



Département de Génie de l'Eau

Rapport de soutenance

En vue de l'obtention du diplôme de Licence Professionnelle en :

Hydraulique

Thème:

Suivi de réalisation d'un forage hydraulique et étude de la qualité
des eaux souterraines extraites dans la commune d'Adrar

Réalisé par:

- BELAIMECHE Abderrahmane

Encadré par:

- M^{me}. HAMZAOUI Sara : Maitre de conférences classe B/ Institut de Technologie.

- M. MANSOUR Abdelmadjid: Ingénieur forage/DRE Adrar.

Soutenu devant le jury :

- M. MESBOUA Noureddine

MCB IT Bouira

- M. DJAFERKHODJA Hakim

MCB IT Bouira

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciement

En premier lieu, nous remercions « Dieu » qui nous a donné la force pour accomplir ce travail.

Je voudrais adresser toute ma gratitude à mon encadreur, madame HEMZAOUI Sara, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

Mes sincères remerciements au personnel de l'entreprise ENAGEO, de m'avoir accordé l'opportunité d'effectuer ce stage.

J'adresse ma gratitude à mon tuteur Mr MANSOUR Abdelmadjid pour toute l'attention et l'aide qu'il m'a accordé, ainsi l'ingénieur du département forage « AZZAZ Boualem » qui m'ont beaucoup aidé à réaliser ce stage dans de bonnes conditions.

Je désire aussi remercier les professeurs de l'Institut de Technologie, qui m'ont fourni la formation nécessaire à la réussite de mes études universitaires.

Mes vifs remerciements à mes examinateurs de m'avoir fait l'honneur d'accepter d'examiner et de discuter ce travail.

Evidemment, je remercie toutes les personnes que j'ai rencontrées lors de ce stage et dont leur présence fut tellement bénéfique, autant sur le plan professionnel que personnel.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À mes chers parents, mon père et ma mère pour leur amour, leur soutien leur dévouement et surtout pour les valeurs et principes qu'ils m'ont inculqués en leur souhaitant une longue vie.

À mes chères et adorables frères et sœurs je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protégé et vous garde

« Abdelli, Yacine, Hichem, radwan, abdellah, mahdi, camelia »

À mon grand père Ahmed qui était comme mon deuxième père, je lui souhaite une longue vie et une meilleure santé

À tous les membres de ma famille et toute personne qui porte le nom
BELAIMECHE.

À tous mes amis de promotion 3ème année génie de l'eau de l'institut de technologie de Bouira

المخلص :

يتركز تقرير هذا التدريب على انجاز حفر بئر هيدروليكي ودراسة جودة المياه الجوفية المستخرجة منه الموجودة في بلدية أدرار ، جنوب غرب الجزائر. ولإنجاز هذا البئر، وضعت مديرية الموارد المائية بالمدينة برنامجا لعمليات الانجاز و مراقبة نوعية المياه بالتعاون مع الوكالة الوطنية للموارد المائية.

والهدف الرئيسي من هذا العمل هو توفير متابعة معمقة لإجراءات رصد أداء الحفر وتنفيذه، مع تسليط الضوء على أفضل الممارسات ومعايير الجودة لتحسين فهم عمليات الحفر ونوعية المياه الجوفية لتعزيز ممارسات الحفر المستدامة والفعالة والحفاظ على جودة المياه الجوفية.

Résumé

Ce rapport de stage se concentre sur la réalisation d'un forage hydraulique et l'étude de la qualité des eaux souterraines extraite de ce dernier situé à la municipalité d'Adrar dans la province d'Adrar, au sud-ouest de l'Algérie. Pour la réalisation de ce forage la Direction des Ressources en Eau de la ville a établi un programme des opérations de réalisation et de contrôle de la qualité de l'eau en coopération avec l'Agence Nationale des Ressources en Eau.

L'objectif principal de ce travail est de fournir un suivi approfondi des procédures de réalisation et de surveillance du rendement du forage, en mettant en évidence les meilleures pratiques et les normes de qualité dans l'objectif d'améliorer la compréhension des questions liées au forage et à la qualité des eaux souterraines afin de promouvoir des pratiques de forage durables et efficaces et de maintenir la qualité des eaux souterraines.

Abstract

This internship report focuses on the realization of a hydraulic drilling and the study of the quality of the groundwater extracted from it located in the municipality of Adrar in the province of Adrar, southwest of Algeria. For the realization of this drilling the Water Resources Directorate of the city has established a program of operations of realization and control of the water quality in cooperation with the National Agency of Water Resources.

The main objective of this work is to provide an in-depth follow-up of drilling performance monitoring and implementation procedures, highlighting best practices and quality standards to improve understanding of drilling and groundwater quality issues to promote sustainable and efficient drilling practices and maintain water quality subterranean.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Abréviations

Introduction générale 1

Chapitre I : Généralités sur la réalisation de forage et sur la qualité des eaux souterraines

Introduction..... 3

Partie I

I. forage d'eau 3

I.1.Méthodes de forage 3

I.1.1.Technique rotary 4

I.1.1.1. Rotary directe 5

I.1.1.2. Forage rotary inverse 5

I.1.1.3. Avantages de technique Rotary 5

I.2. Machines de forage rotary 6

I.2.1. Foreuse à table de rotation..... 6

I.2.2. Foreuse a tête de rotation..... 6

I.3. Composants d'un appareil de forage rotary..... 6

I.3.1. Fonction de levage..... 6

I.3.1.1. Mat..... 6

I.3.1.2. Treuil 7

I.3.1.3. Mouflage (palan) 8

I.3.1.4. Câble de forage..... 9

I.3.2. Fonction de rotation.....	10
I.3.2.1. Table de rotation.....	10
I.3.2.2. Tête d'injection swivell	10
I.3.2.3. Tiges d'entraînement (Kelly)	11
I.3.2.4. Masse de tiges.....	11
I.3.2.5. Outil de forage	12
I.3.2.6. Tubage	13
I.3.3. Fonction de pompage.....	13
I.3.3.1. Pompe a boue	14
I.4. Installation de chantier	15
I.5. Etape de réalisation de forage.....	15
I.5.1. Mise en place de tube guide	15
I.5.2. Mise en place des équipements de forage	16
I.5.3. Mise en place du tubage	16
I.5.3.1. Plan du tubage	17
I.5.3. Différents types de crépine	18
I.5.4. Massif filtrant	19
I.6. Développement de forage.....	19
I.6.1 Objectif de développement.....	20
I.7. Essais de pompage.....	20
I.7.1. Essais par palier	21
I.7.2. Essai de longue durée	21
Partie II	
II. Généralités sur les eaux souterraines	22
II.1. Paramètres de qualité de l'eau.....	22

II.1.1. Paramètres organoleptiques	22
II.1.1.1. Couleur	22
II.1.1.2. Odeur	23
II.1.1.3. Gout et saveur	23
II.1.2. Paramètres physique-chimique	23
II.1.2.1. Température	23
II.1.2.2. Potentiel d'hydrogène PH	23
II.1.2.3. Conductivité électrique	24
II.1.2.4. Résidu sec 100°C	24
II.1.2.5. Turbidité	24
II.1.2.4. Alcalinité	25
II.1.2.5. Cations	25
II.1.2.5.5. Fer (Fe^{2+})	26
II.1.2.6. Anions	27
II.1.2.6.1. Chlorures (Cl^-)	27
II.1.2.6.2. Sulfate (SO_4^{2-})	27
II.1.2.6.3. Bicarbonate	27
II.1.3. Paramètre de pollution	27
II.1.3.1. Phosphate (PO_4^{3-})	28
II.1.3.2. Nitrates (NO_3^-)	28
II.1.3.3. Nitrites (NO_2^-)	28
II.1.3.4. Ammonium (NH_4^+)	28
Conclusion	28
 Chapitre II : Présentation de l'entreprise et la zone d'étude	
Introduction	29

II.1. Direction des ressources en eau DRE	29
II.2. Localisation de direction en ressource en eau	29
II.3. Services de la direction.....	30
II.4. Missions de la direction	30
II.5. Organigramme de la direction DRE.....	31
II.7. Présentation de la zone d'études	32
II.7.1. Situation géographique.....	32
II.7.2. Situation topographique	33
II.7.3. Situation géologique.....	33
II.7.4. Contexte climatique de la wilaya Adrar	34
II.7.4.1. Température	34
II.7.4.2. La précipitation	37
II.7.4.3. Le vent.....	38
II.7.4.4. Humidité de l'air relative (Hr)	40
II.7.5. Contexte géomorphologique	42
II.7.5.1. Le Plateau.....	42
II.7.5.2. Les sebkhas	42
II.7.5.3. L'Erg	43
II.7.5.4. Le Reg	43
II.7.5.5. Les terrasses d'apport éolien	43
II.7.5.6. Les Hamadas	43
II.7.5.7. Réseau hydrographique	43
II.8. Hydrogéologie de la région	44
II.8.1. Définition du système aquifère	44
II.8.2. Le Continental Intercalaire dans la région d'étude	44

II.8.3. Piézométrie du Continental Intercalaire	46
II.8.4. Paramètre hydrodynamique de la nappe du Continental Intercalaire	47
II.8.4.1. Transmissivité T	47
II.8.4.3. Coefficient d'emmagasinement	48
III.8.4.4. Conductivité hydraulique K_h	48
Conclusion	48

Chapitre III : Suivi des opérations de la réalisation de forage d'aéroport d'Adrar

Introduction :	49
III.1. Situation de forage	49
III.2. Opération de réalisation	50
III.2.1. Tube guide	50
III.2.2. Forage de reconnaissance	50
III.2.3. Opération diagraphie	50
III.2.4. Examen de cauting	52
III.2.5. Programme d'équipement	52
III.2.6. Plan du tubage	52
III.2.7. Massif filtrant	54
III.3.8. Coupe technique de forage d'aéroport	54
III.3.9. Méthodologie des essais des paliers :	55
III.3.10. Résultat et la discussion	55
III.3.10.1. Résultat de pompage	55
III.3.10.2. Calcul les paramètres hydrodynamiques	56
III.3.10.2.2. Transmissivité	57
III.4.1.3. Conductivité hydraulique K	58

Conclusion	59
------------------	----

Chapitre IV : Etude de la qualité de l'eau extraite de forage d'aéroport d'Adrar

Introduction.....	60
IV.1. Modes opératoires des Paramètres testés.....	60
IV.1.1. PH et température	60
IV.1.1.1. Matériels	60
IV.1.1.2. Mode opératoire.....	60
IV.1.2. Conductivité.....	61
IV.1.2.1. Matériel.....	61
IV.1.2.2. Mode opératoire.....	61
IV.1.3. Turbidité	61
IV.1.3.1. Matériel.....	61
IV.1.4. Chlorure	62
IV.1.4.1. Mode opératoire.....	62
IV.1.5. Partie spectrophomètre.....	62
IV.1.5.1. Sulfates	63
IV.1.5.2. Ammonium.....	63
IV.1.5.3. Potassium.....	63
IV.1.5.4. Manganèse	64
IV.1.5.5. Nitrates (LCK 541).....	64
IV.1.5.6. Nitrites (LCK 541).....	64
IV.3. Résultat et discussion.....	65
IV.3.1. Résultat	65
IV.3.2. Discussion.....	65

IV.3.2.1. Conductivité.....	65
IV.3.2.2. Température.....	66
IV.3.2.3. Potentiel hydrogène (PH)	66
IV.3.2.4. Turbidité	66
IV.3.2.5. Résidu sec à 110°C mg/l.....	66
IV.3.2.6. Chlorures (Cl ⁻) :.....	67
IV.3.2.7. Sulfate (SO ⁴⁻).....	67
IV.3.2.8. Bicarbonates (HCO ³⁻).....	67
IV.3.2.13. Sodium (Na ⁺).....	67
IV.3.2.13. Magnésium (Mg ²⁺).....	67
IV.3.2.13. Calcium (Ca ²⁺).....	67
IV.3.2.14. Paramètres de pollution :	68
Conclusion	68
Conclusion générale.....	68
Références.....	70
Annexe	74

Liste des figures

Figure 1 : Technique rotary.....	4
Figure 2: Mat de l'appareil forage rotary	7
Figure 3: Treuil de forage	8
Figure 4 : Moufle fixe (14)	8
Figure 5 : Moufle mobile	9
Figure 6: Câble de forage.....	9
Figure 7: Table de rotation.....	10
Figure 8: Tête d'injection	11
Figure 9:Tige d'entrainement	11
Figure 10:Masse des tiges.....	12
Figure 11: Outil de forage.....	12
Figure 13:Pompe de boue	14
Figure 12:Fonction de pompage	14
Figure 14:Installation de chantier	15
Figure 15: Mise en place du tubage	16
Figure 16: différents types de crépine.....	18
Figure 17 : Massi filtrant	19
Figure 18:Pompage de forage(26)	21
Figure 19 : Liaison entre les réactions et le PH	27
Figure 20: Localisation géographique de la direction.....	30
Figure 21:Organigramme de la direction	31
Figure 22:Situation géographique d'Adrar.....	32
Figure 23:Situation topographique d'Adrar.....	33

Figure 24: Répartition des bassins du Sahara algérien	34
Figure 25: Variation moyennes annuelles de température en 10 ans	35
Figure 26: Précipitation moyennes annuelles	36
Figure 27: Courbe de Précipitation moyennes annuelles en fonction des années	37
Figure 28 : Précipitation moyennes mensuelles	38
Figure 29: Variation de vitesse de vents annuels.....	39
Figure 30: Variation moyennes mensuelles de la vitesse	40
Figure 31 : Humidité moyennes annuelles relative de l'air (en %).	41
Figure 32: Moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air (en %)......	42
Figure 34: Carte géologique drapée sur diagramme hydrogéologique du bassin Occidental(49).....	45
Figure 33: Carte géologique drapée sur diagramme hydrogéologique du bassin Occidental(49).....	45
Figure 35: Carte de piézométrie de la région d'Adrar(49).....	46
Figure 36: Carte de la Transmissivité (m ²) (46).....	47
Figure 37 : Situation de forage	49
Figure 38 : Coupe géologique de forage.....	52
Figure 39 : crépine Johnson	53
Figure 40 : Coupe technique de forage	54
Figure 41: Courbe décente de forage Adrar.....	57
Figure 42: PH- mètre	60
Figure 43: Thermomètre	60
Figure 44: Appareil de conductimètre	61
Figure 45: Turbidité mètre (TL2300)	62
Figure 46: Spectrophotomètre UV-755B ARI.....	63

Liste de tableaux

Tableau 1: Conductivité et ménéralisat(31).....	24
Tableau 2 : Classes de turbidité de l'eau. (34).....	25
Tableau 3: Température moyens annuels (56).....	35
Tableau 4:Précipitation moyennes annuelles (56)	36
Tableau 5 : Précipitation moyennes annuelles (2012-2022).....	37
Tableau 6 : Précipitation moyennes mensuelles	38
Tableau 7: Vitesse annuelle de la vitesse du vent.....	39
Tableau 8:Moyennes mensuelles de la vitesse du vent.....	39
Tableau 9:Moyenne annuelles d'humidités de l'air	40
Tableau 10 : Humidité moyennes mensuelles de l'air (2010-2020).....	41
Tableau 11 : enregistrement de diagraphies	50
Tableau 12:Essais de débit par palier	56
Tableau 13 : Résultats d'analyse d'eau.....	65

Liste des Abréviations

ANRH : agence nationale de ressource hydraulique.

Ca²⁺ : Calcium

CI : Continental Intercalaire.

DRE : direction des ressources en eau.

HCO₃⁻ : Bicarbonate

K⁺ : Potassium.

MO : Matière Organique.

NH⁴⁺ : Ammonium

NO²⁻ :Nitrite

NO³⁻ : Nitrate

OMS : l'organisation mondiale de la santé

PH : potentiel hydrogène.

PO₃⁻⁴ : Potassium

TDS : taux des sels.

TH : titre hydrométrique (la dureté).

TAC : le titre alcalimétrique complet.

TA : le titre alcalimétrique.

Introduction générale

Introduction générale

L'accès à une eau potable de qualité est essentiel à la santé et au bien-être de la population. Les ressources en eau souterraine jouent un rôle crucial dans la satisfaction de cette demande en eau potable, notamment à travers les forages réalisés pour exploiter ces ressources. Cependant, il est primordial de suivre de près à la fois la réalisation des forages et la qualité des eaux souterraines pour garantir la sécurité et la durabilité de cette ressource précieuse.(1)

La commune de Adrar qui situé a la wilaya Adrar (sud-ouest d'Algérie), a connu un développement important sur plan urbanistique et une croissance démographie accrue comme dans toutes les régions du pays, ce qui induit des besoins eau importants. C'est dans ce contexte que la direction de ressource en eau de la ville Adrar faire un programme de réalisation de forage d'aéroport, et suivre qualité de l'eau à l'aide de ANRH (agence nationale de ressource hydraulique.).

Ce mémoire se propose d'explorer en détail les différentes méthodes de suivi de la réalisation des forages et de la qualité des eaux souterraines. Il mettra l'accent sur l'évaluation des techniques utilisées pour la construction des forages, y compris les méthodes de forage, la sélection des matériaux et l'installation de pompage. Parallèlement, il examinera les aspects clés du suivi de la qualité des eaux souterraines, notamment les paramètres physico-chimiques, organoleptique et pollution analysée pour évaluer la potabilité et la contamination éventuelle de l'eau.

L'objectif principal notre mémoire est de fournir une analyse approfondie des procédures de suivi de la réalisation des forages, en mettant l'accent sur les meilleures pratiques et les normes de qualité. Il examinera également la dégradation de la qualité de l'eau et les problèmes de sécurité. Des études de cas seront également présentées pour illustrer les bonnes pratiques et les leçons apprises dans ce domaine.

En conclusion, mon mémoire contribuera à une meilleure compréhension des enjeux liés à la réalisation des forages et à la qualité des eaux souterraines. Il fournira des

informations précieuses pour les professionnels du secteur de l'eau, les décideurs et les organismes de réglementation, afin de promouvoir des pratiques durables et efficaces pour la réalisation des forages et la préservation de la qualité de l'eau souterraine.(2)

Mon rapport est organisé en deux grandes parties ; une partie théorique comporte deux chapitres, le premier expose des généralités sur les forages d'eau et les différentes méthodes d'étude de qualité des eaux souterraine et le seconde présente l'entreprise et la zone d'étude.

Une partie pratique contient le troisième Chapitre qui donnera une approche sur les opérations de réalisation de ce forage d'aéroport et le dernier chapitre sera une étude des multiples méthodes d'analyse et les résultats de la qualité des eaux de notre cas d'étude.

Je tiens à signaler que je vais me focaliser beaucoup plus sur la partie qualités dans mon stage. Et pour la partie réalisation malheureusement je n'ai pas pu assister au toutes les étapes c'est pour cela je vais détailler les étapes et opérations ou j'étais présent seulement.

Chapitre I :
Généralités sur la réalisation de forage
et sur la qualité des eaux souterraines

Introduction

Dans ce chapitre, nous vise à fournir une introduction détaillée sur la réalisation de forages d'eau et sur la qualité des eaux souterraines. Dans ce cadre, nous nous concentrons sur l'importance de comprendre le processus de réalisation d'un forage ainsi que les caractéristiques de la qualité des eaux souterraines. Afin de mieux saisir les défis et les opportunités liés à notre zone d'étude spécifique. La réalisation de forages d'eau est un processus crucial pour accéder à l'eau souterraine, qui est une source vitale d'eau potable et d'approvisionnement en eau pour diverses utilisations. Comprendre ce processus est essentiel pour garantir une exploitation durable des ressources en eau souterraine et éviter les problèmes tels que l'épuisement des aquifères ou la contamination de l'eau.

