

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Kasdi Merbah - Ouargla -

Faculté des hydrocarbures de l'énergie

Renouvelable et des sciences de la terre et de l'univers

Département des sciences de la terre et de l'univers

Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité : Hydrogéologie

Thème :

Étude et suivi de réalisation des forages Hydrauliques dans la région de l'Oued Righ

Présenté par :

Benguega Mohammed Salah

Soutenu publiquement le 14 Juin 2026

Devant le jury composé de:

Présidente	BOUZAHAR Faiza	Dr. Univ. Ouargla
Encadreur	BOUSELSAL Boualem	Prof. Univ. Ouargla
Examineur	HOUARI Idir Menad	Dr. Univ. Ouargla

Année universitaire 2025/2026



Remerciements

Je rends tout d'abord grâce à Dieu Tout-Puissant, qui m'a accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires à l'accomplissement de ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à mon directeur de thèse, le Professeur Boualem Bouselsal, pour son accompagnement constant, sa disponibilité et ses précieux conseils tout au long de cette recherche.

Mes sincères remerciements s'adressent également aux enseignants du département des Sciences de la Terre et de l'Université, pour leur engagement, leur encadrement et les connaissances qu'ils m'ont transmises durant mon parcours scientifique. Leur contribution a marqué de manière durable le développement de mes compétences et de ma personnalité.

Je tiens enfin à exprimer ma reconnaissance aux membres du jury, qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'évaluer ce travail.



Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance

A toute ma famille qui ma toujours souhaité la réussite.

A tous mes cousins sans exception.

A tous mes amis de la promotion 2^{ème} année Master Hydrogéologie

2025/2026.

A tous mes collègues administratif de l'Agence Nationale des Ressource

Hydriques de l' ANRH Unité Territoriale de Touggourt

BENGUEGA Mohammed Salah

الملخص:

في المناطق الصحراوية، يُعد الاستغلال المستدام للمياه الجوفية تحديًا أساسيًا لتأمين مياه الشرب، ودعم الري الزراعي، وتحقيق التنمية الاجتماعية والاقتصادية. ويُعد وادي ريغ، الواقع في الشمال الشرقي من الصحراء الجزائرية، منطقة ذات نظام هيدروجيولوجي معقد يتكوّن أساسًا من الطبقة المائية السطحية، والمركب النهائي (CT)، والمتداخل القاري (CI). تهدف هذه الدراسة إلى تحليل الشروط التقنية لإنجاز الآبار المائية في هذه المنطقة، من خلال متابعة عدة منشآت مائية تستغل خزاني المركب النهائي والمتداخل القاري. وقد اعتمدت المنهجية المتبعة على استغلال المعطيات التقنية الميدانية، وخصائص تجهيز الآبار، والملاحظات المسجلة أثناء مراحل الإنجاز أو الاستغلال. تشمل الآبار المدروسة في المركب النهائي أربعة آبار أنجزت بطريقة الحفر الدوراني Rotary وتتراوح أعماقها بين 129 م و 170 م، حيث تم التقاط المستويات المائية أساسًا ضمن تشكيلات رملية وكلسية وغرينية. كما تتراوح السماكات الملتقطة بين 22 م و 38 م، مما يؤكد أهمية المركب النهائي كمورد مائي جوفي سهل الوصول نسبيًا ومستغل على نطاق واسع في المنطقة. أما بالنسبة للمتداخل القاري، فقد شملت الدراسة بئرين عميقين يصل عمقهما إلى 1850 م، ويستغلان التكوينات الألبية-البأريمية. كما أبرزت الدراسة المخاطر المرتبطة بالآبار القديمة المستغلة للمتداخل القاري، خاصة حالة البئر الألبى 102 بمنطقة العبادلية، الذي يعرف مشاكل تتعلق بعدم استقرار التربة، وحدوث تسربات، مما استدعى ضرورة غلقه نهائيًا. أظهرت النتائج أن نجاح إنجاز الآبار المائية يرتبط ارتباطًا وثيقًا بالتعرف الدقيق على الطبقات الليثولوجية، واختيار طريقة الحفر المناسبة، وجودة التجهيز، ومراقبة عمليات الإسمنت، إضافة إلى المتابعة الهيدروديناميكية. كما تؤكد الدراسة أهمية غلق الآبار المهجورة أو المتضررة، بهدف الحفاظ على العزل الهيدروليكي بين الطبقات المائية، وحماية الطبقة الألبية من التلوث، وضمان السلامة البيئية للموقع.

الكلمات المفتاحية: وادي ريغ؛ الآبار المائية؛ المركب النهائي؛ المتداخل القاري؛ الحفر الدوراني.

Résumé :

Dans les régions sahariennes, la mobilisation durable des eaux souterraines constitue un enjeu majeur pour l'approvisionnement en eau potable, l'irrigation agricole et le développement socio-économique. La vallée de l'Oued Righ, située au Nord-Est du Sahara algérien, repose sur un système hydrogéologique complexe constitué principalement de la nappe phréatique, du Complexe Terminal (CT) et du Continental Intercalaire (CI). Cette étude vise à analyser les conditions techniques de réalisation des forages hydrauliques dans cette région, à travers le suivi de plusieurs ouvrages captant les aquifères du CT et du CI. La méthodologie adoptée repose sur l'exploitation des données techniques de chantier, des caractéristiques d'équipement et des observations recueillies lors de la réalisation ou de l'exploitation des ouvrages. Les forages étudiés dans le CT concernent quatre ouvrages réalisés par la méthode Rotary. Les profondeurs atteintes varient entre 129 m et 170 m, avec des niveaux aquifères principalement captés dans des formations sableuses, calcaires et gréseuses. Les épaisseurs captées varient de 22 m à 38 m, ce qui confirme l'importance du CT comme ressource relativement accessible et largement exploitée dans la région. Concernant le CI, deux forages profonds atteignent 1850 m de profondeur et captent les formations albo-barrémiennes. L'étude met également en évidence les risques associés aux anciens forages captant le CI, notamment à travers le cas du forage Albien 102 d'El Abadlia, marqué par des problèmes d'instabilité du terrain, de fuites et par la nécessité d'un bouchage définitif. Les résultats montrent que la réussite d'un forage hydraulique dépend étroitement de la reconnaissance lithologique, du choix de la méthode de forage, de la qualité de l'équipement, du contrôle des opérations de cimentation et du suivi hydrodynamique. Ils soulignent également l'importance du bouchage des ouvrages abandonnés ou accidentés afin de préserver l'étanchéité entre les aquifères, de protéger la nappe albienne contre la pollution et de garantir la sécurité environnementale du site.

Mots clés : Oued Righ ; forage hydraulique ; Complexe Terminal ; Continental Intercalaire ; méthode Rotary .

ABSTRACT:

In Saharan regions, the sustainable mobilization of groundwater represents a major challenge for drinking water supply, agricultural irrigation, and socio-economic development. The Oued Righ valley, located in northeastern Algerian Sahara, is characterized by a complex hydrogeological system mainly composed of the phreatic aquifer, the Terminal Complex (TC), and the Continental Intercalary (CI). This study aims to analyze the technical conditions related to the construction of hydraulic boreholes in this region through the monitoring of several wells tapping the TC and CI aquifers. The adopted methodology is based on the analysis of field technical data, well equipment characteristics, and observations collected during the construction and exploitation phases.

The boreholes studied in the TC include four wells drilled using the Rotary method. Their depths range from 129 m to 170 m, with aquifer levels mainly intercepted within sandy, limestone, and sandstone formations. The screened thicknesses vary between 22 m and 38 m, confirming the importance of the TC as a relatively accessible and widely exploited groundwater resource in the region. Regarding the CI, two deep boreholes reach a depth of 1850 m and tap the Albian-Barremian formations. The study also highlights the risks associated with old boreholes tapping the CI, particularly the case of the Albian 102 borehole at El Abadlia, which is affected by ground instability, leakage problems, and the need for permanent sealing. The results show that the success of a hydraulic borehole depends closely on lithological recognition, the choice of drilling method, the quality of well equipment, the control of cementing operations, and hydrodynamic monitoring. They also emphasize the importance of sealing abandoned or damaged boreholes in order to preserve hydraulic isolation between aquifers, protect the Albian aquifer from pollution, and ensure the environmental safety of the site.

Keywords: Oued Righ; hydraulic borehole; Terminal Complex; Continental Intercalary; Rotary drilling method.

Liste des figures

Figure	Titre	page
Chapitre 01: Cadre physique et hydrogéologique de la région de l'Oued Righ		
Fig.1	Localisation géographique de l'Oued Righ.	2
Fig.2	Limites administratives de la région de l'Oued Righ	3
Fig.3	Carte des sous- bassins versants du Sahara algérien et des stations Météorologiques.	6
Fig.4	Températures moyenne mensuelle de la station de Touggourt (2015 -2025).	7
Fig.5	Précipitations moyenne mensuelle (2015-2025).	8
Fig.6	Vitesse moyenne mensuelle des vents (m/s).de la station de Touggourt (2015-2025).	8
Fig.7	Evaporations moyenne mensuelle (mm) de la station de Touggourt (2015-2025).	9
Fig.8	Humidité moyenne mensuelle (en %) de la station de Touggourt (2015-2025)	10
Fig.9	Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la station de Touggourt	11
Fig.10	Coupe géologique synthétique de Sahara Septentrionale. (UNESCO 1972).	14
Fig.11	Extrait de la carte géologique du bassin Mésozoïque du Sahara Algéro – Tunisien	15
Fig.12	Carte géologique de la région de Touggourt, extrait de la carte Géologique de l'Algérie.	17
Fig.13	Coupe lithostratigraphique synthétique de la région de Touggourt.	19
Fig.14	Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région d'Oued Righ.	21
Fig.15	Répartition des forages CT et CI de la wilaya de Touggourt par commune.	23
Fig.16	Evolution des forages de la wilaya de Touggourt.	24
Chapitre 02: Généralités sur le forage hydrauliques		
Fig.17	Les composants d'un appareil de forage Rotary	26
Fig.18	Forage Rotary : a) circulation directe et b) circulation inverse	27
Fig.19	Le mât ou derrick	28
Fig.20	Le treuil (ou drawworks)	29
Fig.21	Table de rotation	29
Fig.22	Pompe à Boue	30
Fig.23	bacs et systèmes de traitement de la boue	31
Fig.24	Groupe électrogène.	31
Fig.25	Conduites et flexibles	32
Fig.26	Trépan.	33
Fig.27	Tiges	33
Fig.28	Masse-tiges	34
Fig.29	Stabilisateur	34

Fig.30	Tubage API.	35
Fig.31	Crépine Johnson	36
Chapitre 03 : Suivi technique des forages d'eau dans l'aquifère de CT		
Fig.32	Massif filtrant	37
Fig.33	Localisation du forage de Megarine par Google Earth	48
Fig.34	Fiche Technique du Forage Megarine simulé par Gesfor	53
Fig.35	localisation du forage de Sidi Slimane par Google Earth	54
Fig.36	Fiche Technique du Forage de Sidi Slimane simulé par Gesfor	58
Fig.37	Localisation du forage de Blidet Amor par Google Earth	59
Fig.38	Fiche Technique du Forage de Blidet Amor simulé par Gesfor	63
Fig.39	Localisation du forage de Goug par Google Earth	64
Fig.40	Fiche Technique du Forage de Goug simulé par Gesfor	68
Chapitre 04 : Suivi technique des forages d'eau dans l'aquifère de CI		
Fig.41	Localisation du forage d'El Mostakbal par Google Earth	70
Fig.42	Courbe de détermination des coefficients B et C de l'équation Jacob	75
Fig.43	Fiche technique de forage Albo-Barrémien El Mostakbal (l'échelle Schématique).	76
Fig.44	Localisation de forage Albo-Barrémien de Sidi Mehdi par Google Earth	77
Fig.45	Simulation des essais de débit de courte durée par logiciel OUAPE de BRGM	82
Fig.46	Fiche technique de forage Albo-Barrémien de Sidi Mehdi (l'échelle Schématique)	83
Fig.47	localisation de du forage d'Albien 102 El Abadlia par Google Earth	84
Fig.48	Photos illustrant l'effondrement et la fissuration du terrain à proximité du forage Albien 102 El Abadlia Commune d'El M'rara	86

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Chapitre 01: Cadre physique et hydrogéologique de la région de l'Oued Righ		
Tableau.1	Températures moyennes mensuelles de la station de Touggourt (2015-2025).	7
Tableau.2	Précipitations moyenne mensuelle de la station de Touggourt (2015-2025).	7
Tableau.3	Vitesse moyenne mensuelle des vents de la station de Touggourt (2015-2025).	8
Tableau.4	Evaporations moyenne mensuelle (mm) de la station de Touggourt (2015-2025).	9
Tableau.5	Humidité moyenne mensuelle (en %) de la station de Touggourt (2015-2025).	9
Tableau.6	Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la station de Touggourt	10
Tableau.7	Bilan hydrique selon C.W Thornthwaite de la station de Touggourt (2015-2025).	12
Tableau.8	Récapitulatif des formations hydrogéologiques de la région d'Oued.	22
Tableau.9	Répartition des forages (CT et CI) de la wilaya de Touggourt par commune (2022)	23
Chapitre 03 : Suivi technique des forages d'eau dans l'aquifère de CT		
Tableau.10	Les coordonnées (WGS84) du forage de Megarine.	48
Tableau.11	Coupe lithologique du forage de Megarine	49
Tableau.12	Les coordonnées (WGS84) du forage de Sidi Slimane	54
Tableau.13	Coupe lithologique du forage de Sidi Slimane	55
Tableau.14	Coordonnées (WGS84) du forage de Blidet Amor	59
Tableau.15	Coupe lithologique du forage de Blidet Amor	60
Tableau.16	Coordonnées (WGS84) du forage de Goug	64
Tableau.17	Coupe lithologique de forage du forage de Goug	65
Chapitre 04 : Suivi technique des forages d'eau dans l'aquifère de CI		
Tableau.18	Coordonnées (WGS84) du forage d'El Mostakbal	70
Tableau.19	Coupe lithologique du forage d'El Mostakbal	71
Tableau.20	Essais de débit par palier (courte durée)	75
Tableau.21	Coefficients de JACOB	75
Tableau.22	Coordonnées (WGS84) du forage de Sidi Mehdi.	77
Tableau.23	Coupe lithologique du forage de Sidi Mehdi	78
Tableau.24	Essais de débit par palier(courte durée)	82
Tableau.25	Détermination des valeurs "B" ET "C" Forage Nezla (Sidi Mahdi)	82
Tableau.26	Coordonnées (WGS84) du forage d'Albien 102 El Abadlia	84
Tableau.27	Coupe lithologique du forage Albien 102, dit El Abadlia	85

SOMMAIRE

Remerciement	I
Dédicaces	II
Résumé	III / IV
Liste des figures	VI /VII
Liste des tableaux	IIIX
Sommaire	IX
Introduction générale	XIII
Chapitre 01: Cadre physique et hydrogéologique de la région de l'Oued Righ	
1.Situation géographique de la région d'Oued Righ	2
2 Limites administratives d'Oued Righ	3
3.Cadre géomorphologique et topographique	4
3.1. Relief	4
3.2. Dunes et ergs	4
3.3. Dépressions	5
3.4. Réseau hydrographique	5
4. Contexte climatique	5
4.1.Température	6
4.2. Précipitations	7
4.3. Le vent	8
4.4. L'évaporation	9
4.5. Humidité	9
4.6. Régime climatique	10
4.7. Bilan Hydrique	11
5. Contexte géologique	12
5.1. Stratigraphie régionale	12
5.2. Tectonique	13
5.2.1. Tectonique générale	13
5.2.2. Néotectonique	14
5.3. Géologie locale	14
5.3.1. Les affleurements	15
5.3.2. Le Mésozoïque	16
5.3.3. Le Cénozoïque	18

5.3.4. Le Quaternaire	18
5.4. Coupe lithostratigraphique synthétique de la région de Touggourt	19
6. Contexte hydrogéologique	19
6.1. Nappe phréatique	19
6.2. Complexe Terminal (CT)	20
6.3. Continental Intercalaire (CI)	21
6.4. Les forages d'eau dans la région de Touggourt	22
7. Conclusion	24+25
Chapitre 02: Généralités sur le forage hydrauliques	
1. Définition des forages hydrauliques	26
2. Les composants d'un appareil de forage Rotary	26
2.1. Circulation directe/inverse.	26
2.1.1. Circulation directe	26
2.1.2. Circulation inverse	27
2.2. Equipements de surface	27
2.2.1. Le mât ou derrick	27
2.2.2. Le treuil (ou drawworks)	28
2.2.3. La table de rotation ou tête de rotation	29
2.2.4. La pompe à boue	30
2.2.5. Les bacs et systèmes de traitement de la boue	30
2.2.6. Le groupe moteur ou groupe électrogène	31
2.2.7. Les conduites et flexibles de forage	31
2.2.8. Les équipements de sécurité	32
2.3. Equipements de fond	32
2.3.1. Trépan	32
2.3.2. Tiges	33
2.3.3. Masse-tiges	33
2.3.4. Stabilisateur	34
3. Equipements de puits	34
3.1. Tubage	35
3.2. Crépine	36
3.3. Massif filtrant	37

4. Cimentation	37
5. Boues de forage	38
5.1. Types de Boues	38
5.1.1. Boue à base d'eau	38
5.1.2. Boue à base d'huile	38
5.1.3. Boue à base synthétique	38
5.1.4. Boue bentonitique	38
5.1.5. Boue polymère	39
5.2.Rôle	39
5.3. Programme de boue	39
6. Développement des forages	40
6.1. Dégorgement	40
6.2. Air-lift	40
6.3. Nettoyage	41
7. Diagraphies	41
7.1. Gamma Ray	42
7.2. Résistivité	43
7.3. PS	44
8. Essais de pompage	44
8.1.Essais par paliers	45
8.2. Essais longue durée	44
8.3. Transmissivité	45
8.4. Débit critique	46
9. Conclusion	47
Chapitre 03: Suivi technique des forages d'eau dans l'aquifère de CT	
1. Forage de Megarine w de Touggourt	48
1.1. Localisation de forage	48
1.2. But de forage et caractéristiques	48
1.3. Description lithologique et hydrogéologiques	49
1.4. Déroulement des travaux de la réalisation de forage	49
2. Forage de Sidi Slimane wilaya de Touggourt	54
2.1. Localisation de forage	54

2.2. But du forage	54
2.3. Description lithologique et hydrogéologique	55
2.4. Déroulement des travaux de la réalisation de forage	55
2.5. Essais de pompage	57
2.6. Fiche Technique de Forage Sidi Slimane simulé par Gesfor (voir Figure.36).	58
3.Forage de Blidet Amor wilaya de Touggourt	59
3.1. Localisation de forage	59
3.2. But de forage	59
3.3. Description lithologique et hydrogéologique	60
3.4. Déroulement des travaux de la réalisation de forage	60
3.5. Essais de pompage	62
3.6. Fiche Technique de Forage de Blidet Amor simulé par Gesfor (Figure 38)	63
4.Forage Goug Commune de Blidet Amor wilaya de Touggourt	64
4.1. Localisation de forage	64
4.2. But de forage	64
4.3. Description lithologique et hydrogéologique	65
4.4. Déroulement des travaux de la réalisation de forage	65
4.5. Essais de pompage	67
4.6. Simulation des données de forage de Goug par logiciel Gesfor (voir Figure.40)	68
5. Conclusion	69
Chapitre 04: Suivi technique des forages d'eau dans l'aquifère de CI	
1.Forage profond Albo-Barrémien El Mostakbal	70
1.1. Localisation de forage	70
1.2. But du forage	70
1.3. Description lithologique et hydrogéologique	71
1.4. Déroulement des travaux de la réalisation de forage	71
1.5. Essais de débit	74
2. Forage profond Albo-Barrémien Sidi Mehdi commune de Nezla	77
2.1. Localisation de forage	77
2.2. But du forage	77
2.3. Description lithologique et hydrogéologique	78
2.4. Déroulement des travaux de la réalisation de forage	78

2.5. Essais de débit	81
3. Problèmes techniques rencontrés lors de la réalisation des forages profonds: étude de cas du forage Albien 102 (El Abadlia)	84
3.1. Localisation de forage	84
3.2. Description lithologique et hydrogéologique	84
3.3. Caractéristiques de forage	85
3.4. Description de l'effondrement observé à proximité du forage	86
3.5. Déroulement des travaux de bouchage du forage Albien 102	87
3.6. Bouchage de forage	87
3.6.1. Principales opérations de bouchage	87
3.6.2. Étapes du bouchage d'un forage profond Albien	88
4. Conclusion	90+91
Conclusion générale	92

Introduction Générale

Introduction Générale

L'eau constitue une ressource indispensable à la vie, au développement économique et à la stabilité des activités humaines. Dans les régions arides et semi-arides, où les eaux de surface sont rares ou irrégulières, l'homme a depuis longtemps cherché des techniques permettant d'accéder aux ressources hydriques profondes. Parmi ces techniques, le forage hydraulique occupe une place essentielle, car il permet l'exploitation des eaux souterraines destinées à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation agricole et aux différents usages domestiques et économiques.

La réalisation d'un forage d'eau est une opération technique qui passe par plusieurs étapes successives. Elle commence par l'identification des objectifs du forage, le choix du site, l'étude géologique et hydrogéologique, puis se poursuit par les travaux de forage, d'équipement, de développement, d'essai de pompage et enfin de mise en exploitation de l'ouvrage. La réussite de cette opération dépend donc d'une bonne connaissance du terrain, du choix des méthodes de forage adaptées et du respect des normes techniques de réalisation.

La région d'Oued Righ, située au Nord-Est du Sahara algérien, représente une entité géographique et économique importante. Elle regroupe plusieurs oasis et constitue une zone à forte activité agricole, notamment phoenicicole. Cette position stratégique nécessite la mobilisation d'un potentiel hydrique important, aussi bien pour les besoins agricoles que pour l'alimentation domestique des populations.

Sur le plan hydrogéologique, la région d'Oued Righ renferme d'importantes ressources en eaux souterraines, organisées principalement en trois grands systèmes aquifères : la nappe du Continental Intercalaire, appelée aussi nappe albiennaise, la nappe du Complexe Terminal et la nappe phréatique. Ces nappes présentent des caractéristiques différentes en matière de profondeur, de qualité des eaux, de débit exploitable et de conditions de captage.

Depuis les années soixante-dix, le nombre de forages exploitant les nappes profondes, notamment celle du Complexe Terminal, a connu une forte augmentation. Cette exploitation importante s'explique par le fait que cette nappe est généralement accessible à des profondeurs inférieures à 300 m, avec des conditions de réalisation relativement maîtrisables et un coût souvent supportable. Par ailleurs, plusieurs forages captant la nappe du Continental Intercalaire ont été réalisés dans la région d'Oued Righ, généralement sous le suivi des services compétents, notamment l'ANRH, et par des entreprises spécialisées. À cela s'ajoutent de nombreux puits et forages exploitant la nappe phréatique, dont une grande partie est réalisée de manière traditionnelle ou manuelle. Toutefois, les eaux de cette nappe sont

souvent de qualité médiocre en raison de leur forte minéralisation et de leur exposition aux risques de pollution, ce qui limite leur utilisation.

Le présent travail a pour objectif de mettre en lumière l'importance des forages hydrauliques dans la mobilisation des eaux souterraines dans la région d'Oued Righ. Il s'intéresse particulièrement aux techniques de réalisation des forages, aux conditions géologiques et hydrogéologiques rencontrées, ainsi qu'au suivi de deux types d'ouvrages captant des aquifères différents.

Pour atteindre cet objectif, le travail est organisé en quatre chapitres principaux.

- Le premier chapitre présente le cadre physique de la zone d'étude.
- Le deuxième chapitre traite des généralités sur les forages hydrauliques.
- Le troisième chapitre est consacré au suivi de réalisation d'un forage d'eau captant l'aquifère du Complexe Terminal.
- Le quatrième chapitre porte sur le suivi de réalisation d'un forage profond captant l'aquifère du Continental Intercalaire.
- Enfin, une conclusion générale récapitule les principaux résultats obtenus et souligne l'importance d'une réalisation maîtrisée des forages pour assurer une exploitation durable des ressources en eaux souterraines.

Chapitre 01

Cadre physique et hydrogéologique de la région de l'Oued Righ

1. Situation géographique de la région d'Oued Righ

La région de l'Oued Righ est une entité géographique située dans le sud-est de l'Algérie, plus précisément au nord-est du Sahara, à la limite nord du Grand Erg Oriental et au sud du massif des Aurès. Elle s'étend du village d'El Goug, dans la région de Touggourt, au sud, jusqu'au village d'Oum-Thiours, situé à 100 km de la wilaya de Biskra, sur une distance d'environ 150 km vers le nord. La largeur de la zone varie entre 20 et 30 km. Elle est limitée par les coordonnées UTM suivantes : 3 640 000 et 3 740 000 Nord, et 221 000 et 260 000 Est (Belksier, 2017).

