche : EAU Vocation de l'ouvrage : FORAGE Mode d'exécution de l'ouvrage : ROTATION

Localisation

Lieu dit : SARL Oued Righ Abar - TRAKA Salah - Wilaya de Touggourt

Code postal : Commune :

Coordonnées de l'ouvrage

Système : Géographique WGS84 (ddd°mm'ss") Longitude (X) : 006° 04' 24,3'' E Latitude (Y) : 033° 11' 47,22'' N Altitude au sol : 62,000 m

Nombre de forages : 1 Si plusieurs forages identiques sont effectués pour l'ouvrage (par ex : géothermie), indiquez leur nombre.

Travaux

Date début : 12/10/2025 Date fin : 21/12/2025 Machine :

Resp. ouvrage : ANRH - EPIC TOUGGOUR Resp. oeuvre : SARLOUED RIGH ABAR Resp. chantier : ANRH - EPIC TOUGGO

Pompage/Hydrogéologie

Date début : Date fin : Niveau statique non perturbé : 37,80 m

Nombre de nappes identifiées : 1 Débit maximum d'essai : 118,83 m3/h

Rabattement correspondant : 34,70 m

Notes :

OK Annuler

Figure 20. Fenêtre de description d'un nouvel ouvrage.

Deuxième : entrée lithologique

Le tableau des couches géologiques est renseigné à partir des échantillons de forage extraits (Coupes ou Carottages). [11]

Fiche d'un ouvrage

Ouvrage

Tronçons

Coupe

Pompages

Rabatement

Courbe/Test

Diagraphies

Courbe Dia.

Carte

LITHOLOGIE

De	A	Libellé
0,00	60,00	Argile
60,00	85,00	Sable grossier à moyen
85,00	128,00	Sable fin à moyen rouge brique
128,00	131,00	Sable fin rouge
131,00	141,00	Sable grossier à moyen
141,00	164,00	Calcaire
164,00	166,00	Mame
166,00	170,00	Calcaire

FORAGE

De	A	Ø "	Ø mm	Mode de forage
0,00	10,00	24"	610,00	ROTARY
10,00	132,00	17"1/2	444,00	ROTARY
132,00	170,00	12"1/4	311,00	ROTARY

ARRIVÉE D'EAU

Profondeur	Débit
------------	-------

TUBAGE

De	A	Ø ext ""	Ø ext mm	Nature	Type	Slot
0,00	10,00	19"5/8	500,00	ACIER-API	TUBE-PLEIN	
0,00	132,00	13"3/8	340,00	ACIER-API	TUBE-PLEIN	
122,50	132,00	8"5/8	219,00	INOX-AISI-304	TUBE-PLEIN	
132,00	164,00	8"5/8	219,00	INOX-AISI-304	CREPINE FIL-ENROULE	
164,00	170,00	8"5/8	219,00	INOX-AISI-304	TUBE-PLEIN	

REMPLEISSAGE

De	A	Ø "	Ø mm	Matériau
0,00	10,00	19"5/8	500,00	CIMENT
0,00	132,00	13"3/8	340,00	CIMENT
122,50	170,00	8"5/8	219,00	GRAVIER

ACCESSOIRES

De	A	Accessoire
----	---	------------

Troisième : Conception technique du puits (Logging technique)

Élaboration d'un plan de tuyauterie : détermination des profondeurs des caissons borgnes et des emplacements des tamis correspondant aux couches productrices d'eau.