I. forage d'eau

Le forage d'eau est une technique spécifique utilisée pour accéder aux réserves d'eau souterraine afin de répondre aux besoins en eau potable, agricole, industrielle ou d'autres utilisations. Il s'agit d'un processus complexe qui consiste à créer un puits vertical dans le sol ou dans la roche jusqu'à une profondeur où l'eau souterraine est présente. (3)

Ce processus complexe implique des étapes spécifiques, allant de la sélection du site de forage à l'analyse de la qualité de l'eau extraite. Comprendre les aspects techniques et les considérations environnementales liées à la réalisation de forages est essentiel pour garantir l'efficacité et la durabilité de ces sources d'eau souterraine.(4)

I.1.Méthodes de forage

Il existe différentes méthodes de forage utilisées pour accéder aux eaux souterraines, le choix des méthodes dépend des caractéristiques géologiques du site, de la profondeur de la nappe phréatique et des objectifs spécifiques du projet, et la plus méthodes utilisent en Algérie sont (5):

I.1.1. Technique rotary

La technique de forage rotary, également connue sous le nom de forage rotatif, est l'une des méthodes couramment utilisées pour réaliser des forages profonds dans le sol ou la roche. Cette technique utilise une foreuse rotative qui utilise un mouvement de rotation pour percer le terrain. (6)

La dislocation se fait par abrasion et broyage du terrain par le biais d'un outil appelé tricône et par roto percussion à l'aide d'un outil assemblé au marteau qui appelé taillant, l'évacuation des déblais se fait par la circulation directe ou inverse du fluide (air, boue, eau). (7)

Principe

Elle consiste à utiliser des trépan à dent type tricône ou des trépan monobloc comme les outils poly cristallin diamant composite, on applique la force procurée par un poids tous les entrainant en rotation. (6)

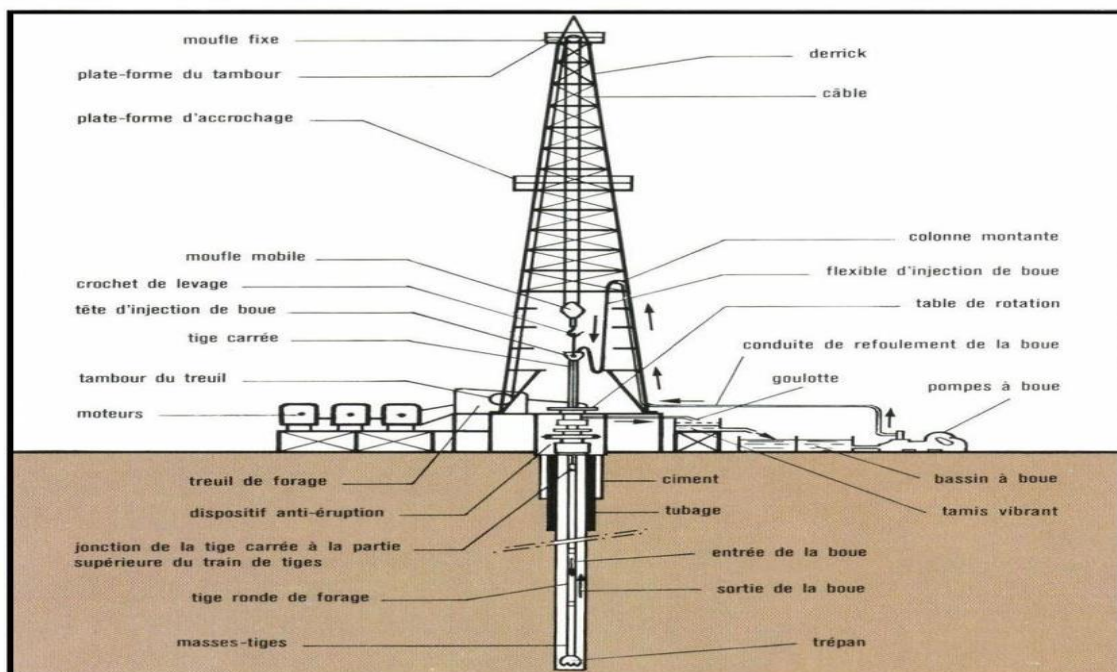


Figure 1 : Technique rotary, Syeh et Lembarki

I.1.1.1. Rotary directe

La méthode de foration rotary utilise un outil monté au bout d'une ligne de sonde , animé d'un mouvement de rotation de vitesse variable et d'un mouvement de translation verticale sous l'effet d'une partie du poids de la ligne de sonde ou d'une pression hydraulique. Le mouvement de rotation est imprimé au train de tiges et à l'outil par un moteur situé sur la machine de forage en tête de puits.

Les tiges sont creuses et permettent l'injection de boue au fond du forage. Les outils utilisés en rotation sont des trépan de plusieurs types en fonction de la dureté des terrains rencontrés. (8)

I.1.1.2. Forage rotary inverse

Est une méthode de forage utilisée principalement dans l'industrie minière et dans certaines applications géotechniques, contrairement au forage rotary conventionnel, où la boue de forage circule vers le bas, la technique de forage rotary inverse fait circuler les débris de forage vers le haut, permettant ainsi la récupération efficace des échantillons de roche en haut. (8)

I.1.1.3. Avantages de technique Rotary

- La profondeur du forage peut être très importante, quel que soit la nature du terrain, à condition d'utiliser un fluide de forage adapté.
- Le forage au rotary entraîne une consolidation des parois en terrains meubles par dépôt d'un cake.
- Consommation économique de l'énergie.
- Bon contrôle des paramètres de forage (rotation, qualité de boue, débit d'injection de la boue) en fonction des terrains à traverser. (9)

I.2. Machines de forage rotary

Pour la technique Rotary, nous avons deux types de procédés :

- ✓ Foreuse de table de rotation
- ✓ Foreuse à tête de rotation (10)

I.2.1. Foreuse à table de rotation

Dans cette technique la table de rotation est composée de puissants pignons et roulements, elle est actionnée par deux moteurs hydrauliques à cylindrées variables, il applique un mouvement rotatif au trépana travers une table de rotation fixée qui est située à des pieds du mat conjointement avec tige carré. (11)

I.2.2. Foreuse à tête de rotation

L'appareil de forage à tête rotative fournit de rotation par une tête rotative qui monte et descend le mât.(12)

I.3. Composants d'un appareil de forage rotary

I.3.1. Fonction de levage

I.3.1.1. Mat

Le mât de forage est une structure verticale robuste qui soutient et guide la tige de forage pendant le processus de forage. Il est généralement composé d'une structure en treillis en acier et peut être réglable en hauteur pour s'adapter aux différentes profondeurs de forage. (7)



Figure 2: Mat de l'appareil forage rotary, BESAILET Abdelhak (2018)

I.3.1.2. Treuil

Le treuil de forage est l'organe principal de la sonde ; par sa capacité il caractérise la sonde de forage en indiquant la profondeur de forage que peut atteindre l'appareil. Le treuil regroupe un ensemble d'éléments mécaniques et assure plusieurs fonctions(13) :

- ✓ Les manœuvres de remontée et de descente (levage) du train de sonde à des vitesses rapides et en toute sécurité, ce qui constitue sa principale utilisation.
- ✓ L'entraînement de la table de rotation quand celle-ci n'est pas entraînée par un moteur indépendant
- ✓ Les visages et dévisages du train de sonde ainsi que les opérations de curage.

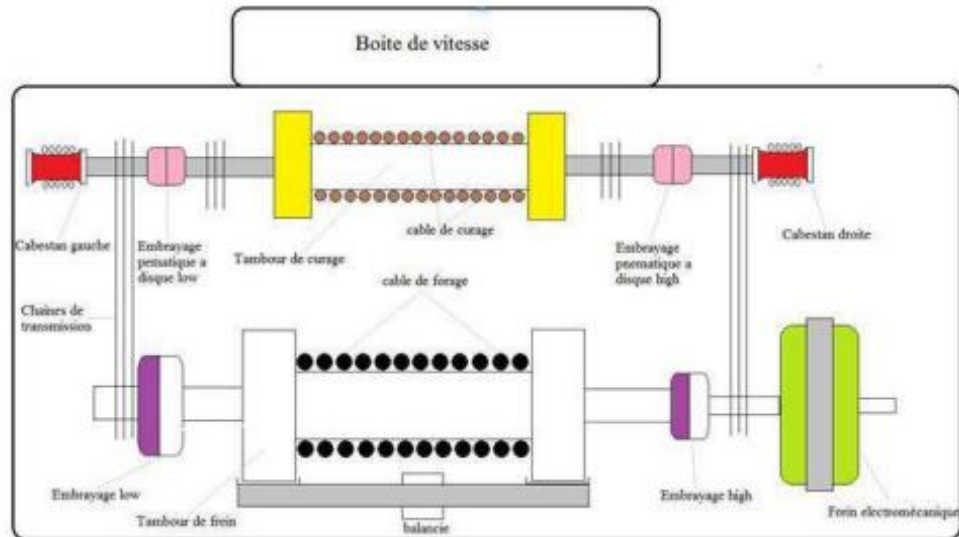


Figure 3 : Treuil de forage NEGADI Ali

I.3.1.3. Mouflage (palan)

Le mouflage est l'enroulement du câble de forage entre les poulies des moufles fixe et mobile en plusieurs brins (jusqu'à 14 brins). Le mouflage permet de démultiplier le poids de la garniture de forage et diminuer la vitesse de son déplacement (13).

Il sert également à réduire les efforts nécessaire pour rapprocher les deux groupe de poulies , il comprend les pièces suivantes (14) :

I.3.1.3.1. Moufle fixe (crown block)

Le moufle fixe a des poulies alignées sur le même axe. Cet axe est supporté à cette extrémité par deux paliers montés sur des poutrelles fixées au sommet du mât(14).



Figure 4:Moufle fixe ; BELKAID

1.3.1.3.2. Moufle mobile (traveling block)

La moufle mobile est une configuration de levage qui utilise une poulie mobile pour soulever une charge. Il comporte à sa partie inférieure un crochet [hook] qui sert à la suspension de la garniture pendant le forage. Des bras sont accrochés de part et d'autre de ce crochet servent à supporter l'élévateur, utilisé pour la manœuvre de la garniture. (15)



Figure 5:Moufle mobile (NGUYEN GP 1993)

1.3.1.4. Câble de forage

Le câble de forage, est un élément essentiel dans le processus de forage. Il est utilisé pour transmettre la puissance de rotation du moteur de forage à la tête de forage, permettant ainsi la pénétration du sol ou de la roche.(16)

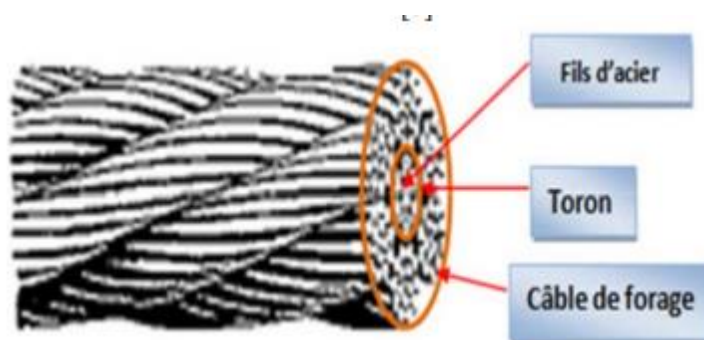


Figure 6: Câble de forage (TAIBI Mohammed)

I.3.2. Fonction de rotation

I.3.2.1. Table de rotation

La table de rotation fournit la puissance nécessaire, à travers le train de tiges, à l'outil de forage. Les sources de dissipation de cette énergie incluent le frottement rotary et l'amortissement des vibrations. (17)

Table de rotation se compose a de «3 » partie :

- le bâti,
- la partie tournante
- l'arbre d'entraînement(17)



Figure 7: Table de rotation (BEKAKRIA Farès)

I.3.2.2. Tête d'injection swivell

La tête d'injection swivell est un composant utilisé dans le processus de forage pour permettre la rotation de la tige de forage tout en fournissant un moyen d'injecter des fluides dans le trou de forage. Ces fonctions sont :

- De palier de roulement à l'ensemble du train de tige pendant le forage
- Elle assure le passage de la boue de forage jusqu'au trépan venant d'une conduite fixe dans une conduite animée d'un mouvement de rotation.
- Une tête d'injection comprend une partie mobile reposant par l'intermédiaire d'un roulement à bille principal sur une partie fixe.(18)

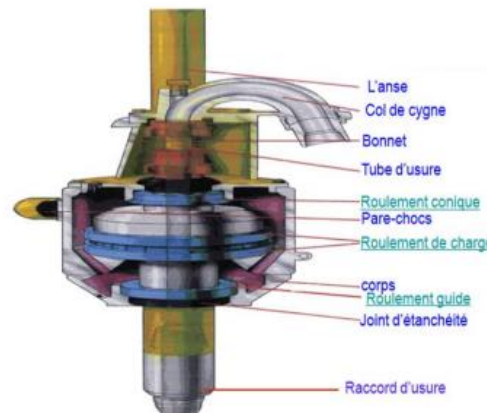


Figure 8 : Tête d'injection (RABIA Khelif 2016)

I.3.2.3. Tiges d'entraînement (Kelly)

Elle est utilisée pour transmettre la rotation du treuil ou de la table de rotation à la tête de forage, permettant ainsi la pénétration du sol ou de la roche. (19)



Figure 9:Tige d'entraînement (BOUHAMIDA HAYAT)

I.3.2.4. Masse de tiges

Les masses tiges de forage sont généralement fabriquées en acier, et leur poids dépendra de ces facteurs ainsi que des exigences spécifiques du projet de forage. (19)



Figure 10: Masse des tiges

I.3.2.5. Outil de forage

Le trépan est un outil de forage utilisé pour percer le sol ou la roche lors des opérations de forage. Il est généralement utilisé dans les forages rotatifs, où il est fixé à l'extrémité de la tige de forage et est entraîné en rotation pour pénétrer le matériau(6)

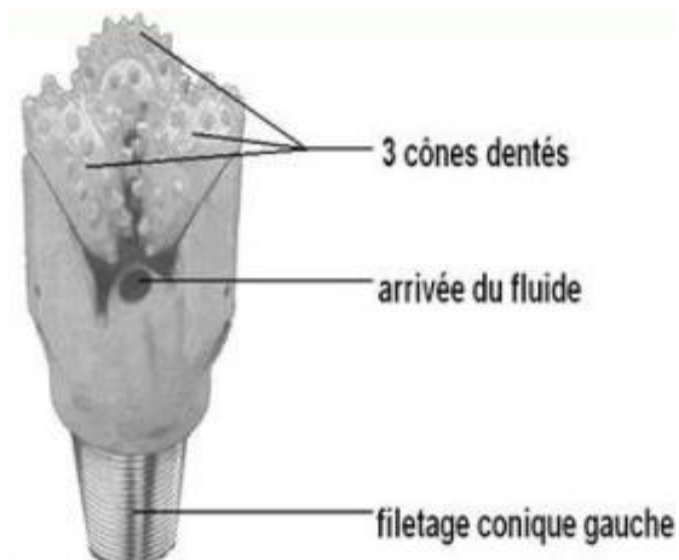


Figure 11: Outil de forage

I.3.2.6. Tubage

Le tubage est un tube de grand diamètre qui est assemblé et inséré dans une section récemment forée d'un trou de forage. Semblable à l'os d'une colonne vertébrale protégeant la moelle épinière, le tubage est placé à l'intérieur du trou foré pour protéger et soutenir le flux. La partie inférieure (et parfois la totalité) est généralement maintenue en place avec du ciment. Les cordes plus profondes ne sont généralement pas cimentées jusqu'à la surface. Le poids du tuyau doit donc être partiellement supporté par un crochet de suspension dans la tête de puits.(5)

I.3.3. Fonction de pompage

La fonction pompage assure l'acheminement du fluide de forage depuis l'aspiration de la pompe jusqu'au retour aux bassins. La boue est fabriquée dans des bassins de grande capacité. Elle est ensuite aspirée par des pompes et refoulée dans les tiges creuses, Elle descend le long de la garniture de forage, par les orifices de l'outil, elle remonte dans l'espace annulaire entre la garniture de forage et le puits jusqu'en surface. Elle est ensuite recueillie dans un tube vertical (tube fontaine), puis acheminée par un autre horizontal (goulotte) vers des tamis vibrants, pour être débarrassée des déblais [cuttings], avant d'être réinjectée dans le puits .(18)

✚ Une bonne installation de pompage doit assurer :

- Une vitesse de remontée des déblais suffisante pour éviter leur décantation
- Une pression de refoulement suffisante pour vaincre les pertes de charges dans le circuit.
- Les pompes de forage peuvent être de type duplex à double effet ou triplex à simple effet
- Les pompes les plus couramment utilisées sont les triplex.(18)

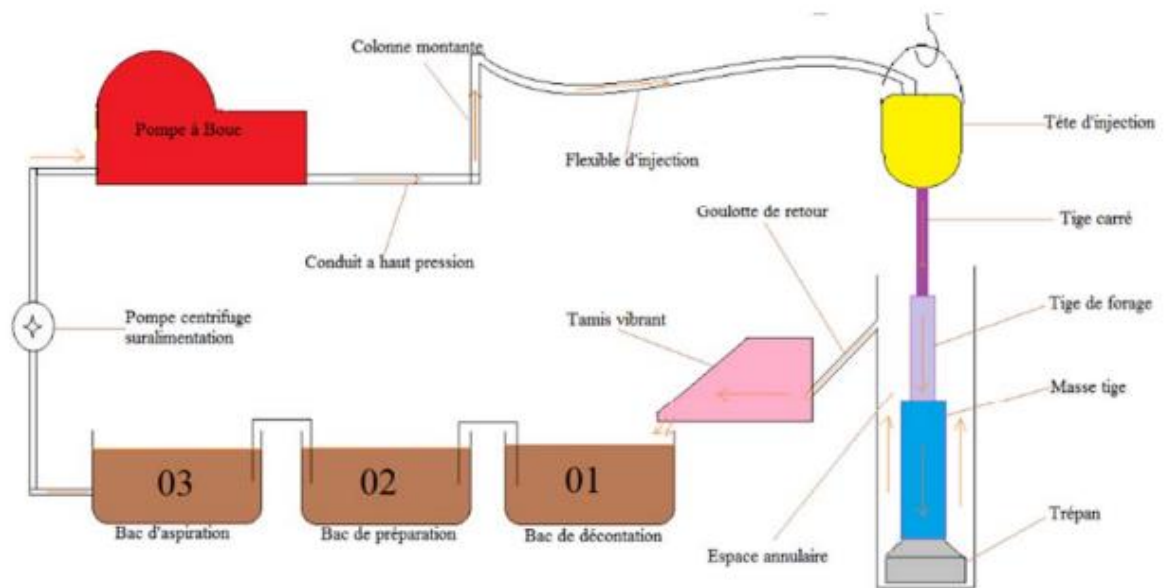


Figure 12: Fonction de pompage (Mohammed Ali)

I.3.3.1. Pompe a boue

La pompe à boue est conçue pour pomper la boue de forage, un fluide utilisé pour faciliter le processus de forage en fournissant une lubrification, un refroidissement, un transport des débris et un maintien de la stabilité du trou de forage. (20)



Figure 13 : Pompe de boue (Mohammed Ali)

I.4. Installation de chantier

L'organisation de chantier de forage hydraulique soit faite d'une manière qui permet au foreur d'intervenir rapidement en cas de problème, les précautions à prendre doivent conduire à déterminer. (21) :

- Périmètre de sécurité autour de chantier (50) mètres sa l'axe de forage
- Un accès pour véhicule
- Réservoir de l'eau
- Un endroit sec pour la réduction
- L'emplacement de l'appareil de forage et pompe a boue

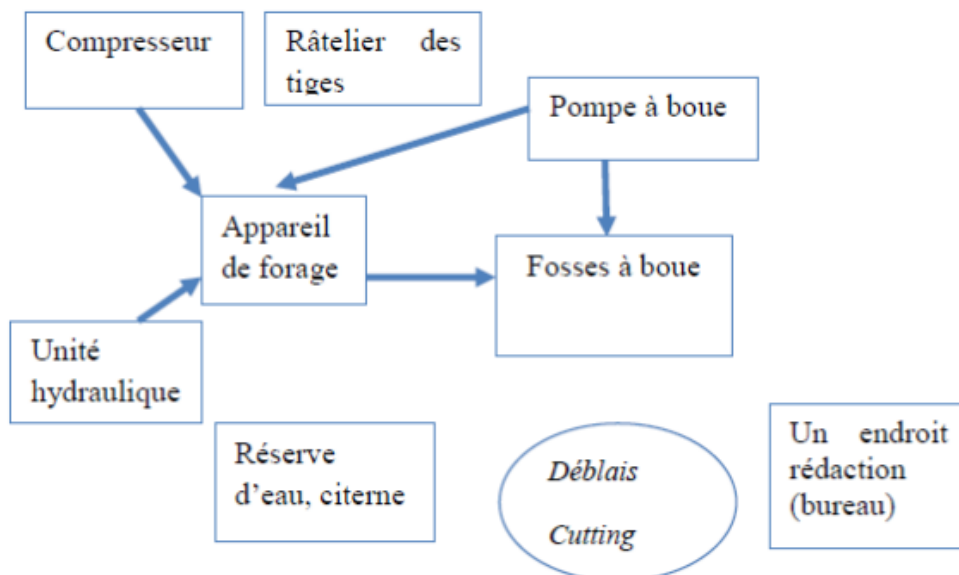


Figure 14: Schéma de l'installation de chantier

I.5. Etape de réalisation de forage

I.5.1. Mise en place de tube guide

Le choix correct de l'équipement de forage (tubage, crépine et gravier additionnel...) est considéré comme l'un des facteurs les plus importants pour la réussite de forage, et pour assurer une meilleure exploitation de forage La nappe captée doit être isolée des pollutions

superficielles pouvant s'infiltrer le long du tubage (rôle de l'aménagement de surface et du bouchon de ciment) (19)

I.5.2.Mise en place des équipements de forage

Le choix correct de l'équipement de forage (tubage, crépine et gravier additionnel...) est considéré comme l'un des facteurs les plus importants pour la réussite de forage, et pour assurer une meilleure exploitation de forage La nappe captée doit être isolée des pollutions superficielles pouvant s'infiltrer le long du tubage (rôle de l'aménagement de surface et du bouchon de ciment) .(20)

I.5.3. Mise en place du tubage

Plan de tubage (longueur et position des tubes pleins et des tubes crépines) est établi en fonction de la coupe géologique du forage ou sont notées les différentes "couches" de terrain et les venues d'eau, ainsi qu'en observant de visu la coupe géologique grâce aux échantillons. Des essais de diagraphie (résistivité électrique) peuvent être effectués avant l'équipement pour améliorer le plan de captage,[spécialement dans les formations sédimentaires (forage rotary) où il est parfois difficile d'identifier les horizons argileux .(20)



Figure 15: photo de tubage (Mohammed Ali)

I.5.3.1. Plan du tubage

Le plan de tubage respectera les points suivants :

- Le tubage ne descend pas toujours jusqu'au fond du forage (dépôts des cuttings en suspension dans la boue lors de l'arrêt de la circulation ou parfois effondrement), il faut donc en tenir compte en réduisant la longueur du tubage de 0.5 à 1 mètres par rapport à la profondeur réelle forée.
- Le dernier tube doit dépasser d'environ 0.5 mètres au dessus de la surface du sol.
- Les longueurs de tube pouvant varier avec le filetage, il est conseillé de mesurer chaque longueur de tube pour établir un plan précis avec un captage correcte de l'aquifère.
- Le tubage doit descendre librement sous son propre poids dans le trou. Si le forage n'est pas vertical (fréquent au delà de 20 mètres), il est fréquent que les frottements le long du tube bloquent la mise en place du tubage. Ceci peut être résolu en appuyant légèrement sur le tubage pour qu'il descende. Dans le cas contraire, il faut le remonter et réaléser le trou **(23)**

1.5.3.1.1. Diamètre du tubage

Le diamètre intérieur du tubage doit être suffisamment dimensionné pour pouvoir permettre la pose d'une pompe (en fonction du débit) et des colonnes montantes.