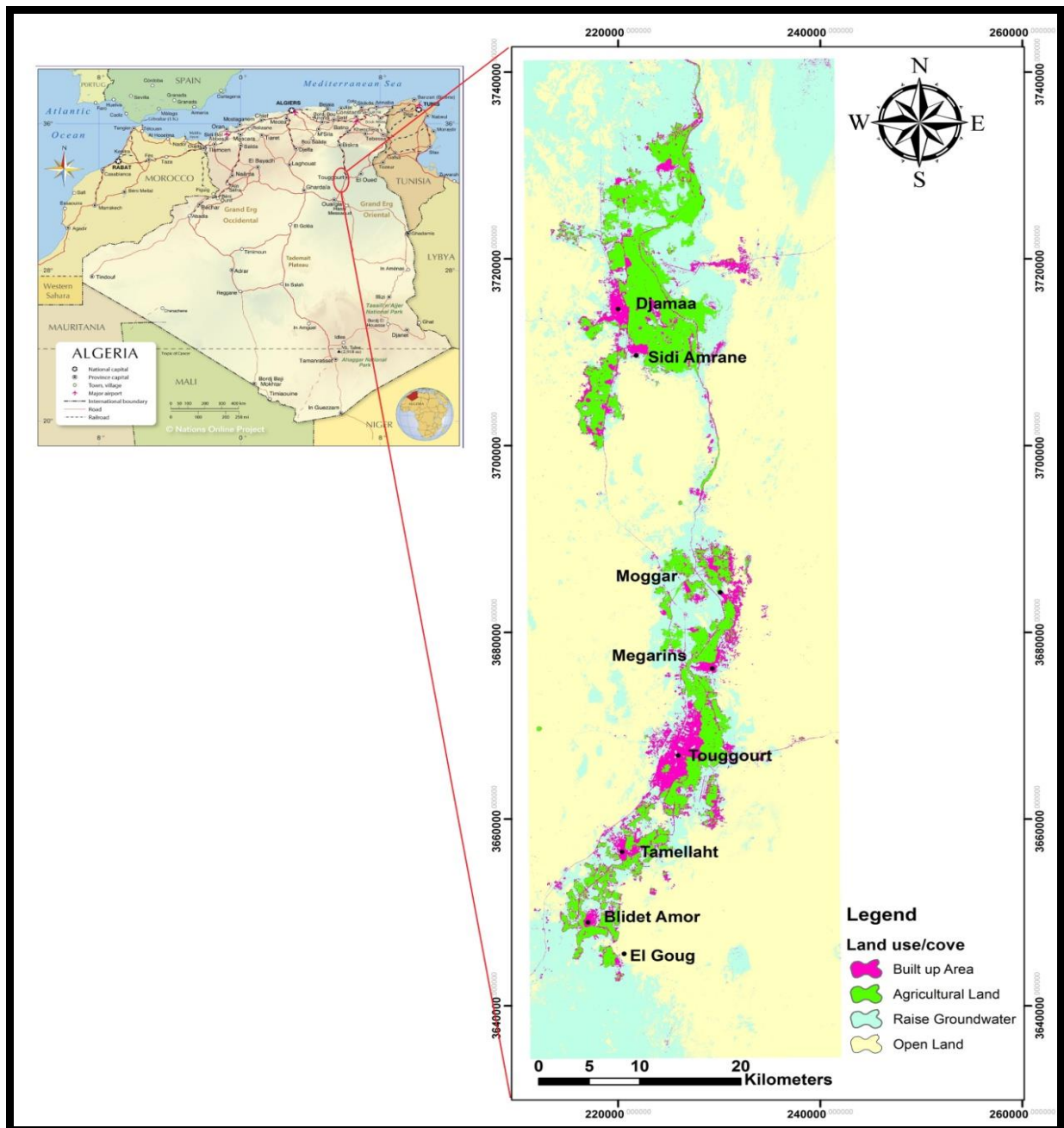


Figure.1. localisation géographique de l'Oued Righ.

2. Limites administratives d'Oued Righ

La vallée de l'Oued Righ est partagée entre deux wilayas : Touggourt et El Meghaier. Elle traverse, du sud au nord, six daïras : Temacine, Touggourt, Sidi Slimane et Mégarine, qui appartiennent à la wilaya de Touggourt, ainsi que Djamaa et El Meghaier, qui relèvent de la wilaya d'El Meghaier. Elle est limitée au nord par la wilaya de Biskra et la commune de Tolga, au sud-ouest par les oasis d'Ouargla, et à l'est par la vallée de l'Oued Souf.

Cette vallée est caractérisée par une dépression large d'environ 20 km, allongée du sud vers le nord sur près de 150 km, en direction du Chott Merouane. L'altitude diminue progressivement, passant de +100 m à El Goug, en amont, qui constitue la cote la plus élevée, à environ -30 m au niveau du Chott Merouane, en aval. La pente générale est de l'ordre de 1 ‰ à Djamaa.

La vallée de l'Oued Righ est traversée par un canal principal, appelé canal de l'Oued Righ. Celui-ci joue un rôle très important dans la vallée, car il assure l'évacuation des eaux d'irrigation excédentaires, notamment les eaux de drainage, ainsi que les eaux d'assainissement provenant des zones urbaines.

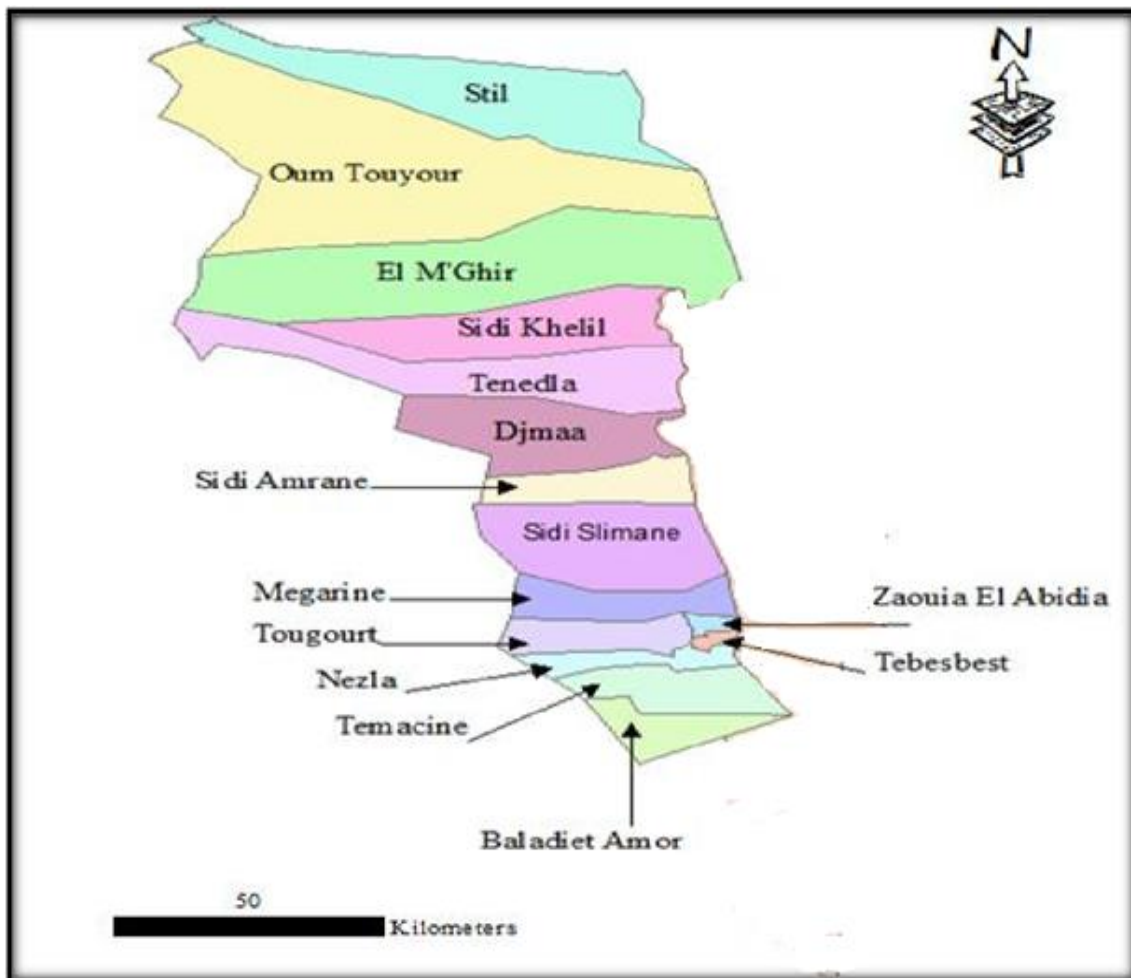


Figure.2.Limites administratives de la région de l'Oued Righ

3. Cadre géomorphologique et topographique

La région de l'Oued Righ présente une topographie globalement plane, avec une pente très faible d'environ 1 ‰. Les altitudes diminuent progressivement du sud vers le nord, passant de plus de 100 m à El Goug et Touggourt, à environ 0 m à El Meghaier, puis à des valeurs négatives au niveau du Chott Merouane. Cette pente favorise l'écoulement des eaux excédentaires vers le nord (Ben Abdallah et Bouaichi, 2019). Sur le plan géomorphologique, la région appartient au Bas Sahara et s'inscrit dans un système endoréique caractérisé par des dépressions fermées, notamment les chotts et les sebkhas (Belkacem B. et al., 2014). Elle comprend des plateaux, des formations sableuses, des zones alluvionnaires et des chotts (A.N.R.H., 2009).

3.1. Relief

Le relief de la région de l'Oued Righ, située dans le Bas Sahara algérien entre Touggourt et El Meghaier, correspond à une vaste dépression topographique orientée du sud vers le nord. La vallée forme une large cuvette désertique, caractérisée par de faibles altitudes, parmi les plus basses d'Algérie. Elle abrite une importante chaîne de palmeraies qui s'étend sur plus de 150 km.

Au nord de la région, on observe des zones de chotts et de sebkhas. Ces dépressions fermées se situent parfois au-dessous du niveau de la mer, comme le Chott Merouane, dont l'altitude descend jusqu'à environ -27 m.

Le fond de la vallée est relativement plat et souvent recouvert de sables fluviatiles. Il est bordé et entrecoupé par des cordons dunaires appartenant au Grand Erg Oriental, ainsi que par quelques étendues de hamadas, c'est-à-dire des plateaux rocheux.

La région correspond également à un ancien réseau hydrographique fossile. L'ancien cours d'eau, lié à l'Oued Igharghar descendant du Hoggar, est aujourd'hui masqué par les dunes. Il ne subsiste actuellement qu'un système moderne d'irrigation et de drainage.

3.2. Dunes et ergs

La région de l'Oued Righ est composée d'une vaste couverture sableuse formée de dunes et d'ergs, qui occupent une grande partie de l'espace, ainsi que de quelques plaines constituées de sables et d'alluvions. La variation des cotes altimétriques est nettement remarquable: l'altitude diminue progressivement de 90 m à El Goug, atteint 45 m à Djamaa, 0 m à El Meghaier, puis environ -20 m à Ourir.

3.3. Dépressions

La région de l'Oued Righ est caractérisée par une dépression allongée du sud vers le nord. Cette dernière présente plusieurs dépressions fermées, telles que les sebkhas et les chotts, qui représentent les points les plus bas de la vallée. Ces formes topographiques se situent parfois au-dessous du niveau de la mer (Belkacem B. et al., 2014).

3.4. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique de l'Oued Righ correspond à une ancienne dépression naturelle du Bas Sahara algérien, où l'écoulement de surface n'est plus permanent. Aujourd'hui, il s'agit principalement d'un système artificiel de drainage et de collecte des eaux, aménagé pour évacuer les surplus d'irrigation et protéger les oasis du bassin.

Les principales composantes de ce réseau sont les suivantes :

- **L'ancien Oued Righ** : il s'agit d'un oued fossile qui ne coule plus depuis plusieurs siècles. Son tracé naturel est aujourd'hui en grande partie masqué par les dunes du Grand Erg Oriental. Il forme une dépression orientée sud-nord, allant de la région de Touggourt jusqu'au nord de la wilaya d'El Meghaier.
- **Le canal de l'Oued Righ** : ce canal a été aménagé pour collecter les eaux de drainage provenant des nombreuses palmeraies. Il traverse le cœur de la vallée, notamment les régions de Touggourt, Djamaa et El Meghaier, sur plus de 150 km.
- **L'exutoire final, les chotts** : le réseau de canaux d'évacuation dirige les eaux de drainage vers de vastes dépressions salées situées plus au nord, principalement le Chott Merouane et le Chott Melghir, qui se trouvent au-dessous du niveau de la mer.

4. Contexte climatique

Le climat exerce une influence importante sur de nombreuses activités humaines, notamment la production agricole, la consommation d'énergie et l'exploitation des ressources naturelles, en particulier les ressources en eau. Il constitue également un élément fondamental dans l'analyse des conditions environnementales, relevant directement du domaine de la climatologie.

Dans ce travail, nous nous intéressons à l'étude des paramètres hydroclimatologiques enregistrés au cours des dix dernières années au niveau de la station météorologique de Touggourt. L'analyse portera principalement sur les variations mensuelles et annuelles des précipitations, de la température de l'air, de l'humidité relative, de la vitesse du vent ainsi que de l'évaporation mesurée dans cette station.

La carte ci-dessous présente les différents sous-bassins versants du Sahara algérien ainsi que les principales stations météorologiques. D'après cette carte, établie selon le découpage hydrologique adopté par l'ANRH, Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, la zone d'étude appartient au sous-bassin versant n° 04.

Les données climatiques relatives à la région de l'Oued Righ ont été recueillies à partir de la station météorologique de Touggourt. Elles couvrent la période allant de 2015 à 2025.

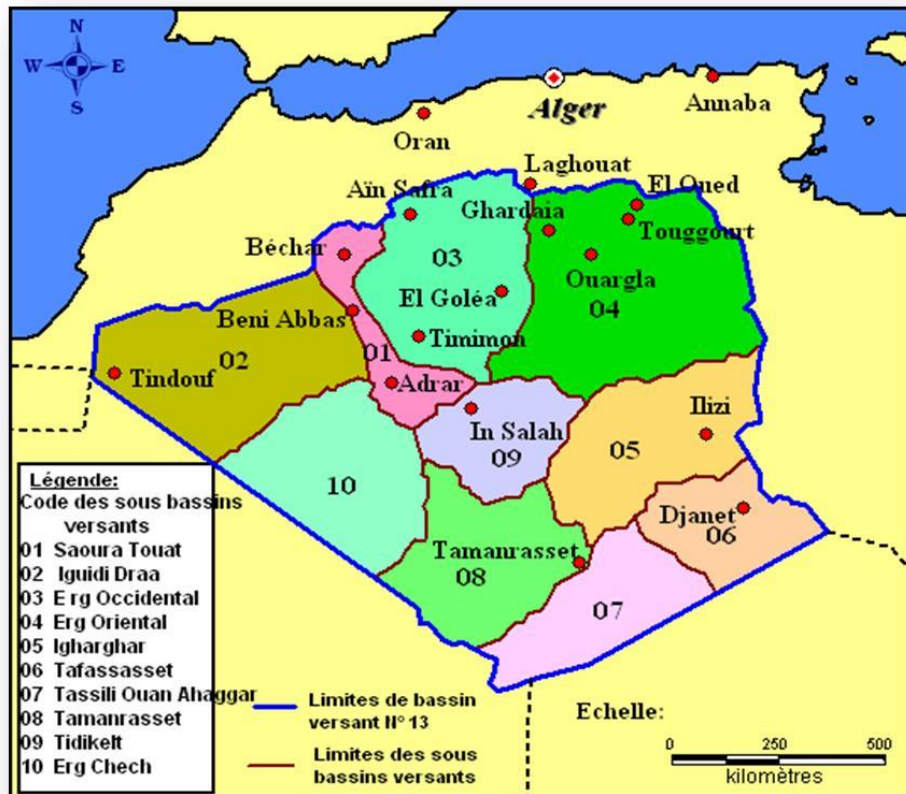


Figure.3. Carte des sous- bassins versants du Sahara algérien et des stations Météorologiques d'après Cahiers de Sécheresse.

4.1. Température

La région d'étude est caractérisée par un climat saharien. La température y constitue un paramètre climatique essentiel, en raison de son influence directe sur plusieurs autres facteurs météorologiques, notamment l'évaporation et l'humidité relative de l'air.

La température représente la quantité d'énergie thermique contenue dans un milieu. Elle joue également un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes, car elle influence le rythme biologique de la végétation et son développement.

Le tableau ci-dessous présente les températures moyennes enregistrées sur une période de onze ans.

D'après le tableau 1 et la figure 4, la température minimale est enregistrée au mois de janvier, avec une valeur de 12,24 °C, tandis que la température maximale est observée au mois de juillet, avec 35,51 °C. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 23,32 °C.

Tableau .1. : Températures moyennes mensuelles de la station de Touggourt (2015-2025).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
T- (°C)	29.62	23.80	17.42	12.76	12.24	14.18	17.59	22.11	27.69	32.57	35.51	34.28	<u>23.32</u>

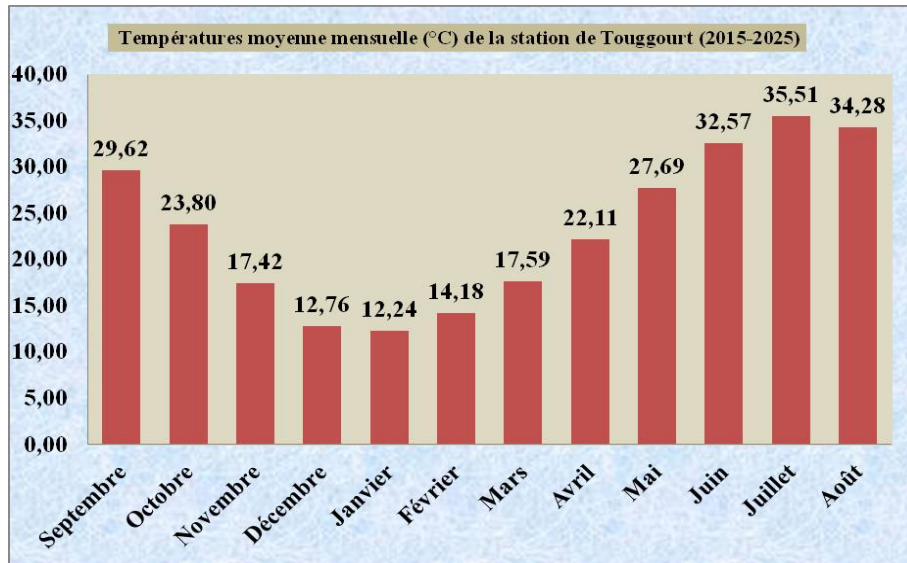


Figure.4. Températures moyenne mensuelle de la station de Touggourt (2015 -2025).

4.2. Précipitations:

Les précipitations résultent de la condensation de la vapeur d'eau dans l'atmosphère, puis de sa chute vers le sol sous forme de pluie, de neige ou de grêle. Elles jouent un rôle essentiel dans le renouvellement des ressources en eau, notamment dans la recharge des nappes souterraines. Toutefois, seule une partie des eaux pluviales contribue réellement à cette recharge, le reste étant perdu par évaporation ou ruissèlement. Le tableau ci-dessous présente les précipitations moyennes mensuelles enregistrées sur une période de onze ans.

Les précipitations moyennes interannuelles enregistrées à la station de Touggourt sur une période de 11 ans, de 2015 à 2025, sont présentées dans le tableau 2 et illustrées par la figure 5.

L'analyse des données montre que le mois d'avril est le plus humide, avec une moyenne de 8,13 mm, tandis que le mois de juillet est le plus sec, avec seulement 0,04 mm. Le cumul moyen annuel des précipitations est estimé à 34,51 mm.

Tableau.2.Précipitations moyenne mensuelle de la station de Touggourt (2015-2025).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
P (mm)	5.35	0.59	5.32	2.25	0.29	4.03	3.19	8.13	3.08	0.3	0.04	1.94	<u>34.51</u>

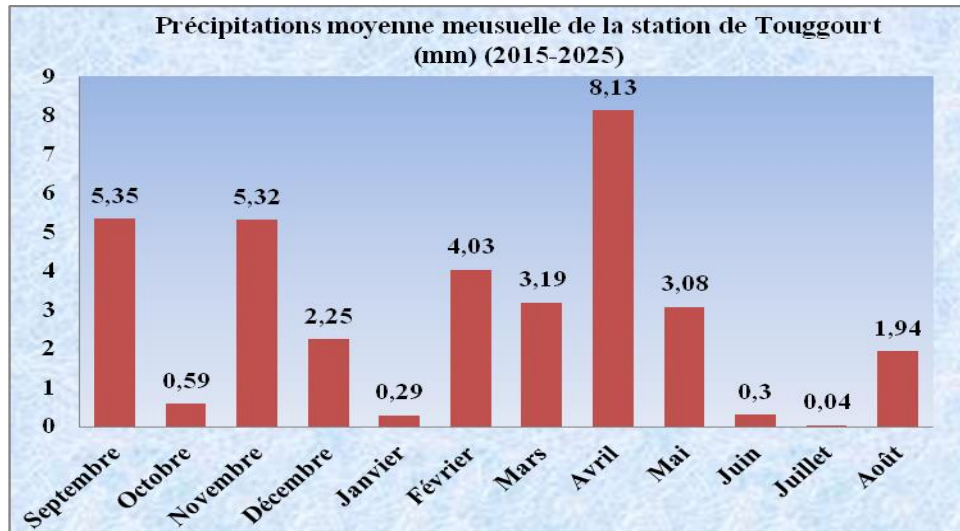


Figure.5. Précipitations moyenne mensuelle (2015-2025).

4.3. Le vent

Le vent constitue un paramètre climatique important, lié aux déplacements des masses d'air sous l'effet des différences de pression atmosphérique. Dans la région d'étude, les vents sont fréquents durant toute l'année et contribuent fortement aux phénomènes d'ensablement.

Le tableau ci-dessous présente les vitesses moyennes mensuelles du vent enregistrées sur une période de onze ans. Les données montrent que la vitesse du vent dépasse généralement 13,55 m/s, ce qui indique une forte exposition de la région aux vents. La valeur maximale est enregistrée au mois de mars, avec 23,09 m/s, période souvent marquée par des vents forts accompagnés de tempêtes de sable.

Tableau.3. Vitesse moyenne mensuelle des vents de la station de Touggourt (2015-2025).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Vitesse (m/s)	17.64	14.91	13.55	15.23	14.18	20	23.09	18.55	18.37	18.91	15.91	16.82

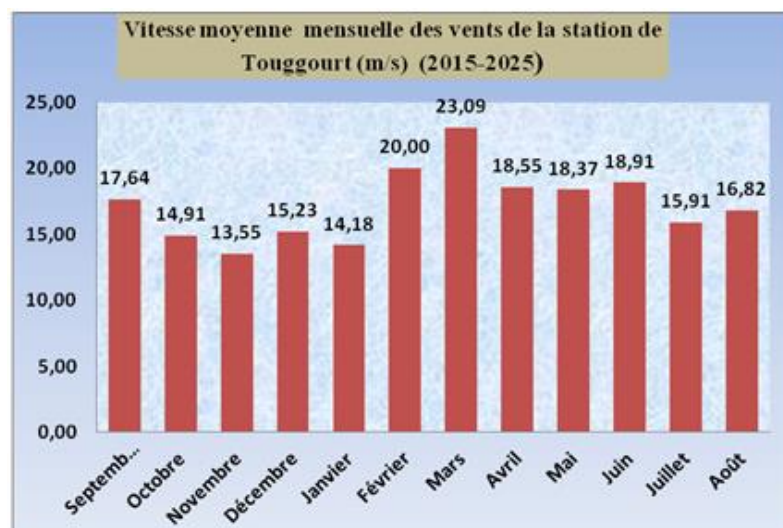


Figure .6. Vitesse moyenne mensuelle des vents (m/s).de la station de Touggourt (2015-2025).

4.4. L'évaporation

L'évaporation correspond au retour de l'eau vers l'atmosphère sous forme de vapeur. Elle concerne aussi bien les surfaces d'eau libre que l'eau présente dans le sol et les formations aquifères. Le tableau 4 et la figure (7) présentent les valeurs moyennes mensuelles de l'évaporation enregistrées dans la région de Touggourt. Les résultats montrent que l'évaporation est plus importante pendant la période estivale. Elle atteint son maximum au mois de juillet, avec 384,12 mm, tandis que les valeurs les plus faibles sont observées en hiver, avec un minimum enregistré au mois de décembre, soit 96,27 mm.

Tableau.4. Evaporations moyenne mensuelle (mm) de la station de Touggourt (2015-2025)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Evap (mm)	245.23	191.12	126.56	96.27	86.14	119.45	187.41	229.35	293.87	358.12	384.81	332.95

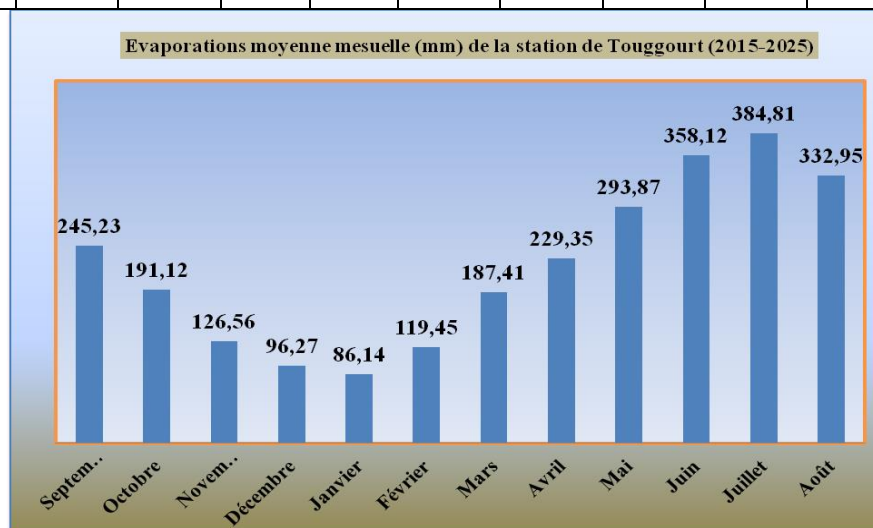


Figure .7. Evaporations moyenne mensuelle (mm) de la station de Touggourt (2015-2025).

4.5. Humidité

L'humidité correspond à la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air. Elle est généralement exprimée en pourcentage et varie en fonction de la température ainsi que de la pression atmosphérique. Le tableau ci-dessous présente les valeurs moyennes mensuelles de l'humidité enregistrées sur une période de 11 ans. D'après la figure, on observe que l'humidité augmente progressivement à partir du mois de décembre pour atteindre son maximum en janvier, avec une valeur moyenne de 60,12 %. En revanche, elle diminue durant la période estivale et atteint sa valeur minimale au mois de juillet, avec environ 28,17 %.