45

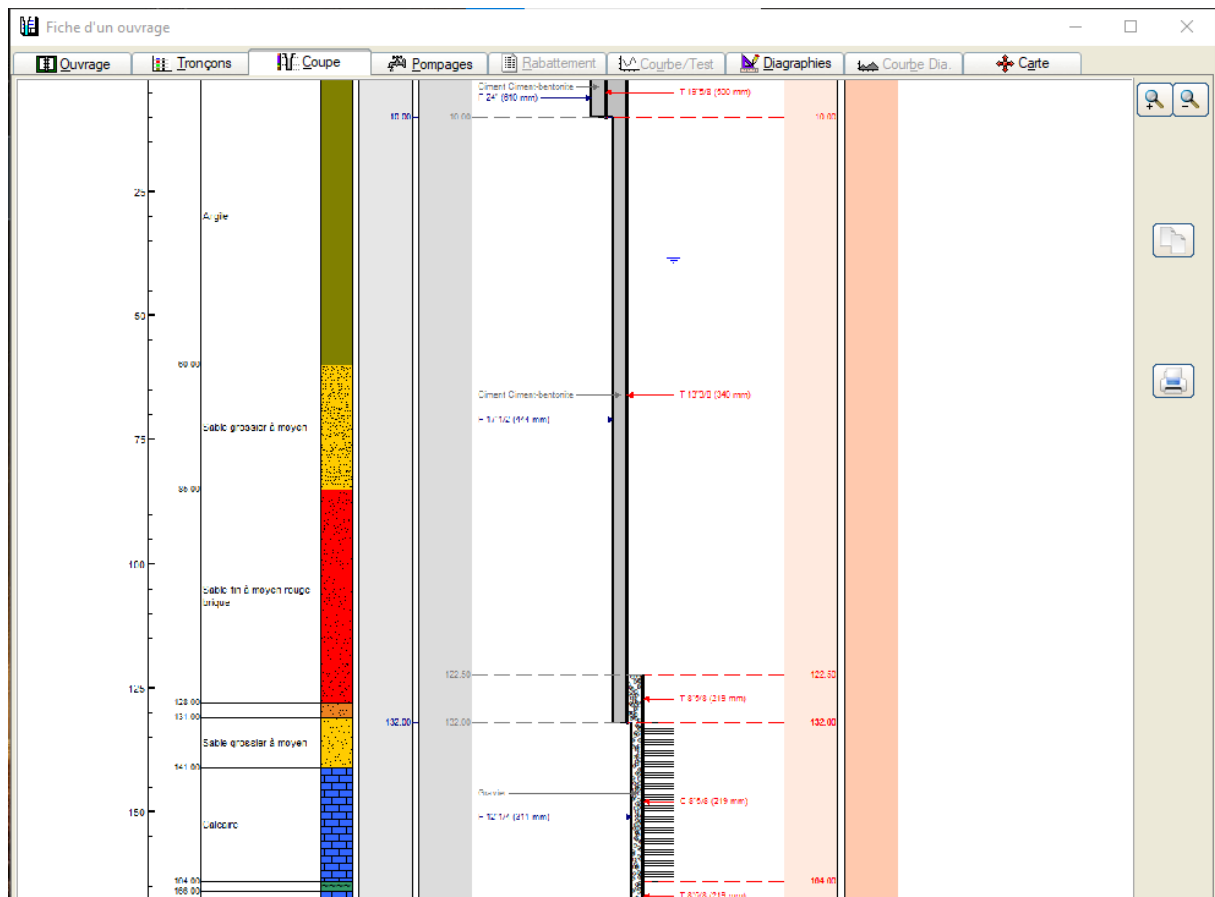


Figure 22 : Coupes lithologique, technique et d'équipement de GesFor.

Quatrième : Saisie des données hydrologiques et de pompage (Données hydrologiques)

Enregistrement du niveau d'eau statique avant de pomper.

Saisie des programmes de pompage d'essai (débits, durée et niveau d'eau dynamique) pour que le programme traite et dessine des courbes de productivité. [11]

Cinquième : Extraction et impression (Sortie)

Après avoir examiné et vérifié les données, nous passons à l'interface d'affichage graphique et au formatage des pages.