- ✓ L'espace nécessaire pour cette installation doit être de 1 pouce de jeu entre pompe et tubage pour limiter les pertes de charge (surtout pour les débits importants) et pour le refroidissement de la pompe.
- ✓ Pour le diamètre extérieur, il doit être plus de 2 pouces au moins que celui du trou nu afin de permettre un espace annulaire assez large pour la mise en place du massif Il est important de noter que les dimensions spécifiques peuvent varier en fonction de différents facteurs tels que le type de massif, les charges appliquées, les caractéristiques du sol. **(22)**

I.5.3. Différents types de crépine

La crépine a pour fonction d'assurer la production d'eau sans venue de sable en induisant des pertes de charge minimales. Elle doit résister à la corrosion et à la pression et avoir une longévité maximale. (23)

Type de crépine utilisé est :

- ✚ **Crépines de JOHNSON** : Leur principe de construction est sur une armature de génératrices verticales en fils ronds ou triangulaires est bobiné, en hélice, un fil enveloppe profiler. Le profil de ce fil correspond à une section voisine du triangle avec angles arrondis. Ce triangle est soudé par un sommet à chacune des génératrices, de telle sorte que la base du triangle se trouve à la surface extérieure. Chaque point de contact entre le fil et la génératrice est électriquement soudé sur la machine qui effectue le bobinage. Comme ce sont les plus utilisées et les plus répondues, elles sont utilisées partout : forages d'eau, forages pétroliers, forages à gaz, forages géothermiques...etc. Elles sont caractérisées par des caractéristiques mécaniques élevées (résistances) pour un poids minimum, par un plus grand coefficient d'ouverture. Elles existent en deux séries : crépines télescopiques et crépines série pipe. Les ouvertures de fentes se situent entre 0,15 et 6,4 mm

D'autres types de crépines sont présentées dans les figures suivantes (**figure16**)

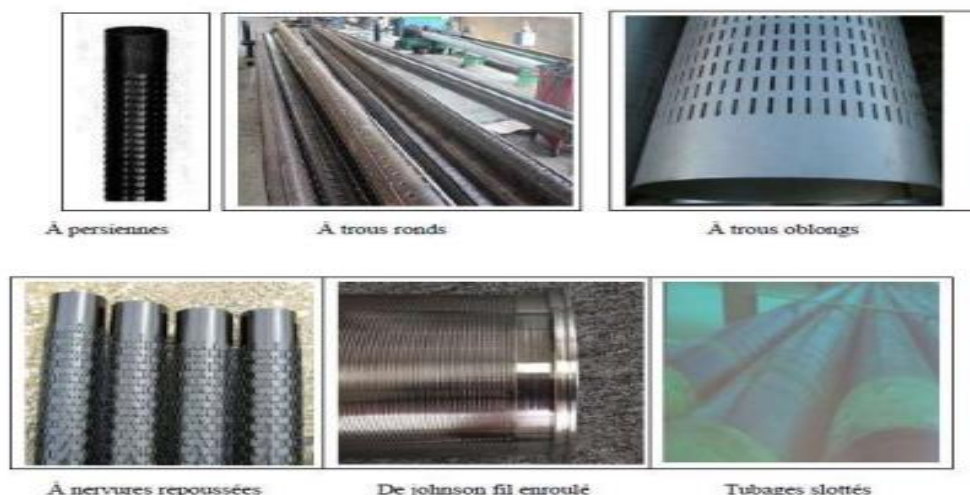


Figure 16: Différents types de crépine (MOULAY OMAR Younes & SEDDIKI Youcef 2016)

I.5.4. Massif filtrant

Pour améliorer la protection vis-à-vis des fines de l'aquifère un massif de gravier peut être mise en place entre la crépine et la couche aquifère. Ce filtre artificiel doit présenter la plus forte granulométrie possible, tout en s'opposant au passage de la plus grande partie des éléments du terrain. Le massif filtrant doit être constitué d'un gravier siliceux, roulé, propre, calibré et homogène. Il doit être chimiquement stable, avoir une forte porosité d'interstice et un faible coefficient d'uniformité. En général, l'épaisseur du gravier est comprise entre 3'' et 8'' et la réserve est comprise entre 5 et 10 m. Sa mise en place est faite par gravité, en circulation inverse du fluide ou par circulation continue. (21)



Figure 17 : Massi filtrant (BECHARA Abdelmalik)

I.6. Développement de forage

Le développement d'un forage consiste, entre autres, à améliorer la perméabilité de la formation aquifère située autour de la crépine et à stabiliser cette formation. Il faut savoir que la mise en production immédiate d'un forage sans développement aurait des conséquences fâcheuses ; Elle ne permettrait pas de d'obtenir le débit optimal pouvant être fourni par l'aquifère et elle entrainerait très certainement d'importantes venues de sables (risques de dommages à la crépine et à la pompe, de colmatage, de tassement du massif gravier).

Le développement est donc destiné à parfaire le nettoyage du trou, de la crépine et de massif de gravier et à améliorer les caractéristiques hydrodynamiques de l'aquifère autour de la crépine, dans le but d'augmenter le débit exploitable et de produire une eau propre. Il existe plusieurs méthodes de développement de puits, les plus utilisés sont **(21)**:

- Développement par pompage alterné.
- Développement par pistonnage.
- Développement pneumatique
- Lavage aux jets à grande vitesse.

I.6.1 Objectif de développement

Le développement est fait pour :

- Corriger toute perturbation ou colmatage qui auraient pu être provoqués dans la formation durant le forage.
- Augmenter la porosité et la perméabilité de la formation au voisinage du forage.
- Stabiliser la formation sableuse autour de la crépine de telle sorte que le forage débite une eau limpide (exempte de matière solide en suspension).

Pour diminuer le pourcentage des particules fines, on met en place du gravier filtre calibré. De cette manière, on enveloppe la crépine d'une gaine filtrante naturelle, dont la finesse des constituants augmente régulièrement vers la périphérie. Les grains de sable sont en effet d'autant plus difficiles à déplacer qu'ils se trouvent plus éloignés de sa paroi, Le gravier filtre calibré est utilisé pour envelopper la crépine, formant ainsi une gaine filtrante **(25)**.

I.7. Essais de pompage

L'essai de pompage permet de déterminer les caractéristiques Hydrodynamique d'aquifère. Le pompage est effectué sur le forage et l'évolution dans le temps de la surface piézométrique (le rabattement en fonction du temps).**(26)**

I.7.1. Essais par palier

Concrètement un essai par palier permet d'évaluer la performance d'un ouvrage de captage, il est mené suivant plusieurs débits croissants, pendant très courtes périodes (s'appelle palier). La durée du palier est si courte que rabattement provoqué par pompages, si le pompe était plus long comme un essai a long duré , le rayon d'exploration aurait le temps de s'étendre dans la nappe.(26)

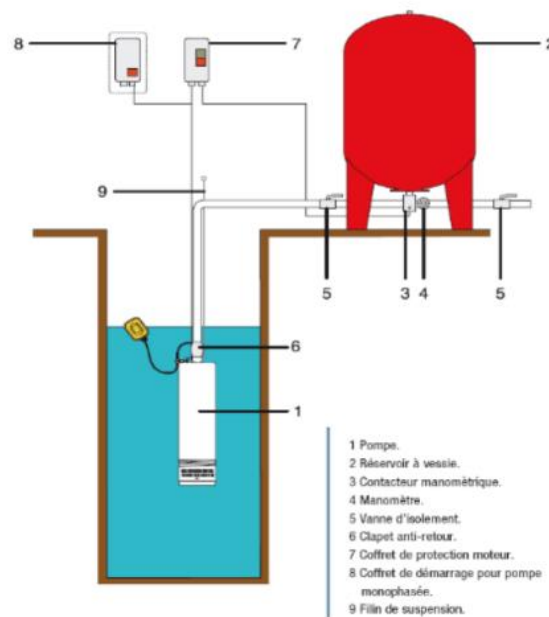


Figure 18: Pompage de forage (BECHARA Abdelmalik)

I.7.2. Essai de longue durée

Ce type d'essais est à exécuter par un seul palier Il s'effectue en réalisant des paliers de débit constant pendant une courte durée. On mesure le rabattement à la fin de chaque palier ainsi que le débit. Chaque palier est suivi par un arrêt d'une durée permettant la remontée de niveau d'eau. Par expériences, trois paliers avec débits croissants, dont chacun de deux heures sont Suffisants. De débit (25l/s constant) pendant 42 heures au moins avec un optimum de 72 heures. La remonté du niveau doit être observée pendant une durée égale. (23)

Partie II

II. Généralités sur les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont une ressource cachée que l'on a tendance à oublier. À l'échelle du cycle hydrologique, les eaux souterraines ne représentent qu'une faible partie de toute les eaux marines et océaniques, elles représentent alors une fraction importante des eaux douces continentales, l'eau souterraine est l'eau qui existe dans les pores, les fissures des roches et dans les sédiments sous la terre et aussi sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, et qui transite plus ou moins rapidement

La qualité de l'eau dépend du terrain car il y a un équilibre et un échange de matières entre le terrain et l'eau qui s'y trouve. (27)

II.1. Paramètres de qualité de l'eau

L'eau potable doit obligatoirement respecter les seuils réglementaires de différents paramètres.

II.1.1. Paramètres organoleptiques

II.1.1.1. Couleur

Une eau potable ne doit pas présenter une couleur, cependant la coloration de celle-ci

Est due généralement à la présence de substance colorée provenant essentiellement :

- De la nature présence de substances minérales en particulier le fer et le manganèse.
- De l'eutrophisation (développement excessif d'algues et de plancton) ainsi la décomposition des matières végétales.

- De l'industrie chimique (teinture et l'industrie textile). Une coloration de l'eau est indésirable, car elle provoque toujours un doute sur sa potabilité. Elle doit être éliminée pour la rendre agréable à boire. (27)

II.1.1.2. Odeur

Toute odeur est un signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition. (28)

II.1.1.3. Gout et saveur

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque la boisson est dans la bouche. La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs(27)

II.1.2. Paramètres physique-chimique

II.1.2.1. Température

C'est une caractéristique physique importante. Elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, et aussi la détermination du pH. Sa mesure est effectuée par le thermomètre. D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air, par ailleurs les eaux souterraines ont une température plus faible en raison de la profondeur (27)

II.1.2.2. Potentiel d'hydrogène PH

Le pH de l'eau est une mesure de l'acidité de celle-ci, c'est-à-dire de la concentration en ions hydrogène (H^+). Le pH d'une eau naturelle peut varier de "4" à "10" en fonction de la nature acide ou basique des terrains traversés. Le pH n'a pas de signification hygiénique, mais il présente une notion très importante pour la détermination de l'agressivité de l'eau (29)

Des pH faibles augmentent le risque de présence de métaux sous forme ionique plus toxique. Des pH élevés augmentent les concentrations d'ammoniac, qui est toxique. Le pH d'une eau potable doit se situer entre 6.5 et 8.5.(30)

II.1.2.3. Conductivité électrique

Une propriété physique importante pour le traitement de l'eau. Elle mesure la capacité de l'eau à conduire l'électricité et est principalement influencée par la présence de sels dissous dans l'eau, tels que les ions minéraux. La conductivité électrique est utilisée comme indicateur de la concentration totale des solides dissous dans l'eau, ce qui peut donner des informations sur sa salinité, sa pureté et sa qualité générale.((31)

Tableau 1: Conductivité et minéralisation(31)

C = Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Minéralisation
$C > 100$	Très faible
$100 < C < 200$	Faible
$200 < C$	Moyenne
$333 < C$	Moyenne accentuée

II.1.2.4. Résidu sec 100°C

Le résidu sec donne une information sur la teneur en substances dissoutes non volatiles (le taux des éléments minéraux). Suivant le domaine d'origine de l'eau cette teneur peut varier de moins de 100 mg/l (eaux provenant de massifs cristallins) à plus de 1000 mg/l (32)

II.1.2.5. Turbidité

La turbidité désigne la teneur d'une eau en particules suspendues qui la troublent. C'est la propriété optique la plus importante des eaux naturelles. On mesure la turbidité en unités de turbidité néphélométrie (UTN) à l'aide d'un turbidimètre. Cet instrument envoie un rayon de lumière à travers un échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière qui passe à travers l'eau par rapport à la quantité de lumière qui est réfléchiée par les particules dans l'eau(33)

Pour la sécurité du consommateur, l'eau destinée à la consommation doit présenter une turbidité inférieure à 5 NTU (34) .Les classes de turbidité usuelles sont représentées dans le tableau 2 :

Tableau 2 : Classes de turbidité de l'eau. (34)

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

II.1.2.4. Alcalinité

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement de la présence d'hydrogencarbonates (HCO_3^-), carbonates (CO_3^{2-}) et hydroxydes (OH^-). Pour la détermination de l'alcalinité, on distingue deux titres (35).

II.1.2.4.1. Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

Correspondant à l'alcalinité totale au pH de 4,5 ce qui revient à déterminer les ions d'hydrogencarbonates (HCO_3^-), les ions de carbonates (CO_3^{2-}) et les ions d'hydroxydes (OH^-).

II.1.2.4.2. Titre Alcalimétrique Simple (TA) (alcalinité composite)

Elle correspond à l'alcalinité entraînée par les ions d'hydroxydes (OH^-) et à la moitié des ions de carbonates (CO_3^{2-}), cette alcalinité est nulle pour une eau dont le pH est inférieur ou égale à 8,3. (36)

II.1.2.5. Cations

II.1.2.5.1. Calcium (Ca^{2+})

Il provient principalement de la dissolution des calcaires et des marnes. Sa présence en grande quantité peut être aussi due à la dissolution du gypse. La dissolution ou la précipitation du calcaire dépend de la teneur en CO_2 et du pH. Les eaux potables de bonne qualité renferment 100 à 140 mg/l de (Ca^{2+}). (37)

II.1.2.5.2. Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium est un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre. La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau, même le carbonate peut être dissous jusqu'à 300 mg/l à 20°C. La teneur dépend de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires, dolomitiques, du jurassique ou du trias moyen). Les valeurs les plus faibles sont relevées dans la plupart des eaux des massifs anciens. Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau ; sa teneur dépasse rarement 15mg/l. Il est présent sous forme de carbonates et d'hydrogencarbonates. **(38)**

II.1.2.5.3.Sodium (Na^+)

Le cation sodium (Na^+) est très abondant sur la terre. On le retrouve dans les roches cristallines et les roches sédimentaires (sable, argile, évaporite). La roche Halite (évaporite $NaCl$) est le sel de cuisine. Il est très soluble dans l'eau. Le sodium est par contre généralement peu présent dans les roches carbonatées. Notons que les argiles peuvent être saturées en ions Na^+ , par le processus d'échange de bas. **(38)**

II.1.2.5.4.Potassium (K^+)

Le potassium se trouve sous forme de cation monovalent (K^+) en milieu naturel, il ne représente aucun inconvénient particulier sur la santé des populations, bien qu'il soit une des sources possibles de radioactivité de l'eau et aussi un métal essentiel pour l'organisme, notamment par son rôle dans la régulation du potentiel membranaire. **(39)**

II.1.2.5.5.Fer (Fe^{2+})

Les eaux de surface peuvent contenir jusqu'à quelque mg/l de fer ayant pour origine la lixiviation des terrains traversés ou les pollutions industrielles. Le fer peut se rencontrer jusqu'à 10 mg/l dans les eaux de sondage. Les eaux minérales et principalement les eaux thermo-minérales peuvent en contenir plus de 10 mg. **(38)**

II.1.2.6. Anions

II.1.2.6.1. Chlorures (Cl⁻)

Les chlorures sont naturellement présents dans les eaux. Leur origine est essentiellement géologique (argile, marnes, et calcaire dolomitiques), mais ils peuvent provenir également d'une pollution organique par les pesticides principalement les organochlorés, les détergents, les épandages et par les rejets industriels. Une surcharge en chlorure dans l'eau, peut être à l'origine d'une saveur désagréable surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium. Les directives de l'Union Européenne et de l'O.M. S précisent qu'au-delà d'une concentration de 200 mg/l de chlorure (Cl⁻), des risques peuvent s'apercevoir sur le plan sanitaire. (40)

II.1.2.6.2. Sulfate (SO₄²⁻)

Elles sont rencontrées sous forme de sulfates de magnésium et sous forme calcique dans les eaux dures. A fortes concentrations, ils peuvent provoquer des troubles gastro-intestinaux (en particulier chez les enfants). Ils peuvent aussi conférer à l'eau un goût désagréable.(41)

II.1.2.6.3. Bicarbonate

Les bicarbonates proviennent de la dissolution des carbonates de calcium et de magnésium. Ils sont responsables de la dureté temporaire de l'eau. En trop grande quantité, ils peuvent donner un goût amer et acide à l'eau. (37).

A basse température, le CO₂ se dissout dans l'eau et favorise sa transformation en acide carbonique (H₂CO₃) qui donne les ions HCO₃⁻ ces réactions chimiques sont liées à l'évolution du pH :

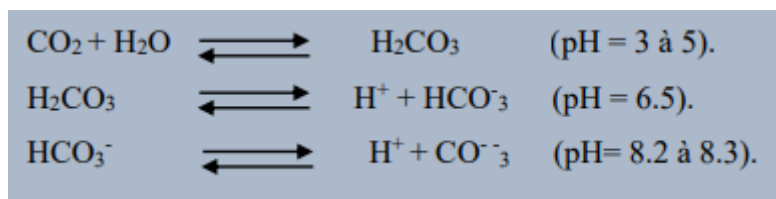


Figure 19 : Liaison entre les réactions et le PH

II.1.3. Paramètre de pollution

La pollution des eaux se mesure par plusieurs paramètres de pollution :

II.1.3.1. Phosphate (PO_4^{3-})

Les phosphates, abondants dans les eaux de surface, proviennent des engrais et des pesticides utilisés en agriculture et introduits par lessivage, et des rejets domestiques et industriels. Une eau riche en phosphore favorise le développement du phytoplancton (l'eutrophisation) entraînant des dépôts de matières organiques dans les réseaux de distribution et conférant à l'eau un goût et une odeur désagréable(43)

II.1.3.2. Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique. Ils sont abondamment ré pondus dans le sol, dans les plantes et la plupart des eaux, ou ils sont solubles. Ils se retrouvent naturellement dans les eaux souterraines et superficielles. Sans apport artificielles, les eaux de surface ne contiennent pas plus de $10\mu\text{g/l}$ de nitrates(44)

II.1.3.3. Nitrites (NO_2^-)

Considéré comme un élément toxique, c'est la forme la moins stable dans le cycle de l'azote. Il est issu de la réduction de l'ammonium NH_4^+ . Son origine est liée à l'agriculture et aux rejets urbains et industriels (45)

II.1.3.4. Ammonium (NH_4^+)

L'ammonium est la forme d'azote la plus toxique. Sa présence dans l'eau est liée soit aux rejets urbains et industriels, soit à la réduction des formes azotées (nitrites et nitrates) en conditions réduites. (46)

Ont considérés que les eaux naturelles présentent une teneur de l'ordre de $0,0015\text{ mg/l}$ en NH_4^+ mais d'une manière générale une eau bien oxygénée ne contient que des traces d'ammoniaque (45)

Conclusion

En conclusion, le chapitre I a fourni une introduction complète et détaillée sur la réalisation de forage et la qualité des eaux souterraines. Nous avons appris que le foration est

une technique essentielle pour accéder aux eaux souterraines et exploiter cette ressource précieuse.

En résumé, ce chapitre nous a permis de comprendre les principes de base de la réalisation de forage, ainsi que les paramètres liés à la qualité des eaux souterraines.

Chapitre II : Présentation de l'entreprise et la zone d'étude

Introduction

Cette partie du rapport vise à fournir une présentation complète de l'entreprise, en mettant en évidence ses activités principales, sa structure organisationnelle, ainsi que ses objectifs et sa vision. De plus, nous nous intéressons à la zone d'étude, délimitant les caractéristiques géographiques et socio-économiques qui la définissent.