Tableau.5. Humidité moyenne mensuelle (en %) de la station de Touggourt (2015-2025)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Hum (%)	57.43	39.56	51.89	60.12	55.45	50.23	45.13	43.22	36.81	32.51	28.17	32.15

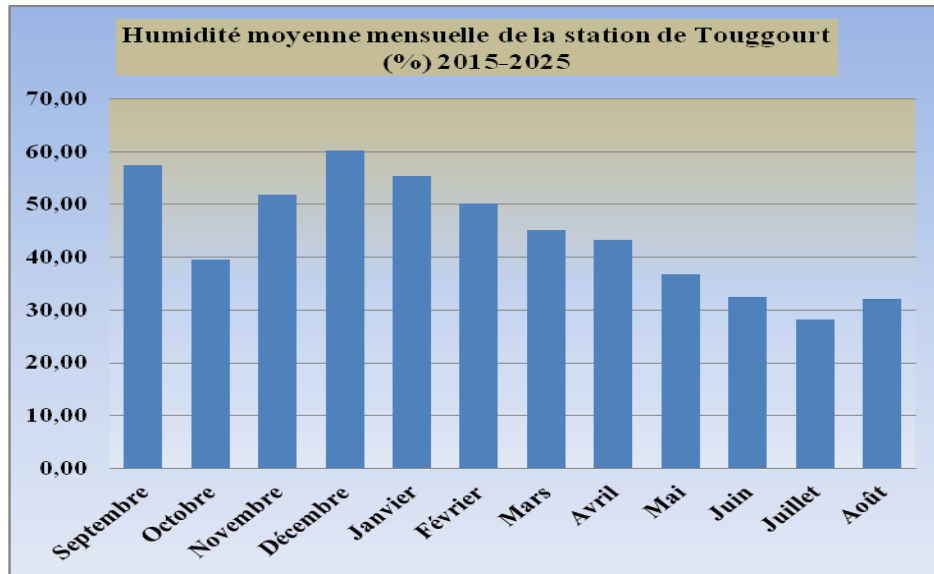


Figure.8. Humidité moyenne mensuelle (%) de la station de Touggourt (2015-2025)

4.6. Régime climatique

Le diagramme Ombrothermique de Gaussen permet d'analyser le climat d'une région à partir de deux paramètres climatiques : les précipitations moyennes mensuelles et les températures moyennes mensuelles. Selon Bagnouls et Gaussen (1953, 1957), un mois est considéré comme sec lorsque les précipitations sont inférieures ou égales au double de la température, soit $P \leq 2T$.

Ce diagramme permet ainsi de déterminer la durée de la saison sèche à partir de la position des courbes de température et de précipitations (Zahi, 2014 ; Bouachiba et Boudraa, 2020). D'après la figure 9, les précipitations restent très faibles durant toute l'année et répondent à la condition $P \leq 2T$, ce qui montre que la région d'étude est caractérisée par une saison sèche permanente et par un climat saharien sec.

Dans notre région d'étude, la courbe des précipitations reste inférieure à celle des températures durant toute l'année. Cela indique une sécheresse permanente, plus intense entre juin et septembre, malgré un maximum pluviométrique enregistré en janvier sur la période 2015-2025.

Tableau.6. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la station de Touggourt (2015-2025)

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	5.35	0.59	5.32	2.25	0.29	4.03	3.19	8.13	3.08	0.3	0.04	1.94
T °C	29.62	23.8	17.42	12.76	12.24	14.18	17.59	22.11	27.69	32.57	35.51	34.28
2T °C	59.24	47.60	34.84	25.52	24.48	28.36	35.18	44.22	55.38	65.15	71.02	68.55

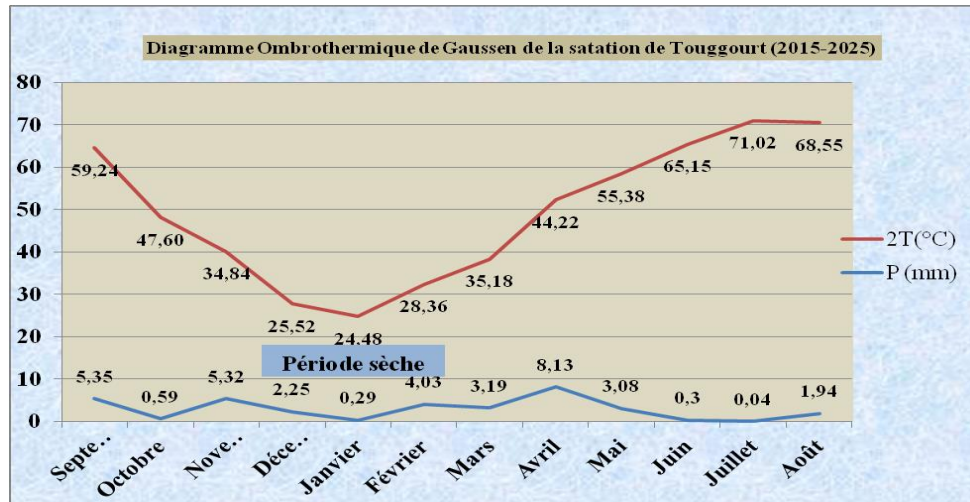


Figure.9. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la station de Touggourt

4.7. Bilan Hydrique

Le bilan hydrique établi selon la méthode de Thornthwaite pour la station de Touggourt, sur une période de 11 ans (2015-2025), montre une situation déficitaire. La quantité d'eau perdue par évapotranspiration potentielle (ETP) est nettement supérieure aux précipitations. La réserve facilement utilisable (RFU) est nulle durant toute l'année. Le déficit agricole est présent pendant onze mois de l'année et atteint son maximum au mois de juillet, avec une valeur de 267,8 mm. Le bilan hydrique de la région de l'Oued Righ montre que la recharge par les pluies efficaces est négligeable.

L'étude climatologique indique que le climat de la zone d'étude est hyperaride, de type saharien. La température la plus élevée, de l'ordre de 35,51 °C, est enregistrée au mois de juillet, période durant laquelle l'évaporation atteint également son maximum avec 384,81 mm. En revanche, la température la plus faible, estimée à 12,24 °C, correspond au mois de janvier, durant lequel l'évaporation est minimale, avec une valeur de 86,14 mm.

Le Bilan hydrique selon C.W Thornthwaite de la station de Touggourt pour la période de 10 ans (2015/2025) est déficitaire sera calculer par la formule suivante :

$$ETP = 16(10^* t/I) a.k$$

Avec : $i = (t/5)^{1.5}$ et $a = (1,6 I/100) + 0.5$

ETP : évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle (mm)

I : indice thermique mensuel.

a : paramètre arbitraire lié à la température

Is : somme des indices thermiques mensuels.

T: température moyenne mensuel (°C).

K : coefficient d'ajustement mensuel.

Les résultats de calcul de l'ETP par la méthode de C.W.Thornthwaite permettant de déterminer le bilan hydrique dans la zone d'étude voir (Tableau.7).

la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que l'évapotranspiration potentielle (ETP) est plus importante que les précipitations, la réserve facilement utilisable est nulle pendant les douze mois de l'année. Le déficit agricole est présent pendant toutes les mois de l'année, elle atteindra son maximum au mois de juillet 267.3 mm.

Tableau.7. Bilan hydrique selon C.W Thornthwaite de la station de Touggourt (2015/2025).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Total
P(mm)	5,35	0,59	5,32	2,25	0,29	4,03	3,19	8,13	3,08	0,3	0,04	1,94	34,51
T(°C)	29,62	23,8	17,42	12,76	12,24	14,18	17,59	22,11	27,69	32,57	35,51	34,28	279,77
K	1.03	0.97	0.86	0.81	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	
i	14,42	10,39	6,50	4,08	3,83	4,78	6,60	9,30	13,03	16,63	18,93	17,95	126,42
ETP	140,9	76,43	30,86	13,26	12,83	18,17	37,88	71,98	139,6	212	267,8	229,2	
RFU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ETR	5,35	0,59	5,32	2,25	0,29	4,03	3,19	8,13	3,08	0,3	0,04	1,94	
EXC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
DA	135,5	75,84	25,54	11,01	12,54	14,14	34,69	63,85	136,6	211,7	267,8	227,3	

$$P \text{ (moyenne)} = 34,51 \text{ mm} \quad T \text{ moy} : 279.77/12 = 23,31^{\circ}\text{C} \quad I_s = \sum i = 126.42 \quad a = 2,52$$

$$(P < T) \text{ ETR} = P \quad (P > T) \text{ ETR} = \text{ETP} \quad \text{DA} = \text{ETP} - \text{ETR}$$

5. Contexte géologique

L'étude géologique de la région de l'Oued Righ constitue une étape essentielle dans les travaux hydrogéologiques. Elle permet d'identifier la nature lithologique des formations, de décrire leur organisation stratigraphique et de mieux comprendre les caractéristiques géologiques des réservoirs souterrains. Dans ce chapitre, nous présentons d'abord le cadre géologique régional, puis les particularités géologiques locales de la zone de l'Oued Righ.

5.1. Stratigraphie régionale

La région de l'Oued Righ appartient au Bas-Sahara algérien. Ce vaste domaine est limité au nord par l'accident sud-atlasique et les premiers reliefs des monts des Aurès, au sud par la falaise méridionale du Tihert, à l'est par les affleurements crétacés du Dahar et à l'ouest par la dorsale du Mزاب.

Le Bas-Sahara se distingue par une topographie relativement simple. Ses bordures, à l'exception de la limite nord, présentent des altitudes modestes et s'inclinent progressivement vers une zone déprimée orientée SSW-NNE, parcourue par les oueds Mya et Righ. Au nord, cette dépression est bordée par une barrière montagneuse formée par les monts des Ouled

Naïl, des Aurès et des Nemamcha. Elle est également marquée par la présence de chotts dont certains fonds se situent sous le niveau de la mer.

Sur le plan structural, le Bas-Sahara correspond à une vaste cuvette synclinale. Les terrains, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire, sont en grande partie recouverts par les formations sableuses du Grand Erg Oriental. Toutefois, quelques affleurements apparaissent sur les bordures de cette cuvette.

On distingue, de la base vers le sommet, trois grands ensembles géologiques :

- les terrains paléozoïques, affleurant au sud entre les plateaux du Tademaït, du Tihert et le massif du Hoggar ;
- les terrains mésozoïques et cénozoïques, qui constituent l'essentiel des affleurements périphériques du Bas-Sahara ;
- les dépôts continentaux du Tertiaire supérieur et du Quaternaire, qui occupent la partie centrale de la cuvette.

5.2. Tectonique

5.2.1. Tectonique générale

Au cours du Secondaire, le Sahara algérien oriental a été affecté par des mouvements verticaux d'ensemble. Alors que des chaînes montagneuses se formaient plus au nord, dans le géosynclinal de l'Atlas saharien, la zone saharienne connaissait plutôt un affaissement progressif de sa partie centrale, suivant un axe passant approximativement par la vallée de l'Oued Righ et la partie supérieure de l'Oued Mya.

La structure actuelle des formations du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal se caractérise par l'absence de déformations tectoniques majeures. Cependant, les phases orogéniques tertiaires ayant affecté la chaîne maghrébine ont eu des répercussions sur la plateforme saharienne.

Les mouvements de l'Éocène moyen à supérieur, puis ceux du Miocène inférieur, ont contribué à la mise en place du Tell et des Aurès. La phase plio-quaternaire, intégrée au cycle alpin, a favorisé l'apparition de fractures de direction est-ouest. Ces accidents tectoniques sont à l'origine de la surrection du massif des Aurès et de l'affaissement du sillon sud-aurésien. Ils jouent également un rôle important dans l'organisation de l'écoulement des eaux souterraines et dans la formation des chotts, notamment Chott Merouane et Chott Melghir.

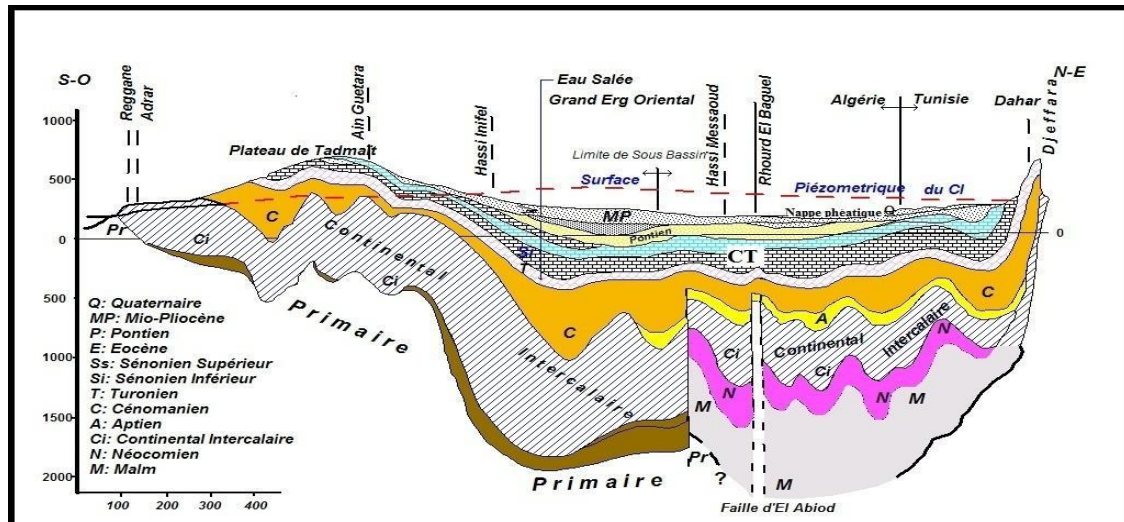


Figure.10.Coupe géologique synthétique de Sahara Septentrionale (UNESCO 1972).

5.2.2. Néotectonique

Durant le Quaternaire, l'évolution tectonique du Bas-Sahara a été marquée par des variations du niveau de base des grands chotts par rapport aux anciens cours d'eau établis à la fin du Pliocène. L'évolution du relief peut être résumée en trois principales phases.

La première phase correspond à un affaissement brusque du centre de la cuvette, correspondant à la région actuelle des chotts. Les cours d'eau provenant de l'ouest et surtout du sud ont alors creusé de larges vallées dans la couverture miopliocène. À cette époque, l'Oued Righ et l'Oued Igharghar formaient probablement un seul grand réseau hydrographique, auquel l'Oued Mya était associé comme affluent.

La deuxième phase est caractérisée par un remblaiement partiel de la région affaissée et des vallées qui y aboutissaient. Des surélévations locales ont ensuite provoqué la séparation de l'Oued Righ par rapport à l'Oued Igharghar et à l'Oued Mya.

Enfin, la troisième phase correspond à un affaissement lent et continu de la région des grands chotts. Parallèlement, la vallée de l'Oued Righ s'est progressivement comblée sous l'effet des apports fluviaux et éoliens. L'ancien oued s'est ainsi transformé en système souterrain, dont la présence n'apparaît aujourd'hui en surface qu'à travers certains lacs, chotts humides et zones de dépression.

5.3. Géologie locale

La zone d'étude fait partie du bassin du Sahara oriental, région largement connue grâce aux travaux de prospection pétrolière. L'analyse géologique locale nécessite donc de replacer la zone dans le cadre plus large du Bas-Sahara, en raison de l'ampleur des phénomènes géologiques, stratigraphiques et tectoniques qui caractérisent cet ensemble (Boussaâda, 2017).

Trois grands ensembles peuvent être distingués :

1. les terrains paléozoïques, affleurant au sud entre les plateaux du Tademaït, du Tihert et le massif du Hoggar ;
2. les terrains mésozoïques et cénozoïques, qui dominent les affleurements des bordures du Bas-Sahara ;
3. les dépôts continentaux du Tertiaire supérieur et du Quaternaire, occupant le centre du bassin.

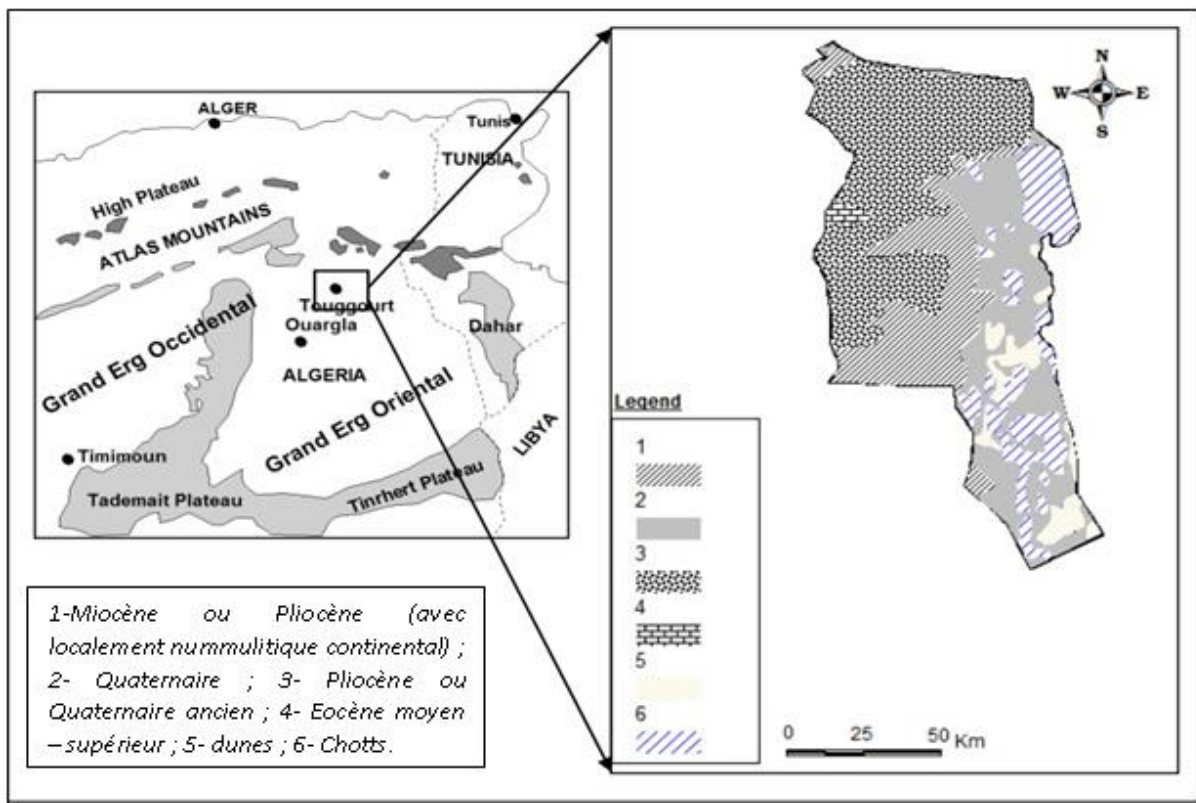


Figure.11. Extrait de la carte géologique du bassin Mésozoïque du Sahara Algéro – Tunisien (Busson, 1967)

5.3.1. Les affleurements

Dans la région d'étude, les affleurements sont principalement d'âge quaternaire. Ils sont constitués essentiellement de sables reposant sur des niveaux argileux et évaporitiques semi-perméables, qui les séparent du Pliocène supérieur. L'épaisseur du Quaternaire varie généralement entre 39 et 67 m (Sayah Lembarek, 2008).

Ces formations quaternaires renferment une nappe phréatique alimentée principalement par l'infiltration des eaux de précipitation, des oueds, ainsi que par les eaux de drainage et d'irrigation.

Les travaux de plusieurs auteurs, notamment J. Savorin (1931), R. Karpoff (1952), A. Cornet (1961) et R. Furon (1968), ont permis d'établir une série stratigraphique relativement

complète de la région. Les formations géologiques sont généralement décrites des plus anciennes vers les plus récentes.

5.3.2. Le Mésozoïque

Le Crétacé : Le Crétacé est représenté par une série essentiellement continentale, composée d'une alternance de niveaux gréseux et argileux.

Le Néocomien : Le Néocomien comprend deux séries principales. La série inférieure est dominée par des argiles grises et vertes, parfois pélitiques, associées à des dolomies microcristallines et cristallines. La série supérieure comprend un ensemble supérieur formé de dolomies et de calcaires microcristallins avec des intercalations d'argiles, de pélites et de marnes blanches ou grises. L'ensemble inférieur est surtout anhydritique, avec des intercalations d'argiles grises, vertes et rouges. L'épaisseur du Néocomien est estimée à environ 350 m.

Le Barrémien : Le Barrémien est constitué de grès fins à moyens à ciment argileux, associés à des niveaux de sables, de grès arkosiques et parfois de dragées de quartz blanc laiteux. Son épaisseur varie entre 150 et 200 m. Cette série détritique, relativement poreuse, constitue un aquifère important du Continental Intercalaire.

L'Aptien : L'Aptien correspond à un niveau semi-perméable dont l'épaisseur varie entre 28 et 31 m.

L'Albien : L'Albien est formé principalement de grès friables à ciment argileux et d'argiles sableuses. Les grès et les sables sont fins à très fins et peuvent passer localement à des pélites. Les argiles, souvent pélitiques, sont généralement de couleur grise ou verdâtre.

Le Vraconien : Le Vraconien constitue une formation de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilo-carbonaté. Il est composé d'une alternance irrégulière de niveaux argileux, dolomitiques et d'argiles sableuses, avec parfois quelques passées de grès à ciment calcaire. Cette formation est considérée comme imperméable et son épaisseur est d'environ 110 m.

Le Cénomaniens : Dans la région de l'Oued Righ, le Cénomaniens présente une épaisseur importante, estimée entre 200 et 250 m. Cette épaisseur diminue progressivement vers le nord et dans la zone atlasique, où la formation affleure. Il est constitué d'une alternance de dolomies, calcaires dolomitiques, marnes dolomitiques, argiles, anhydrites et parfois de sel. Ces formations sont globalement imperméables.

Le Turonien : Le Turonien présente une épaisseur relativement constante à l'échelle du Sahara algérien. Elle atteint environ 113 m dans le forage de Touggourt. Dans la région de

l'Oued Righ, il correspond à un dépôt marin, témoignant d'une extension maximale de la mer. Lithologiquement, il est constitué de calcaires et de dolomies, avec des niveaux marneux à la base et des formations dolomitiques ou calcaires au sommet.

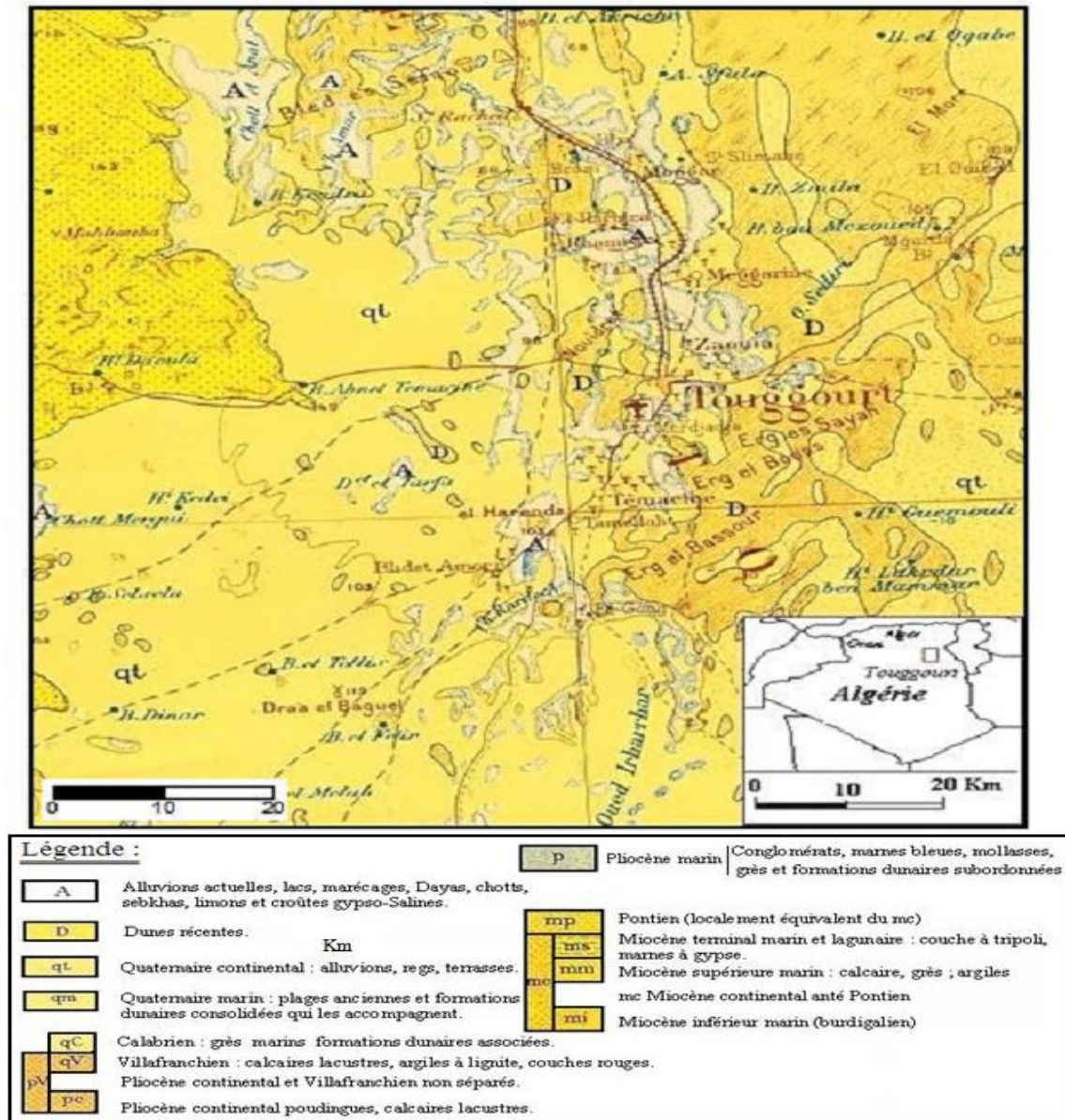


Figure .12. Carte géologique de la région de Touggourt, extrait de la carte Géologique de l'Algérie.

Le Sénonien : Dans le Bas-Sahara, le Sénonien comprend deux ensembles lithologiques distincts : le Sénonien lagunaire à la base et le Sénonien carbonaté au sommet.