Exportez le schéma technique final (Borehole Diagram) soit sous forme de fichier PDF prêt à imprimer, soit exportez les données au format numérique pour les partager avec les organismes concernés par le domaine de l'eau et de la géologie. [11]

Note technique importante :

Les développeurs du programme (BRGM) ont récemment indiqué que le programme GesFor ne bénéficie plus de mises à jour ni de support technique continu, certaines régions s'orientant progressivement vers de nouvelles plateformes numériques comme le portail DUPLOS et l'outil DiaLog d'annonce et de gestion des opérations de forage, mais le programme GesFor reste disponible pour un usage individuel et institutionnel pour la gestion des archives et le dessinClips techniques. [11]

Chapitre V

Suivi de la réalisation du forage Megarine

1. Introduction :

Le projet de forage du puits Megarine dans l'État de Touggourt vise à fournir une ressource en eau permanente destinée à l'irrigation agricole, dans le cadre du soutien à l'activité agricole de la région et de l'amélioration de l'exploitation des ressources en eaux souterraines.

Le projet a été supervisé par la Direction de l'Irrigation de l'Etat de Touggourt en coopération avec l'Agence Nationale des Ressources en Eau (ANRH), et a été réalisé par une société spécialisée dans le forage de puits d'eau. [1]

2. Description des travaux de la réalisation de forage :

- Installation du chantier, confection plate forme, bassins et rigoles.
 - Elargissement et alésage en Ø 24''(610) mm de la cote (0 à 10) m.
 - Mise en place colonne de Tube Guide en Acier Ø19''5/8 (500) mm de la cote (0 à 10) m.
 - Cimentation de l'espace annulaire par ciment HTS entre le trou forage Ø 24''(610) mm et le Tube Guide Ø19''5/8 (500) mm de la cote 10 ml jusqu'au surface du sol.
 - Attente prise de 48 heures.
 - Forage en Ø 17''1/4 (311) mm de la cote (10 à 132) m.
 - Mise en place de la colonne de production API Ø 13''3/8 (340)mm de la cote 132mljusqu'au surface du sol soit 132 ml.
 - Cimentation de l'espace annulaire par ciment HTS entre le trou forage Ø 17''1/2 (444) mm et la colonne de production Ø13''3/8 (340) mm de la cote 132 ml jusqu'au surface du sol.
 - Attente prise de 48 heures.
 - Forage en Ø 12''1/4 (311) mm de la cote (132 à 170) m.
 - Mise en place colonne de captage Inox Ø 8''5/8 (219) mm de la cote (122.5 à 170 m
- Le programme effectué du **bas** en **haut** est composée des tubes suivants :
- de la cote (170 à 164) m (1) Tube plein sabot Inox Ø 8''5/8 (219)mm est de 6ml
 - de la cote (164 à 132) m (5) Tubes crépines Johnson Inox Ø 8''5/8 (219)mm de 32ml
 - de la cote (132 à 122.5) m (1) Tube plein Inox réserve Ø 8''5/8 (219)mm est de 9.50ml
 - Gravillonnage de l'espace annulaire entre le trou forage Ø 12''1/4 (311) mm et la colonne de captage Inox Ø 8''5/8 (219)mm de la cote (170 à 122.5) m avec volume de gravier soit 2 m³
 - Longueur total de la colonne de captage Inox Ø 8''5/8 (219) mm 47.5 ml

Tableau 5 : Coupe lithologique de forage :

Profondeur en (m)	Description
0 ----- 60	Argile
60 -----85	Sable grossier à moyen
85 -----128	Sable fin à moyen rouge brique
128 -----131	Sable fin rouge
131 ----- 141	Sable grossier à moyen
141 ----- 164	Calcaire
164 ----- 166	Marne
166 ----- 170	Calcaire

3. Cimentation de l'espace annulaire de 02 Phases de forage Megarine wilaya de Tougourt :

3.1. Colonne 1^{ère} phase (tube guide) :

H (profondeurs) = 10m soit : V_1 volume de espace annulaire (S) Trou-casing :