Nous nous concentrerons sur la zone d'étude qui joue un rôle crucial dans les activités de l'entreprise DRE. Nous examinerons les caractéristiques géographiques telles que la localisation, la topographie, le climat et hydrogéologique de la région, les infrastructures et les principales industries présentes dans la région. Comprendre l'environnement dans lequel l'entreprise évolue est essentiel pour évaluer les opportunités et les défis auxquels elle est confrontée.

II.1. Direction des ressources en eau DRE

La Direction des ressources en eau est une agence gouvernementale chargée de la gestion, de la régulation et de la protection des ressources en eau en Algérie. La direction est rattachée au ministère des Ressources en eau et de l'Environnement et travaille à l'élaboration de politiques et de programmes de gestion durable de l'eau.

II.2. Localisation de direction en ressource en eau

Elle est située au niveau de centre-ville de la wilaya Adrar précisément au niveau de la commune Adrar, La Direction est située à cinq kilomètres de la route nationale RN°6

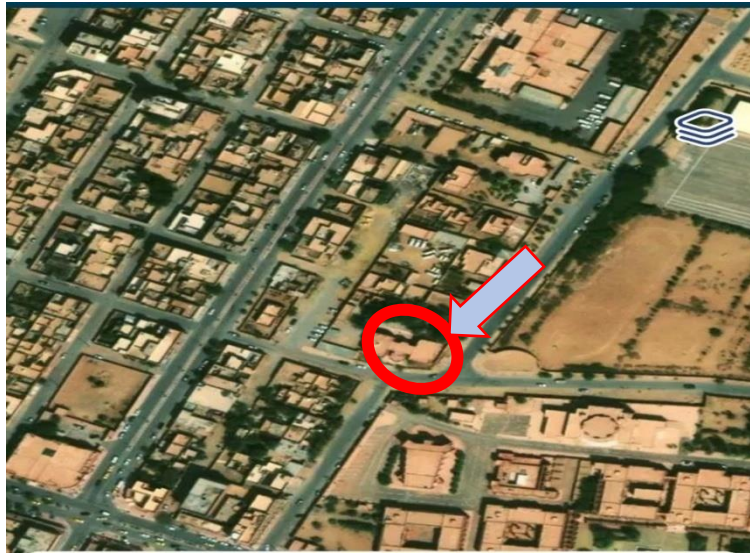


Figure 20: Localisation géographique de la direction (maps)

II.3. Services de la direction

- Le service d'alimentation en eau potable.
- Le service d'assainissement.
- Le service hydraulique Agricole.
- Le service de l'administration des moyens.

II.4. Missions de la direction

- Veiller à la sauvegarde, préservation, protection et l'utilisation rationnelle des ressources en eau.
- Rassembler les informations nécessaires.
- Assurer la maîtrise d'ouvrage et le suivi de l'exécution des projets.
- Veiller à l'application de la réglementation régissant les ressources en eau.
- Encourager les investissements dans les projets hydrauliques et soutenir les activités économiques liées aux ressources en eau, telles que l'agriculture et l'industriels que la sécurité alimentaire, le développement économique, l'innovation technologique, l'adaptation aux changements climatiques et la protection de l'environnement.

II.5. Organigramme de la direction DRE

Cet organigramme nous explique les différents services de la direction de ressource en eau :

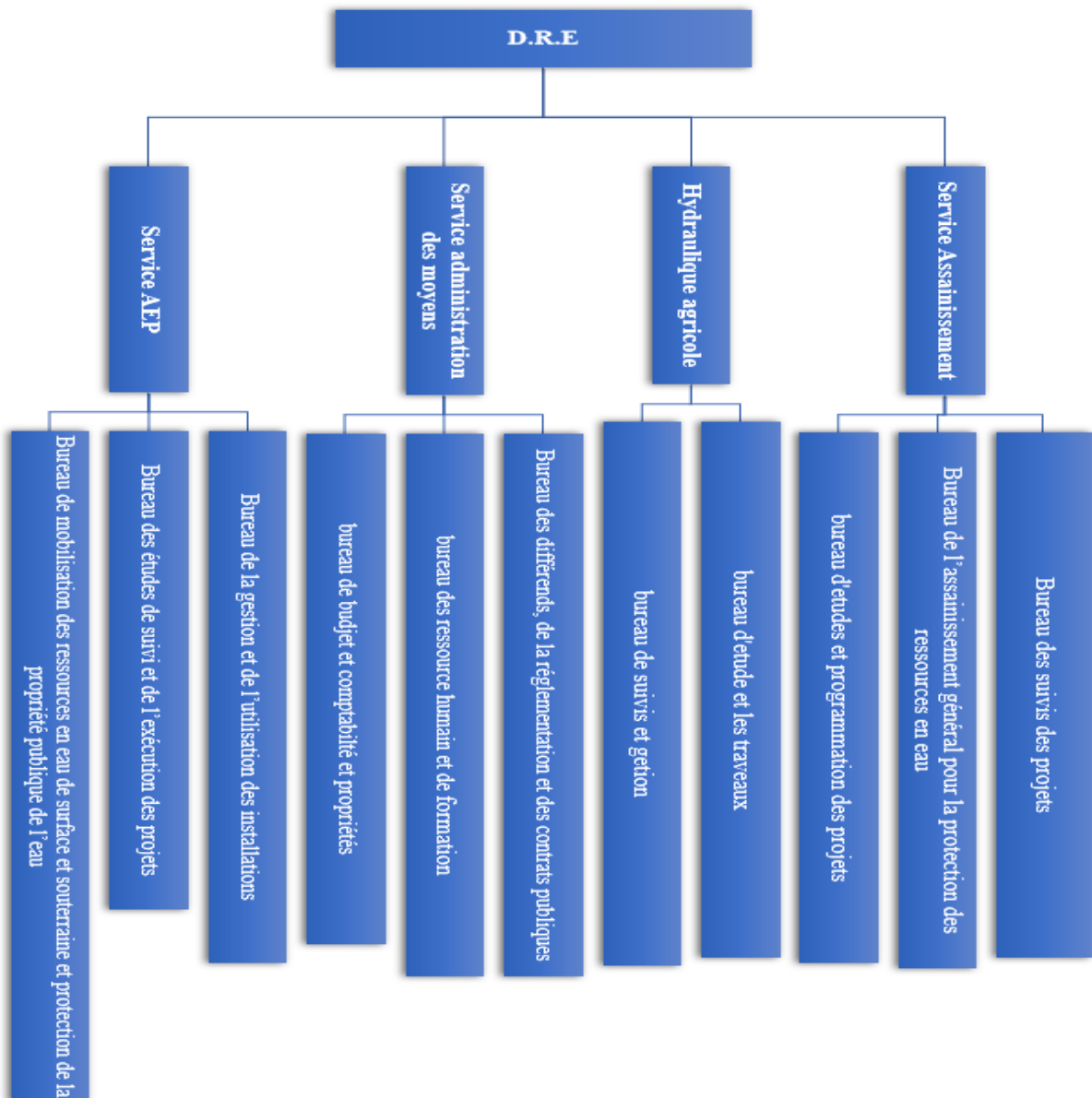


Figure 21: Organigramme de la direction

II.7. Présentation de la zone d'études

II.7.1. Situation géographique

La wilaya d'Adrar est située dans la région sud-ouest de l'Algérie. Elle est bordée au nord par la wilaya de Tindouf, à l'est par la wilaya de Béchar, et à l'ouest par la wilaya de Tamanrasset. La ville d'Adrar est la capitale de la wilaya et est située à environ 1 500 kilomètres au sud-ouest de la capitale Alger. La wilaya d'Adrar est une région désertique et montagneuse qui couvre une superficie de 427 368 km². Elle abrite une grande partie du désert du Sahara et est traversée par plusieurs chaînes de montagnes, notamment les montagnes de l'Atakoret les montagnes du Hoggar

Les coordonnées géographiques d'Adrar sont comprises entre 3°14'E et 1° 22'W pour longitude ; et 26°30' et 28°30' au Nord pour l'altitude soit une altitude moyenne de 222 m.

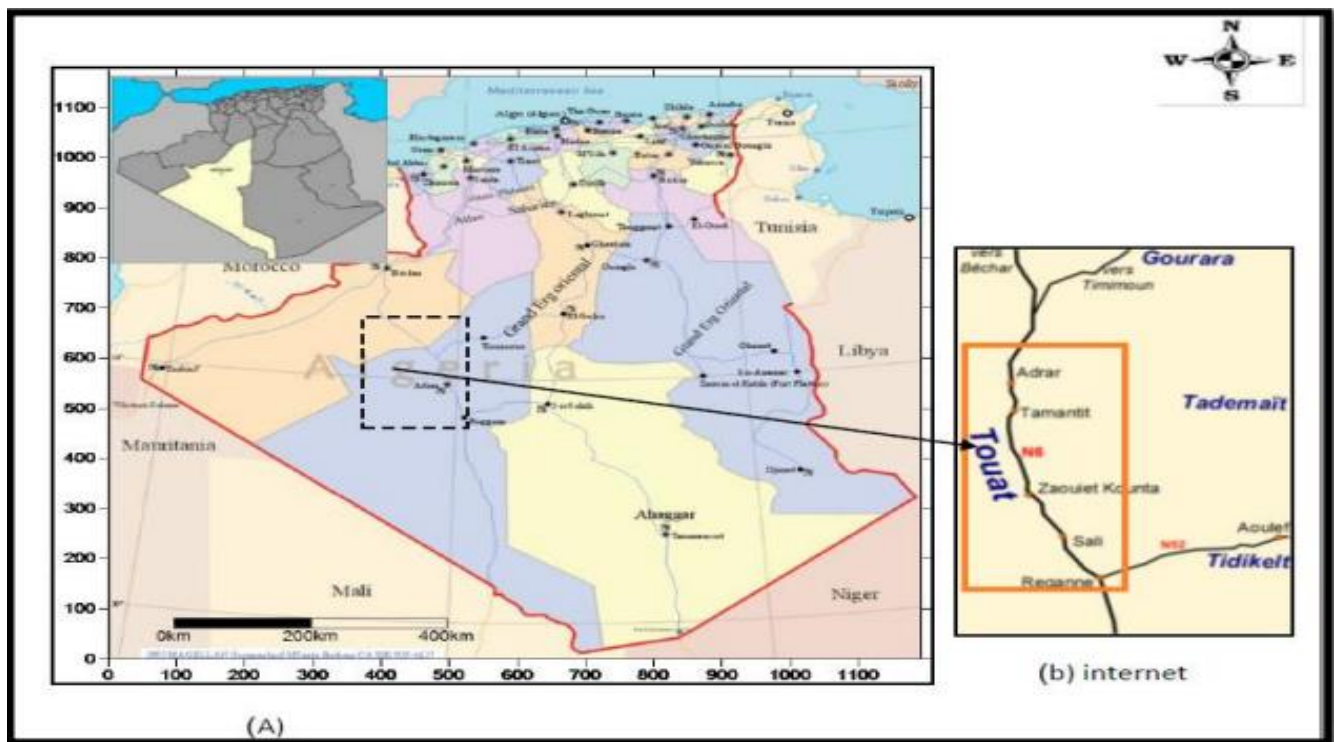


Figure 22: Situation géographique d'Adrar

II.7.2. Situation topographique

La commune d'Adrar, capitale de l'état d'Adrar en Algérie, est située dans une zone désertique et montagneuse, à une altitude moyenne de 267 mètres. Le terrain de la municipalité est caractérisé par de nombreuses montagnes et collines, y compris les montagnes Atacor et les collines Tigargart.



Figure 23: Situation topographique d'Adrar

II.7.3. Situation géologique

La zone d'étude fait partie de la g plateforme saharienne au bassin Sbaa, située au Sud de l'Algérie elle appartient au Craton Nord-Africain. Elle comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, structurée au paléozoïque en plusieurs bassins.

- Bassin de reggane .
- Bassin reguibat.
- Bassin azzi et azzelmatti.
- Bassin de boubernous et ougrout.
- Bassin sbaa.
- Voute d'azzene.

- Bassin timmioun.
- Chaîne ougarta.
- Bassin ahnet.

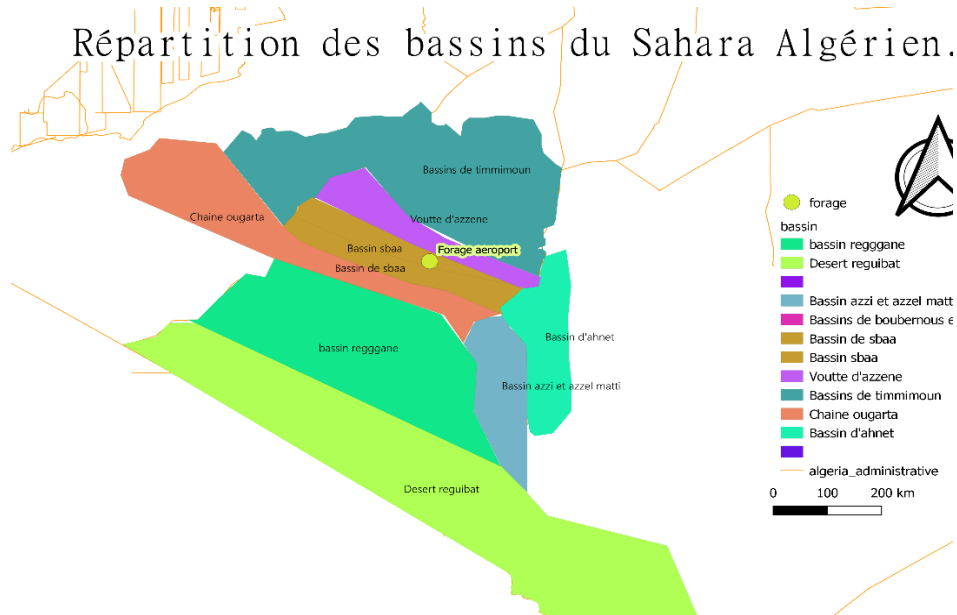


Figure 24: Répartition des bassins du Sahara algérien

II.7.4. situation climatique de la wilaya Adrar

II.7.4.1. Température

La température est un élément fondamental du climat, sa variation influe sur la transformation de l'eau en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol, elle influe sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. L'analyse des températures sera faite à partir des données de la station d'Adrar pour la période allant de 2012 à 2022. (48)

II.7.4.1.1. Variation de température moyenne annuelle (2012_2022) :

L'analyse des données de la température moyenne annuelle montre que l'année la plus chaude est l'année 2012 avec une température moyenne annuelle de 27.37°C et que l'année la plus froide est l'année 2022 avec une température moyenne annuelle de 24.07°C, la

température moyenne interannuelle est de 25,89°C. La figure (30) et le tableau 2.2 ci-dessous présente la répartition des températures, moyenne minimale (T°C min), moyenne annuelle (T°C moy), ainsi que la moyenne maximale (T°C max) pour une série de 20 ans d'observation.

Tableau 3: Température moyens annuels (2012_2022) (56)

Année	T°C min	T°C moyenne	T°C max	Année	T°C min	T°C moyenne	T°C max
2012	16.67	25.32	33.39	2020	17.61	26.84	34.89
2013	15.14	24.07	32.09	2021	17.73	26.38	34.28
2014	16.57	26.43	32.90	2022	17.60	26.07	33.88
2015	16.38	25.43	33.16				
2016	17.20	25.55	33.33				
2017	17.48	25.69	33.41				
2018	17.37	25.49	33.16				
2019	17.38	25.65	33.60				

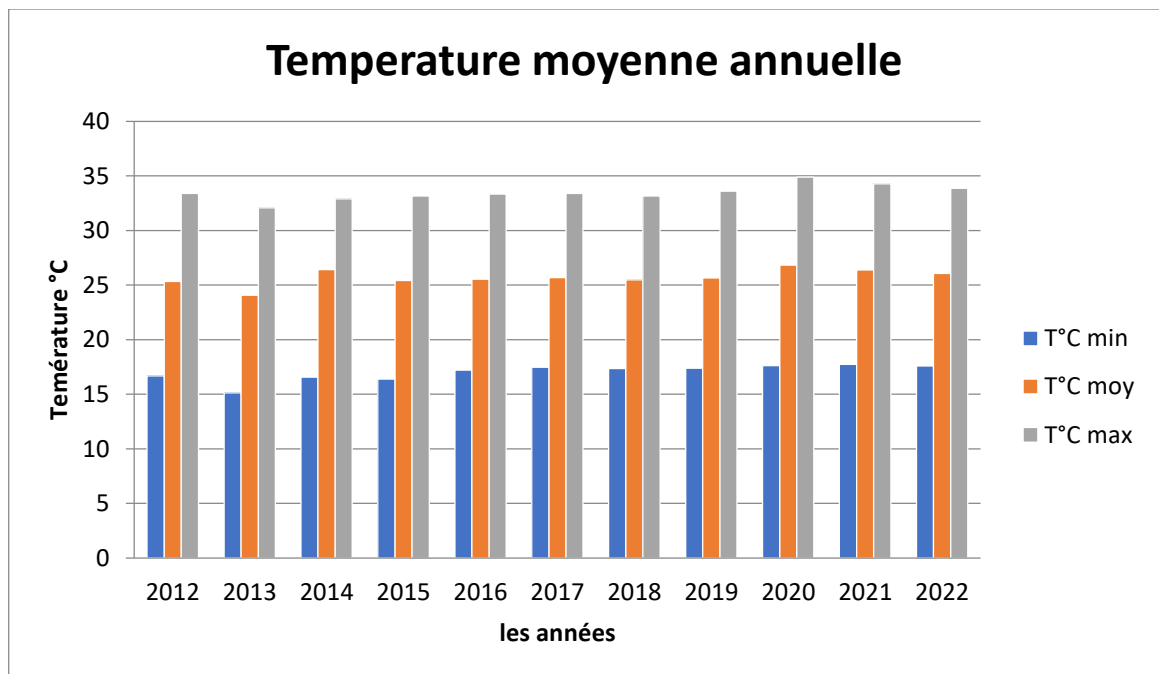


Figure 25: Variation moyens annuelles de température en (2012_2022)

L'analyse des données de la température moyenne annuelle montre que l'année la plus chaude est l'année 2020 avec une température moyenne annuelle de 34,89°C et que l'année la plus froide est l'année 2013 avec une température moyenne annuelle de 15,14°C.

II.7.4.1.2. Variations des températures moyennes mensuelles

Les valeurs de la température enregistrées sont présentées dans le tableau4et l'histogramme figuré dans la figure (27).

Tableau 4:Précipitation moyennes annuelles 2023 (56)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D
T°C	13,39	15,1	23,02	24,52	30,43	35,65	36,65	38,6	34,22	27,02	19,25	13,26

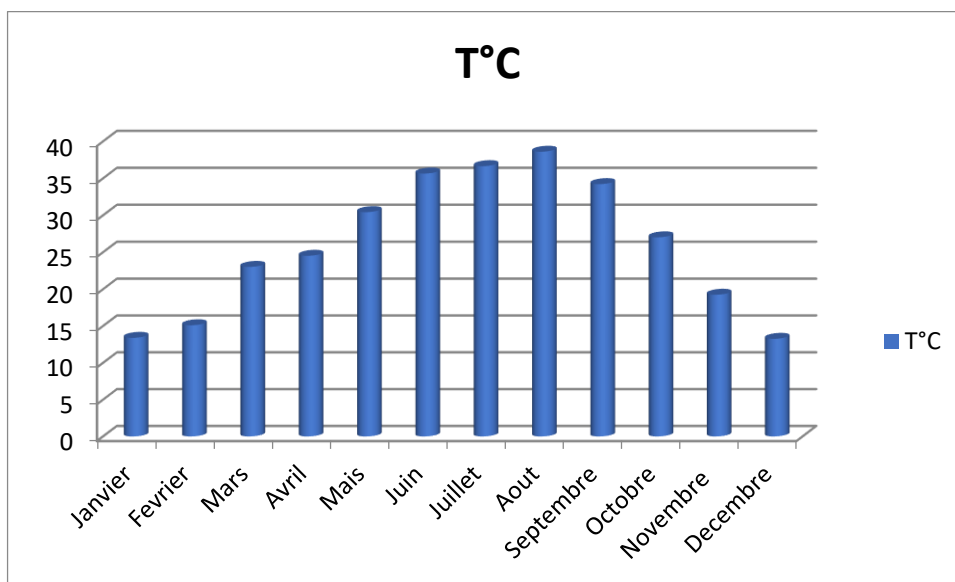


Figure 26:Précipitation moyennes annuelles en 2023

L'analyse de l'histogramme des températures moyennes mensuelles montre que le mois le plus chaud est le mois de Aout avec une température moyenne de l'ordre de 38,6°C, en revanche le mois le plus froid c'est le mois de Décembre avec une température moyenne de l'ordre de 13,26°C, la température moyenne mensuelle est de l'ordre de 25,93°C.(56)

II.7.4.2. La précipitation

La faiblesse de la pluviosité est le caractère fondamental des régions sahariennes, la figure ci-dessus montre que les précipitations annuelles sont très faibles et ne dépassent guère les 50 mm/an dans toute la région allant d'El Goléa à In Salah, dans notre région d'étude la précipitation est de l'ordre de 2-30 mm/an. **(56)**

II.7.4.2.1. Précipitation moyennes annuelles (2012-2022)

L'analyse de la courbe des variations interannuelles des précipitations, sur une période de 10 ans (2012-2022), montre que l'année 2019 est la plus arrosée avec une précipitation moyenne de l'ordre de 26,35 mm/an et que l'année 2018 est la plus sèche avec une précipitation moyenne de l'ordre de 0,28 mm/an, la précipitation moyenne interannuelle est de 13.315 mm/an. **Pr : Précipitation**

Tableau 5:Précipitation moyennes annuelles (2012-2022).