Le Sénonien carbonaté est principalement composé de dolomies et de calcaires microfissurés, avec des intercalations de marnes, d'argiles et plus rarement d'anhydrites. Sa

limite supérieure est parfois difficile à définir en raison de la continuité lithologique avec l'Éocène carbonaté.

Le Sénonien lagunaire est constitué d'une alternance d'anhydrites, de dolomies, d'argiles et de sels. Il est considéré comme imperméable et joue, sur le plan hydrogéologique, le rôle d'un niveau de base imperméable.

5.3.3. Le Cénozoïque

L'Éocène : L'Éocène comprend deux ensembles lithologiques : l'Éocène inférieur carbonaté et l'Éocène moyen évaporitique.

L'Éocène inférieur est composé de dolomies, de calcaires dolomitiques, de calcaires à Nummulites et de rognons de silex. Dans le sondage de Touggourt, son épaisseur atteint environ 120 m.

L'Éocène moyen est représenté par des niveaux calcaires alternant avec des marnes rouges gypsifères, des argiles et des anhydrites. Les sondages réalisés à Touggourt et dans les régions plus méridionales indiquent la présence d'eau dans certains niveaux calcaires.

L'Oligocène : L'Oligocène est mal connu dans la zone saharienne. Dans l'Atlas saharien, il est représenté par des dépôts détritiques isolés dans certaines dépressions topographiques. Durant cette période, le Sahara devait correspondre à un plateau émergé soumis à une sédimentation continentale, proche de celle observée au Miocène.

Le Miopliocène : Le Miopliocène correspond au Complexe Terminal. Il s'agit d'un ensemble puissant de sables et d'argiles qui s'étend sur une grande partie du Sahara. Il repose en discordance sur différents terrains plus anciens, notamment le Primaire, le Turonien, le Cénomaniens, le Sénonien et l'Éocène. Son épaisseur varie d'environ 140 m au sud à 280 m au nord.

5.3.4. Le Quaternaire

Le Quaternaire est principalement constitué de sables reposant sur des niveaux d'argiles et d'évaporites semi-perméables. Ces formations renferment une nappe phréatique alimentée par l'infiltration des eaux des oueds, ainsi que par la percolation des eaux usées, des eaux de drainage et des eaux d'irrigation ([Rezaiki et Zaghad, 2019](#)).

L'épaisseur de la nappe phréatique varie du sud vers le nord. À Touggourt, elle a été reconnue sur environ 22 m, avec des intercalations locales de lentilles argileuses, sableuses et gypseuses. Ces formations sableuses constituent d'importantes accumulations dans le Grand Erg Oriental et représentent le principal niveau de la nappe phréatique.

5.4. Coupe litho-stratigraphique

La coupe lithostratigraphique synthétique de la région de Touggourt met en évidence la succession verticale des principales formations géologiques. Elle illustre l'organisation des niveaux sableux, argileux, carbonatés, évaporitiques et gréseux, ainsi que leur rôle dans la structuration des aquifères régionaux, notamment le Continental Intercalaire et le Complexe Terminal.

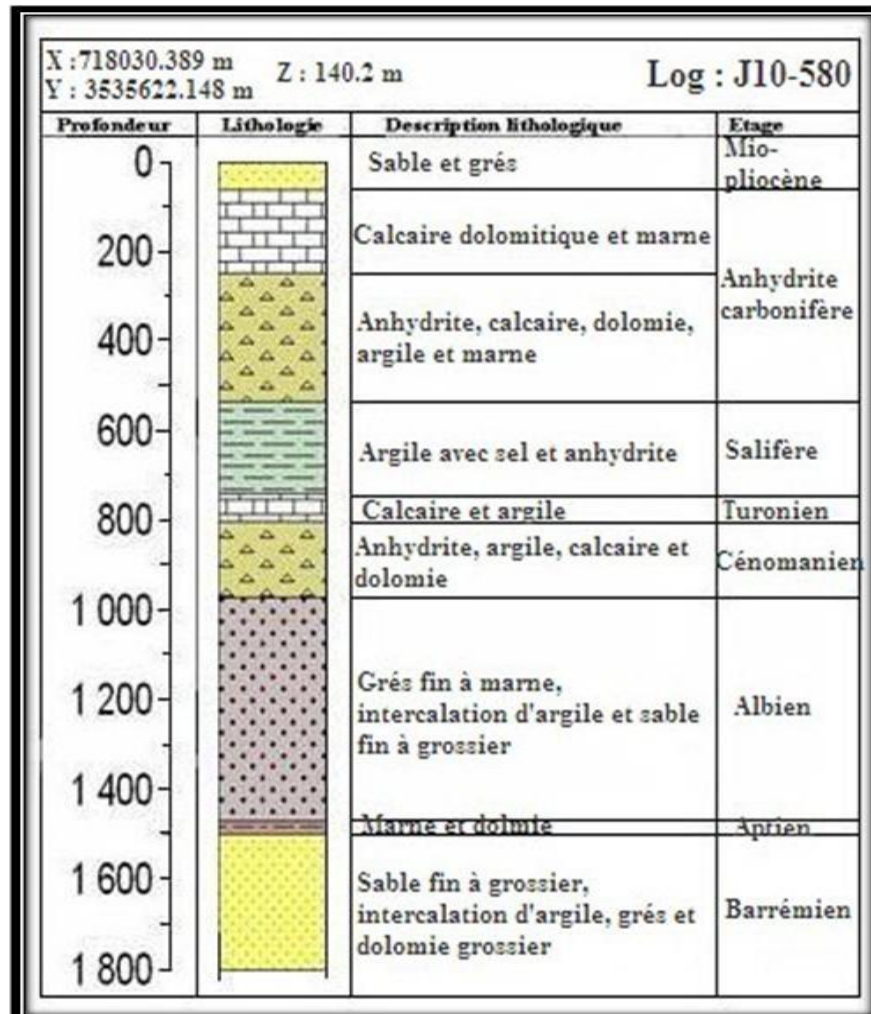


Figure.13.Coupe lithostratigraphique synthétique de la région de Touggourt.

6. Contexte hydrogéologique

L'hydrogéologie de la région d'Oued Righ est caractérisée par la superposition de trois aquifères, à savoir l'aquifère phréatique, l'aquifère du Complexe Terminal (CT) et l'aquifère du Continental Intercalaire (CI) (OSS 2003 ; Belhsier et al, 2014).

6.1. Nappe phréatique

La nappe phréatique est une nappe libre d'âge quaternaire, constituée principalement de sables et de sables argileux, avec une abondance de gypse. Son substratum est formé par des niveaux argileux qui constituent le toit de la première nappe du Complexe Terminal (CT). Sa

profondeur varie généralement entre 0 et 60 m, et elle affleure en plusieurs endroits de la région de l'Oued Righ.

Cette nappe est alimentée principalement par l'infiltration des eaux provenant des nappes du Complexe Terminal (CT) et du Continental Intercalaire (CI), ainsi que par les eaux utilisées pour l'irrigation (Sayah Lembarek, 2008 ; Bouselsal et al, 2015). Elle se caractérise par une faible alimentation pluviométrique et une forte salinité. Le résidu sec peut atteindre 13 g/L, tandis que la conductivité électrique varie généralement entre 10 et 36 mS/cm. En raison de cette salinité élevée, cette nappe n'est plus exploitée dans la majorité des cas (Derai I. et al., 2000).

6.2. Complexe Terminal (CT)

Le Complexe Terminal est constitué de plusieurs nappes, notamment celles du Miopliocène, du Sénonien carbonaté et de l'Éocène (Bouselsal, 2018 ; Bouselsal et al, 2014). Il couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional, sur une superficie d'environ 350 000 km². Son épaisseur moyenne varie entre 50 et 100 m, tandis que sa profondeur se situe généralement entre 200 et 500 m.

Le Complexe Terminal comprend principalement trois nappes :

- a. La première nappe (CT1), formée de sables et de graviers d'âge pliocène supérieur, est très exploitée.
- b. La deuxième nappe (CT2), constituée de sables hétérogènes d'âge miocène inférieur, est également fortement exploitée.
- c. La troisième nappe (CT3), représentée par des calcaires fissurés et karstiques d'âge éocène inférieur.

Le débit moyen des forages captant le Complexe Terminal varie entre 18 et 28 L/s par puits. Le résidu sec y est relativement élevé, avec des valeurs comprises entre 4,5 et 11 g/L. Dans la région de l'Oued Righ, cette nappe est la plus exploitée, principalement pour l'irrigation. Elle est captée à des profondeurs allant de 65 à 170 m pour les formations miocènes, et pouvant atteindre 220 m pour les formations éocènes.

Historiquement, les nappes du Complexe Terminal étaient artésiennes dans l'ensemble de la région de l'Oued Righ. Cependant, l'exploitation croissante de ces ressources a entraîné une baisse progressive des niveaux piézométriques, rendant nécessaire le recours au pompage afin d'assurer des débits réguliers, notamment pour les besoins agricoles. La région se caractérise également par la présence des nappes du Sénonien carbonaté et du Turonien (Sayah Lembarek, 2008).

Ainsi, le grand bassin sédimentaire du Sahara septentrional renferme trois principaux systèmes aquifères :

- à la base, la nappe du Continental Intercalaire, considérée comme l'un des plus grands réservoirs captifs du monde ;
- au niveau intermédiaire, la nappe du Complexe Terminal ;
- au sommet, les nappes phréatiques (Laghrib, 2007).

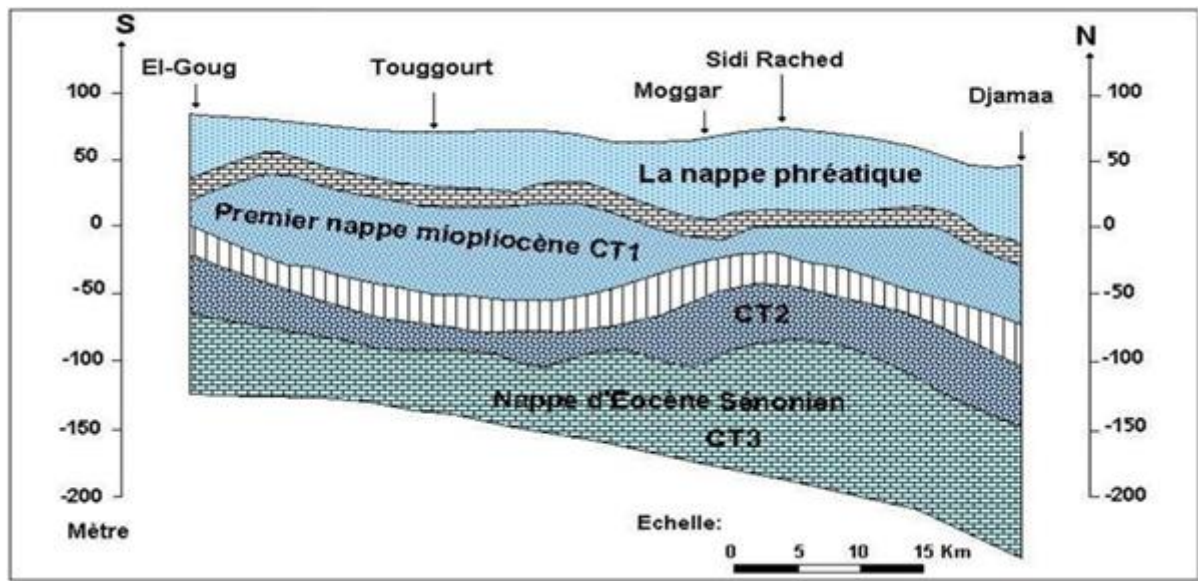


Figure.14.Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région d'Oued Righ (ANRH).

6.3. Continental Intercalaire (CI)

Le terme « Continental Intercalaire » désigne l'ensemble des formations sédimentaires déposées au Sahara durant le Mésozoïque supérieur, entre deux cycles marins (UNESCO, 1972 ; Edmund, 2003 ; Boussaada et al, 2023).

Dans la région de l'Oued Righ, la nappe du Continental Intercalaire est captée à des profondeurs importantes. Elles varient entre 1 760 et 1 900 m dans la partie sud de l'Oued Righ, et entre 2 100 et 2 230 m dans la partie nord. Sur le plan lithologique, cette nappe est formée par une succession de couches de sables, de grès et de grès argileux.

La qualité des eaux du Continental Intercalaire est généralement bonne, avec une minéralisation inférieure à 3,5 g/L. Les eaux albiennes sont relativement peu minéralisées, avec une conductivité électrique d'environ 3 mS/cm. Cependant, leur température dépasse souvent 50 °C au jaillissement, ce qui nécessite un refroidissement préalable avant leur utilisation en irrigation.

Par ailleurs, ces eaux peuvent provoquer des dépôts importants de carbonate de calcium, ce qui complique leur distribution et peut entraîner des problèmes d'entartrage dans les conduites et les équipements hydrauliques (Sayah Lembarek, 2008).

Tableau.8.Récapitulatif des formations hydrogéologiques de la région d'Oued.

ERE	Etage		Lithologie	Intérêt Hydrogéologique
Q u a t e r n a i r e			Sables.	Nappe superficielle (la nappe phréatique)
			Argiles, évaporites.	Substratum (imperméable)
T e r t i a i r e	Mio-Pliocène		Sables.	1 ^{ère} nappe des sables (Complexe Terminal).
			Argiles gypseuses	(semi-perméable)
		Pontien	Sables, graviers et grès	2 ^{ème} nappe des sables (Complexe terminal).
	Eocène	Moyen	Argiles lagunaires	Substratum (imperméable)
		Inférieur	Dolomies et calcaires	Nappe des calcaires (Complexe Terminal).
		Sénonien calcaire		
S e c o n d a i r e	C r é t a c é	Sénonien lagunaire	Evaporites, argiles	Substratum (imperméable)
		Cénomanién	Argiles, marnes	Substratum (imperméable)
		Albien	Sables et grès	Nappe albienne (Continental Intercalaire).
		Barrémien		

6.4. Les forages d'eau dans la région de Touggourt

En 2022, la wilaya de Touggourt comptait 921 forages en service, exploitant les deux nappes du Complexe Terminal (CT) et du Continental Intercalaire (CI). Ces forages sont répartis sur les 13 communes de la wilaya. La commune de Témachine présente la plus forte densité, avec 203 points d'eau exploités, tandis que les communes de Taïbet et Ben Nacer enregistrent les valeurs les plus faibles, avec seulement 4 forages chacune.

Il est à signaler que les forages profonds réalisés récemment dans le cadre du projet ONID ne sont pas pris en compte dans ce bilan, puisqu'ils ne sont pas encore mis en service.

La wilaya compte principalement :

- 909 forages destinés à l'irrigation, dont 905 captant le CT et 4 captant le CI ;
- 65 forages destinés à l'alimentation en eau potable (AEP), dont 16 captant le CI et 49 captant le CT.

Tableau.9. Répartition des forages (CT et CI) de la wilaya de Tougourt par commune (2022).

Daïra	NAPPES	Complexe Terminale		Continental Intercalaire		Nombre Total
	USAGE	Irrigatio	AEP	Irrigation	AEP	
	Commune	Exploité	Exploit	Exploité	Expl	
Temacine	Blidet	126	9	0	1	136
	Temacine	197	6	0	1	204
Tougourt	Nezla	135	5	1	5	146
	Tougourt	49	2	0	1	52
	Tebesbest	48	4	0	0	52
	Zaouia	54	4	0	0	58
Megarine	Megarine	81	1	0	1	83
	Sidi	37	1	1	1	40
Taibet	Nogor	7	4	0	1	12
	Taibet	1	3	0	0	4
	Ben Nacer	3	1	0	1	5
Hadjira	Hadjira	84	3	2	3	92
	El-Alia	30	6	0	1	37
Total wilaya de Tougourt		852	49	4	16	921

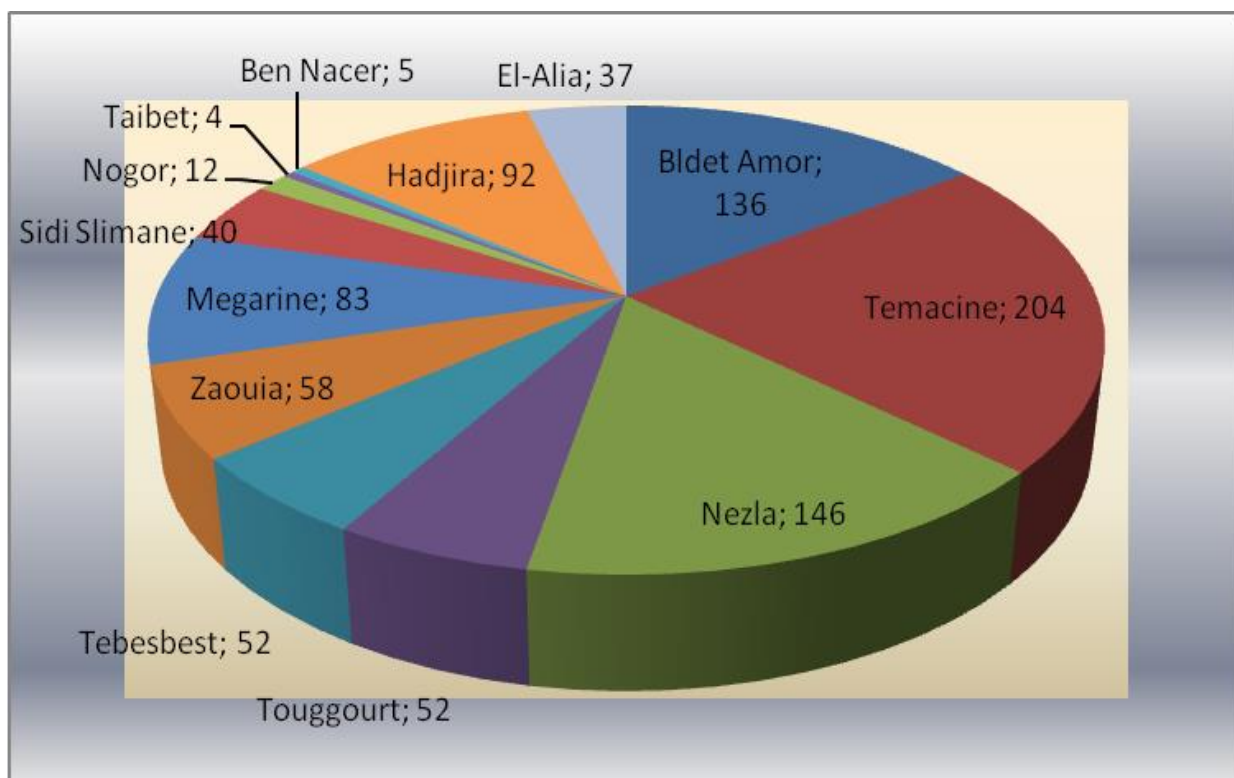


Figure.15. Répartition des forages CT et CI de la wilaya de Tougourt par commune.

D'après l'histogramme ci-contre, le nombre de forages, qu'ils soient en service ou non exploités, a connu une forte augmentation. Il est passé de 180 forages en 1975 à 452 forages en 2004, pour atteindre 921 forages en 2022.

Cette évolution traduit une pression croissante sur les ressources en eau souterraine. Elle explique notamment le rabattement important des niveaux piézométriques de la nappe du Complexe Terminal (CT), ainsi que la baisse remarquable des pressions enregistrées au niveau des têtes des forages albiens présents sur le territoire de la wilaya. En effet, les pressions indiquées par les manomètres sont passées d'environ 24 bars en 1994 à 14 bars, voire 12 bars en 2022.

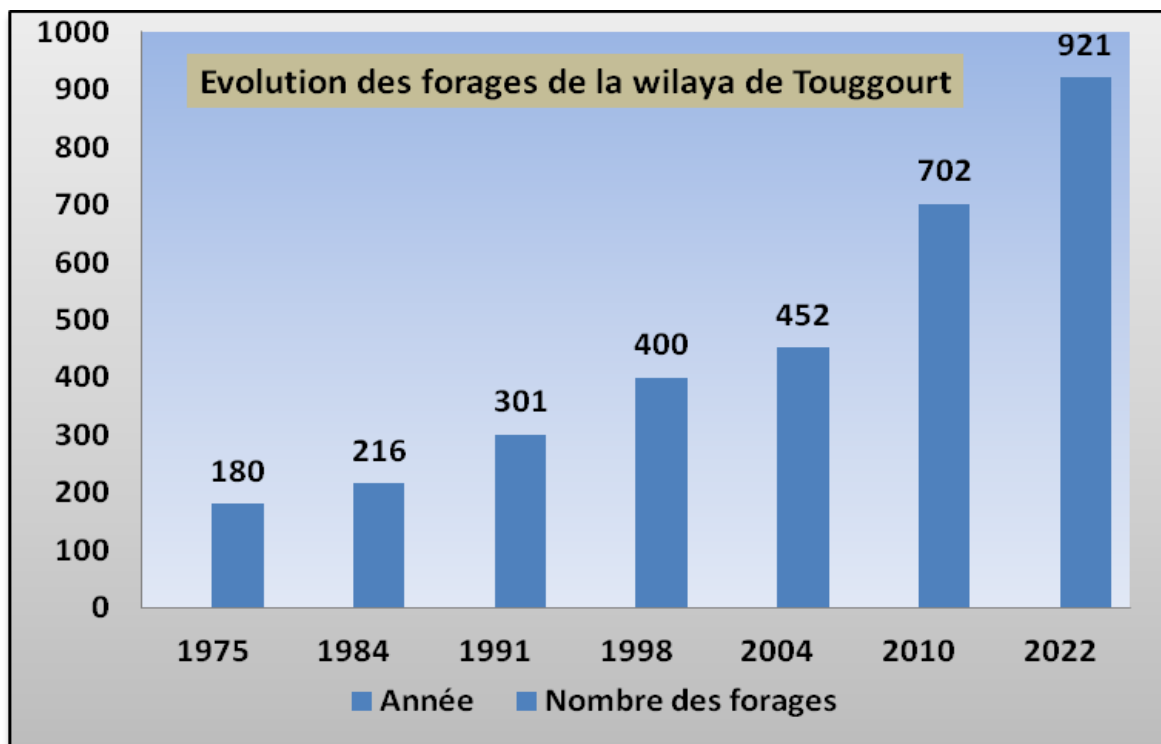


Figure.16. Evolution des forages de la wilaya de Tougourt.

7. Conclusion

À travers ce chapitre, il ressort que la région de l'Oued Righ constitue une unité géographique et hydrogéologique particulière du Bas Sahara algérien. Située au sud-est de l'Algérie, entre Tougourt et El Meghaier, elle se présente sous forme d'une longue vallée orientée du sud vers le nord, caractérisée par une faible pente générale et par une diminution progressive des altitudes en direction des chotts, notamment le Chott Merouane.

Sur le plan géomorphologique, la région appartient à un système désertique marqué par la présence de vastes formations sableuses, de dunes, d'ergs, de zones alluvionnaires, de sebkhas et de chotts. Cette morphologie traduit l'existence d'une ancienne dépression naturelle,

aujourd'hui dominée par un réseau artificiel de drainage destiné à évacuer les eaux excédentaires d'irrigation et d'assainissement vers les dépressions salées situées au nord.

L'étude climatique montre que la région est soumise à un climat saharien hyperaride, caractérisé par de faibles précipitations, des températures élevées, une forte évaporation et une humidité relativement faible pendant la période estivale. Le bilan hydrique met en évidence un déficit important durant presque toute l'année, ce qui limite fortement la recharge naturelle des nappes par les pluies efficaces.

Du point de vue géologique, la région de l'Oued Righ s'inscrit dans le grand bassin sédimentaire du Sahara septentrional. Les formations rencontrées, allant du Secondaire au Quaternaire, présentent une alternance de niveaux sableux, gréseux, argileux, carbonatés et évaporitiques. Cette organisation lithostratigraphique joue un rôle fondamental dans la constitution et le fonctionnement des réservoirs aquifères.

Enfin, le système aquifère de la région est représenté principalement par trois ensembles : Au sommet se trouve la nappe phréatique quaternaire, généralement peu profonde, salée et alimentée en grande partie par les eaux d'irrigation, de drainage et les infiltrations des eaux usées sous les agglomérations. Au-dessous, le Complexe Terminal constitue le principal réservoir exploité dans la région. Il est formé de plusieurs couches aquifères : la première nappe du CT, constituée de sables du Mio-Pliocène ; la deuxième nappe, formée de sables, graviers et grès du Pontien ; et la nappe des calcaires, représentée par les dolomies et calcaires de l'Éocène inférieur. Ces niveaux aquifères sont séparés localement par des formations argileuses, gypseuses ou lagunaires, qui jouent le rôle de niveaux semi-perméables ou imperméables. Plus en profondeur, le Continental Intercalaire correspond à la nappe albienne, constituée principalement de sables et de grès.