➤ **Espace annulaire (S) : Trou-casing :**

Trou forage Ø 24'' (610) mm —————→ 291.9l/m S=Trou Ø 24'' - Csg Ø 19'' 5/8

Casing API Ø 19'' 5/8 (500) mm (Ø extérieur) → 195.2 l/m S = 291.9 – 195.2 = 96,7 l/m

S = 96.7 l/m

H (Profondeur) = 10 m

V (Volume) = S×H = 96.7 × 10= 967litres =0.96 m³

Volume (laitier de ciment) majoré à 15%

Volume total (laitier de ciment) majoré = (15%V + V) = (0.144 + 0.96) = **1.10 m³**

$V_1 = 1.10 \text{ m}^3$

Nous savons : 1m³ = 1.1Tone = 11 Quintaux = 22 Sacs (50 kg) de ciment HTS, CRS,

Ciment forage de (50 kg)..... Densité 1,8

Donc :

Volume total de (laitier de ciment) = 1.10 m³ = 1.10 × 1.1 Tonne = 1.21 Tonnes.m³

3.2. Colonne 2^{ème} phase (colonne de production) :

H (profondeurs) = 132m soit : V_2 volume de l'espace annulaire de la colonne 2^{ème} phase :

➤ **Espace annulaire (S') : casing-casing :**

$$\left. \begin{array}{l} \text{Casing API } \varnothing 18'' 5/8 \text{ (intérieur)} \longrightarrow 470.8 \text{ l/m} \quad S = \text{Cs g } \varnothing 18'' 5/8 - \text{Cs g } \varnothing 13'' 3/8 \\ \text{Casing API } \varnothing 13'' 3/8 \text{ (extérieur)} \longrightarrow 90,65 \text{ l/m} \quad S = 470,8 - 90,65 = 380.15 \text{ (l/m)} \end{array} \right\}$$

$$S' = 380.15 \text{ (l/m)}$$

$$H'(\text{Profondeur}) = 10 \text{ m}$$

$$V' = S' \times H' = 380.15 \times 10 = 3801.5 \text{ liters} = 3.80 \text{ m}^3$$

$$V' = 3.80 \text{ m}^3$$

➤ **Espace annulaire (S'') : trou-casing :**

$$\text{Trou forage } \varnothing 17'' 1/2 \longrightarrow 155.2 \text{ l/m} \quad S = \varnothing 17'' 1/2 \text{ Trou} - \varnothing 13'' 3/8 \text{ Csg}$$

$$\text{Casing API } \varnothing 13'' 3/8 \text{ (extérieur)} \longrightarrow 90,65 \text{ l/m} \quad S = 155.2 - 90.60 = 64.55 \text{ l/m}$$

$$\text{Profondeur : } H'' = (\text{de } 10 \text{ à } 132) \text{ m} = 122 \text{ m}$$

$$H'' (\text{Profondeur}) = 122 \text{ m}$$

$$S'' = 64.55 \text{ l/m}$$

$$V'' (\text{Volume}) = S'' \times H'' = 64.55 \times 122 = 7875.1 \text{ litre} = 7.87 \text{ m}^3$$

Volume (laitier de ciment) majoré à 18% :

$$\text{Volume total majoré} = (18\% V'' + V'') = (1.41 + 7.87) \text{ m}^3 = 9.28 \text{ m}^3$$

$$V'' = 9.28 \text{ m}^3$$

$$V_2 (\text{Total}) = V' + V'' = (3.80 + 9.28) \text{ m}^3 = 13.08 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 43.48 \text{ m}^3$$

$$\text{Soit } V_2 (\text{Total de laitier de ciment}) = 13.08 \text{ m}^3 = 43.48 \times 1.1 \text{ Tonne} = 47.83 \text{ Tonnes.m}^3$$

$$\text{Ciment forage densité : } 1.70 \text{ } 1.8$$

3.3. Colonne 3^{ème} phase (colonne de captage) $\varnothing 8'' 5/8$:

Profondeur $H_3 = 47.5 \text{ m}$: Gravillonnage de l'espace annulaire par volume de gravier (massif filtrant) soit : V_3 volume de l'espace annulaire de la colonne de 3^{ème} phase :