Année	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Pr(mm)	0.74	4.58	2.04	1.78	6.61	9.9	0.28	26.35	3.59	4.32

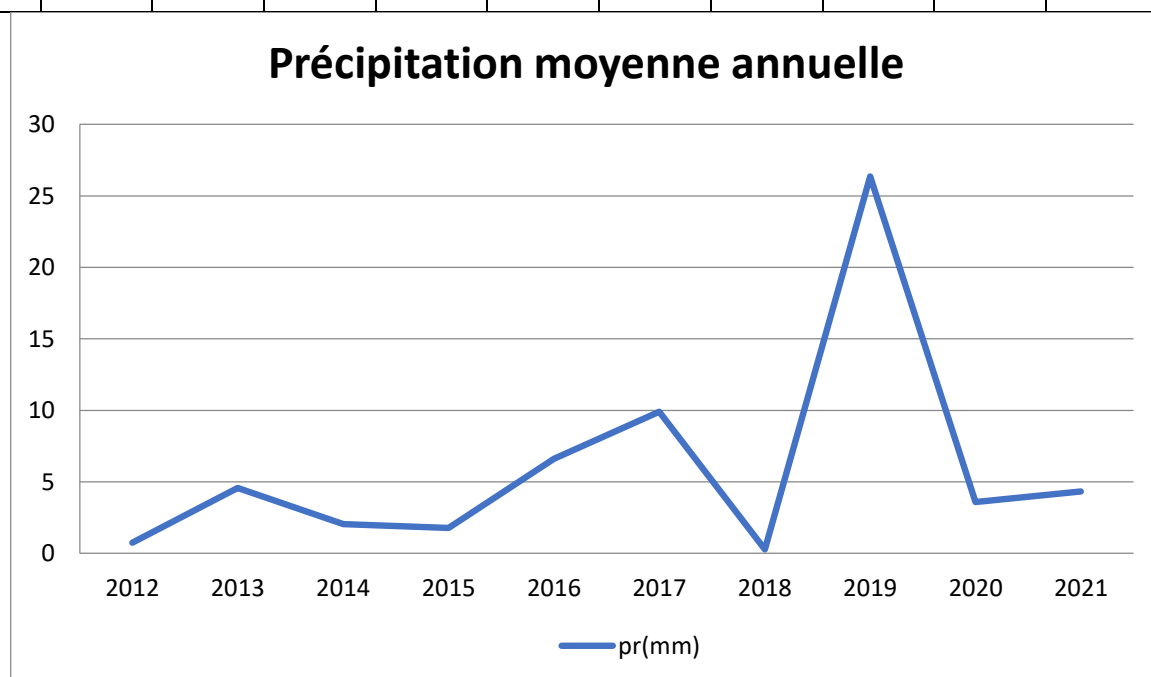


Figure 27: Courbe de Précipitation moyennes annuelles en fonction des années (2012-2022).

II.7.4.2.2. Précipitations moyennes mensuelles 2023

Tableau 6 : Précipitation moyennes mensuelles

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Pr(mm)	0.31	0.45	0.45	0.20	0.68	0.20	0.10	1.17	4.44	0.30	0.45	1.22

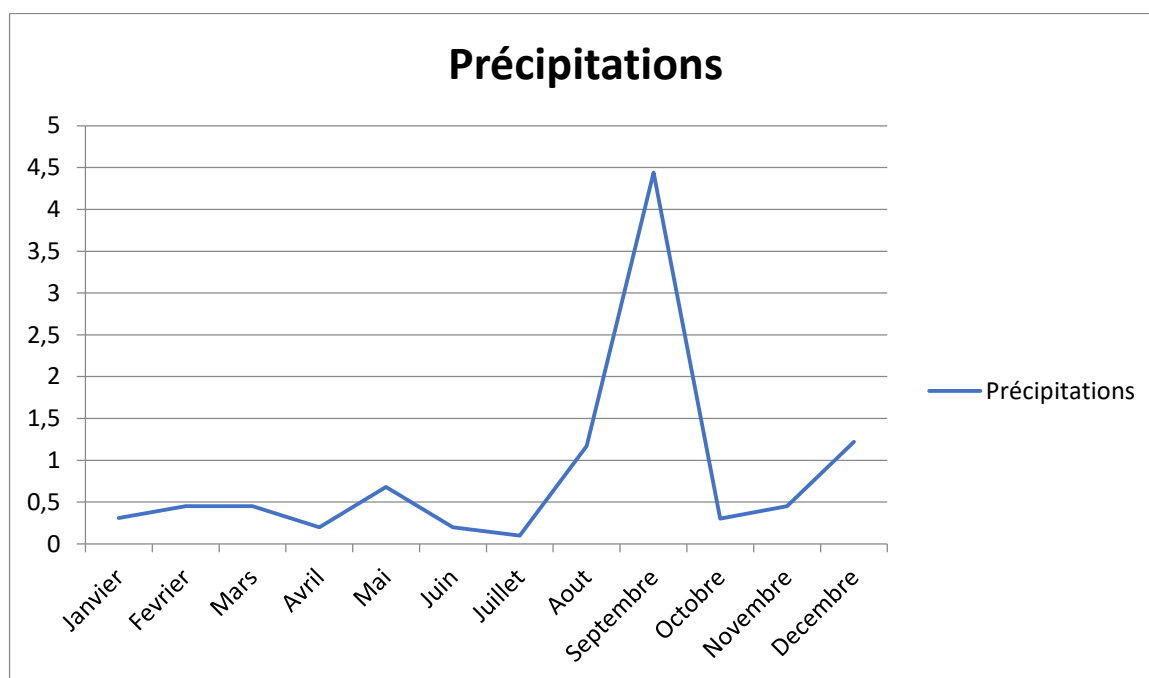


Figure 28 : Précipitation moyennes mensuelles en 2023

Dans la figure (28) ; Montre les variations des moyennes mensuelles des précipitations sur une période de 10 ans (2012 -2022). Le mois de septembre est le mois le plus arrosé avec 4.44 mm de précipitation et le mois de juillet comme le mois le plus sec avec 0.1mm La moyenne mensuelle est de l'ordre de 1.34 mm/mois.

II.7.4.3. Le vent

Phénomène caractérisé par un déplacement d'air plus ou moins important, de direction variable, dans les couches élevées de l'atmosphère comme à la surface du globe, ayant pour origine une différence de pression entre deux régions de l'atmosphère à laquelle peuvent s'ajouter, à la surface du globe, des causes d'ordre géographique .(49)

II.7.4.3.1. Vitesse annuelle de la vitesse du vent :

Tableau 7:Vitesse annuelle de la vitesse du vent (2012_2021)

Années	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Vv (Km/h)	23,69	21	20,32	20	18	18	17,7	19,5	18,8	18,4

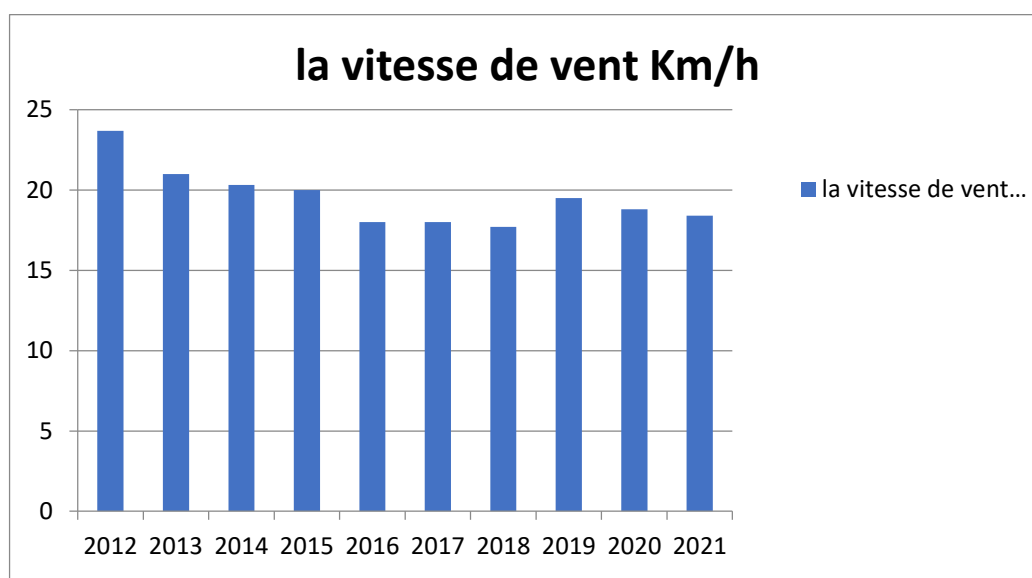


Figure 29: Variation de vitesse de vents annuels (2012_2021)

II.7.4.3.2. Moyennes mensuelles de la vitesse du vent

Tableau 8:Moyennes mensuelles de la vitesse du vent en 2023

Mois	J	F	M	A	M	J	J	O	S	O	N	D	mpoyens
Vitesse Moyenne Km/s	5,7	5,6	6,6	6,3	6,0	5,5	5,8	5,6	5,6	5,5	5,3	4,8	5,7

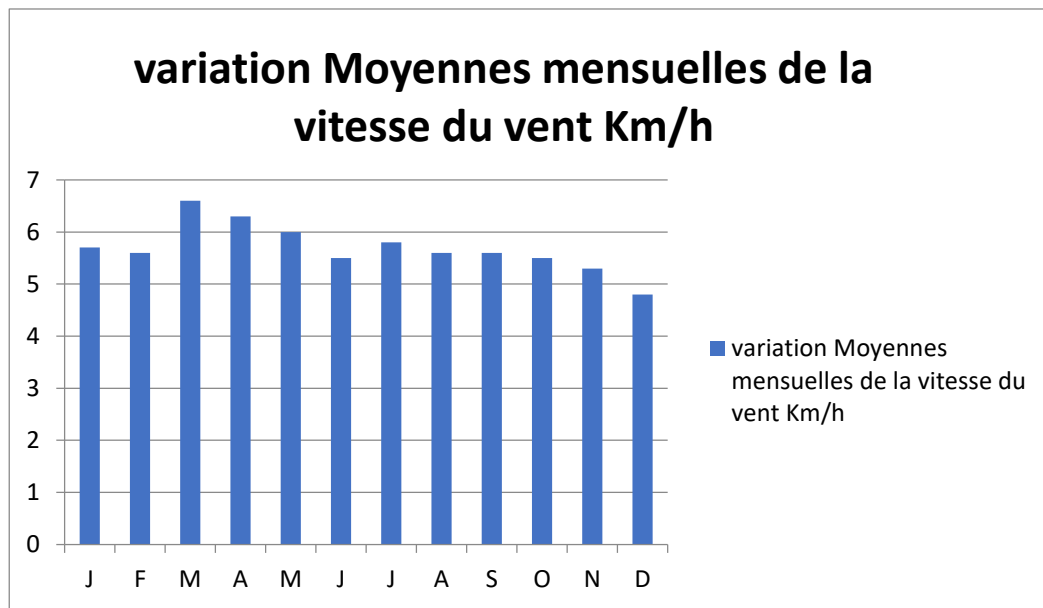


Figure 30: Variation moyennes mensuelles de la vitesse en 2023

A partir de **la figure 31** : la vitesse du vent est inférieure à 4,8 km/h pendant les mois de novembre. Le vent de sable, est le vent qui transporte le sable d'un endroit à un autre.

II.7.4.4. Humidité de l'air relative (Hr)

L'humidité est le taux d'eau présenté dans l'air et elle intervient dans la possibilité de formation des nuages et des précipitations. L'humidité relative est le rapport entre le volume de vapeur d'eau dans une quantité d'air donnée à une certaine température et la quantité maximale que ce même volume pourrait contenir à cette même température **(50)**

Tableau 9: Moyenne annuelles d'humidités de l'air

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Hr(%)	22.18	22	21.54	22.33	22.94	24.28	19.18	20.03	21.25	21.3

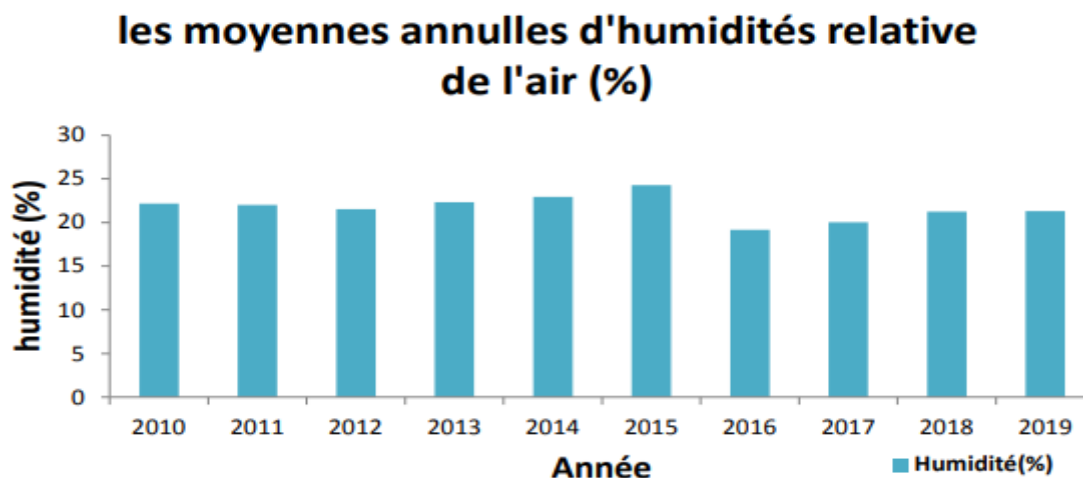


Figure 31 : Humidité moyennes annuelles relative de l'air (en %).

La figure 32 ; montre les variation des moyennes annuelles d'humidité relative de l'air, sur une période de 10 ans (2010-2020), montre que l'année 2015 est la plus arrosée avec d'humidité moyennes de l'ordre de 24.28 (%) et que l'année 2016 est la plus sèche avec d'humidité moyennes de l'ordre de 19.18 (%), l'humidité moyenne interannuelles sont de 21.99(%).

II.7.4.4.1. Les moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air (Hr %)

Le tableau : représente les variations de l'humidité moyenne mensuelle pendant la période 2010-2020.

Tableau 10 : Humiditémoyennes mensuelles de l'air (2010-2020).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Hr (%)	31.44	24.31	20.42	17.25	14.56	12.25	10.68	13.67	19.42	25.89	32.24	38.68

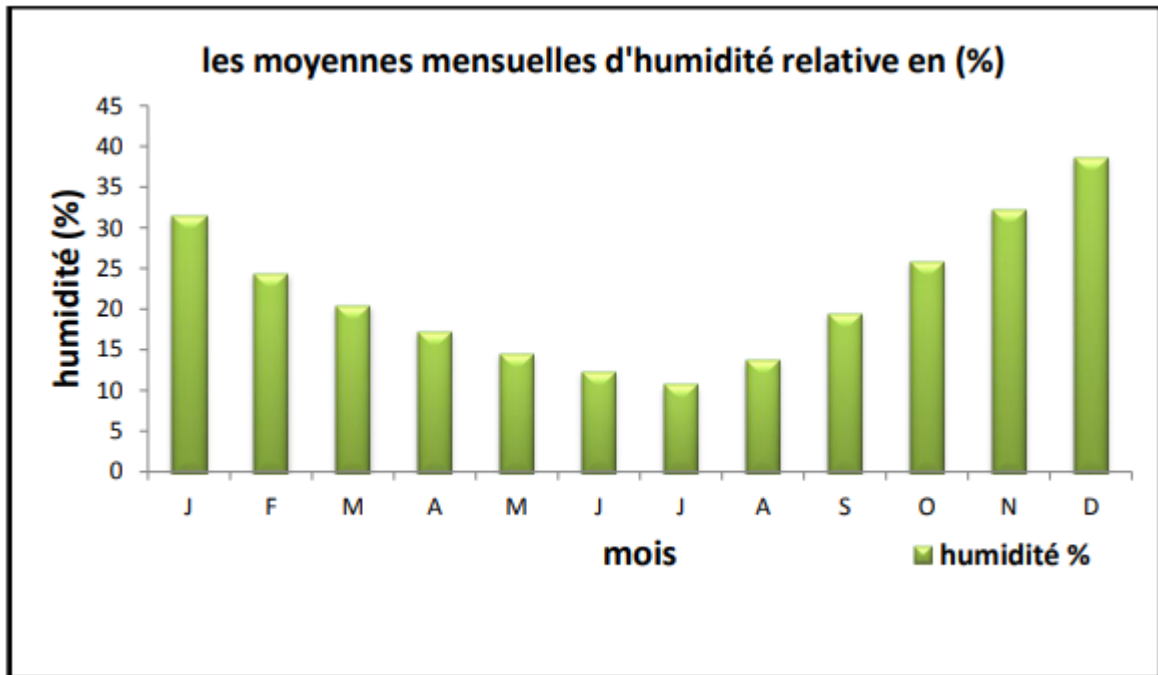


Figure 32: Moyennes mensuelles d'humidité relative de l'air (en %).

L'humidité atteint son maximum au mois de décembre avec une valeur de 38.68% et son minimum au mois de juillet avec une valeur de 10.68%.

II.7.5. Contexte géomorphologique

Le secteur d'étude fait partie d'une grande zone allongée sensiblement orientée Est Ouest, elle renferme quelques traits morphologiques, on trouve :

II.7.5.1. Le Plateau

Il limite la zone d'étude à l'Est (plateau de Tademaït) d'une forme tabulaire rocheuse.(49)

II.7.5.2. Les sebkhas

Les sebkhas sont des successions de petites sebkhas, généralement non communicantes, qui marquent la limite occidentale de la dépression et constitue l'exutoire naturel des eaux de la nappe aquifère.(50)

II.7.5.3. L'Erg

L'Erg est représenté par de massives dunes de sable à l'Ouest de la région d'étude (Erg Echache) et au Nord par le Grand Erg Occidental, d'autres petits Ergs abritent une vitesse du vent km/h végétation éphémère où sont formés artificiellement par des obstacles installés contre la progression des dunes de sable vers la palmeraie. Ils sont dispersés dans toute la région d'étude. (49)

II.7.5.4. Le Reg

C'est une surface plane couverte de gravier, sable et des débris de roches, il limite la zone au Sud.(49)

II.7.5.5. Les terrasses d'apport éolien

D'après la nature des roches et la force la vitesse du vent (agent érosif), les terrasses sont classées selon leur importance. Dans la région de Touat elles se sont formées au cours du Quaternaire.(52)

II.7.5.6. Les Hamadas

Ce sont des plateaux rocheux à topographie très monotone, souvent plate à perte de vue.(52)

II.7.5.7. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique d'Adrar qui fait partie du bassin occidental du Sahara Septentrional témoigne des écoulements endoréiques de surface au cours des périodes humides du Quaternaire cette zone d'étude est drainée par deux principaux oueds : Oued Messaoud (l'ancien affluent de la rive gauche de l'oued Saoura) et Oued Tilia (draine le versant occidental du plateau Crétacé du Tademaït, il passe au sud de la commune de Timmi).(53)

II.8. Hydrogéologique de la région

II.8.1. Définition du système aquifère

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » couvre une vaste superficie plus d'un million de km², il est reparti entre trois pays à savoir l'Algérie (700 000 km²), la Tunisie (80 000 km²) et la Libye (220 000 km²). Il s'étend du Nord depuis l'Atlas Saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et le rebord méridional du Tinrhert au Sud et de l'Ouest depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye à l'Est. Ce bassin renferme une série des couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Complexe Terminal (CT) et le Continental Intercalaire (CI). (49)

II.8.2. Le Continental Intercalaire dans la région d'étude

Le Continental Intercalaire est la seule et unique nappe d'eau dans la région d'étude, elle affleure tout le long de l'axe reliant Timimoune à In Salah (figure 3.1), elle représente la partie à surface libre du Système Aquifère du Sahara Septentrional dans sa partie Sud-Ouest. La nappe d'eau est contenue dans des formations d'âge crétacé inférieur, composée d'une lithologie meuble, argile, grès, sable et gravier, elle est sollicitée par 271 foggaras, 219 forages et plus de 2161 puits traditionnels dans l'axe reliant Adrar à Reggane, le niveau statique est de l'ordre de 10 à 30 m par rapport au sol et qui dépasse les 100 m sous le recouvrement du plateau de Tademaït, avec des débits des forages de l'ordre de 20 à 50 l/s qui engendrent des rabattements de 10 à 25 m.(49)