Chapitre 02:
Généralités sur le forage
hydrauliques

1. Définition des forages hydrauliques

Un forage hydraulique est un ouvrage de captage vertical (de plusieurs dizaines à centaines de mètres), d'en extraire l'eau pour différents usages (alimentation en eau potable, irrigation, industrie, etc.) Il est réalisé par un procédé mécanique à moteur (foreuse) en terrain consolidé ou non, permettant l'exploitation d'une nappe d'eau souterraines contenue dans les interstices ou dans les fissures d'une roche du sous-sol, contrairement au puits traditionnel, il permet d'atteindre les aquifères profonds et nécessite l'utilisation de pompes (immergées ou de surface) pour remonter l'eau. Les ouvrages verticaux sont les plus utilisés et les plus adaptés pour exploiter des aquifères poreux et relativement étendus (Bouselsal, 2017). La majorité des aquifères fissurés sont également exploités l'aide de ces ouvrages

2. Les composants d'un appareil de forage Rotary

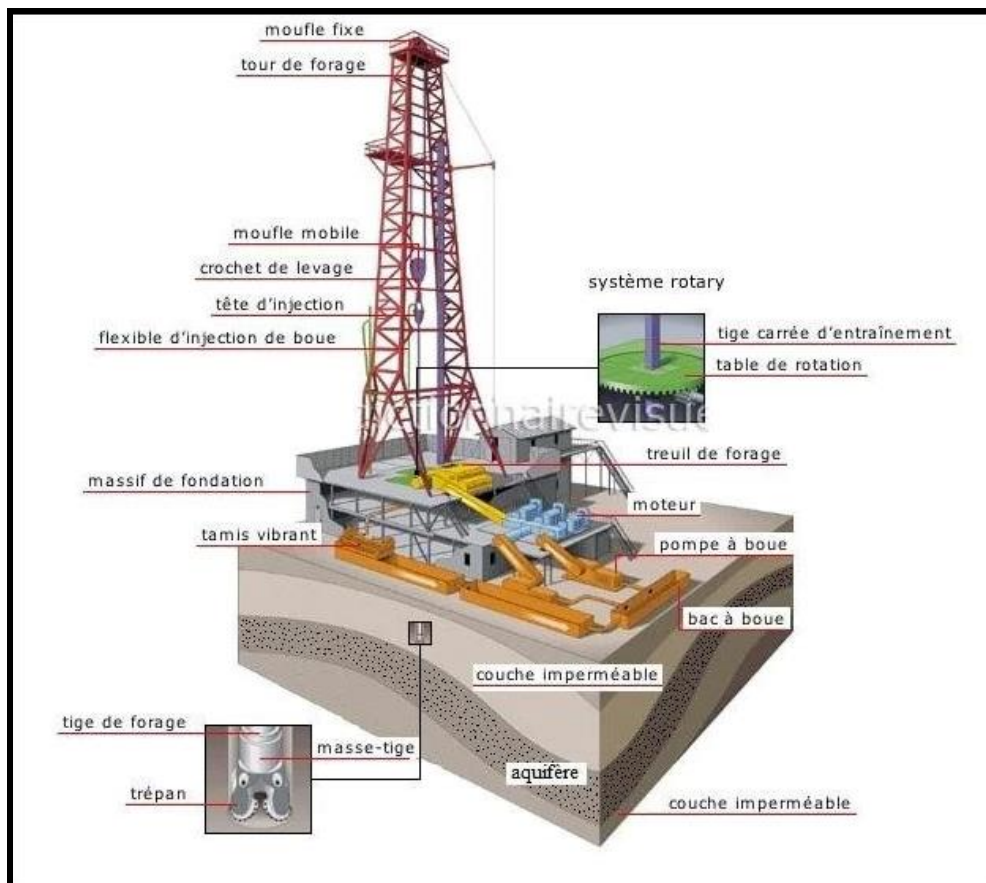


Figure.17. Les composants d'un appareil de forage Rotary

2.1. Circulation directe/inverse.

2.1.1. Circulation directe

La circulation directe est une méthode de forage rotatif où un fluide (eau ou boue) est pompé à l'intérieur des tiges de forage, descend jusqu'au trépan au fond et remonte vers la

surface par l'espace annulaire situé entre les tiges et les parois du forage en entraînant et évacuant en transportant les déblais de roche (*cuttings*)

2.1.2. Circulation inverse

La circulation inverse est une méthode de forage hydraulique où le fluide de forage (eau ou boue) descend dans l'espace annulaire entre les tiges et la paroi du forage, puis remonte à l'intérieur des tiges en transportant les déblais vers la surface.

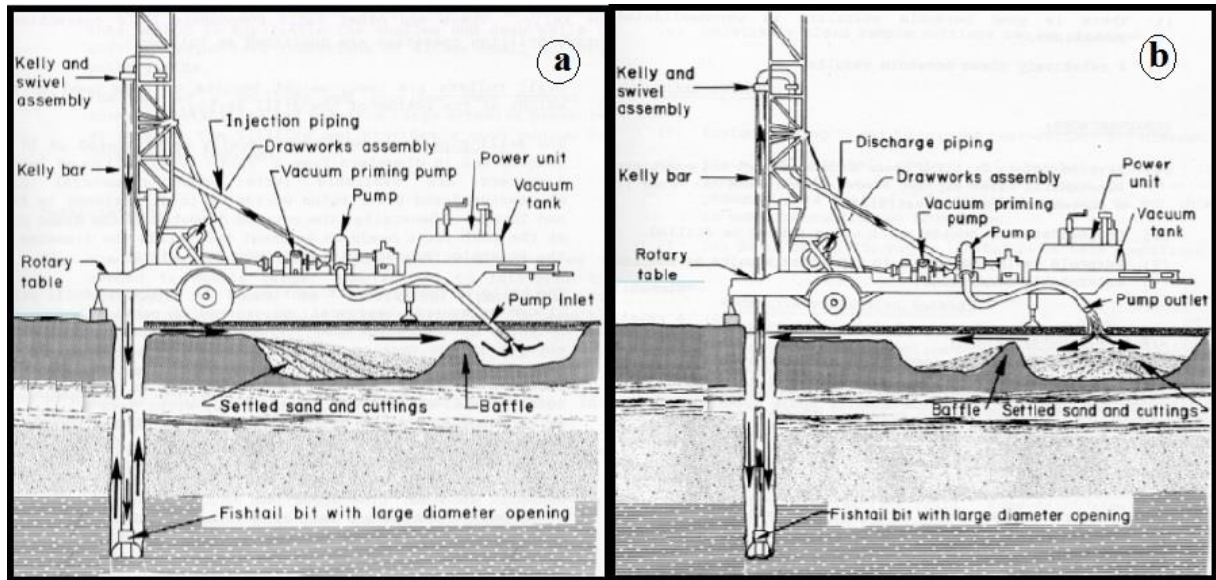


Figure .18. Forage Rotary : a) circulation directe et b) circulation inverse.

2.2. Equipements de surface

Les **équipements de surface** sont l'ensemble des machines, installations et accessoires situés à la surface du sol qui permettent de réaliser, contrôler et sécuriser les opérations de forage. Ils fournissent l'énergie nécessaire, assurent la rotation de l'outil de forage, la circulation du fluide de forage et la manutention des tiges, ces équipements constituent l'infrastructure essentielle d'un chantier de forage le bon fonctionnement garantit la réalisation du forage dans des conditions optimales de sécurité, de rendement et de qualité, tout en facilitant l'accès aux ressources en eau souterraine, les principaux équipements de surface sont :

2.2.1. Le mât ou derrick

Le **mât** ou **derrick** est une structure métallique verticale faisant partie des principaux équipements d'un appareil de forage. Il sert à supporter les charges importantes liées aux opérations de forage, notamment les tiges de forage, les masse-tiges, le trépan et les équipements de levage ,le mât remplit plusieurs fonctions essentielles :

- Supporter le système de levage (couronne, moufle mobile, câble de forage).
- Permettre la montée et la descente du train de tiges dans le puits.

- Soutenir le poids des équipements de forage pendant les opérations.
- Faciliter les opérations de manutention des tiges lors de l'ajout ou du retrait des éléments du train de forage.
- Garantir la stabilité et la sécurité de l'installation de forage.



Figure.19. Le mât ou derrick

2.2.2. Le treuil (ou drawworks)

Le **treuil de forage** (en anglais *Drawworks*) est l'un des principaux équipements de levage d'un appareil de forage. Il constitue le cœur du système de levage et permet de contrôler les mouvements verticaux de la garniture de forage, du tubage, des outils de forage et de divers équipements lourds utilisés sur le chantier. assure plusieurs fonctions essentielles:

- Lever et descendre la garniture de forage dans le puits.
- Supporter le poids des tiges de forage, des masse-tiges et du trépan.
- Contrôler la vitesse de descente des équipements pour garantir la sécurité des opérations.
- Effectuer les manœuvres de forage lors de l'ajout ou du retrait des tiges.
- Participer aux opérations de tubage et de maintenance du puits.

Principaux composants du treuil sont :

- Tambour principal : cylindre sur lequel s'enroule le câble de forage.
- Frein principal : permet de ralentir ou d'arrêter la descente de la charge.
- Frein auxiliaire : utilisé pour les charges importantes et les longues descentes.
- Boîte de vitesses : adapte la vitesse et le couple selon les opérations.
- Arbre de transmission : transmet la puissance au tambour.
- Système de commande : permet au foreur de contrôler les mouvements.
- Câble de forage : relie le treuil au système de mouflage.



Figure.20. Le treuil (ou drawworks)

2.2.3. La table de rotation ou tête de rotation

La **table de rotation** ou la **tête de rotation** est un équipement essentiel de l'appareil de forage rotary. Son rôle principal est de transmettre un mouvement de rotation à la garniture de forage (tiges, masse-tiges et trépan) afin de permettre le creusement du terrain.

Fonctions principales

- Fournir directement la rotation aux tiges de forage.
- Permettre la circulation du fluide de forage sous pression.
- Faciliter les opérations de vissage et dévissage des tiges.
- Améliorer la précision du forage.

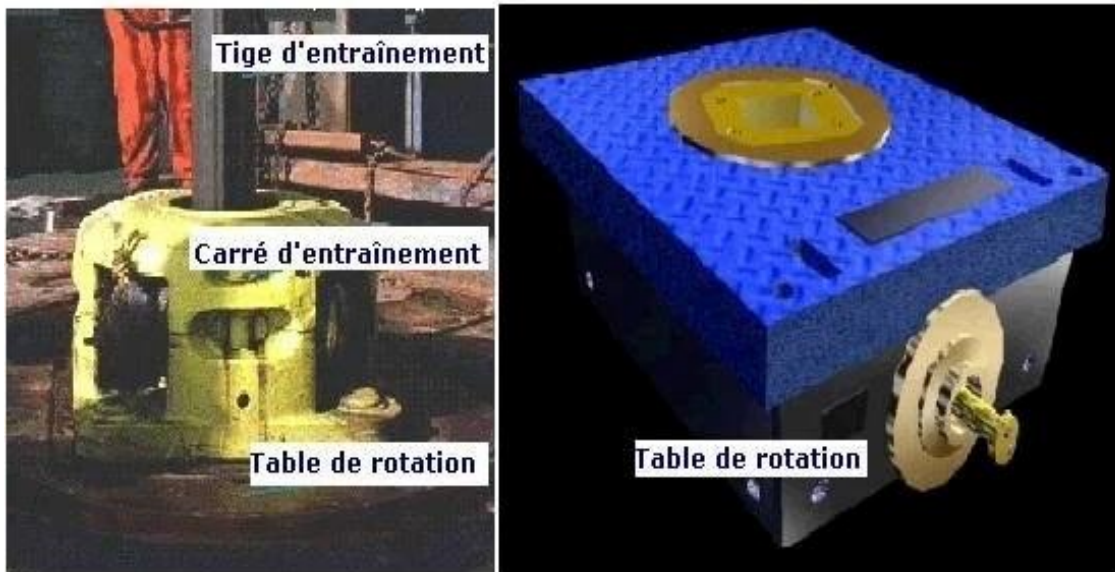


Figure.21. table de rotation

2.2.4. La pompe à boue

Les **pompes à boue de forage** sont des équipements mécaniques essentiels dans les opérations de forage. Elles ont pour rôle de faire circuler la boue de forage sous pression depuis les bacs de surface vers le fond du puits à travers les tiges de forage, puis de la faire remonter à la surface par l'espace annulaire entre les tiges et les parois du forage, refroidir et lubrifier le trépan pendant le forage, remonter les déblais de forage (cuttings) vers la surface, maintenir la stabilité des parois du forage, contrôler les pressions des formations traversées afin d'éviter les venues d'eau ou de gaz, améliorer l'efficacité du nettoyage du fond du trou, permettre le fonctionnement des outils hydrauliques utilisés dans certains forages.

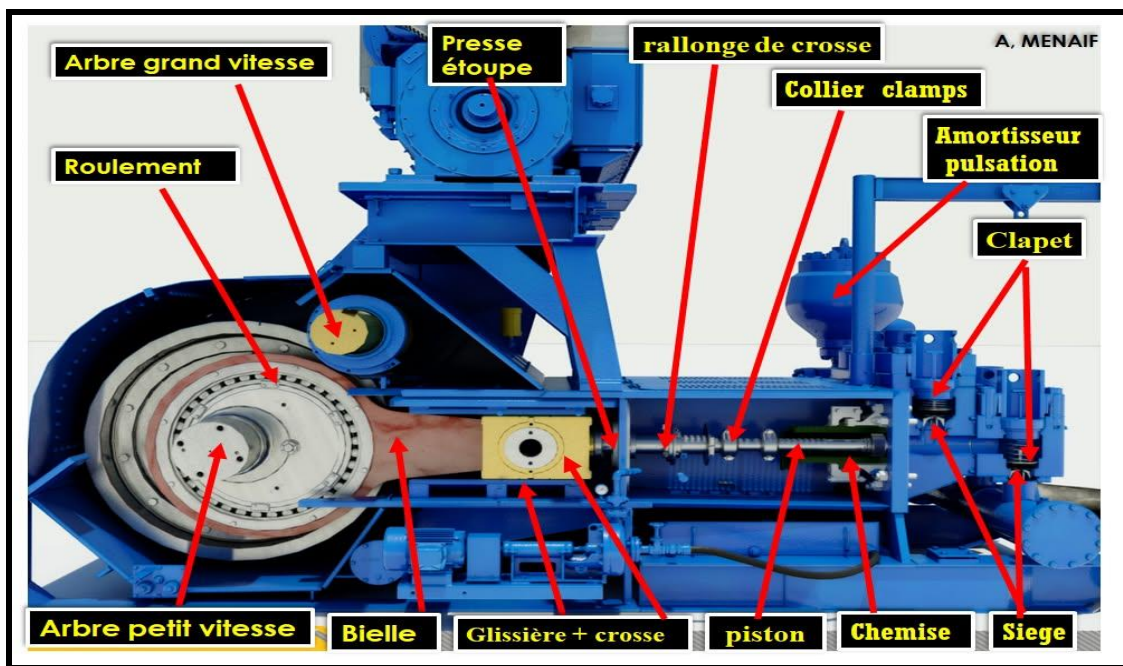


Figure.22. Pompe à Boue

2.2.5. Les bacs et systèmes de traitement de la boue

Les **bacs et systèmes de traitement de la boue** sont un ensemble d'équipements de surface utilisés dans les opérations de forage pour **recevoir, stocker, nettoyer, traiter et recycler la boue de forage**. Ils permettent de maintenir les propriétés physiques et chimiques de la boue afin d'assurer un forage efficace, économique et sécurisé.

Après son passage dans le puits, la boue remonte à la surface chargée de déblais de forage (cuttings), de sable, de limon et d'autres impuretés. Le système de traitement élimine ces particules avant que la boue ne soit réinjectée dans le forage.



Figure.23. bacs et systèmes de traitement de la boue

2.2.6. Le groupe moteur ou groupe électrogène

Le **groupe moteur** ou **groupe électrogène** est l'ensemble des équipements qui produisent et fournissent l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'appareil de forage. Il transforme l'énergie du carburant (gasoil, diesel ou gaz) en énergie mécanique ou électrique utilisée pour alimenter les différents systèmes de la foreuse.

Dans les opérations de forage hydraulique, le groupe moteur constitue la principale source d'énergie lorsque le chantier est éloigné du réseau électrique. Il assure ainsi l'autonomie énergétique de l'installation.

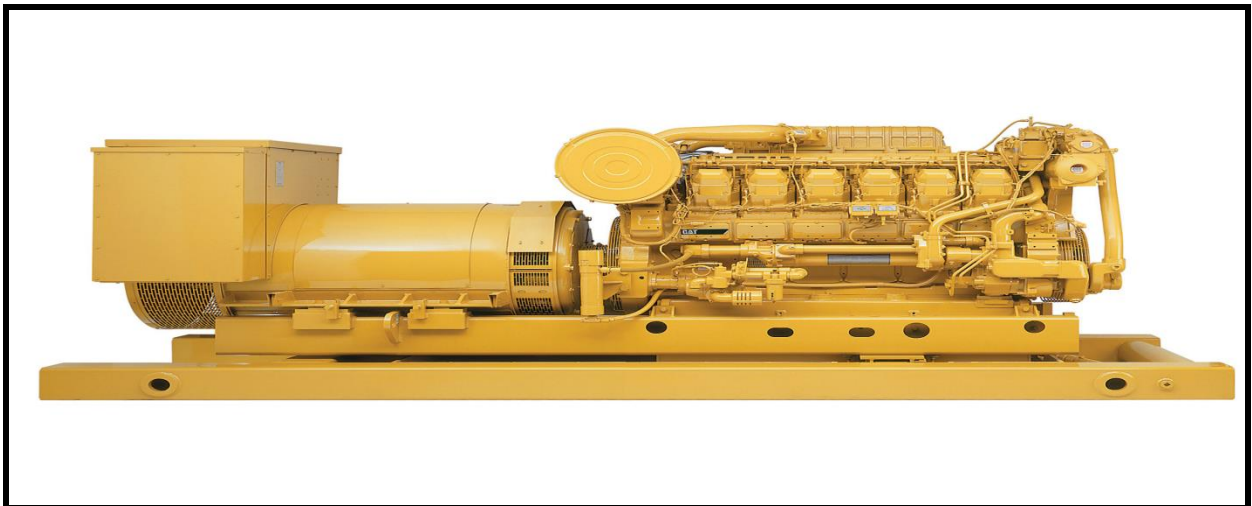


Figure.24. Groupe électrogène.

2.2.7. Les conduites et flexibles de forage

Les conduites et flexibles de forage sont l'ensemble des tuyaux rigides et des tuyaux souples utilisés pour transporter les fluides de forage (eau, boue de forage, air, mousse ou ciment) entre les différents équipements de l'installation de forage. Ils constituent un élément

essentiel du circuit hydraulique et assurent la circulation continue des fluides nécessaires aux opérations de forage.



Figure.25. conduites et flexibles.

2.2.8. Les équipements de sécurité

Les équipements de sécurité pour le forage regroupent l'ensemble des dispositifs, matériels et systèmes destinés à protéger le personnel, les installations, l'environnement et les puits contre les accidents, les incendies, les éruptions, les chutes d'objets, les fuites de fluides et les autres risques liés aux opérations de forage.

Ces équipements sont indispensables sur tout chantier de forage, qu'il s'agisse de forages hydrauliques, pétroliers, gaziers ou géothermiques.

2.3. Equipements de fond :

Les équipements de fond de forage sont l'ensemble des outils et accessoires installés à l'extrémité inférieure de la garniture de forage, à proximité du trépan. Ils constituent ce que l'on appelle le BHA (Bottom Hole Assembly) **ou** assemblage de fond de trou. Leur rôle est d'assurer la destruction de la roche, le guidage du forage, la stabilité du trou et la transmission des efforts mécaniques nécessaires à l'avancement du forage

2.3.1. Trépan

Le trépan est l'outil de coupe fixé à l'extrémité inférieure du train de tiges de forage. Il sert à désagréger, couper ou broyer les formations géologiques (sol, roches, sédiments) afin de permettre l'avancement du forage, dans le forage hydraulique, le trépan travaille en association avec un fluide de forage (eau, boue ou mousse) injecté sous pression à travers les tiges ce fluide sort par des buses situées sur le trépan



Figure.26. Trépan.

2.3.2. Tiges

Les tiges de forage sont des tubes métalliques en acier à haute résistance qui relient la machine de forage aux outils de fond , tels que le trépan , Elles servent à transmettre l'effort mécanique nécessaire au forage ainsi qu'à assurer la circulation du fluide de forage (eau, boue ou air).



Figure.27.Tiges

2.3.3. Masse-tiges

Les masse-tiges de forage (ou *drill collars* en anglais) est un élément de la garniture de forage placé entre le trépan et les tiges de forage. Il s'agit d'un tube en acier épais, lourd et très résistant dont la principale fonction est de fournir le poids nécessaire au trépan pour permettre la pénétration efficace dans les formations géologiques.



Figure.28. Masse-tiges

2.3.4. Stabilisateur

Le stabilisateur de forage est un équipement de fond de trou installé dans la garniture de forage, généralement à proximité du trépan. Son rôle principal est de maintenir l'alignement du forage, de stabiliser la colonne de forage et de réduire les déviations du puits pendant les opérations de forage.



Figure.29. Stabilisateur

3. Equipements de puits

Les équipements de puits sont l'ensemble des dispositifs et matériels installés dans un puits pour assurer le captage, le pompage, la protection, le contrôle et la distribution de l'eau souterraine. Ils permettent d'exploiter le puits de manière efficace, sûre et durable.

3.1. Tubage

Le tubage est l'ensemble des tubes en acier, en PVC ou dans un autre matériau approprié, installés à l'intérieur d'un forage afin de maintenir les parois du trou, protéger l'ouvrage et permettre l'exploitation durable de l'eau souterraine.

Après le creusement du forage, les terrains traversés peuvent être instables et risquent de s'effondrer. Le tubage est alors mis en place pour soutenir les parois du forage et éviter les éboulements. Il constitue également une barrière de protection contre l'infiltration des eaux superficielles polluées vers la nappe aquifère. Donc les fonctions principales du tubage sont :

- **Maintien des parois**
 - Empêche l'effondrement des terrains meubles ou fracturés.
 - Garantit la stabilité mécanique du forage.
- **Protection de la nappe aquifère**
 - Évite la contamination des eaux souterraines par les eaux de surface.
 - Isole les différentes couches géologiques traversées.
- **Facilitation de l'exploitation**
 - Permet l'installation de la pompe et des équipements de captage.
 - Assure une circulation correcte de l'eau dans le forage.
- **Augmentation de la durée de vie du forage**
 - Réduit les risques d'ensablement et d'obstruction.
 - Limite les dégradations de l'ouvrage.
- On conclut que le tubage est un élément essentiel de tout forage hydraulique. Il assure la stabilité de l'ouvrage, protège la qualité de l'eau souterraine et garantit un fonctionnement efficace et durable du puits ou du forage.

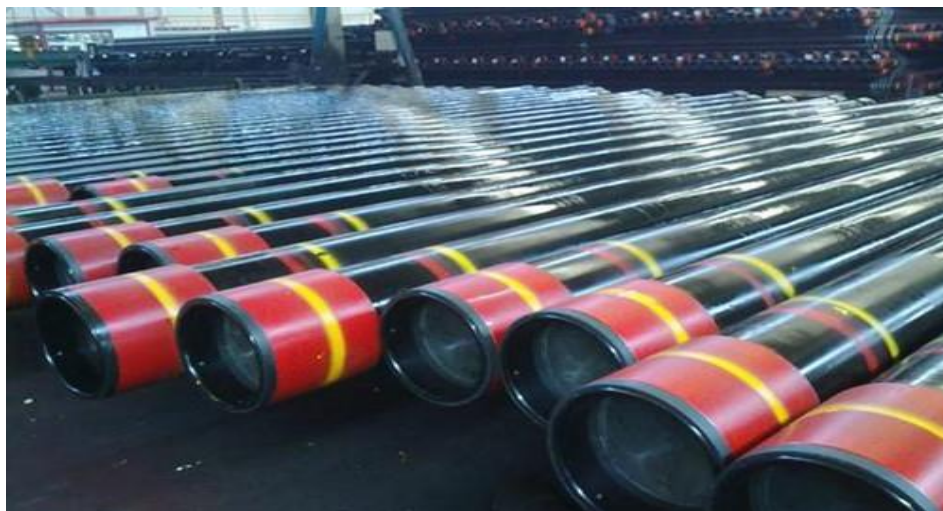


Figure .30. Tubage API.

3.2. Crépine

La crépine de forage est un tube spécial installé dans la partie productive d'un forage d'eau afin de permettre l'entrée de l'eau souterraine tout en empêchant le passage des particules solides telles que le sable, le gravier fin et les débris de la formation aquifère

(Bouselsal, 2017).

Elle constitue un élément essentiel de l'équipement du puits, car elle assure la communication entre l'aquifère et le forage tout en garantissant la stabilité de l'ouvrage et la qualité de l'eau pompée. les fonctions principales de la crépine sont :

- Permettre l'entrée de l'eau depuis l'aquifère vers le forage.
- Retenir les particules solides susceptibles d'endommager les pompes.
- Maintenir la stabilité des parois de la zone captée.
- Réduire l'ensablement et prolonger la durée de vie du forage.
- Améliorer le rendement hydraulique du puits.

Types de crépines

- ✓ Crépine à fentes longitudinales
- ✓ Crépine perforée
- ✓ Crépine à fil enroulé (type Johnson)
- ✓ Crépine en PVC
- ✓ Crépine en acier inoxydable

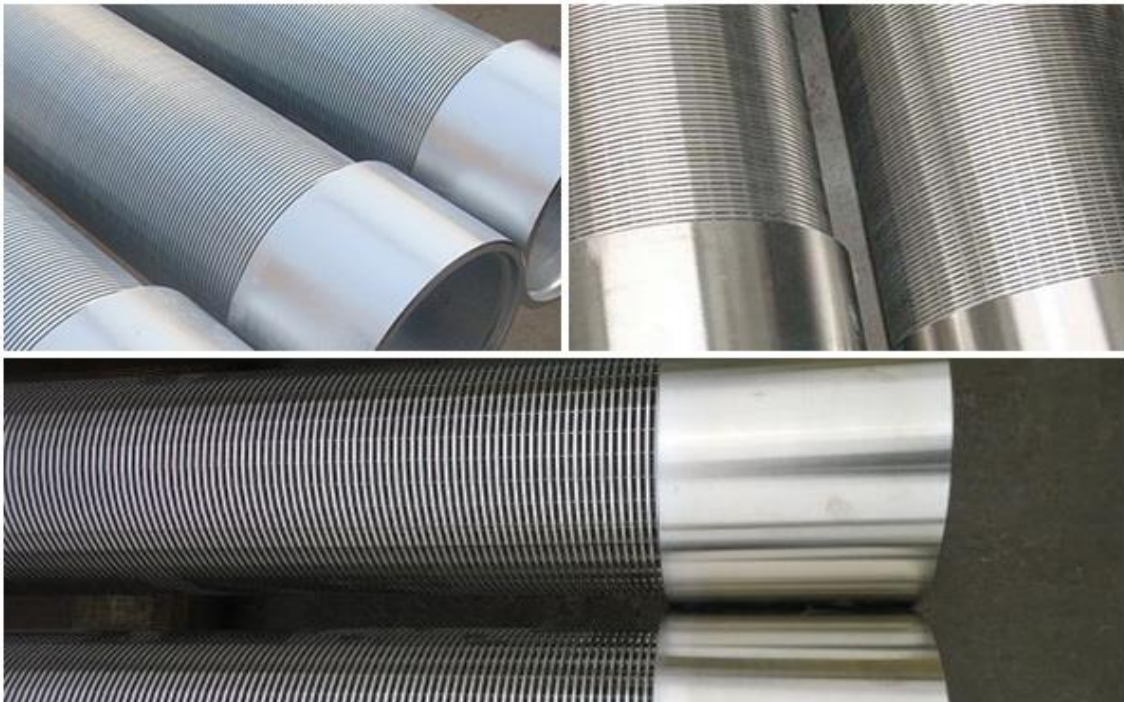


Figure .31. Crépine Johnson.