➤ **Espace annulaire (S) : trou-casing :**

Forage en $\varnothing 12'' 1/4$ de la cote 132 m à 170 m

Longueur de la colonne de captage Inox $\varnothing 8'' 5/8$ est de 47.50 m

$$\text{Trou foré } \varnothing 12'' 1/4 \longrightarrow 75.40 \text{ l/m} \quad S = \text{Trou } \varnothing 12'' 1/4 - \text{Tube Inox } \varnothing 8'' 5/8$$

$$\text{Tube Inox } \varnothing 8'' 5/8 \text{ '' (extérieur)} \longrightarrow 37.79 \text{ l/m} \quad S = (76.04 - 37.69) \text{ l/m} = \mathbf{38.35 \text{ (l/m)}}$$

$$H_3 (\text{Profondeur}) = 47.50 \text{ m}$$

$$S_3 = 38.35 \text{ l/m}$$

$$V_3 = S_3 \times H_3 = 38.35 \text{ l/m} \times 47.5 \text{ m} = 1821.62 \text{ liters} = 1.82 \text{ m}^3$$

$$V_3 (\text{Gavier}) = 20.86 \text{ m}^3$$

4. Dossier technique du forage du puits Megarine:

Le forage de puits d'eau est considéré comme l'une des opérations d'ingénierie les plus importantes visant à exploiter les eaux souterraines pour répondre aux besoins de l'eau potable, de l'agriculture et de l'industrie, en particulier dans les zones qui souffrent d'un manque de ressources en eaux de surface. Le succès du projet de forage de puits dépend d'une étude technique minutieuse qui inclut la nature du sol, les couches géologiques, la profondeur de la nappe phréatique, en plus du choix des équipements et techniques de forage appropriés.

Ce dossier technique vise à fournir les données de base liées au processus de forage d'un puits d'eau, depuis les études préliminaires et le choix du site de forage, en passant par les étapes de réalisation et de préparation, jusqu'à tester la productivité et assurer la sécurité et la durabilité du puits. Le dossier explique également les moyens techniques utilisés et les normes adoptées pour assurer la qualité des travaux et le respect des conditions de sécurité et environnementales. [1]

DOSSIER TECHNIQUE

FORAGE D'EAU

Entreprise:	SARL OUED RIGH ABAR TOUGGOURT
Client:	DIRECTION HYDRAULIQUE WILAYA TOUGGOURT
Maître d'œuvre:	ANRH -EPIC UNITE TERRITORIAL TOUGGOURT Touggourt
Exploitant:	PÉRIMÈTRE AGRICOLE DE MEGARINE

Code National BSS :

N° Déclaration ** :

Police de l'eau * :

* Numéro de déclaration au titre de la police de l'eau

** N° d'enregistrement de déclaration préalable

Lieu de l'ouvrage : SARL Oued Righ Abar - TRAKA Salah - Wilaya de Touggourt

Coordonnées : Longitude 006°04'24,3"E Latitude 033°11'47,22"N Altitude : 62.00 m

Nombre de forages : 1

Date début de l'ouvrage : 12/10/2025

Resp. M. Ouvrage : D.H.W TOUGGOURT

Date fin de l'ouvrage : 21/12/2025

Resp. M. Ouvre : ANRH - EPIC TOUGGOUR

Machine :

Resp. Chantier : SARL OUED RIGH ABAR

Date début pompage :

Niveau statique non perturbé : 37.80 m

Date fin de pompage :