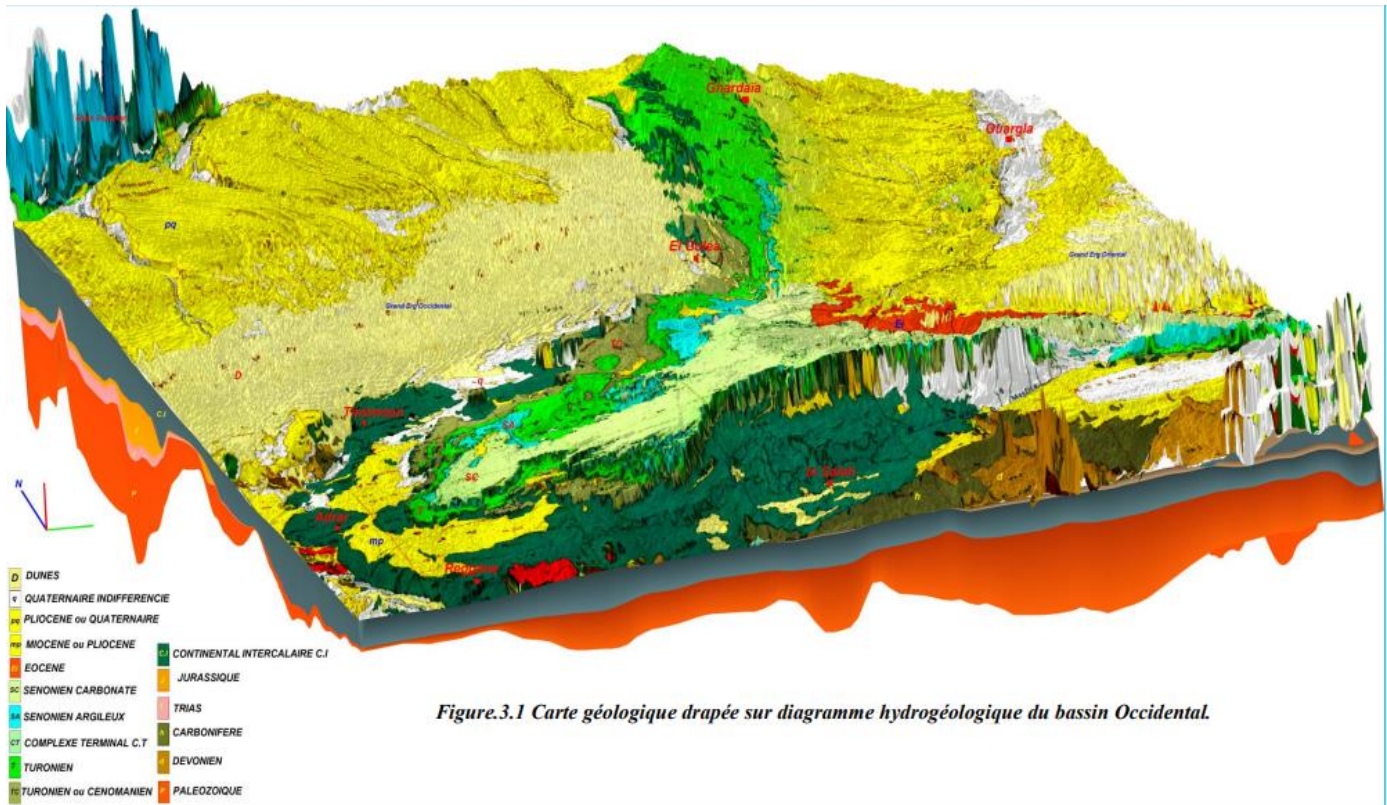


Figure.3.1 Carte géologique drapée sur diagramme hydrogéologique du bassin Occidental.

Figure 34: Carte géologique drapée sur diagramme hydrogéologique du bassin Occidental (BENHAMAZA)

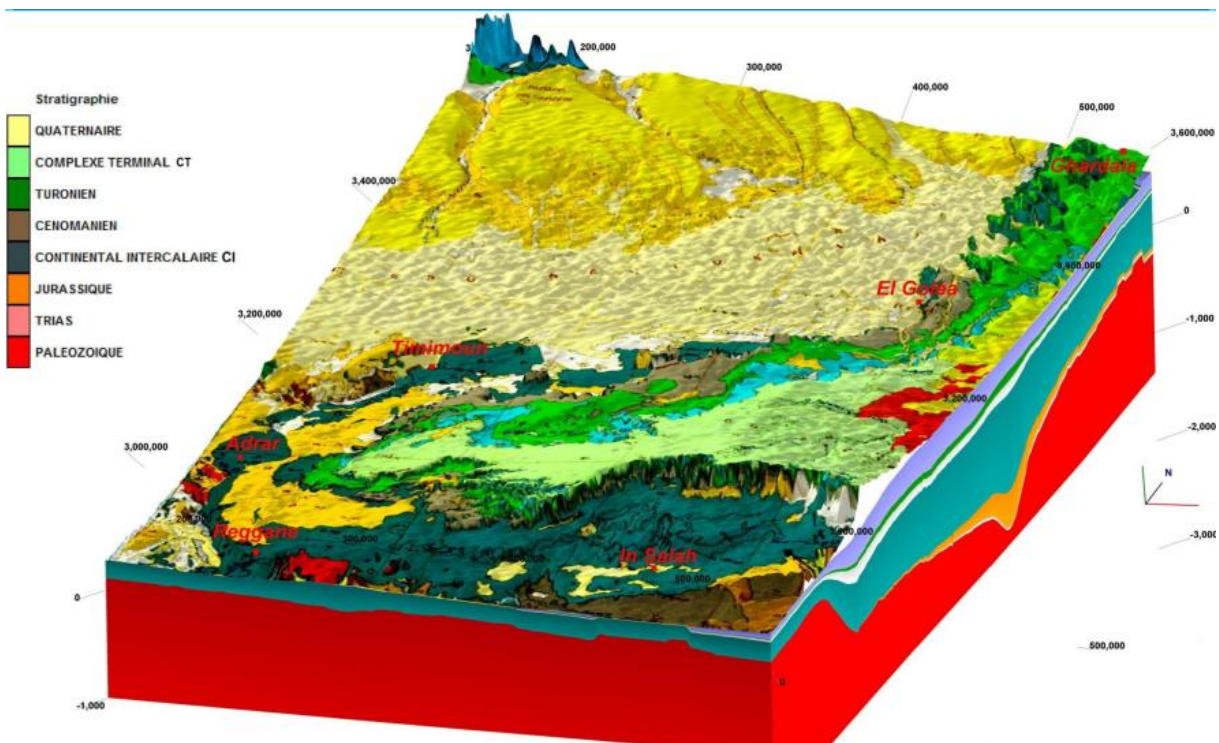


Figure 33: Carte géologique drapée sur diagramme hydrogéologique du bassin Occidental (BENHAMAZA)

II.8.3. Piézométrie du Continental Intercalaire

Le réseau piézométrique utilisé est composé de 30 piézomètres installés autour de la ville d'Adrar sur un rayon de 60 km, complété par les niveaux piézométriques de quelques forages réalisés dans la même période pour contourner une zone de 170 km de longueur, 44 points au total sont utilisés pour l'établissement de cette carte (figure). D'après la carte piézométrique, le sens d'écoulement de la nappe est orienté Nord-est Sud-ouest, avec un abaissement du niveau piézométrique estimé à huit (08) mètre, Le gradient hydraulique est faible, il est de l'ordre de 0.003 dans la région de Tasfaout, pour les autres régions le gradient hydraulique est de l'ordre de 0.0001 au centre et de 0.0002 à l'Est de la zone d'étude. (49)

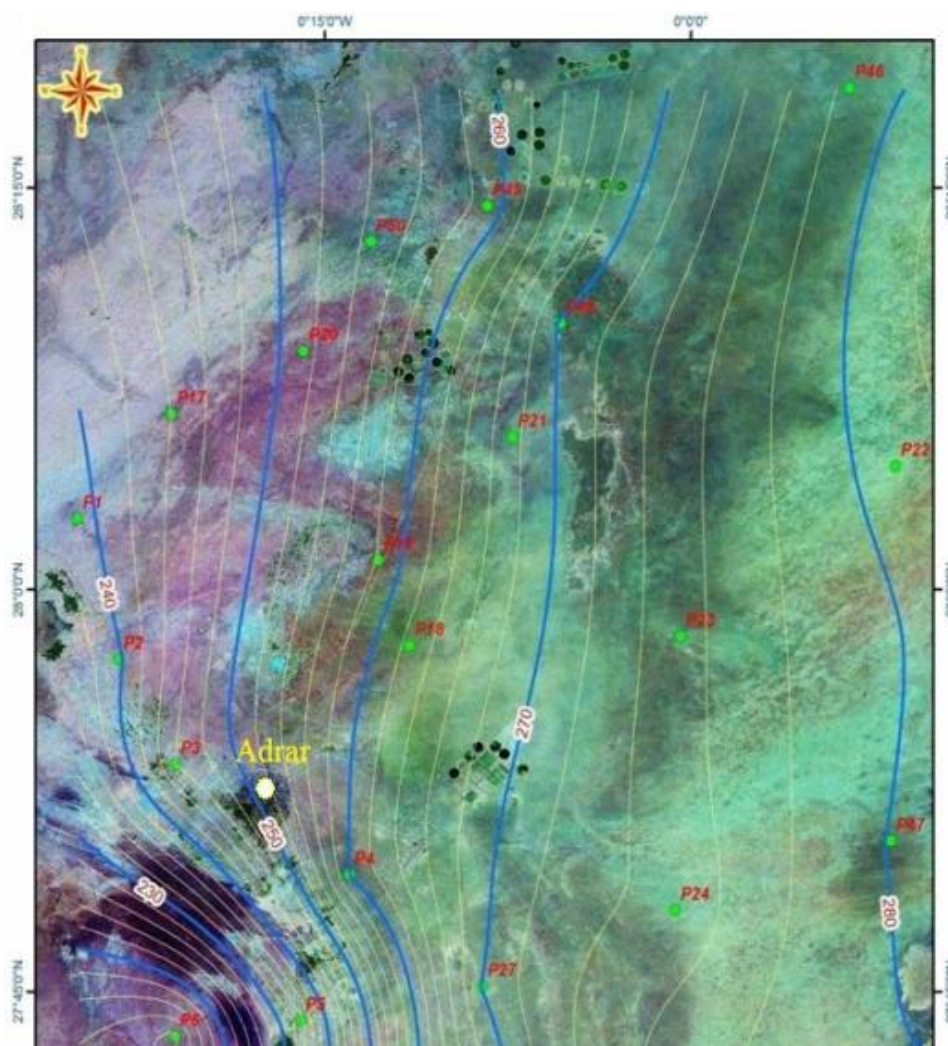


Figure 35: Carte de piézométrie de la région d'Adrar (BENHAMAZA)

II.8.4. Paramètre hydrodynamique de la nappe du Continental Intercalaire

II.8.4.1. Transmissivité T

La piézométrie est indispensable à la compréhension du comportement d'un aquifère, à sa caractérisation, à l'évaluation de ses capacités... Elle permet également de déceler des interactions entre exploitation de différents ouvrages. Des piézométries peuvent être mesurées à différentes échelles : d'un ouvrage à plusieurs nappes, suivant les objectifs poursuivis. La piézométrie est la mesure de profondeur de la surface de la nappe d'eau souterraine. (49)

La carte des transmissivités dressée à partir des données issues des essais de pompage (figure 36) montre que les valeurs de la transmissivité dans la partie où le Continental Intercalaire affleure sont de l'ordre de 0.01 à 0.08 m² /s.

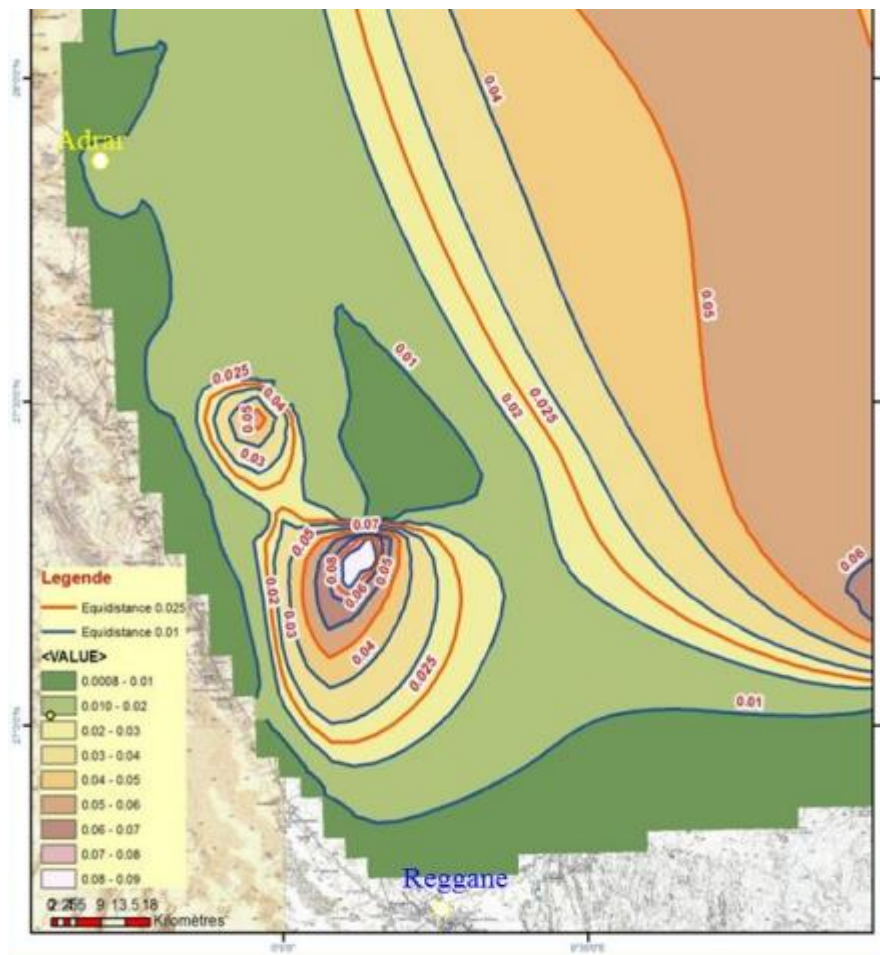


Figure 36: Carte de la Transmissivité (m²) (eybek 1995)

)

II.8.4.3. Coefficient d'emmagasinement

Le coefficient d'emmagasinement est une valeur sans dimension, notée S , qui représente le rapport du volume d'eau libéré ou emmagasiné par unité de surface de l'aquifère à la variation unitaire de charge hydraulique, (Δh), correspondante. (54)

La reconstitution de la carte du coefficient d'emmagasinement montre que les valeurs du coefficient sont de l'ordre de 0.05 dans la partie où le CI est libre et entre 0.005 et 0.0004 sous le Grand Erg Occidental et le plateau de Tademaït, là où le Continental Intercalaire s'enfonce et la nappe devient captive sous le recouvrement du crétacé supérieur du plateau de Tademaït. (49)

III.8.4.4. Conductivité hydraulique K_h

La conductivité hydraulique dépend de plusieurs facteurs, tels que la taille et la forme des pores du matériau, la saturation en eau, la perméabilité intrinsèque du matériau lui-même, ainsi que la viscosité de l'eau. Les matériaux ayant une conductivité hydraulique élevée permettent un mouvement plus rapide de l'eau, tandis que les matériaux ayant une conductivité hydraulique faible présentent une plus grande résistance à l'écoulement de l'eau.(57)

Conclusion

En conclusion, ce chapitre a permis de fournir des informations clés sur l'entreprise ou l'organisation, ainsi que sur la zone géographique spécifique, climat et hydrogéologique qui fait l'objet de l'étude avec détermination des paramètres hydrodynamique de la nappe du Continental Intercalaire.

Nous avons permis également de situer les contextes et d'établir les bases nécessaires pour comprendre le cadre dans lequel se déroule notre travail.

Chapitre III : Suivi des opérations de la réalisation de forage d'aéroport d'Adrar

Introduction :

La nature de lithologique de forage d'aéroport d'Adrar est composé de sable, gravier et argile qui nécessite utilisation de technique de forage rotary.

Les opérations de réalisation de forage d'eau revêt une importance cruciale pour répondre aux besoins en eau potable de la population,

III.1. Situation de forage

Le forage d'aéroport est situer sud-est de la commune Adrar à distance 7Km, son cordonnés sont ($27^{\circ}51'30''N$; $0^{\circ}12'37''W$), de profondeur 140m, le but de ce forage est l'adduction et la distribution de l'eau.

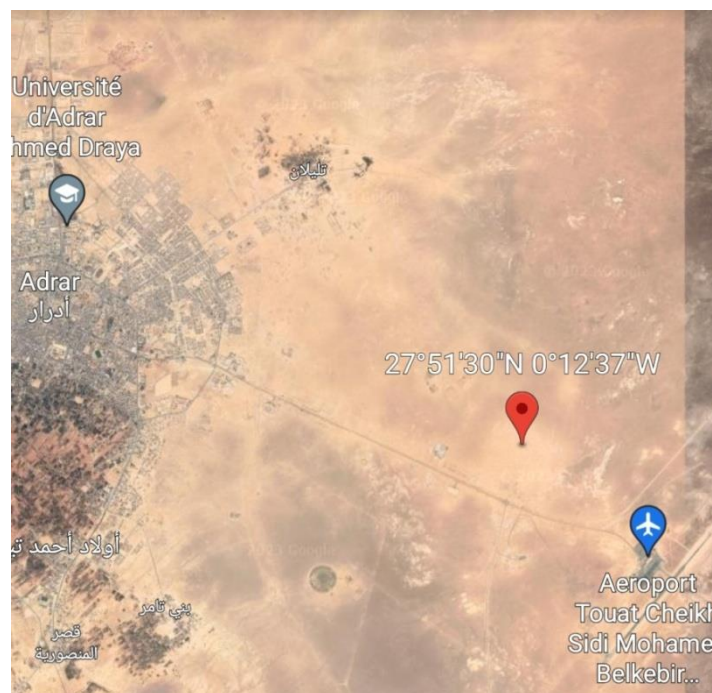


Figure 37 : Situation de forage

III.2. Opération de réalisation

III.2.1. Tube guide

Le forage a été commencé avec un outil de forage de diamètre ($\varnothing = 17''^{1/2}$), jusqu'à une profondeur de (15 m), après ce diamètre a été minimisé avec un outil de diamètre ($\varnothing = 12^{3/2}''$), enfin le processus d'installation de ce tube est bien évidemment adopté.

III.2.2. Forage de reconnaissance

Forage de reconnaissance a été réalisé par l'entreprise HITA ABDELATIF, cette étape est importante. Elle a été mise en place à l'aide d'un outil de petit diamètre ($\varnothing = 12^{3/2}''$) pour réaliser des progrès significatifs à moindre coût ; l'entreprise HITA ABDELATIF a utilisé un outil de forage de petit diamètre, ce qui peut avoir plusieurs avantages. Un diamètre plus petit permet généralement de réduire les coûts liés au forage, car il nécessite moins de matériaux et d'équipements. Cela peut également faciliter l'accès à des zones restreintes ou difficiles d'accès, où un outil de plus grand diamètre serait moins pratique

III.2.3. Opération diagraphie

Une sonde électrique a été descendu à l'intérieur du forage avec un enregistrements en surface intermédiaire d'un appareil bien spécifique.

les résultats de perméabilité à chaque profondeur sont résumé dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Enregistrement de diagraphies

Profondeur en mètre (m)	Perméabilité	Profondeur en mètre(m)	Perméabilité	Profondeur en mètre (m)	Perméabilité
10-14	Perméable	71-74	Imperméable	130-134	Perméable
14-19	Imperméable	74-78	Perméable	134-138	Imperméable
19-24	Perméable	78-81	Imperméable	138-140	Perméable
24-28	Imperméable	81-84	Perméable		

28-33	Perméable	84-87	Imperméable
33-37	Imperméable	87-91	Perméable
37-41	Perméable	91-95	Imperméable
41-45	Imperméable	95-99	Perméable
45-49	Perméable	99-104	Imperméable
49-52	Imperméable	104-109	Perméable
52-56	Perméable	109-113	Imperméable
56-60	Imperméable	113-117	Perméable
60-63	Perméable	117-121	Imperméable
63-67	Imperméable	121-124	Perméable
67-71	Perméable	124-130	Imperméable

À partir des données fournies, il semble y avoir une corrélation entre la profondeur en mètres et la perméabilité du terrain dans la zone étudiée. Voici une interprétation possible :

- Dans les intervalles de profondeur de 10 à 14 mètres, 19 à 24 mètres, 28 à 33 mètres, 37 à 41 mètres, 45 à 49 mètres, 52 à 56 mètres, 60 à 63 mètres et 67 à 71 mètres, le terrain semble être perméable, ce qui signifie qu'il permet la circulation de l'eau à travers les pores ou les fractures.

- Dans les intervalles de profondeur de 14 à 19 mètres, 24 à 28 mètres, 33 à 37 mètres, 41 à 45 mètres, 49 à 52 mètres, 56 à 60 mètres, 63 à 67 mètres et 71 à 74 mètres, le terrain semble être imperméable, ce qui signifie qu'il limite ou empêche la circulation de l'eau.