3.3. Massif filtrant

Le massif filtrant est un ensemble de matériaux granulaires (généralement du gravier siliceux calibré) placé dans l'espace annulaire entre la paroi du forage et la crépine. Il constitue un élément essentiel de l'équipement des forages d'eau, particulièrement dans les formations aquifères meubles telles que les sables et les graviers.

On conclut que Le massif filtrant est un dispositif de filtration naturel installé autour de la crépine d'un forage. Son rôle principal est de retenir les particules fines de l'aquifère tout en permettant le passage de l'eau vers le puits, garantissant ainsi un fonctionnement durable et performant du forage hydraulique.



Figure .32 Massif filtrant

4. Cimentation

La cimentation est une opération essentielle réalisée après la descente du tubage dans un forage. Elle consiste à pomper un mélange de ciment, d'eau et d'additifs dans l'espace annulaire situé entre le tubage et les parois du trou foré ([Bouselsal, 2017](#)). Après sa prise et son durcissement, le ciment forme une gaine solide autour du tubage. Donc la cimentation permet de :

- Maintenir et soutenir le tubage dans le forage.
- Isoler les différentes couches géologiques afin d'empêcher la circulation des fluides
- Protéger les eaux souterraines contre les risques de contamination.
- Renforcer la stabilité des parois du forage.
- Empêcher les infiltrations d'eau, de gaz ou de pétrole le long du tubage.
- Augmenter la durée de vie du forage en protégeant le tubage contre la corrosion.

La cimentation donc est l'opération qui consiste à remplir l'espace entre le tubage et la paroi du forage avec du ciment afin d'assurer le soutien du tubage, l'étanchéité du puits et la protection des formations géologiques et des eaux souterraines pour garantir une exploitation durable de l'ouvrage.

5. Boues de forage

La boue de forage est un fluide technique utilisé lors des opérations de forage des puits d'eau, de pétrole ou de gaz. Elle est généralement constituée d'eau ou d'huile, mélangée à des argiles (comme la bentonite) et à divers additifs chimiques. Il s'agit d'un élément essentiel pour le forage. Elle assure le nettoyage du puits, protège les équipements, stabilise les parois et contribue à la sécurité ainsi qu'à l'efficacité des opérations de forage.

5.1. Types de Boues

Elles se divisent principalement en plusieurs catégories :

5.1.1. Boue à base d'eau

- Constituée principalement d'eau, d'argile (souvent de la bentonite) et d'additifs chimiques.
- C'est le type de boue le plus utilisé.
- Économique et facile à préparer.
- Utilisée dans la plupart des forages d'eau.

5.1.2. Boue à base d'huile

- L'huile constitue la phase continue du fluide.
- Offre une excellente lubrification des outils de forage.
- Réduit les problèmes de corrosion et de gonflement des argiles.
- Plus coûteuse et moins utilisée dans les forages hydrauliques courants.

5.1.3. Boue à base synthétique

- Préparée à partir de fluides synthétiques spécialement conçus.
- Présente des performances proches des boues à base d'huile avec un impact environnemental réduit.
- Utilisée dans des conditions de forage difficiles.

5.1.4. Boue bentonitique

- Composée principalement d'eau et de bentonite.
- Assure la stabilité des parois du forage.
- Facilite la remontée des déblais.
- Très utilisée dans les forages de puits d'eau.

5.1.5. Boue polymère

- Contient des polymères naturels ou synthétiques.
- Améliore les propriétés rhéologiques du fluide.
- Réduit les pertes de fluide dans les formations géologiques.
- Souvent utilisée dans les forages nécessitant une bonne qualité d'eau.

Le choix de la boue de forage dépend de la nature du terrain, de la profondeur du forage, des conditions géologiques et des objectifs de l'opération. Les boues à base d'eau et les boues bentonitiques sont les plus couramment utilisées dans les forages hydrauliques de puits d'eau.

5.2. Rôle

La **boue de forage** est un fluide utilisé pendant les opérations de forage. Elle joue plusieurs rôles essentiels :

- Refroidir et lubrifier le trépan. Elle réduit l'échauffement et l'usure du trépan pendant le forage.
- Remonter les déblais à la surface. Elle transporte les fragments de roche (déblais) du fond du trou vers la surface.
- Maintenir la stabilité des parois du forage. Elle empêche l'effondrement des parois du puits en exerçant une pression appropriée.
- Contrôler les pressions souterraines. Elle évite les entrées incontrôlées d'eau, de gaz ou d'autres fluides dans le forage.
- Nettoyer le fond du trou. Elle élimine les débris accumulés afin de maintenir une bonne efficacité de forage.
- Former un gâteau de boue (cake). Elle dépose une fine couche sur les parois du forage pour limiter les pertes de fluide dans les formations traversées.

5.3. Programme de boue

Le programme de boue de forage est un document technique qui définit les caractéristiques, la composition et les traitements de la boue à utiliser pendant les différentes phases du forage. Il est établi avant le début des opérations afin d'assurer la sécurité, l'efficacité et la réussite du forage. Éléments du programme de boue

- **Type de boue** : à base d'eau, d'huile ou synthétique.
- **Densité prévue** selon la profondeur et les pressions rencontrées.
- **Viscosité et propriétés rhéologiques** nécessaires au transport des déblais.
- **Additifs chimiques** (bentonite, baryte, polymères, sel, amidon, chaux, etc.).
- **Traitements prévus** pour corriger les propriétés de la boue en cours de forage.

- **Contrôle et suivi** des paramètres de la boue pendant les opérations.

6. Développement des forages

Le développement d'un forage hydraulique est l'ensemble des opérations réalisées après le forage et l'équipement du puits afin d'améliorer la communication entre l'aquifère et le forage. Cette étape permet d'éliminer les particules fines, les boues de forage et les impuretés qui obstruent les crépines et les formations aquifères autour du puits afin d'obtenir un débit optimal et une eau de meilleure qualité.

6.1. Dégorgement

Le dégorgement dans un forage hydraulique est l'opération qui consiste à nettoyer le forage en évacuant les déblais, les boues, le sable et les particules fines accumulés au fond du trou après le forage. Cette opération est réalisée par circulation d'eau, d'air ou d'un autre fluide afin de dégager les parois du forage et d'améliorer sa productivité. Donc Un dégorgement bien réalisé permet d'obtenir une eau plus claire, d'augmenter la durée de vie du forage et d'améliorer son rendement hydraulique.

Méthodes de dégorgement

1. Dégorgement par pompage : extraction continue de l'eau chargée en particules.
2. Dégorgement à l'air comprimé (air-lift) : injection d'air pour remonter l'eau et les déblais.
3. Dégorgement par surging : mouvement alternatif de l'eau pour décoller les particules des parois.

Objectifs du dégorgement

- Éliminer les déblais de forage restants.
- Nettoyer les crépines et les parois du puits.
- Faciliter l'entrée de l'eau dans le forage.
- Améliorer le débit et le rendement du puits.
- Préparer le forage aux essais de pompage et à l'exploitation.

6.2. Air-lift

L'Air-lift est une méthode de développement des forages hydrauliques qui consiste à injecter de l'air comprimé dans le forage à l'aide d'un tuyau afin de remonter à la surface l'eau, les boues, les sables fins et les débris accumulés autour de la crépine et au fond du puits.

Avantages

- Méthode simple et efficace.
- Nettoyage en profondeur du forage.
- Réduction des risques de colmatage.

- Amélioration du rendement du puits.

Inconvénients

- Nécessite un compresseur d'air puissant.
- Peut être moins efficace dans certaines formations très compactes.
- Demande une surveillance pour éviter d'endommager les équipements du puits.

Objectifs de l'Air-lift

- Éliminer les boues de forage résiduelles.
- Extraire les particules fines et les débris.
- Nettoyer les crépines et la zone filtrante.
- Augmenter la perméabilité de l'aquifère autour du puits.
- Améliorer le débit et la qualité de l'eau produite.

On résume : L'Air-lift est une technique largement utilisée pour le développement et le nettoyage des forages hydrauliques. Il permet d'éliminer les particules indésirables, d'améliorer la productivité du puits et d'assurer une meilleure exploitation de la ressource en eau souterraine.

6.3. Nettoyage

Le nettoyage de forage est l'ensemble des opérations réalisées pour éliminer les déblais de forage, les boues résiduelles, les particules fines et les impuretés accumulées dans le puits après le forage ou pendant son développement.

Cette opération a pour objectif d'améliorer la communication entre l'aquifère et le forage afin d'augmenter le débit d'eau et d'obtenir une eau plus claire.

Principales méthodes de nettoyage

- **Pompage de nettoyage** : extraction continue de l'eau chargée en particules.
- **Air-lift** : injection d'air comprimé pour remonter l'eau et les sédiments.
- **Brossage des crépines** : élimination mécanique des dépôts sur les filtres.
- **Jetting hydraulique** : utilisation de jets d'eau sous pression pour nettoyer les parois et les crépines.

7. Diagraphies

Les diagraphies de forage (ou *logging*) sont des mesures réalisées à l'intérieur d'un forage afin de déterminer les caractéristiques géologiques, hydrogéologiques et techniques des formations traversées. Donc il s'agit de consiste à descendre une sonde munie de capteurs dans le forage pour enregistrer différents paramètres en fonction de la profondeur. Les résultats sont représentés sous forme de courbes appelées **logs**.

7.1. Gamma Ray

Le Gamma Ray (GR), ou diagraphie gamma naturelle, est une méthode de mesure géophysique utilisée dans les forages pour enregistrer la radioactivité naturelle des formations géologiques traversées par le puits. Cette mesure permet d'identifier la nature des couches rencontrées, de corréliser les formations entre plusieurs forages et d'aider à l'interprétation hydrogéologique ou pétrolière.

Les roches contiennent naturellement des éléments radioactifs tels que :

- Le potassium (K^{40})
- L'uranium (U)
- Le thorium (Th)

Ces éléments émettent des rayonnements gamma détectés par une sonde descendue dans le forage. L'intensité des rayons gamma est mesurée en continu en fonction de la profondeur.

Les résultats sont généralement exprimés en API (American Petroleum Institute Units).

Valeurs Gamma Ray élevées

Indiquent généralement :

- Argiles
- Marnes
- Schistes argileux
- Formations riches en minéraux radioactifs

Ces formations présentent souvent une faible perméabilité.

Valeurs Gamma Ray faibles

Indiquent généralement :

- Sables propres
- Graviers
- Calcaires compacts
- Dolomies

Ces formations constituent souvent de bons aquifères dans les forages d'eau.

Le Gamma Ray est utilisé pour :

1. Identifier les couches géologiques. Il permet de distinguer :

- Les couches argileuses
- Les couches sableuses
- Les niveaux graveleux
- Les formations rocheuses consolidées

2. *Localiser les aquifères.* Les zones à faible radioactivité correspondent souvent aux horizons perméables contenant de l'eau.

3. *Positionner les crépines.* Les résultats Gamma Ray aident à choisir les intervalles où seront installés les crépines et le massif filtrant afin de capter les meilleures zones aquifères.

4. *Corrélation entre forages :* Les courbes Gamma Ray permettent de comparer les formations rencontrées dans plusieurs forages d'une même région.

5. *Contrôle géologique :* Elles servent à vérifier la cohérence entre les échantillons de déblais et les formations réellement traversées.

7.2. Résistivité

La résistivité est une propriété physique qui mesure la capacité d'une roche ou d'un matériau à s'opposer au passage du courant électrique. Dans le domaine du forage, la résistivité est l'un des paramètres géophysiques les plus importants pour caractériser les formations traversées par le puits.

$$R = \rho L / A$$

où :

- **R** = résistance électrique (ohms, Ω)
- **ρ (rho)** = résistivité du matériau (ohm-mètre, $\Omega \cdot m$)
- **L** = longueur du conducteur
- **A** = section du conducteur

Une résistivité élevée indique généralement que la formation conduit mal l'électricité, tandis qu'une faible résistivité indique une bonne conductivité électrique.

Types de résistivité mesurés dans le forage

➤ *Résistivité de la formation (R_t)*

Résistivité réelle de la roche saturée par les fluides présents dans les pores.

➤ *Résistivité de la zone envahie (R_{xo})*

Résistivité de la zone proche du forage où le fluide de forage a pénétré dans la formation.

➤ *Résistivité de l'eau de formation (R_w)*

Résistivité de l'eau contenue naturellement dans les pores de la roche.

➤ *Résistivité du fluide de forage (R_m)*

Résistivité de la boue ou de l'eau utilisée pendant le forage.

7.3. PS

Le Potentiel Spontané (PS) est une méthode de diagraphie électrique utilisée dans les forages pour mesurer les variations naturelles de potentiel électrique qui se produisent entre une électrode placée en surface et une autre électrode descendue dans le puits.

Cette diagraphie permet principalement d'identifier les couches perméables, de distinguer les formations argileuses des formations poreuses et d'estimer la salinité des eaux de formation.

Principe du SP

Lorsque le fluide de forage (boue) et l'eau contenue dans les formations géologiques possèdent des salinités différentes, une différence de potentiel électrique naturelle apparaît

8. Essais de pompage

Les essais de pompage sont des tests hydrauliques réalisés sur un forage d'eau afin d'évaluer les caractéristiques de l'aquifère et les performances du puits. Ils consistent à pomper de l'eau à un débit déterminé tout en mesurant l'évolution du niveau d'eau dans le forage au cours du temps.

Ces essais permettent de déterminer la capacité du forage à fournir de l'eau de manière durable et d'estimer les paramètres hydrogéologiques de la nappe souterraine.

Principe de l'essai

Avant le pompage, on mesure le niveau statique (N_s), c'est-à-dire le niveau naturel de l'eau dans le forage.

Pendant le pompage, le niveau d'eau baisse jusqu'à atteindre un niveau appelé niveau dynamique (N_d).

La différence entre ces deux niveaux est appelée rabattement (s) :

$$s = N_d - N_s \quad \text{où :}$$

- s : rabattement (m)
- N_d : niveau dynamique (m)
- N_s : niveau statique (m)

8.1. Essais par paliers

Les essais par paliers (ou essais de pompage par débits croissants) sont des essais hydrauliques réalisés dans un forage d'eau afin de déterminer les performances du forage et d'évaluer les pertes de charge qui se produisent dans l'ouvrage lors du pompage.

Cet essai constitue généralement la première étape avant l'essai de pompage de longue durée.

Ces essais par paliers consiste à pomper le forage à plusieurs débits successifs croissants, appelés paliers, tout en mesurant l'évolution du rabattement du niveau d'eau dans le forage.

Chaque palier est maintenu pendant une durée déterminée (souvent de 1 à 2 heures) avec un débit constant. À chaque changement de débit, on observe la réaction du niveau d'eau.

L'objectif est de connaître la relation entre :

- le débit pompé (Q)
- le rabattement observé (s)

afin d'évaluer la capacité de production du forage.

8.2. Essais longue durée

L'essai de longue durée (ou essai de pompage de longue durée) est une opération hydrogéologique réalisée après la réalisation et le développement d'un forage d'eau. Il consiste à pomper l'eau du forage à un débit constant pendant une période prolongée, généralement de 24 à 72 heures, voire plusieurs jours selon l'importance du projet, tout en mesurant régulièrement les variations du niveau d'eau.

Cet essai permet d'évaluer le comportement réel de l'aquifère et de vérifier la capacité du forage à fournir durablement le débit demandé sans épuisement excessif de la ressource.

Paramètres déterminés

L'essai de longue durée permet d'estimer :

1. La Transmissivité (T)

Capacité de l'aquifère à transmettre l'eau.

Un aquifère ayant une Transmissivité élevée peut fournir des débits importants avec un faible rabattement.

2. Le coefficient d'emmagasinement (S)

Quantité d'eau que l'aquifère peut libérer sous l'effet d'une baisse de pression.

3. Le débit d'exploitation

Débit pouvant être pompé durablement sans risque de surexploitation.

8.3. Transmissivité

La Transmissivité (T) est un paramètre hydrogéologique fondamental qui caractérise la capacité d'un aquifère à transmettre l'eau souterraine à travers toute son épaisseur saturée. Elle permet d'évaluer le potentiel de production d'un forage et la facilité avec laquelle l'eau peut circuler dans le sous-sol.

La Transmissivité est définie comme le débit d'eau qui traverse, sous un gradient hydraulique unitaire, une bande verticale de l'aquifère d'une largeur de 1 mètre sur toute son épaisseur saturée.

Elle correspond au produit de la conductivité hydraulique de l'aquifère par son épaisseur saturée : $T=K \times b$ Où :

- **T** : Transmissivité (m^2/s ou m^2/j)
- **K** : conductivité hydraulique ou perméabilité (m/s ou m/j)
- **b** : épaisseur saturée de l'aquifère (m)

8.4. Débit critique

Le débit critique d'un forage est le débit maximal de pompage que l'on peut exploiter de manière durable sans provoquer de désordres hydrauliques, mécaniques ou qualitatifs dans le forage et dans l'aquifère.

En pratique, il correspond à la limite à partir de laquelle une augmentation du débit entraîne une augmentation disproportionnée du rabattement, une dégradation de la qualité de l'eau ou des problèmes de fonctionnement du forage.

Détermination du débit critique

Le débit critique est généralement déterminé à partir d'un essai de pompage par paliers.

Durant cet essai :

1. On pompe successivement à plusieurs débits croissants.
2. On mesure le rabattement correspondant à chaque palier.
3. On analyse l'évolution du rapport entre le débit et le rabattement.

Lorsque la courbe débit-rabattement cesse d'être linéaire et devient fortement croissante, le débit critique est atteint ou dépassé.

Relation avec les pertes de charge

Le rabattement total peut être exprimé par l'équation de Jacob :

$$s = BQ + CQ^2 \quad \text{où :}$$

- **s** = rabattement total (m)
- **Q** = débit de pompage (m^3/h ou L/s)
- **B** = coefficient des pertes de charge dans l'aquifère
- **C** = coefficient des pertes de charge dans le forage

À faible débit, le terme **BQ** domine. À fort débit, le terme **CQ²** devient important et indique l'apparition de pertes de charge excessives. Le débit critique se situe généralement dans cette zone de transition.

9. Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter les principales généralités relatives aux forages hydrauliques, depuis leur définition jusqu'aux étapes de leur réalisation. Le forage hydraulique est un ouvrage vertical destiné au captage des eaux souterraines, utilisé notamment pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et les besoins industriels.

La technique du forage rotary repose sur la rotation d'un trépan fixé à un train de tiges, permettant la destruction progressive des formations géologiques. Cette opération s'accompagne de la circulation d'un fluide de forage, généralement de l'eau ou de la boue, qui assure le refroidissement de l'outil, l'évacuation des déblais et la stabilité des parois du trou.

L'environnement d'un chantier de forage hydraulique comprend des équipements de surface, tels que le mât, le treuil, la table de rotation, les pompes à boue, les bacs de traitement et le groupe électrogène, ainsi que des équipements de fond comme le trépan, les tiges, les massetiges et les stabilisateurs. Ces éléments assurent le bon déroulement, la sécurité et l'efficacité des travaux.

Le déroulement du forage passe par plusieurs étapes : l'installation du chantier, le creusement du trou, l'évacuation des déblais, puis l'équipement du forage par le tubage, les crépines, le massif filtrant et éventuellement la cimentation. Après le nettoyage et le développement de l'ouvrage, les essais de pompage permettent d'évaluer le débit exploitable, le rabattement et le comportement de la nappe. Ainsi, la réussite d'un forage hydraulique dépend du choix de la technique, de la qualité des équipements et du respect des étapes de réalisation.

Chapitre 03:
Suivi technique des forages d'eau dans
l'aquifère de CT

1. Forage de Megarine w de Touggourt

1.1. Localisation de forage

Le forage a été réalisé à la commune de Megarine w de Touggourt par l'entreprise : SARL Oued Righ Abar - Touggourt – destiné pour l'irrigation.



Figure .33. Localisation du forage de Megarine par Google Earth

Tableau 10. Les coordonnées (WGS84) du forage de Megarine.

(UTM) Fuseau 32S	(Géographique)
X : 0227170.3	X : Longitude X : 6° 04' 24.3'' E
Y : 3676882.56	Y : Latitude Y: 33° 11' 47.22'' N
Z (sol) : 62m (GPS)	Z (sol) : 62m (GPS)

1.2. But de forage et caractéristiques

Ce projet, relevant de la Direction de l'hydraulique de la wilaya de Touggourt, consiste en la réalisation, l'équipement et l'électrification de 1000 mètres linéaires de forages agricoles au niveau de la wilaya de Touggourt. Ces forages captent la nappe du Complexe Terminal. Le projet est réparti en trois lots, chaque lot comprenant deux forages.

Le lot n°03, confié à l'entreprise SARL Oued Righ Abar Touggourt, concerne la réalisation de deux forages : le forage de Mégarine et le forage de Sidi Slimane. Les travaux relatifs à ce lot sont achevés à 100 %.

Concernant le forage de Mégarine, celui-ci a été réalisé le 21/12/2025 et atteint une profondeur totale de 170 m. La méthode de forage utilisée est la méthode rotary, avec emploi d'une boue bentonitique. Aucune perte totale de boue n'a été enregistrée au cours des travaux.

1.3. Description lithologique et hydrogéologiques

Le sondage hydrogéologique réalisé dans la zone d'étude, sur une profondeur de 170 m, a traversé des formations sédimentaires attribuées au Crétacé supérieur. La coupe géologique de l'ouvrage a été établie à partir des cuttings récupérés lors de la foration, notamment à chaque changement de nature lithologique. L'analyse de ces échantillons a permis de mettre en évidence le profil lithologique du forage.

La nappe exploitée correspond à la nappe du **Complexe Terminal**, rencontrée entre 132 m et 170 m de profondeur. Cette formation aquifère est principalement constituée de sables moyens à grossiers associés à des niveaux calcaires.

Tableau.11. Coupe lithologique du forage de Megarine.

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

1.4. Déroulement des travaux de la réalisation de forage

Phase I : Construction de l'avant puits

- Installation du chantier, confection plate forme, bassins et rigoles.
- Forage en Ø 24''(610) mm de (0 à 10) m.
- Mise en place de Tube Guide en Acier Ø 19''5/8 (500) mm de (0 à 10) m.
- Cimentation de l'espace annulaire par ciment HTS entre le trou forage Ø 24" et le Tube Guide Ø19''5/8 de la cote 10 ml jusqu'au surface du sol.

$$\begin{aligned}
 &\text{Trou forage } \varnothing 24'' \longrightarrow 291.9 \text{ l/m} \quad S = \text{Trou } \varnothing 24'' - \text{Csg } \varnothing 19''5/8 \\
 &\text{Casing API } \varnothing 19''5/8 (\varnothing \text{ ext}) \quad 195.2 \text{ l/m} \quad S = 291.9 - 195.2 = 96,7 \text{ l/m} \\
 &S = 96.7 \text{ l/m} \\
 &H (\text{Profondeur}) = 10 \text{ m}
 \end{aligned}$$

V (Volume espace annulaire litre par mètre) = $S \times H = 96.7 \times 10 = 967$ litres = 0.96 m^3

Volume (laitier de ciment) majoré à 15%

Volume total (laitier de ciment) majoré = $(15\% V + V) = (0.144 + 0.96) = 1.10 \text{ m}^3$

$V1 = 1.10 \text{ m}^3$ soit : $1 \text{ m}^3 = 1.1 \text{ Tonne}$ Densité 1,80

Volume total de (laitier de ciment) en tonne = $1.10 \times 1.1 \text{ Tonne} = 1.21 \text{ Tonnes}$

- Attente prise de 48 heures.

Phase II : Colonne de production

- Forage de reconnaissance en $\varnothing 12''1/4$ de la cote (10 à 132) m.
- Elargissage en $\varnothing 17''1/2$ de la cote (10 à 132) m.
- Mise en place colonne de production API $\varnothing 13''3/8$ de la cote 132 ml jusqu'au surface du sol soit 132 ml.
- Cimentation de l'espace annulaire par ciment HTS entre le trou forage $\varnothing 17''1/2$ et la colonne de production $\varnothing 13''3/8$ de la cote 132 ml jusqu'au sol.

Espace annulaire (S'): casing - casing:

Casing API $\varnothing 18''5/8$ (int) $\longrightarrow 470.8 \text{ l/m}$ $S = \text{Csg } \varnothing 18''5/8 - \text{Csg } \varnothing 13''3/8$

Casing API $\varnothing 13''3/8$ (ext) $\longrightarrow 90,65 \text{ l/m}$ $S = 470,8 - 90,65 = 380.15 (\text{l/m})$

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

H' (Profondeur) = 10 m

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

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

Espace annulaire (S''): Trou-casing

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

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

H'' Profondeur : = (de 10 à 132) m = 122 m

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

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

Volume (laitier de ciment) majoré à 18% :

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

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

$V2$ (Total) = $V' + V'' = (3.80 + 9.28) \text{ m}^3 = 13.08 \text{ m}^3$

$V2 = 13.08 \text{ m}^3$ soit : $1 \text{ m}^3 = 1.1 \text{ Tonne}$ Densité 1,80

Soit $V2$ (Total de laitier de ciment) en tonne = $13.08 \times 1.1 \text{ Tonne} = 14.38 \text{ Tonnes}$

- Attente prise de 48 heures.