Débit Maxi. d'essai : 118.83 m3/h

Nombre de nappes identifiées : 1

Rabattement correspondant : 34.70 m

Notes :

TRONCONS de L'OUVRAGE

FORAGE D'EAU

Client:	DIRECTION HYDRAULIQUE WILAYA TOUGGOURT
Maître d'oeuvre:	ANRH - EPIC UNITE TERRITORIAL TOUGGOURT
Lieu de l'ouvrage :	SARL Oued Righ Abar - TRAKA Salah - Wilaya de Tougourt

LITHOLOGIE

De	à	Lithologie
0.00	60.00	Argile
60.00	85.00	Sable grossier à moyen
85.00	128.00	Sable fin à moyen rouge brique
128.00	131.00	Sable fin rouge
131.00	141.00	Sable grossier à moyen
141.00	164.00	Calcaire
164.00	168.00	Marnes
168.00	170.00	Calcaire

FORAGE

De	à	Ø"	Ømm	Mode de forage	Fluide de forage
0.00	10.00	24"	610.00	Rotary	Santonite
10.00	132.00	17 1/2"	444.00	Rotary	Santonite
132.00	170.00	12 1/4"	318.00	Rotary	Santonite

* Reconnaissance

TUBAGE

De	à	Ø"	Ømm	Epais.	Ecor.	Nature du tubage	Type	Stck	Vide %
0.00	10.00	19 5/8"	500.00	0.00		Acier-epi	Tube-plein		
0.00	132.00	13 5/8"	340.00	0.00		Acier-epi	Tube-plein		
132.50	132.00	8 5/8"	219.00	0.00		Inox-aISI-304	Tube-plein		
132.00	164.00	8 5/8"	219.00	0.00		Inox-aISI-304	Crapine fil-annulée		
164.00	170.00	8 5/8"	219.00	0.00		Inox-aISI-304	Tube-plein		

REMPLE SAGE

De	à	Ø"	Ømm	Matériau	Nature	Méthode de pose	Section	Gra. (mm)	Vol. m3
0.00	10.00	19 5/8"	500.00	Ciment	Ciment-Santonite	Sous pression			
0.00	132.00	13 5/8"	340.00	Ciment	Ciment-Santonite	Annulaire			
132.50	170.00	8 5/8"	219.00	Gruvier	Gruviers de stérq	Gruvitaire	Roule		

5. Conclusion :

A travers cette étude portant sur le forage d'un puits d'eau dans la région de Megarine dans l'Etat de Touggourt, il a été constaté que les eaux souterraines représentent une ressource essentielle dans les zones désertiques, en raison de la rareté des pluies et des températures élevées.

L'étude a également montré l'importance des caractéristiques géologiques et hydrogéologiques pour déterminer l'emplacement de l'eau et choisir la technique de forage appropriée, la méthode de forage rotatif étant considérée comme l'une des méthodes les plus efficaces pour réaliser des puits profonds.

Les étapes de préparation du puits, telles que le tubage, la mise en place des crépines et les essais de pompage, contribuent à améliorer la productivité du puits et à assurer sa bonne exploitation. Une exploitation rationnelle des eaux souterraines reste donc nécessaire pour préserver cette ressource vitale et assurer sa pérennité dans le futur.

Les Références :

1. ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) wilaya de Touggourt
2. OSS (Observatoire du Sahara et du Sahel)
3. Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS)
4. BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières)
5. Google Earth & GIS Data
6. الديوان الوطني للأرصاد الجوية ONM – Algerian
7. Climate and Water Resources in Arid مناطق
8. World Meteorological Organization (WMO)
9. BOUCHELIG AMOR ET MEKHALFIA REDOUANE ‘‘Etude sur la maintenance des systèmes mécanique d'une machine de forage ‘‘ Mémoire de Master Univ. de M'sila année 2017.
10. NOGADI ALI ‘‘La maintenance des équipements de forage (cas TP127.
11. programme GesFor