- Il y a une alternance entre les intervalles perméables et imperméables à différentes profondeurs, ce qui suggère une variation de la perméabilité du terrain dans la zone d'étude.

Il est important de noter que cette interprétation est basée uniquement sur les informations fournies dans ce travail et qu'il peut y avoir d'autres facteurs et variables à prendre en compte pour une évaluation plus complète de la perméabilité du terrain.

III.2.4. Examen de cauting

Les échantillons (cauting) ont été pris mètre à mètre, et nettoyer ; on mis dans les sachets étiqueté selon leurs profondeurs, après ça on été acheminés vers l'ingénieur de hydrologie. La description L'EXAMENDE CAUTING est bien détaillée sur **la figure 38** :

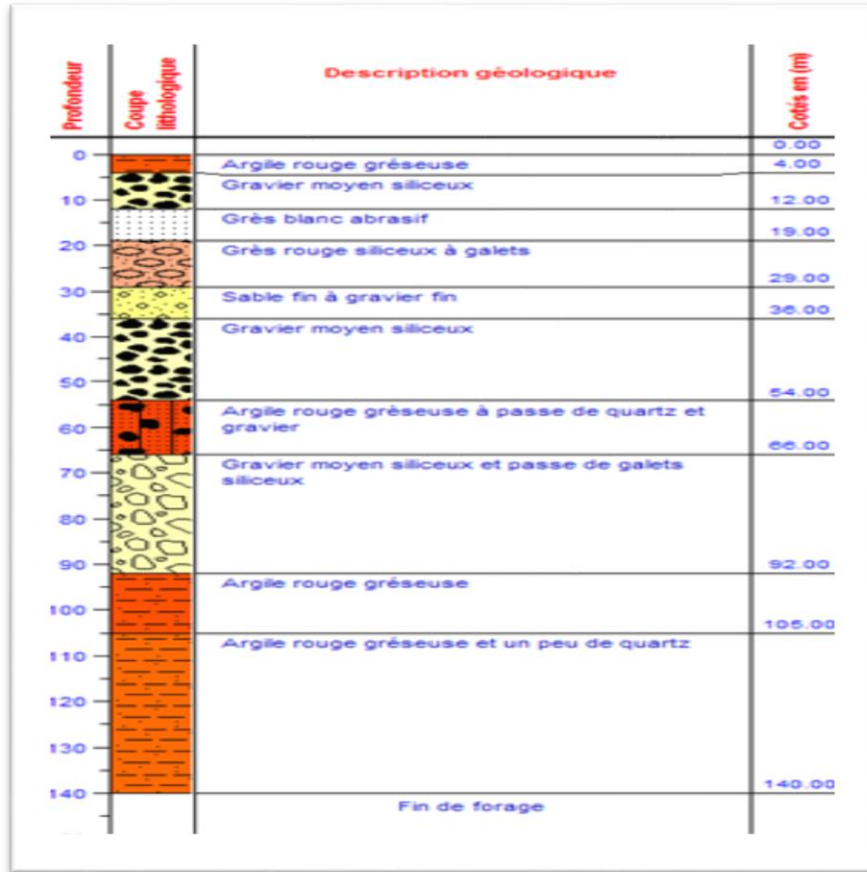


Figure 38 : Coupe géologique de forage

III.2.5. Programme d'équipement

A bas de l'examen digraphie et de cauting on a pu programmer les équipements nécessaires du forage existant.

III.2.6. Plan du tubage

Le plan du tubage de forage d'aéroport d'Adrar et mise par deux colonnes de captage en modèle inox de 12^{3/2}" et 17^{1/2}"

- **Type de crépine utilisé**

Les crépines utilisées sont de type Jonson à couverture horizontal.



Figure 39 : crépine Johnson

Le programme propose et exécute par la direction de ressources en eau de wilaya d'Adrar a été réalisé comme suit :

- La phase 00 à 20m : tube plein $12^{3/2}$ ''
- La phase 20 à 28 m : on utilise tubes crépine $12^{3/2}$ ''
- La phase 28 à 34 m : on utilise tubes plein $12^{3/2}$ ''
- La phase 34 à 42m : on utilise tube crépine $12^{3/2}$ ''
- La phase 42 à 61 m : on utilise tubes plein $12^{3/2}$ ''
- La phase 61 à 68 m : on utilise tubes crépine $12^{3/2}$ ''
- La phase 68 à 75 m : on utilise tubes plein $12^{3/2}$ ''
- La phase 75 à 81 m : on utilise tubes crépine $12^{3/2}$ ''
- La phase 81 à 89m : on utilise tubes plein $17^{1/2}$ ''
- La phase 89 à 95 m : on utilise tubes crépine $12^{3/2}$ ''
- La phase 95 à 101m : on utilise tubes plein $17^{1/2}$ ''
- La phase 112 à 123 m : on utilise tube crépine $12^{3/2}$ ''
- La phase 123 à 131m : on utilise tubes plein $12^{3/2}$ ''
- La phase 131 à 140 m : on utilise tube crépine $12^{3/2}$ '' avec un sabotlaveur

Utilisation de tubes pleins de diamètre $12^{3/2}$ '' pour les phases qui décrit a haut. Les tubes pleins sont des tubes solides sans ouverture qui assurent la stabilité du puits pendant le forage initial. et pour les phase restes on utilise tube crépine pour doter de fentes ou d'ouvertures qui permettent à l'eau de pénétrer tout en empêchant les particules de sable ou de gravier de pénétrer dans le puits.

III.2.7. Massif filtrant

Le massif filtrant a été injecté dans l'espace annulaire entre tubage et trou de forage ; son type est un gravier traditionnel de taille **2-4mm**, sa nature est arrondie, siliceux calibre.

III.3.8. Coupe technique de forage d'aéroport

Dans notre coupe technique de forage est composé plusieurs couches des type de terre avec un coupe technique qui faire la foration qui représente dans **la figure 41**

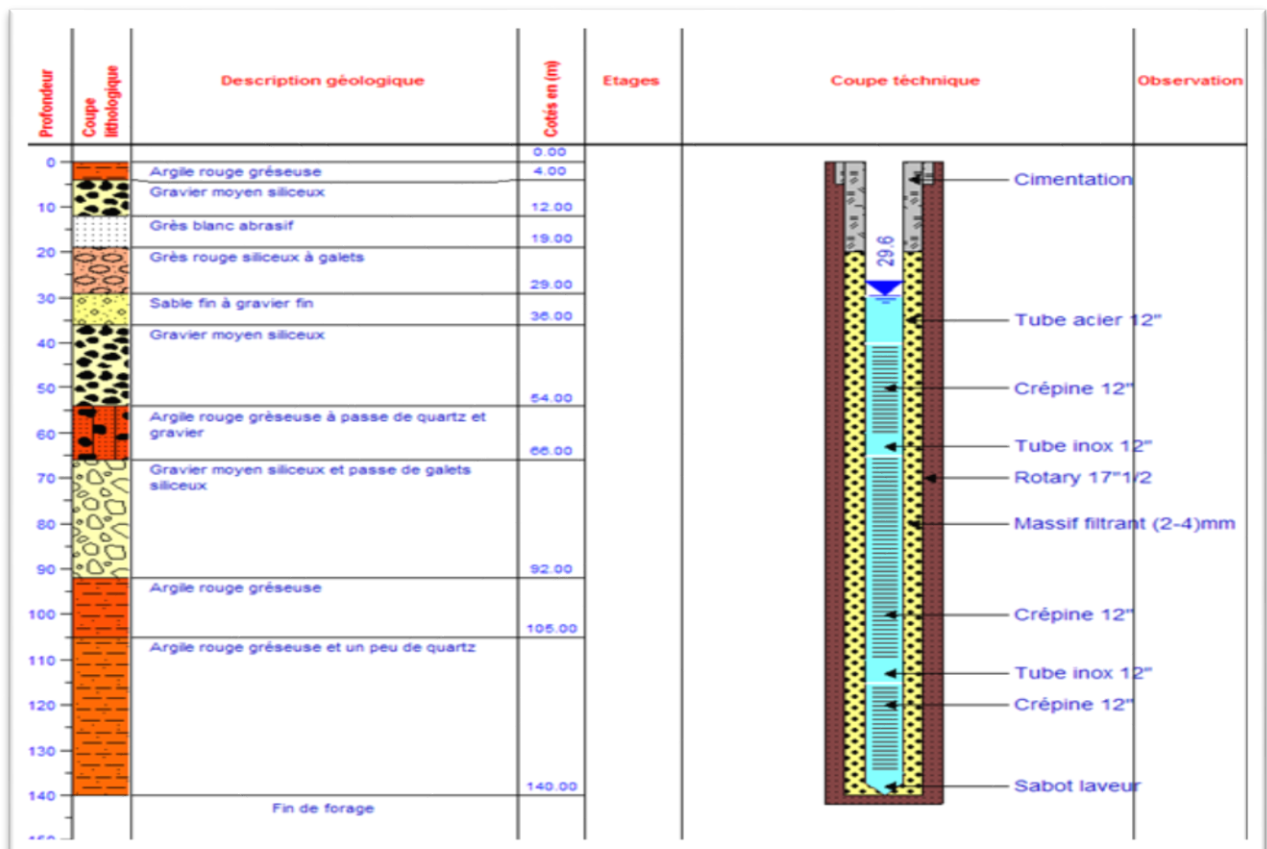


Figure 40 : Coupe technique de forage

III.3.9.Méthodologie des essais des paliers :

Les essais des paliers peuvent être réalisés de différentes façons, mais la plus courante est la suivante :

- On commence par un débit de pompage constant Q_1 faible, jusqu'à obtenir un rabattement stabilisé au puits Δ_1 .
- On augmente alors le débit pour passer à un nouveau débit constant Q_2 pour lequel on obtient un rabattement stabilisé Δ_2 .
- On poursuit avec le débit Q_3

Prévoir trois paliers au total pour faire une interprétation de l'efficacité du puits, les débits de pompage progressant par échelons plus ou moins réguliers entre le minimum et le maximum.

- Tous les paliers doivent avoir la même durée, la plus courante étant de 60 à 120 minutes.
- Le débit du dernier palier devrait être égal ou supérieur au débit d'exploitation prévu lorsque le forage fonctionnera à pleine capacité. (Les calculs paliers sont insérés dans les annexes).

III.3.10. Résultat et la discussion

III.3.10.1. Résultat de pompage

Un essai de pompage a été réalisé par l'entreprise HitaAbdellatif, les résultats obtenus sont reportés sur le tableau suivant

Tableau 12:Essais de débit par palier

Palier	DébitQ (m ³ /h)	Niveau Dynamique (m)	Rabattement Δ (m) (N _D -N _S)	Niveau statique (m)	Débit spécifique Q/ Δ (m ² /h)	Rabattement spécifique Δ /Q(m/m ³ /h)
01	21	19,7	3,1	16,60	6,77	0,148
02	25	20,2	3,6	16,60	6,94	0,144
03	30	20,23	3,63	16,60	8,26	0,121

III.3.10.2.Calcul les paramètres hydrodynamiques

III.3.10.2.1. Tracer la courbe de décente de forage d'eau

Les résultats obtenus par l'expérimentation de pompage par Excel (**Voir annexe**)

- ✚ Niveau statique : 16,60 m (la valeur est mesuré par le sondeur électrique)
- ✚ Niveau dynamique final : 20,15m
- ✚ Temps de pompage : 72h
- ✚ Rayon de pompe : 0,200m
- ✚ Rabattement final : 3,55m
- ✚ Débit total : 25 l/s

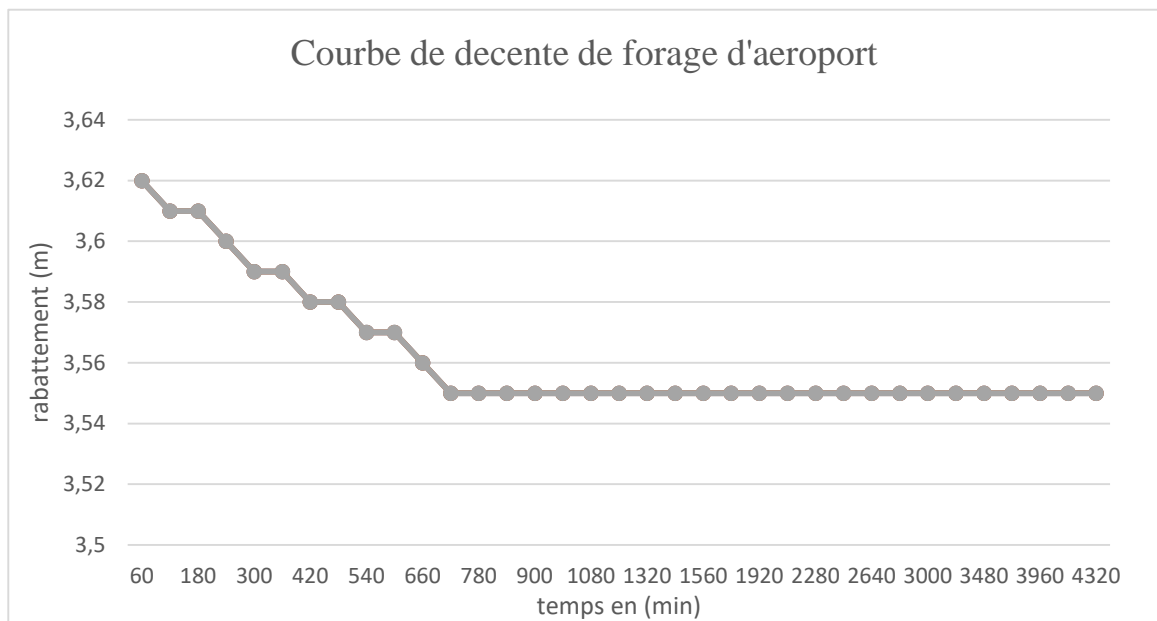


Figure 41 : Courbe décente de forage Adrar

III.3.10.2.2. Transmissivité

Le deuxième point que nous avons analysé, il est un facteur très un important pour la gestion de la ressource, le pompage d'essais de la décente de longue durée, il est exécuté par un seul palier de débit fixé à **25 l/s**, durant **72 heures**.

L'application de la méthode de **C.E JACOB** qui établit l'interprétation de l'essai de pompage, cette technique découle à l'équation de **THEIS**, qui se réduit à la formule d'approximation logarithmique de **Jacob**, quand temps du pompage croit et devient assez grand c'est-a-dire que temps inferieur ou égale 0,01min

✚ L'équation de Jacob définie par :

$$S = c = 0,183 \times Q \div (T \log 2,25Tt) \div x^2 s'$$

S= rabattement théorique

s'= coefficient d'emmagasinent

Q=débit de pompage constante en m³/s

T=transmissivité en m^2/s

t= temps d'écoulé depuis le début de pompage en s

x= distance piézométrique d'observation de l'axe de puit de pompage en :

✚ la valeur de transmissivité est :

$$T = \frac{0,183Q}{C}$$

✚ Et (C) est :

$$C = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\text{Log}(t_2) - \log(t_1)}$$

Avec :

Q = en m^3/s ; T=transmissivité en m^2/s

On calculer

$$T = 0,183 \times 25 \times \frac{10^{-3}}{0,244} = 0,19 \times 10^{-1} m^2/s$$

La transmissivité de l'aquifère des alluvions dans la commune Adrar varie de 0.01 à $0.08 m^2/s$. ce qui valide notre résultat de $0,19 \times 10^{-1} m^2/s$

III.4.1.3. Conductivité hydraulique K

Nous avons déduit la perméabilité selon la formule : $T=K.e$

e : étant d'épaisseurs de la nappe libre

Dans le cas de notre de forage, l'épaisseur de l'aquifère de nappe libre correspond à sa charge statique de 151m, et avec : $K=T/e$ nous obtenus :

$$K=1,25.10^{-4} \text{ m/s}$$

Cette valeur est associée à des formations géologiques composé de sable caractérisé par un perméable ce qui réconforte de notre aquifère.

Conclusion

Les essais exécuté sur notre forage, nous ont permis de déterminer les caractéristiques hydrauliques, qui sont le débit de forage, la transmissivité ($0,19 \times 10^{-1} m^2/s$), la conductivité hydraulique ($1,25.10^{-4} \text{ m/s}$), niveau dynamique (20,15m), niveau statique (16,60 m), rabattement final (3,55m), et le débit spécifique (25 l/s).

Chapitre IV : Etude de la qualité
physique-chimique de l'eau extraite de
forage d'aéroport d'Adrar

Introduction

L'étude des paramètres physiques-chimiques et les paramètres de pollution de l'eau de forage constitue une partie essentielle consacré à l'analyse et à l'évaluation des opérations de forage d'eau. Ce chapitre se concentre sur l'examen approfondi des différents paramètres qui influent sur les caractéristiques de l'eau de forage (forage d'aéroport) utilisée dans les puits d'eau potable. Il aborde également les aspects liés aux propriétés chimiques de l'eau de forage et à leur impact sur les opérations de forage et sur la qualité de l'eau.

IV.1. Modes opératoires des Paramètres testés

IV.1.1. PH et température

IV.1.1.1. Matériels



Figure 43: Thermomètre



Figure 42: PH- mètre

IV.1.1.2. Mode opératoire

- Appuyer sur exit pour allumer le pH mètre.
- Nettoyer l'appareil par eau distillé
- Remplir l'échantillon dans un bécher
- Placer la machine dans le bécher pour mesure
- Laisser stabilise

- Enlever l'électrode en la rinçant à l'eau distillée.
- Répéter opération avec la conductivité mètre(28)

IV.1.2. Conductivité

IV.1.2.1. Matériel



Figure 44: Appareil de conductimètre

IV.1.2.2. Mode opératoire

- Appuyer sur exit pour allumer le conductimètre.
- Rincer l'électrode à l'eau distillée.
- Plonger l'électrode dans un échantillon
- Laisser stabiliser un moment (la conductivité mesurée)(28)

IV.1.3. Turbidité

IV.1.3.1. Matériel



Figure 45: Turbidité mètre (TL2300)

IV.1.3.2. Mode opératoire

- Allumer le turbidimètre.
- Placer la solution tampon turbe 1 t ; 0.1 NTU.
- Laisser stabiliser 1minute.
- Placer l'échantillon.(28)

IV.1.4. Chlorure

IV.1.4.1. Mode opératoire

- 100 ml d'eau à traiter
- 1ml du réactif de chromate de potassium
- Titrer par le nitrate d'argent (Ag NO^3) jusqu'au virage du jaune au brun rougeâtre et vérifier le titrage par l'ajout d'un goutte supplémentaire de nitrate d'argent pour changement de coloration.(28)

IV.1.5. Partie spectrophomètre

La méthode des réactifs prés dosés avec utilisation de la spectrophotométrie moléculaire UV-Visible. Appareil utilisé :Spectrophotomètre UV-755B ARI .



Figure 46:Spectrophotomètre UV-755B ARI

IV.1.5.1. Sulfates

IV.1.5.1.1 Mode opératoire

- Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.
- Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.
- Ajouter 2 ml de chlorure de baryum.
- Agiter énergiquement pendant 1 mn.
- Effectuer les lectures au spectrophotomètre a la longueur d'onde de 420nm.(28)

IV.1.5.2. Ammonium

IV.1.5.2.1.Mode opération

- A prendre 40ml d'eau à analyser, contenant jusqu'à 1mg/l NH_4^+ .
- Ajouter 4ml du réactif I.
- -Ajouter 4ml du réactif II est ajuster à 50 ml avec H_2O , distillée et attendre 1 h 30min
- . -L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de NH_4^+ .
- -Effectuer les lectures au spectrophotomètre a la longueur d'onde de 655 nm(28)

IV.1.5.3. Potassium

IV.1.5.3.1.Mode opératoire

- Pipette (5 ml) solution

- Pipette (1 ml) d'échantillon.
- Fermer la cuve et mélanger le contenu en la retrouvons plusieurs fois de suite.
- Attendre (5 min) mélanger nouveau bien nettoyer l'extérieur de la couve et mesurer.(28)

IV.1.5.4. Manganèse

IV.1.5.4.1. Mode opératoire

- Pipeter 20 ml d'échantillon dans un bécher.
- Pipeter 1 ml de la solution A (LCW 032A).
- Pipeter 1 ml de la solution B (LCW 032B)
- Mélanger, attendre 2 min.
- Pipeter 1ml de la solution c (LCW 032C)
- Mélanger laisser reposer pendent 5 min.
- Mélanger à niveau
- Transférer dans la cuve rende (LCW 906).
- Bien nettoyer l'extérieur de la cuve mesuré.(60)

IV.1.5.5. Nitrates (LCK 541)

IV.1.5.5.1.Mode opératoire

- Pipeter 1ml de l'échenillant dans la cuve
- Pipeter 0.2 ml de solution A ;
- Boucher la cuve et mettez
- le dans l'agitateur puis Attendez 15 min puis mesurer.(59)

IV.1.5.6. Nitrites (LCK 541)

IV.1.5.6.1. Méthode utilisée

- Prélever un micro-cap A (LCK 541 A) et le placer dans la cuve
- Pipeter 0,5 ml de la solution B (LCK541B)
- Pipeter 0,5 ml d'échantillons
- Faire le mélange bien puis attendez 10 min -Faire la mesure.(58)

IV.3. Résultat et discussion

IV.3.1. Résultat

Le tableau suivant regroupe les résultats d'analyses d'échantillons des eaux souterraines extraite de forage d'aéroport d'Adrar après la réalisation ; qu'on a pu déterminés au niveau de laboratoire D'ANRH d'Adrar avec les normes de d'algerien 2016 dans journal officielle .