Phase III : Colonne de captage

- Forage en Ø 12''1/4 de (132 à 170) m.
- Mise en place colonne de captage Inox Ø 8''5/8 de 122.5m à 170m.
Le programme effectué du **bas en haut** est composée des tubes suivants :
 - de 170m à 164m (1) Tube plein sabot Inox Ø 8''5/8 est de 6 ml
 - de 164m à 132m (5) Tubes crépines Johnson Inox Ø 8''5/8 de 32 ml
 - de 132m à 122.5m (1.5) Tube plein Inox réserve Ø 8''5/8 est de 9.50 ml

Phase I : Gravillonnage , lavage et développement

- Mise en place de massif filtrant constitué de graviers siliceux, roulés, lavé et calibré d'un diamètre convenable de 4mm à 6mm entre le trou forage Ø12''1/4 et la colonne de captage Inox Ø8''5/8 de 170m à 122.5m

Espace annulaire (S): Trou - casing:

Forage en Ø 12''1/4 de la cote 132 m à 170 m

Longueur de la colonne de captage Inox Ø 8''5/8 est de 47.50 m

Forage en Ø 12''1/4 → 76.04 l/m S = Trou Ø 12''1/4 – Tube Inox Ø 8'' 5/8

Tube Inox Ø 8''5/8 ''(ext) → 37.69 l/m S = (76.04 – 37.69) l/m = 38.35 (l /m)

H3 (Profondeur) = 47.50 m

S (Volume espace annulaire litre par mètre) = 38.35 l/m

V (Volume de gravier) = S × H3= 38.35 l/m × 47.5m = 1821.62 litres = **1.82 m3**

- Nettoyage avec circulation de l'eau clair
- Développement en l'air lift par compresseur

1.5. Essais de pompage

NS = **37.80 m**

Q max = 33 l/s = 119.13 m³/h

ND max = 72.50 m

Rabatement : 34.70 m

Puissance de la pompe immergée: 25 Chevaux

1.6. Simulation des données du forage de Mégarine à l'aide du logiciel Gesfor BRGM

La simulation des données du forage de Mégarine a été réalisée à l'aide du logiciel **Gesfor**, développé et maintenu par le **BRGM**. Il s'agit d'un outil destiné aux professionnels du forage, distribué gratuitement, permettant de faciliter la gestion, le traitement et la présentation des données relatives aux ouvrages de forage.

Ce logiciel permet notamment de :

- préparer les documents de chantier, tels que les formulaires de mesures et les check-lists ;
- dessiner les coupes techniques et géologiques des ouvrages ;
- tracer les courbes de décharge à partir des relevés des essais de pompage ;
- rédiger des rapports de forage ;
- exporter les dossiers d'ouvrages vers la Banque du Sous-Sol ou vers une autre base de données Gesfor ;
- gérer les archives des travaux réalisés.

Le BRGM, ou Bureau de Recherches Géologiques et Minières, a été créé en 1959. Il s'agit d'un établissement public français à caractère industriel et commercial (EPIC), placé sous la tutelle des ministères chargés de la Recherche, de l'Écologie et de l'Économie. Il constitue un organisme de référence dans les domaines des sciences de la Terre, des ressources minérales, des eaux souterraines, des risques naturels et de la gestion durable du sous-sol.

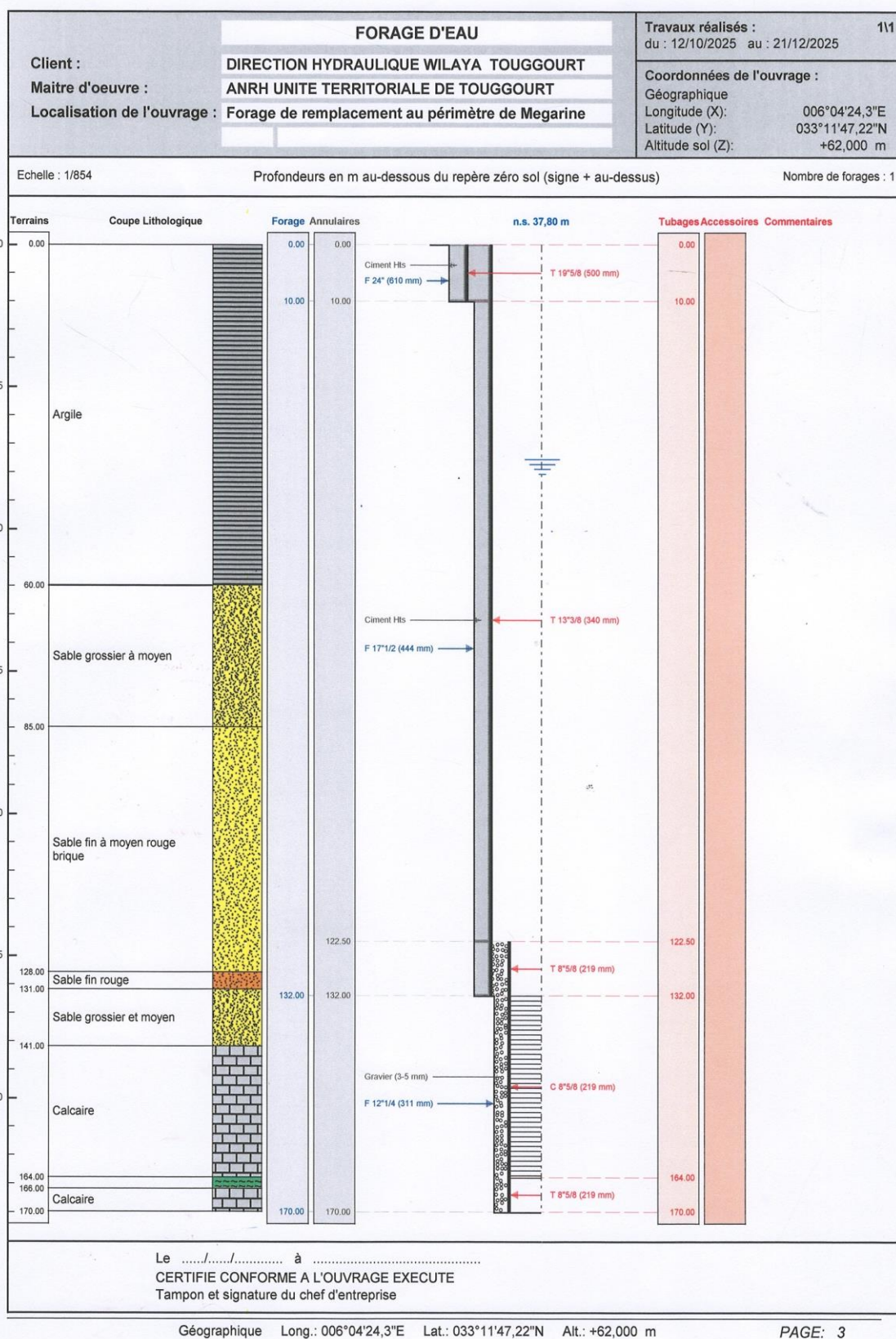


Figure.34. Fiche Technique du Forage Megarine simulé par Gesfor.

2. Forage de Sidi Slimane wilaya de Touggourt

2.1. Localisation de forage:

Le forage de a été réalisé à la commune de Sidi Slimane w de Touggourt par l'entreprise : SARL Oued Righ Abar - Touggourt – destiné pour l'irrigation



Figure .35. localisation du forage de Sidi Slimane par Google Earth

Tableau 12. Les coordonnées (WGS84) du forage de Sidi Slimane.

(UTM) Fuseau 32S	(Géographique)
X : 0228974	X : Longitude X : 6° 05' 22.60'' E
Y : 3687349	Y : Latitude Y : 33° 17' 28.12'' N
Z(sol) : 57m (GPS)	Z(sol) : 57m (GPS)

2.2. But du forage

Ce projet, relevant de la Direction de l'hydraulique de la wilaya de Touggourt, consiste en la réalisation, l'équipement et l'électrification de 1000 mètres linéaires de forages agricoles au niveau de la wilaya de Touggourt. Ces forages sont destinés au captage de la nappe du Complexe Terminal.

Le projet est réparti en trois lots, chaque lot comprenant deux forages. Parmi ces lots, le lot n°03, confié à l'entreprise SARL Oued Righ Abar Touggourt, concerne la

réalisation de deux forages : le forage de Mégarine et le forage de Sidi Slimane. Les travaux relatifs à ce lot sont achevés à 100 %.

Concernant le forage de Sidi Slimane, celui-ci a été réalisé le 24/02/2026. Sa profondeur est de 107 m. La méthode de forage utilisée est la méthode rotary, avec emploi d'une boue bentonitique. Aucune perte totale de boue n'a été enregistrée au cours des travaux.

2.3. Description lithologique et hydrogéologique

Le sondage hydrogéologique réalisé dans la zone d'étude, sur une profondeur de 107 m, a traversé des formations sédimentaires attribuées au Crétacé supérieur. La coupe géologique de l'ouvrage a été établie à partir des cuttings récupérés au cours de la foration, notamment à chaque changement de nature lithologique. L'analyse de ces échantillons a permis de mettre en évidence le profil lithologique du forage.

La nappe exploitée correspond à la nappe du Complexe Terminal, localisée entre 107 et 129m de profondeur. Elle est constituée principalement de sable moyen associé à des niveaux calcaires.

Tableau.13.Coupe lithologique du forage de Sidi Slimane.

Profondeur en (m)	Description géologique	Etage
0 -----64	Argile	Miopliocène
64 -----66	Grés et gypse	
66 -----84	Sable moyen	
84 -----110	Sable + grés	
110 ----- 124	Sable blanc moyen	
124 ----- 127	Calcaire	Eocène
127 ----- 129	Marne	

2.4. Déroulement des travaux de la réalisation de forage

Phase I : Construction de l'avant puits

- Installation du chantier, confection plate forme, bassins et rigoles.
 - Forage en Ø 24'' de (0 à 10) m.
 - Mise en place de Tube Guide en Acier Ø 19''5/8 de (0 à 10) m.
 - Cimentation de l'espace annulaire par ciment HTS entre le trou forage Ø 24" et le Tube Guide Ø19''5/8 de la cote 10 ml jusqu'au surface du sol.
- Trou forage Ø 24'' → 291.9 l/m S = Trou Ø 24'' - Csg Ø 19''5/8
- Casing API Ø 19''5/8 (Ø ext) 195.2 l/m S = 291.9 – 195.2= 96,7 l/m
- S = 96.7 l/m

H (Profondeur) = 10 m

V (Volume espace annulaire litre par mètre) = $S \times H = 96.7 \times 10 = 967$ litres = 0.96 m^3

Volume (laitier de ciment) majoré à 15%

Volume total (laitier de ciment) majoré = $(15\% V + V) = (0.144 + 0.96) = 1.10 \text{ m}^3$

$V1 = 1.10 \text{ m}^3$ soit : $1 \text{ m}^3 = 1.1 \text{ Tonne}$ Densité 1,80

Volume total de (laitier de ciment) en tonne = $1.10 \times 1.1 \text{ Tonne} = 1.21 \text{ Tonnes}$

➤ Attente prise de 48 heures.

Phase II : Colonne de production

➤ Forage de reconnaissance en Ø 12''1/4 de la cote (10 à 107) m.

➤ Elargissage en Ø 17''1/2 de la cote (10 à 107) m.

➤ Mise en place colonne de production API Ø 13''3/8 de la cote 107 ml jusqu'au surface du sol soit 107 ml.

➤ Cimentation de l'espace annulaire par ciment HTS entre le trou Ø 17''1/2 et la colonne de production Ø 13''3/8 de la cote 107 ml jusqu'au surface du sol.

Espace annulaire (S'): casing - casing:

Casing API Ø 18''5/8 (int) 470.8 l/m $S = \text{Csg } \text{Ø } 18''5/8 - \text{Csg } \text{Ø } 13''3/8$

Casing API Ø 13''3/8 (ext) 90,65 l/m $S = 470,8 - 90,65 = 380.15 \text{ (l /m)}$

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

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

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

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

Espace annulaire (S''): Trou-casing :

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

Casing API Ø 13''3/8 (ext) → 90,65 l/m $S = 155.2 - 90.60 = 64.55 \text{ l /m}$

Profondeur : $H'' = (\text{de } 10 \text{ à } 107) \text{ m} = 97 \text{ m}$

$H'' \text{ (Profondeur)} = 97 \text{ m}$

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

$V'' \text{ (Volume espace annulaire)} = S'' \times H'' = 64.55 \times 97 = 6261.35 \text{ litre} = 6.26 \text{ m}^3$

Volume (laitier de ciment) majoré à 18% :

Volume total majoré = $(18\% V'' + V'') = (1.12 + 6.26) \text{ m}^3 = 7.38 \text{ m}^3$

$V'' = 7.38 \text{ m}^3$

$V2 \text{ (Total)} = V' + V'' = (3.80 + 7.38) \text{ m}^3 = 11.18 \text{ m}^3$

$V2 = 11.18 \text{ m}^3$ soit : $1 \text{ m}^3 = 1.1 \text{ Tonne}$ Densité 1,80

Soit V2 (Total de laitier de ciment) en tonne $= 11.18 \text{ m}^3 = 11.18 \times 1.1 \text{ Tonne} = 12.29 \text{ Tonnes}$

- Attente prise de 48 heures.

Phase III : Colonne de captage

- Forage en Ø 12''1/4 de (107 à 129) m.
- Mise en place colonne de captage Inox Ø 8''5/8 de 129m à 99m.

Le programme effectué du **bas** en **haut** est composée des tubes suivants :

- de 129m à 123m (1) Tube plein sabot Inox Ø 8''5/8 est de 6 ml
- de 123m à 105m (3) Tubes crépines Johnson Inox Ø 8''5/8 de 18 ml
- de 105m à 99m (1) Tube plein Inox réserve Ø 8''5/8 est de 6 ml

Phase IV : Gravillonnage , lavage et développement

- Mise en place de massif filtrant constitué de graviers siliceux, roulés, lavé et calibré d'un diamètre convenable de 4mm à 6mm entre le trou forage Ø12''1/4 et la colonne de captage Inox Ø8''5/8 de 129m à 99m

Espace annulaire (S): Trou - casing:

Forage en Ø 12''1/4 de la cote 107 m à 129 m

Longueur de la colonne de captage Inox Ø 8''5/8 est de 30 ml

Trou foré Ø 12''1/4 $\longrightarrow$ 76.04 l/m S = Trou Ø 12''1/4 – Tube Inox Ø 8'' 5/8

Tube Inox Ø 8'' 5/8 ''(ext) $\longrightarrow$ 37.69 l/m S = (76.04 – 37.69) l/m = 38.35 (l /m)

H3 (Profondeur) = 30m

S (Volume espace annulaire litre par mètre) = 38.35 l/m

V (Volume de gravier) = S × H3= 38.35 l/m × 30m = 1150 litres = 1.15 m³

- Nettoyage avec circulation de l'eau clair
- Développement en l'air lift par compresseur

2.5. Essais de pompage

NS = **42 m**

Q max = 37 l/s = 133.20 m³/h

ND max = 59 m

Rabatement :17 m

Puissance de la pompe immergé: 20 Chevaux

2.6. Fiche Technique de Forage Sidi Slimane simulé par Gesfor

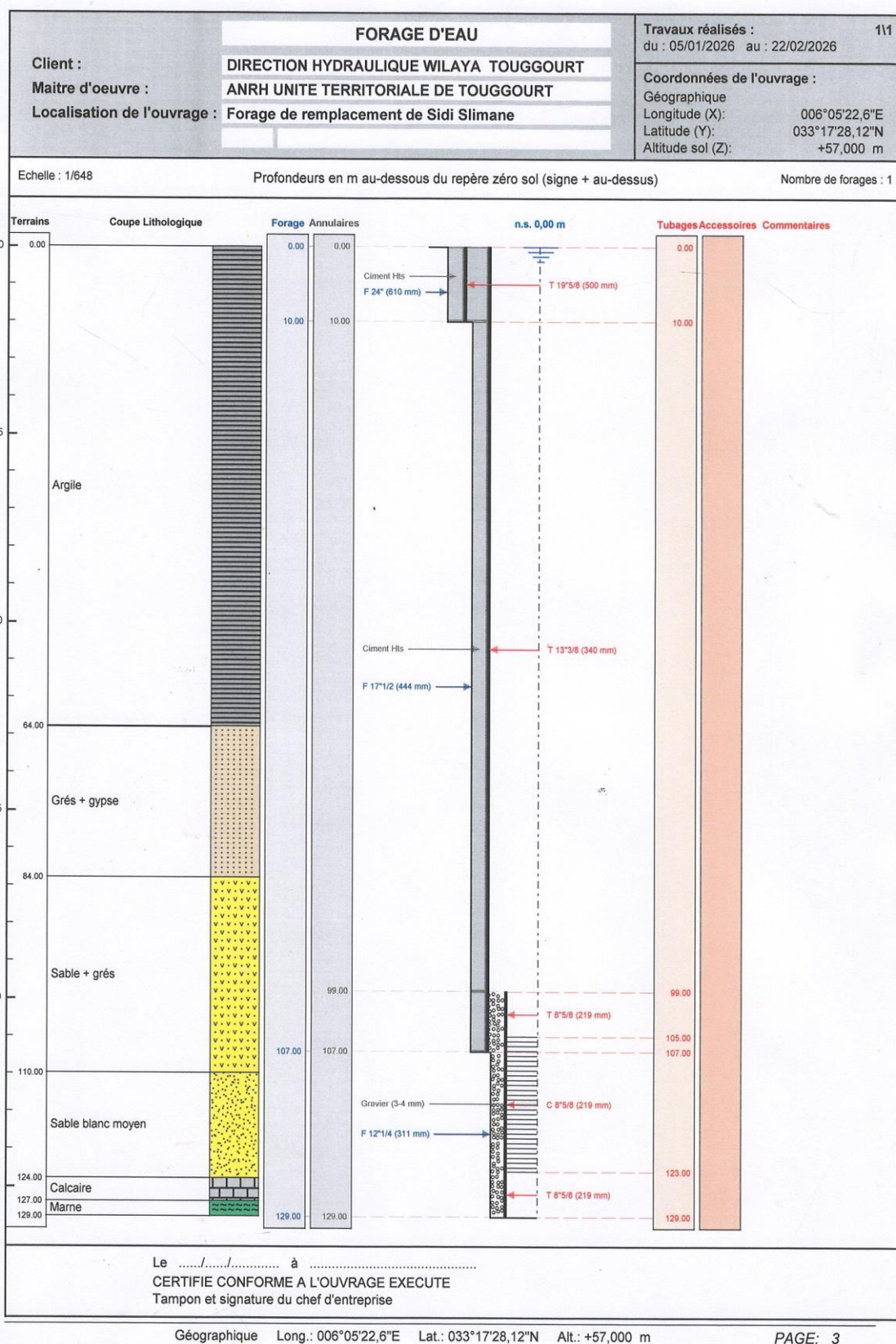


Figure.36. Fiche Technique du Forage de Sidi Slimane simulé par Gesfor.

3. Forage de Blidet Amor wilaya de Touggourt

3.1. Localisation de forage

Le forage de a été réalisé à la commune de Blidet Amor w de Touggourt par l'entreprise : de forage et travaux hydrauliques – Cherif El Habib – destiné pour l'irrigation.



Figure.37. Localisation du forage de Blidet Amor par Google Earth

Tableau 14. Coordonnées (WGS84) du forage de Blidet Amor .

(UTM) Fuseau 31S	(Géographique)
X : 0777553	X : Longitude X : 5° 58' 7.49'' E
Y : 3649010	Y : Latitude Y : 32° 56' 39.01'' N
Z(sol) : 85m (GPS)	Z(sol) : 85m (GPS)

3.2. But de forage

Il s'agit d'un projet relevant de la Direction de l'hydraulique de la wilaya de Touggourt, portant sur la réalisation, l'équipement et l'électrification de 1 000 ml de forages agricoles au niveau de la wilaya de Touggourt, destinés à capter la nappe du Complexe Terminal.

Le projet comprend trois lots, chaque lot comportant deux forages. Parmi ces lots, le lot n°02 a été confié à l'Entreprise de forage et travaux hydrauliques – Cherif El Habib. Dans le cadre de ce lot, un forage a été réalisé à Blidet, dans la daïra de Temacine, wilaya de Touggourt. Les travaux sont achevés à 100 %.

Le forage de Blidet Amor a été réalisé en date du 03/04/2026. Sa profondeur totale est de 136 m. La méthode de forage utilisée est le Rotary, avec une boue bentonitique. Aucune perte totale n'a été signalée au cours des travaux.

3.3. Description lithologique et hydrogéologique

Le sondage hydrogéologique de la zone d'étude, d'une profondeur de 136 m, a recoupé des terrains sédimentaires appartenant au Crétacé supérieur. La coupe géologique de l'ouvrage a été établie sur la base des cuttings récupérés à chaque changement de nature du terrain au cours de la foration.

L'analyse lithologique a permis de mettre en évidence le profil géologique du forage. La nappe exploitée correspond au Complexe Terminal. Elle se situe entre 100 m et 136 m de profondeur et est constituée principalement de sable grossier avec des traces de calcaire.

Tableau.15. Coupe lithologique du forage de Blidet Amor

Profondeur en (m)	Description géologique	Etage
0 -----3	Terrain végétale argileux sableuse	Miopliocène
3 -----11	Argile plastique à la base	
11 -----40	Argile plastique	
40 -----88	Gravier siliceux	
88 -----101	Sable plus ou moins rougeâtre	
101-----131	Sable grossier siliceux	Eocène
131 -----136	Argile blanchâtre avec trace de calcaire	

3.4. Déroulement des travaux de la réalisation de forage

Phase I : Construction de l'avant puits

- Installation du chantier, confection plate forme, bassins et rigoles.
- Forage en Ø 24'' de (0 à 10) m.
- Mise en place de Tube Guide en Acier Ø 19''5/8 de (0 à 10) m.
- Cimentation de l'espace annulaire par ciment HTS entre le trou forage Ø 24" et le Tube Guide Ø19''5/8 de la cote 10 m jusqu'au surface du sol.

$$\text{Trou forage } \varnothing 24'' \rightarrow 291.9 \text{ l/m} \quad S = \text{Trou } \varnothing 24'' - C_{sg} \varnothing 19''5/8$$

$$\text{Casing API } \varnothing 19''5/8 (\varnothing \text{ ext}) 195.2 \text{ l/m} \quad S = 291.9 - 195.2 = 96,7 \text{ l/m}$$

$$S = 96.7 \text{ l/m}$$

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

$$V (\text{Volume espace annulaire litre par mètre}) = S \times H = 96.7 \times 10 = 967 \text{ litres} = 0.96 \text{ m}^3$$

Volume (laitier de ciment) majoré à 15%

Volume total (laitier de ciment) majoré = $(15\% V + V) = (0.144 + 0.96) = 1.10 \text{ m}^3$

V1 = 1.10 m³ soit : $1 \text{ m}^3 = 1.1 \text{ Tonne}$ Densité 1,80

Volume total de (laitier de ciment) en tonne = $1.10 \times 1.1 \text{ Tonne} = \mathbf{1.21 \text{ Tonnes}}$

➤ Attente prise de 48 heures.

Phase II : Colonne de production

- Forage de reconnaissance en Ø 12''1/4 de la cote (10 à 100) m.
- Elargissage en Ø 17''1/2 de la cote (10 à 100) m.
- Mise en place colonne de production API Ø 13''3/8 de la cote 100 ml jusqu'au surface du sol.
- Cimentation de l'espace annulaire par ciment HTS entre le trou forage Ø 17''1/2 et la colonne de production Ø 13''3/8 de 100 m jusqu'au surface du sol.

Espace annulaire (S') : casing - casing :

Casing API Ø 18''5/8 (intérieur) → 470.8 l/m $S = \text{Csg } \text{Ø } 18''5/8 - \text{Csg } \text{Ø } 13''3/8$

Casing API Ø 13''3/8 (extérieur) → 90,65 l/m $S = 470,8 - 90,65 = 380.15 \text{ (l /m)}$

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

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

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

V' = 3.80 m³

Espace annulaire (S'') : Trou-casing :

Forage Ø 17''1/2 → 155.2 l/m $S = \text{Ø } 17''1/2 \text{ Trou} - \text{Ø } 13''3/8 \text{ Csg}$

Casing API Ø 13''3/8 (ext) → 90,65 l/m $S = 155.2 - 90.60 = 64.55 \text{ l /m}$

Profondeur : $H'' = (\text{de } 10 \text{ à } 100) \text{ m} = 90 \text{ m}$

$H'' \text{ (Profondeur)} = 90 \text{ m}$

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

$V'' \text{ (Volume espace annulaire litre par mètre)} = S'' \times H'' = 64.55 \times 90 = 5809.5 \text{ litre} = 5.80 \text{ m}^3$

Volume (laitier de ciment) majoré à 18% :

Volume total majoré = $(18\% V'' + V'') = (1.04 + 5.80) \text{ m}^3 = 6.84 \text{ m}^3$

V'' = 6.84 m³

$V_2 \text{ (Total)} = V' + V'' = (3.80 + 6.84) \text{ m}^3 = 10.64 \text{ m}^3$

V2 = 10.64 m³ soit : $1 \text{ m}^3 = 1.1 \text{ Tonne}$ Densité 1,80 Soit $V_2 \text{ (Total de laitier de ciment) en tonne} = 10.64 \text{ m}^3 = 10.64 \times 1.1 \text{ Tonne} = \mathbf{11.70 \text{ Tonnes}}$

➤ Attente prise de 48 heures.

Phase III : Colonne de captage

- Forage en Ø 12''1/4 de (100 à 136) m.
- Mise en place colonne de captage Inox Ø 8''5/8 de 136m à 88m.