Tableau 13 : Résultats d'analyse d'eau

Paramètres physique - chimique	Résultat	Norme de potabilité	Minéralisation globale	résultat	Norme de potabilité
PH	7.45	>6.5et <9	Calcium Ca^{++} (mg/l)	80	200.00
Conductivité (ms/cm)	1.5800	2.80	Magnésium Mg^{++} (mg/l)	55	150.00
Turbidité eau brute (NTU)	0.52	5.00	Sodium Na^+ (mg/l)	133.3	200.00
Résidu sec a 110°C(mg/l)	982	1500.00	Chlorure SO^4 (mg/l)	205	500.00
Température (°C)	22	25.00	Sulfates SO_4^- (mg/l)	300	400.00
Paramètres de pollution	Résultat	Norme	Bicarbonates HCO^{3-} (mg/l)	122	-
Ammonium NH^{4+} (mg/l)	0.038	0.50	Silice SiO_2 (mg/l)	20.23	-
Nitrite NO^{2-} (mg/l)	0.0209	0.20	TH (°F)	42	-
Nitrate NO^{3-} (mg/l)	42.06	50.00	TAC (°F)	10	-

IV.3.2. Discussion

IV.3.2.1. Conductivité

La valeur de la conductivité électrique mesuré pour notre échantillon est de l'ordre de 1580 $\mu\text{S}/\text{cm}$, et s'avèrent donc que c'est une eau de qualité médiocre (quand la Conductivité est > de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ cela indique que la minéralisation est excessive) .

IV.3.2.2. Température

Dans notre cas la valeur de la température est comprise entre 22°C, ceci pourrait signifier comparativement à ces normes que l'eau analysé est excellente.

IV.3.2.3. Potentiel hydrogène (PH)

La valeur obtenue du PH est de 7,45 ce qui témoigne d'une légère alcalinité du milieu. Et elle est conforme avec les normes de potabilités $6,5 > \text{PH}$ et $\text{PH} < 9$

IV.3.2.4. Turbidité

Nous avons trouvé que la turbidité de notre l'eau est de l'ordre de 0.52, ce qui indique que l'eau de notre forage est très claire et elle est conforme au norme $\leq 5,00$.

IV.3.2.5. Résidu sec à 110°C mg/l

Le résultat de résidu sec de notre échantillon au température 110°C est de l'ordre de 982 mg/l, alors la valeur est acceptable par a port à la norme de potabilité de ANRH qui est de l'ordre est 1500mg/l.

IV.3.2.5.1. Dureté totale TH

La valeur de TH trouvé est de l'ordre de 420mg/l ,cette valeur définit que notre eau de forage est extrêmement dure

IV.3.2.5.2 Titre Alcalimétrique TA

On a fait un titrage par la solution phénophtaléine et on a trouvé que le titre alcalimétrique est nul.

IV.3.2.5.3. Titre Alcalimétrique complet TAC

On a trouvé que la valeur de la teneur en Titre alcalimétrique complet TAC est de l'ordre de $10^{\circ}\text{F}=100\text{mg/l}$. cette valeur est inférieure à celle de TH ($420 > 100 \text{ mg/l}$).

IV.3.2.6. Chlorures (Cl⁻) :

Le résultat qui nous avons trouvé sur la teneur en chlorure est 205mg/l , selon les normes algériennes relative à la potabilité des eaux , la concentration en chlorure maximal est de 500mg/l. donc la qualité de l'eau au niveau de la zone d'étude pour ce paramètre est excellente.

IV.3.2.7. Sulfate (SO⁴⁻)

La teneur mesuré de sulfate est de 300mg/l, alors elle est conforme avec la norme algérienne (Inferieur 400mg/l) relative à la qualité des eaux destiné à potabilisation .

IV.3.2.8. Bicarbonates (HCO³⁻)

La valeur de la teneur en bicarbonate est de l'ordre de 122mg/l, ce paramètre contribue de façon plus nécessaire à l'alcalinité de l'eau.

IV.3.2.13. Sodium (Na⁺)

Il s'agit un élément indispensable, en petite quantité, a une concentration élevée de sodium peut donner à eau gout du sale. la norme de potabilisation de l'eau est 200mg/l.

Nous avons trouvé que la valeur de la teneur en sodium est 133,3mg/l, qui dentent que notre eau est potable et accepte

IV.3.2.13. Magnésium (Mg 2+)

La teneur mesuré de Magnésium est de est 55mg/l, elle est conforme à la norme (85 mg/l).

IV.3.2.13. Calcium (Ca²⁺)

La teneur mesuré de Calcium est de est 88mg/l, elle est conforme à la norme (80mg/l)

IV.3.2.14. Paramètres de pollution :

IV.3.2.14.1. Ammonium (NH_4^+)

L'ammonium ne présente pas un type nocif pour l'êtres humains, mais il peut être considéré comme un indicateur de pollution. La norme de potabilisation a fixé sur 0,5mg/l. La valeur enregistré pour notre échantillon est de l'ordre de 0,038 mg/l , donc la valeur de ammonium est inférieur de norme de la potabilité qui est fixé à 0,5mg/l , cette teneur indique que notre eau n'est pas polluée .

IV.3.2.14.2. Nitrite (NO_2^-)

La valeur de teneur de nitrite trouvé est de l'ordre de 0,0209mg/l, donc elle conforme avec la norme de potabilité (0,20mg/l).

IV.3.2.14.3. Nitrates (NO_3^-)

Nous avons mesuré une teneur en nitrate de l'ordre de 42,02mg/l, donc l'eau de ce forage n'a pas un risque de pollution par les nitrates et elle est dans les normes (50mg/l)

IV.3.2.14.4. Phosphate

Le résultat de la teneur en phosphate est de l'ordre de 0,18 mg/l , donc elle est dans les normes potabilité (0,5mg/l), donc cette eau souterraine elle a de bon gout.

Conclusion

Dans cette section, vous avez analysé les caractéristiques physiques et chimiques de l'eau prélevée dans les forages de l'aéroport, afin de comprendre la composition de cette ressource essentielle. Sur la base de vos résultats, vous pouvez faire connu caractéristiques physiques de l'eau de forage, caractéristiques chimiques de l'eau de forage, conformité aux normes de qualité de l'eau et recommandations et mesures d'amélioration

En résumé, ce chapitre vous permet de conclure sur la qualité physique-chimique de l'eau de forage de l'aéroport en identifiant les caractéristiques physiques et chimiques et de

pollution, et l'acceptation de l'eau de forage qui est autorisé de potabilité car il est une eau minéralisée de bonne qualité physique – chimique. en évaluant la conformité aux normes de qualité et en proposant des mesures d'amélioration. Ces informations sont cruciales pour garantir la disponibilité d'une eau propre et sûre pour les besoins de l'aéroport et pour prévenir les risques pour la santé humaine et l'environnement.

Conclusion générale

Conclusion générale

En conclusion, ce rapport de stage a mis en évidence l'importance cruciale du suivi de la réalisation d'un forage hydraulique et de la qualité de l'eau pour assurer sa disponibilité et sa sûreté. Grâce à un suivi rigoureux des sources d'eau et à l'analyse régulière de leur qualité physique et chimique et l'analyse des paramètres de pollution, nous avons pu obtenir des informations précieuses sur l'état de l'eau et prendre des mesures appropriées pour maintenir sa qualité optimale.

Les résultats de cette étude ont montré que le forage d'aéroport a été réalisé conformément aux normes et aux spécifications requises, garantissant ainsi leur fonctionnement fiable. De plus, les analyses de la qualité de l'eau extraite ont révélé une conformité globale aux normes établies, avec seulement de légères variations et altérations qui nécessitent une surveillance continue, les résultats obtenus sont les suivants :

1. partie réalisation :

- Niveau statique : 16,60 m
- Niveau dynamique final : 20,15m
- Temps de pompage : 72h
- Rabattement final : 3,55m
- Débit total : 25 l/s
- Transmissivité : $0,19 \times 10^{-1} m^2/s$
- Conductivité hydraulique = $1,25 \cdot 10^{-4}$ m/s

2. partie qualité :

- PH : 7.45

Conclusion générale

- Conductivité (ms/cm) : 1.5800
- Calcium Ca^{++} (mg/l) : 80
- Ammonium NH_4^+ (mg/l) : 0.038
- Nitrite NO_2^- (mg/l) : 0.0209
- Nitrate NO_3^- (mg/l) : 42.06
- Résidu sec a 110°C(mg/l) : 982
- Température (°C) : 22
- Sulfates SO_4^- (mg/l) : 300
- Chlorure SO_4^4 (mg/l) : 205
- Sodium Na^+ (mg/l) : 133.3
- Magnésium Mg^{++} (mg/l) : 55

Dans cette perspective, il est recommandé de mettre en place des dispositifs de surveillance en temps réel et d'établir des protocoles de suivi réguliers pour détecter rapidement toute variation indésirable de la qualité de l'eau.

En conclusion, ce rapport a contribué à une meilleure compréhension de la réalisation de forage hydraulique et l'étude de la qualité de l'eau souterraines extraite de ce dernier, offrant des perspectives précieuses pour une gestion durable de cette ressource vitale. En adoptant une approche proactive basée sur la surveillance continue et la mise en œuvre de mesures préventives, nous pouvons garantir l'accès à une eau de qualité et préserver ainsi la santé humaine et l'environnement pour les générations futures.

Références

- (1) **Fetter, C.W.** livre « Applied Hydrogeology. Prentice Hall ». (2001).
- (2) **International Water Association (IWA).** Livre« Groundwater and Global Change in the Western Mediterranean Area » (2018).
- (3) **Larry.Mmays** « ground water hydrology, university California »
- (4) **Smith, J.** « Mémoire sur la réalisation de forages d'eau »(2015).
- (5) **H.Bouhamida** « Techniques de forage et étude des caractéristiques de la boue dans les différentes phases à Hassi Messaoud (ONK 243) » (2014-2015)
- (6) **SAYEH, LEMBREK Mohamed** Contribution de qualité de l'eau de forage.
- (7) **BESAILET Abdelhak, BOUDI Mohiédine,** « Suivis hydrogéologie de suivis de réalisation de forage d'eau de forage F26. » (2018 2019)
- (8) **RIANE Ramy** magister « contribution des synthèses d'observateur adaptatif a l'entrée l'inconnu d'un système de forage rotary ».
- (9) **LEGHRIEB Raid et ABAZ Abdenour** « Étude et réalisation d'un puits profond albien 2 cas N'goussa " Hassi Lekhfif ". » (2021 / 2022)
- (10) **Dr. BOUSELSAL Boualem.** (2019)
- (11) **Livre** « foreuse multi directionnellemod. MD 3200-1 DR ».
- (12) **ChEEIFI** « etude de maintenance de treuil de forage olwell »
- (13) **NEGADI ALI,** « la maintenance des équipements de forage » université ABOU BEKER
- (14) **BELKAID- TELEMEN** juin. - 2014-
- (15) **NGUYEN GP,** le forage édition technique -1993-
- (16) **TAIBI Mohammed,** « maintenance industrielle, réparation et montage des machines et des équipements du pétrole, du gaz et de la pétrochimie, édition : n° 4112 »
- (17) **BEKAKRIA Farès,** « Commande par mode glissant d'un système de forage pétrolier »
- (18) **RABIA KHELIF,** « Utilisation d'outils au service de la maintenance d'un Treuil de forage OIL WELL 840 ».(2016)

- (19) **BOUHAMIDA HAYAT** « étude de technique de forage et étude des caractéristique de la boue dans les différents phases HassiMassoud » université abderahmane mira a Bejaia. »
- (20) **Mohammed Ali** ,« le suivis de réalisation de cinq forage pour alimentation en eau potable de le nouvelle ville Blida ».
- (21) **BECHARA Abdelmalik et BELKACEM Youcef tahar** « etude hydrogeologique pour l'implantation d'un forage d'eau au metidja »
- (22) **CHEHIMA Sofiane& DADOUCHE Houria**, «Etude et suivis technique d'un forage profon albien dans la refion de sebseb/cas du forage lehrith
- (23) **MOULAY OMAR Younes & SEDDIKI Youcef** « suivis d'un forage d'eau dans la région Bouhraoua de wilaya Ghardaïa mémoire master hydraulique »(**2017**)
- (24) **Dr Mehdi METAICHE**, Université de Bouira (**Octobre 2013**)
- (25) **ZIRIOUH Oussama et MOULLA Nabil** « Réalisation de puits TIMAROUALINE 02 », Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur spécialisé en hydraulique, » institut algérien du pétrole »**juin (2017)**
- (26) **BIDI Zaina et DJIDJA Celia** « Analyse de quelques paramètres physico-chimiques d'une source d'eau au niveau de la commune de Mizrana (Tizi-Ouzou) »
- (27) « Etude de la coagulation-floculation des eaux du puits de forage d'IBOURASSEN optimisé par plans d'expérience »
- (28) **RODIER J**« L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eau de mer. 8eme édition: Dunod, Pari » (**1989**).
- (29) **Rodier, (1984)**.
- (30) **OMS, (1986)**
- (31) Livre de **Rejsek, (2002)**
- (32) **Dore M.**« Chimie des oxydants et traitement de l'eau. Edition Tec et Doc Lavoisier, France, 505 pages » (**1989**).
- (33) **Dégrément**, « Mémento technique de l'eau », Première édition, (**1952**).
- (34) **Rodier**, 1984 ; **Rejsek**, 2002 et **Rodier**, 2009).
- (35) **Dore M.** « Chimie des oxydants et traitement de l'eau. Edition Tec et Doc Lavoisier, France » (1989).
- (36) **LAZHAR, (2011)**

- (37) **Saidi, (2014).**
- (38) **RODIER .J,** « l'analyse de l'eau ; eaux naturelles ; eaux résiduaire ; eaux de mer ; édition dunod, 8emeédition »
- (39) **KEMMOUM et BEDDEK, (2013)**
- (40) Bouziani, **(2000)**
- (41) **TARDAT HENRY. M,**Chimie « Des Eaux, 2èmeEdition, Les éditions du griffon d'Argile, 1992, pp 213-215 »
- (42) Livre **Tardat-Henry, (1992)**
- (43) Livre de **Degremont, (2005)**
- (44) Livre de **Le peltier, (2005)**
- (45) **Amina AOUISSI and Moussa HOUHAMDI** « Contribution a l'étude de la qualité de l'eau de quelques sources »**(2014)**
- (46) **Pourriot et Meybek(1995)**
- (47) **David Banks et Lewis Clark** « Water Wells and Boreholes" de Bruce Misstea
- (48) Banaceur Omar »**(2016)**
- (49) **BENHAMAZA,** « aperçu hydrogéologique et hydrochimique sur le système de captage traditionnel des eaux souterraines « FOGGARA » DANS LA REGION D'ADRAR » **(2000)**
- (50) **Mohammed, (2015)**
- (51) **Mohamed, (2017)**
- (52) **SOUDDI M, BAHAIDA.Z** « Evaluation de la qualité des eaux des puits à usage agricole dans la région d'adrar »**(2019)**
- (53) **Hidaoui Ahlam,** « Etude de l'influence de l'urbanisme sur la qualité des des foggaras d'Adrar»**(2015)**
- (54) **DEFFA Khaled,** « Périmètre de protection de la nappe alluviale d'oued Biskra»
- (55) **SOUDDI M, BAHAIDA. Z,** « Evaluation de la qualité des eaux des puits à usage agricole dans la région d'Adrar ». **(2019)**
- (56) **Climat Adrar - Données climatiques (606200) (tutiempo.net)**
- (57) **Bear, J., & Cheng, A. H.** « Modeling groundwater flow and contaminant transport. Springer Science & Business Media ». **(2010).**

- (58) **Aboal naja, S. A.** « Development and validation of spectrophotometric methods for the analysis of drug compounds ». (Mémoire de maîtrise, King Saud University, Arabie saoudite). (2014).
- (59) **Duan, X.** « Development and evaluation of analytical methods for water quality parameters. (Mémoire de maîtrise, University of Waterloo, Canada ». (2014).
- (60) **Yeo, B.** « Development and validation of analytical methods for water quality parameters in environmental monitoring ». (2016).
- (61) **European Environment Agency (EEA).** « European waters - assessment of status and pressures » (2018).

ANNEXE

Palier N°01					
Date LE				profondeur = 140 m	
Commune de : ADRAR			Nom de forage : AEROPORT		
Q = 20 L/S		NS = 16,6 m	ND = 19,7m	Entreprise: HITA ABDELATIF	
t' (s)	t'(m)	t' (h)	NS (m)	R (m)	ND (m)
0	0	0			
1					
3					
5					
7					
9					
15					
30			16,60	2,30	18,9
60	1		16,60	2,50	19,1
	2		16,60	2,60	19,2
	3		16,60	2,70	19,3
	5		16,60	2,76	19,36
	10		16,60	2,80	19,4
	20		16,60	2,90	19,5
	40		16,60	3,00	19,6
	60	1	16,60	3,05	19,65
		1,5	16,60	3,10	19,7
		2	16,60	3,10	19,7
		2,5	16,60	3,10	19,7
		3	16,60	3,10	19,7
		3,5	16,60	3,10	19,7
		4	16,60	3,10	19,7
		5	16,60	3,10	19,7
		6	16,60	3,10	19,7

Palier 02:					
Date: 1/03/2023				profondeur = 140 m	
Commune de : ADRAR			Nom de forage : ANRH		
Q = 25 L/S		NS =	ND = 20,2 m	Entreprise : HITA ABDELATIF	
t' (s)	t'(m)	t' (h)	NS (m)	R (m)	ND (m)
0	0	0			
1					
3					
5					
7					
9					
15					
30			16,60	3,20	19,8
60	1		16,60	3,30	19,9
	2		16,60	3,35	19,95
	3		16,60	3,40	20
	5		16,60	3,43	20,03
	10		16,60	3,48	20,08
	20		16,60	3,53	20,13
	40		16,60	3,57	20,17
	60	1	16,60	3,60	20,2
		1,5	16,60	3,60	20,2
		2	16,60	3,60	20,2
		2,5	16,60	3,60	20,2
		3	16,60	3,60	20,2
		3,5	16,60	3,60	20,2
		4	16,60	3,60	20,2
		5	16,60	3,60	20,2
		6	16,60	3,60	20,2

Annexe

Palier N°03:						Déscente					
Date: 02/03/2023			profondeur = 140 m			Date: 05/03/2023			profondeur = 140 m		
Commune de : ADRAR			Nom de forage : D'aéroport			Commune de : ADRAR			Nom de forage : forage d'aéroport		
Q = 30 L/S		NS = 16,6 m	ND = 20,23m	Entreprise : HITA ABDE		Q = 25 L/S		NS = 16,6 m	ND = 20,15 m	Entreprise : HITA ABDE	
t' (s)	t'(m)	t' (h)	NS (m)	R (m)	ND (m)	t' (s)	t'(m)	t' (h)	NS (m)	R (m)	ND (m)
0	0	0				0	0	0			
1						1					
3						3					
5						5					
7						7					
9						9					
15						15					
30			16,60	3,63	20,23	30					
60	1		16,60	3,64	20,24	60	1				
	2		16,60	3,65	20,25		2				
	3		16,60	3,65	20,25		3				
	5		16,60	3,65	20,25		5				
	10		16,60	3,65	20,25		10				
	20		16,60	3,65	20,25		15				
	40		17	3,65	20,25		20				
	60	1	16,60	3,65	20,25		30				
		1,5	16,60	3,65	20,25		40				
		2	16,60	3,65	20,25		60	1	16,60	3,62	20,22
		2,5	16,60	3,65	20,25			1,5			
		3	16,60	3,65	20,25		120	2	16,60	3,61	20,21
		3,5	16,60	3,65	20,25			2,5			
		4	16,60	3,65	20,25		180	3	16,60	3,61	20,21
		5	16,60	3,64	20,24			3,5			
		6	16,60	3,63	20,23			4	16,60	3,60	20,2
								5,0	16,60	3,59	20,19
								6	16,60	3,59	20,19
								6,5			
								7	16,60	3,58	20,18
								7,5			
								9,5			
								10	16,60	3,57	20,17
								10,5			
								11	16,60	3,56	20,16
								12	16,60	3,55	20,15
								13	16,60	3,55	20,15
								14	16,6	3,55	20,15
								15	16,6	3,55	20,15
								16	16,6	3,55	20,15
								18	16,6	3,55	20,15
								20	16,6	3,55	20,15
								22	16,6	3,55	20,15
								24	16,6	3,55	20,15
								26	16,6	3,55	20,15
								29	16,6	3,55	20,15
								32	16,6	3,55	20,15
								35	16,6	3,55	20,15
								38	16,6	3,55	20,15
								41	16,6	3,55	20,15
								44	16,6	3,55	20,15
								47	16,6	3,55	20,15
								50	16,6	3,55	20,15
								54	16,6	3,55	20,15
								58	16,6	3,55	20,15
								62	16,6	3,55	20,15
								66	16,6	3,55	20,15
								70	16,6	3,55	20,15
								72	16,6	3,55	20,15