Le programme effectué du **bas** en **haut** est composée des tubes suivants :

- de 136m à 130m (1) Tube plein sabot Inox Ø 8''5/8 est de 6 ml
- de 130m à 100m (5) Tubes crépines Johnson Inox Ø 8''5/8 de 30 ml
- de 100m à 88m (2) Tubes plein Inox réserve Ø 8''5/8 est de 12 ml

Phase IV : Gravillonnage , lavage et développement

- Mise en place de massif filtrant constitué de graviers siliceux, roulés, lavé et calibré d'un diamètre convenable de 4mm à 6mm entre le trou forage Ø12''1/4 et la colonne de captage Inox Ø8''5/8 de 136m à 88m

Espace annulaire (S): Trou - casing:

Forage en Ø 12''1/4 de la cote 100 m à 136 m

Longueur de la colonne de captage Inox Ø 8''5/8 est de 48 ml

Trou foré Ø 12''1/4 → 76.04 l/m S = Trou Ø 12''1/4 – Tube Inox Ø 8'' 5/8

Tube Inox Ø 8'' 5/8 ''(ext) 37.69 l/m S = (76.04 – 37.69) l/m = 38.35 (l /m)

H (Profondeur) = 48m

S (Volume espace annulaire litre par mètre) = 38.35 l/m

V (Volume de gravier) = S × H= 38.35 l/m × 48m = 1840.8 litres = 1.84 m3

- Nettoyage avec circulation de l'eau clair
- Développement en l'air lift par compresseur

3.5. Essais de pompage

NS = **21.80 m**

Q max = 28,45 l/s = 102.44 m3/h

ND max = 35.85 m

Rabattement :14,05 m

Puissance de la pompe immergé: 30 Chevaux

3.6. Fiche Technique de Forage de Blidet Amor simulé par Gesfor

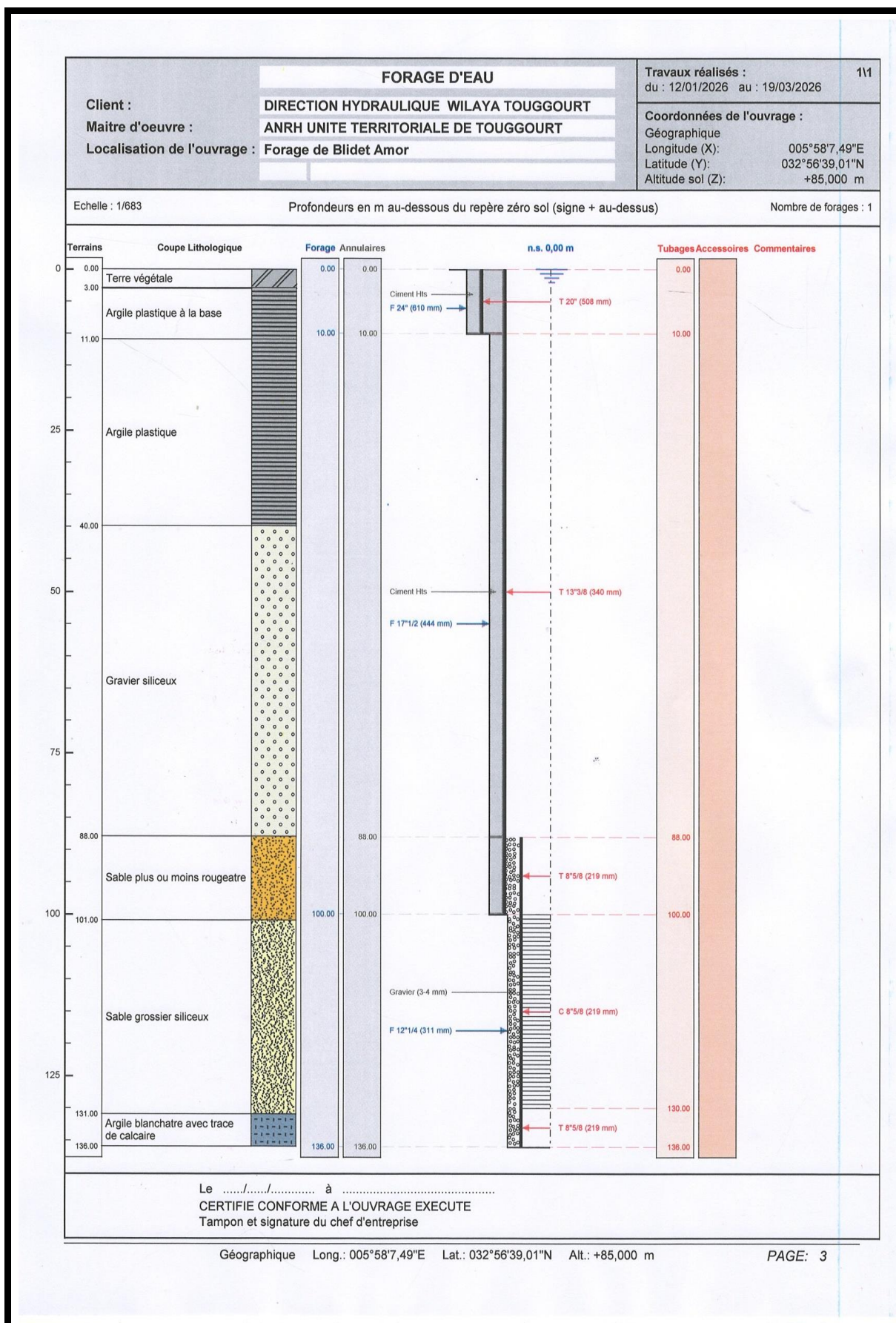


Figure.38. Fiche Technique du Forage de Blidet Amor simulé par Gesfor.

4. Forage Goug Commune de Blidet Amor wilaya de Touggourt

4.1. Localisation de forage

Le forage d'El Goug, situé dans la commune de Blidet Amor, wilaya de Touggourt, a été réalisé par l'entreprise Grands Travaux Publics et Hydrauliques – Souilem Abdessalem. Cet ouvrage est destiné à l'alimentation en eau potable AEP.

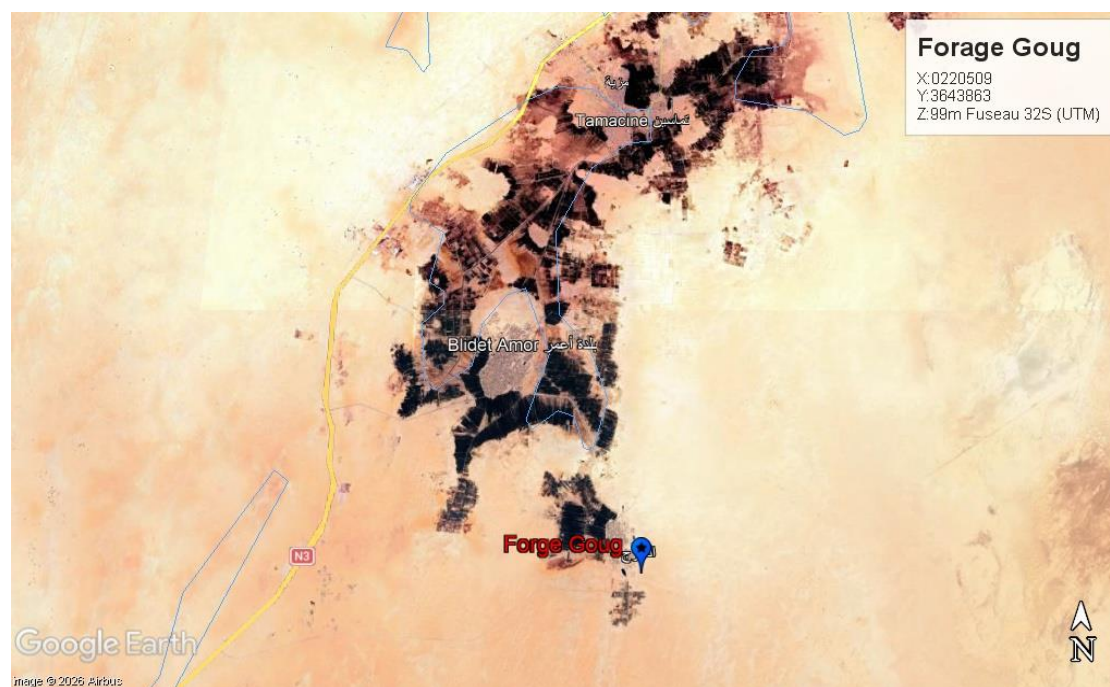


Figure.39. Localisation du forage de Goug par Google Earth.

Tableau 16. Coordonnées (WGS84) du forage de Goug.

(UTM) Fuseau 32S	(Géographique)
X : 0220509	X : Longitude X : 6° 00' 43.64'' E
Y : 3643863	Y : Latitude Y : 32° 53' 50.33'' N
Z(sol) : 99m (GPS)	Z (sol) : 99m (GPS)

4.2. But de forage

Il s'agit d'un projet relevant de la Direction de l'hydraulique de la wilaya de Touggourt, portant sur la réalisation d'un forage destiné à l'alimentation en eau potable de la ville d'El Goug, commune de Blidet Amor, wilaya de Touggourt. Ce forage capte la nappe du Complexe Terminal.

Le projet a été confié à l'entreprise des Grands Travaux Publics et Hydrauliques – Souilem Abdessalem. Les travaux sont achevés à 100 %.

Le forage d'El Goug a été réalisé en date du 21/04/2026. Sa profondeur totale est de 164 m. La méthode de forage utilisée est le Rotary, avec une boue bentonitique. Aucune perte totale n'a été signalée au cours des travaux.

4.3. Description lithologique et hydrogéologique

Le sondage hydrogéologique de la zone d'étude, d'une profondeur de 164 m, a recoupé des terrains sédimentaires appartenant au Crétacé supérieur. La coupe géologique de l'ouvrage a été établie sur la base des cuttings récupérés à chaque changement de nature du terrain au cours de la foration.

L'analyse lithologique a permis de mettre en évidence le profil lithologique du forage. La nappe exploitée correspond au Complexe Terminal. Elle se situe entre 127 m et 164 m de profondeur et est constituée principalement de sable siliceux avec du calcaire blanchâtre.

Tableau.17. Coupe lithologique de forage du forage de Goug.

Profondeur en (m)	Description géologique	Etage
0 -----2	Terrain végétale	Miopliocène
2 -----38	Sable argileux	
38 -----127	Sable rouge	
127-----138	Argile	
138-----162	Sable siliceux	
162-----164	Calcaire blanchâtre	Eocène

4.4. Déroulement des travaux de la réalisation de forage

Phase I : Construction de l'avant puits

- Installation du chantier, confection plate forme, bassins et rigoles.
- Forage en Ø 24'' de (0 à 10) m.
- Mise en place de Tube Guide en Acier Ø 19''5/8 de (0 à 10) m.
- Cimentation de l'espace annulaire par ciment HTS entre le trou forage Ø 24" et le Tube Guide Ø19''5/8 de la cote 10 m jusqu'au surface du sol.

$$\text{Trou forage } \varnothing 24'' \longrightarrow 291.9 \text{ l/m} \quad S = \text{Trou } \varnothing 24'' - \text{Csg } \varnothing 19''5/8$$

$$\text{Casing API } \varnothing 19''5/8(\varnothing \text{ ext}) 195.2 \text{ l/m} \quad S = 291.9 - 195.2 = 96,7 \text{ l/m}$$

$$S = 96.7 \text{ l/m}$$

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

$$V (\text{Volume espace annulaire}) = S \times H = 96.7 \times 10 = 967 \text{ litres} = 0.96 \text{ m}^3$$

Volume (laitier de ciment) majoré à 15%

$$\text{Volume (laitier de ciment) majoré} = (15\% V + V) = (0.144 + 0.96) = 1.10 \text{ m}^3$$

V1 = 1.10 m³ soit : 1m³ = 1.1Tonne Densité 1,80

Volume total de (laitier de ciment) en tonne = 1.10 × 1.1 Tonne = **1.21 Tonnes**

➤ Attente prise de 48 heures.

Phase II : Colonne de production

➤ Forage de reconnaissance en Ø 12''1/4 de la cote (10 à 127) m.

➤ Elargissage en Ø 17''1/2 de la cote (10 à 127) m.

➤ Mise en place colonne de production API Ø 13''3/8 de la cote 127 ml jusqu'au surface du sol.

➤ Cimentation de l'espace annulaire par ciment HTS entre le trou forage Ø 17''1/2 et la colonne de production Ø13''3/8 de 127 m jusqu'au surface du sol.

Espace annulaire (S'): casing - casing:

Casing API Ø 18''5/8 (int) → 470.8 l/m S = Csg Ø 18''5/8 - Csg Ø 13'' 3/8

Casing API Ø 13''3/8 (ext) → 90,65 l/m S = 470,8 - 90,65 = 380.15(l /m)

S' = 380.15(l /m)

H' (Profondeur) = 10 m

V' = S' × H' = 380.15 × 10 = 3801.5 litres = **V' = 3.80 m³**

Espace annulaire (S''): Trou-casing :

Trou forage Ø 17''1/2 → 155.2 l/m S = Ø 17''1/2 Trou - Ø 13'' 3/8Csg

Casing API Ø 13''3/8 (ext) → 90,65 l/m S = 155.2 – 90.60 = 64.55 l /m

Profondeur : H'' = (de 10 à 127) m = 117 m

H'' (Profondeur) = 117 m

S'' = 64.55 l /m

V''(Volume espace annulaire)=S''× H''= 64.55×117=7546.5litre = 7.54 m³

Volume (laitier de ciment) majoré à 18% :

Volume total majoré = (18% V'' + V'') = (1.35 + 7.54) m³ = 8.89 m³

V'' = 8.89 m³

V2 (Total) = V' + V'' = (3.80 + 8.89) m³= 12.69 m³ soit 1m³ = 1.1Tonne

Densité 1,80

V2 (de laitier de ciment) en tonne = 12.69m³ = 12.69×1.1Tonne =**13.95 Tonnes**

➤ Attente prise de 48 heures.

Phase III : Colonne de captage

➤ Forage en Ø 12''1/4 de (127 à 164) m.

➤ Mise en place colonne de captage Inox Ø 8''5/8 de 164m à 116m.

Le programme effectué du **bas** en **haut** est composée des tubes suivants :

- de 164m à 158m (1) Tube plein sabot Inox Ø 8''5/8 est de 6 ml
- de 158m à 134m (4) Tubes crépines Johnson Inox Ø 8''5/8 de 24 ml
- de 134m à 116m (3) Tubes plein Inox réserve Ø 8''5/8 est de 18 ml

Phase IV : Gravillonnage , lavage et développement

- Mise en place de massif filtrant constitué de graviers siliceux, roulés, lavé et calibré d'un diamètre convenable de 4mm à 6mm entre le trou forage Ø12''1/4 et la colonne de captage Inox Ø8''5/8 de 136m à 88m

Espace annulaire (S): Trou - casing:

Forage en Ø 12''1/4 de la cote 127 m à 164 m

Longueur de la colonne de captage Inox Ø 8''5/8 est de 48 ml

Trou foré Ø 12''1/4 → 76.04 l/m S = Trou Ø 12''1/4 – Tube Inox Ø 8''5/8
Tube Inox Ø 8'' 5/8 ''(ext) 37.69 l/m S = (76.04 – 37.69) l/m = 38.35 (l /m)

H (Profondeur) = 48m

S (Volume espace annulaire litre par mètre) = 38.35 l/m

V (Volume de gravier) = S × H= 38.35 l/m × 48m = 1840.8 litres = 1.84 m³

- Nettoyage avec circulation de l'eau clair
- Développement en l'air lift par compresseur

4.5. Essais de pompage

NS = 26.80 m

Q max = 25,50 l/s = 91.82 m³/h

ND max = 42 m

Rabattement :16 m

Puissance de la pompe immergé: 25 Chevaux

4.6. Simulation des données de forage de Goug par logiciel Gesfor de BRGM

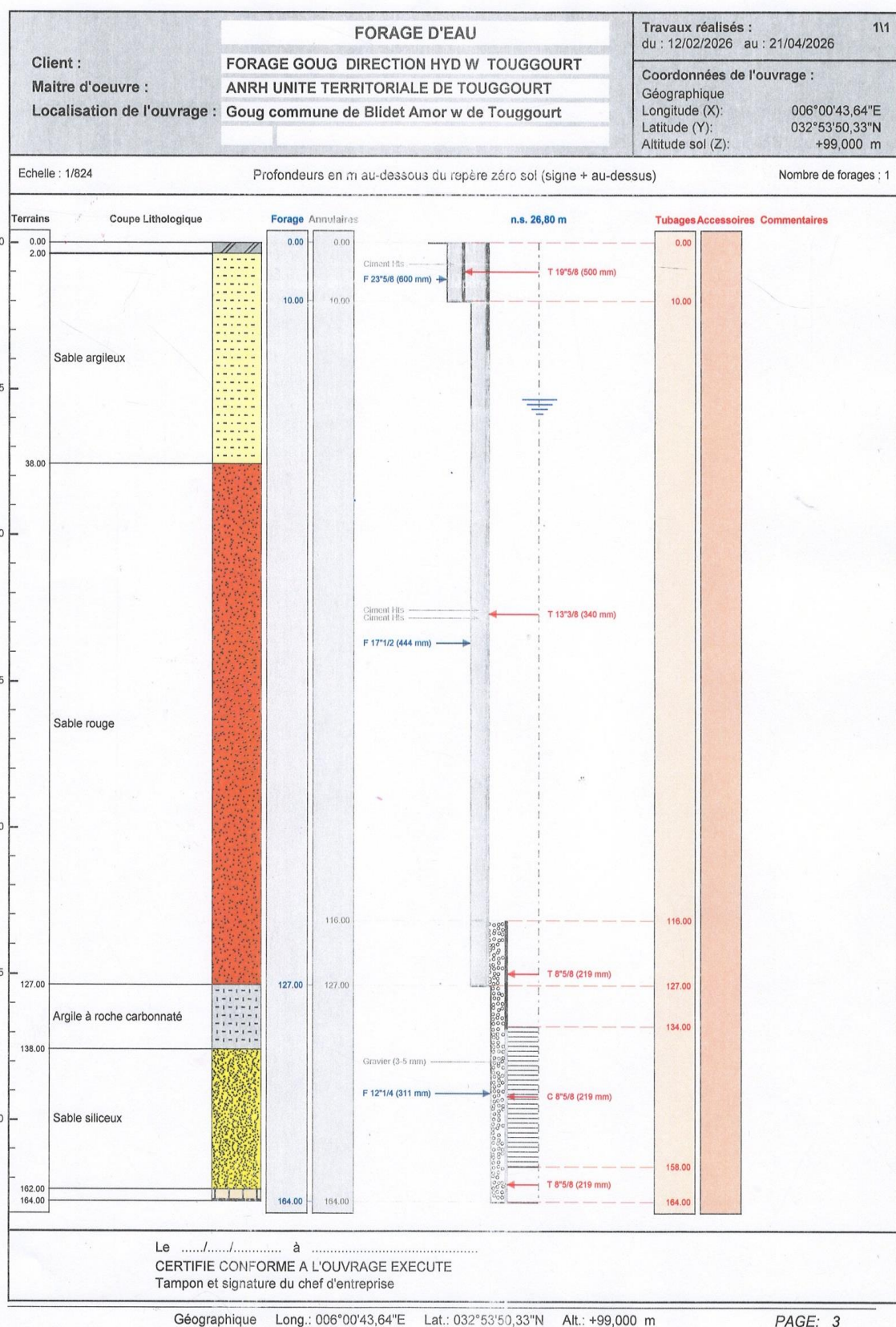


Figure.40. Fiche Technique du Forage Goug simulé par Gesfor.

5. Conclusion

Ce chapitre a été consacré au suivi technique de plusieurs forages d'eau réalisés dans la wilaya de Touggourt, à savoir les forages de Megarine, Sidi Slimane, Blidet Amor et Goug. Ces ouvrages ont été réalisés dans le cadre de projets destinés soit à l'irrigation agricole, soit à l'alimentation en eau potable, comme c'est le cas du forage de Goug destiné à l'AEP de la ville d'El Goug.

Le suivi des travaux montre que les forages ont été réalisés selon une méthode similaire, basée principalement sur le procédé Rotary avec utilisation d'une boue bentonitique. Les étapes d'exécution ont compris l'installation du chantier, la réalisation de l'avant-puits, la mise en place du tube guide, la cimentation, le forage de reconnaissance, l'élargissage, l'installation de la colonne de production, puis la mise en place de la colonne de captage en inox équipée de crépines Johnson. Les travaux se sont terminés par le gravillonnage, le lavage, le développement par air-lift et les essais de pompage.

Sur le plan lithologique et hydrogéologique, les forages étudiés traversent une succession de formations sédimentaires composées principalement d'argiles, de sables, de graviers siliceux, de grès et de calcaires, avec la présence locale de marnes. Les profondeurs atteintes varient selon les ouvrages : 170 m à Megarine, 129 m à Sidi Slimane, 136 m à Blidet Amor et 164 m à Goug. Les quatre forages captent la nappe du Complexe Terminal, localisée principalement dans les horizons sableux et calcaires. L'épaisseur de la nappe captée est de 38 m à Megarine, 22 m à Sidi Slimane, 36 m à Blidet Amor et 37 m à Goug, ce qui montre l'importance de ces niveaux aquifères pour l'exploitation des eaux souterraines dans la région étudiée.

Chapitre 04:
Suivi technique des forages d'eau
dans l'aquifère de CI

1. Forage profond Albo-Barrémien El Mostakbal commune de Touggourt

1.1. Localisation de forage

Le forage profond a été réalisé à la commune de Touggourt par l'entreprise : TASSILI SPA – Hassi Messaoud destiné pour l'alimentation en eau potable de la ville d'El Mostakbal.

Tableau 18. Coordonnées (WGS84) du forage d'El Mostakbal.

(UTM) Fuseau 32S	(Géographique)
X : 0225191	X : Longitude X : 6° 03' 13'' E
Y : 3672244	Y : Latitude Y : 33° 09' 15'' N
Z(sol) : 64m (GPS)	Z(sol) : 62m (GPS)



Figure.41. Localisation du forage d'El Mostakbal par Google Earth

1.2. But du forage

Il s'agit d'un projet de l'ONID portant sur la réalisation de 30 forages profonds captant l'Albien, à travers les wilayas de Ouargla, El Oued et Biskra. Dans ce cadre, un forage profond Albien-Barrémien a été réalisé pour l'alimentation en eau potable de la ville d'El Mostakbal, commune de Touggourt.

Ce forage capte la nappe du Continental Intercalaire. Le projet a été confié à l'entreprise Tassili SPA, Hassi Messaoud, et les travaux sont achevés à 100 %.

Le forage a été réalisé en date du 23/05/2021. Sa profondeur totale est de 1 850 m. La méthode de forage utilisée est le Rotary, avec une boue bentonitique. Aucune perte totale n'a été signalée au cours des travaux.

1.3. Description lithologique et hydrogéologique

Le sondage hydrogéologique de la zone d'étude, d'une profondeur de 1 850 m, a recoupé des terrains sédimentaires appartenant au Crétacé inférieur. La coupe géologique de l'ouvrage a été établie sur la base des cuttings récupérés à chaque changement de nature du terrain au cours de la foration.

L'analyse des cuttings a permis de mettre en évidence le profil lithologique du forage. L'aquifère exploité correspond au Continental Intercalaire. Il est rencontré entre 1 400 m et 1 850 m de profondeur et comprend principalement deux niveaux aquifères : l'Albien et le Barrémien.

Tableau.19. Coupe lithologique du forage d'El Mostakbal.

Profondeur en (m)	Description géologique	Etage	
0 -----130	Alternance des sables moyen,argile et argile sableuse	Miopliocène	
130-----160	Calcaire argile sableuse et sable siliceux	Eocène	
160-----442	Calcaire, gypse et anhydrite	Carbonaté	Sénonien
442 -----958	Alternance des calcaires gréseux + gypse et calcaire marneux+gypse	Lagunaire	
958 -----1128	Anhydrite, calcaire + sel massif salifère	Salifère	
1128-----1215	Calcaire	Turonien	
1215-----1358	Marne, gypse et calcaire	Cénomanien	
1358-----1378	Calcaire, marne	Vraconien	
1480-----1578	Alternance argile et grés avec passage de calcaire dolomitique	Albien	
1578-----1602	Calcaire et calcaire dolomitique	Aptien	
1602-----1850	Argile et sable fin à moyen	Barrémien	

1.4. Déroulement des travaux de la réalisation de forage

Phase I : Construction de l'avant puits (tube guide API Ø 28'') :

- Installation du chantier, confection plate forme, bassins et rigoles.
- Forage en Ø 36'' de (0 à 30) m.
- Mise en place de Tube Guide en API Ø 28'' de (0 à 30) m.
- Cimentation de l'espace annulaire par ciment forage entre le trou Ø 36'' et le Tube Guide Ø 28'' de la cote 30 ml jusqu'à la surface du sol.

Forage Ø 36'' → 656.8 l/m S = Trou Ø 24'' - Csg Ø 19'' 5/8

Casing API Ø 28'' → 397.2 l/m S = (656.8 - 397.2) l/m = 259.6 l/m

S (volume de l'espace annulaire litre par mètre) = 259.6 l/m

H (Profondeur) = 30 m

V (Volume de laitier de ciment) = S × H = 259.6 × 30 = 7788 litres = 7.78 m³

Volume (laitier de ciment) majoré à 15%

Volume total (laitier de ciment) majoré = $(15\% V + V) = (1.16 + 7.78) = 8.94 \text{ m}^3$

$V1 = 8.94 \text{ m}^3$ soit : $1 \text{ m}^3 = 1.1 \text{ Tonne}$ Densité 1,80

Volume total de (laitier de ciment) en tonne = $8.94 \times 1.1 \text{ Tonne} = 9.94 \text{ Tonnes}$

➤ Attente prise de 48 heures.

Phase II : Colonne technique API Ø 18''5/8 :

- Forage de reconnaissance en Ø 12''1/4 de la cote (30 à 310) m.
- Elargissage en Ø 26'' de la cote (30 à 310) m.
- Mise en place colonne technique API Ø 18''5/8 de la cote 310 ml jusqu'au sol
- Cimentation de l'espace annulaire par ciment forage entre le trou Ø 26" et la colonne Technique Ø 18''5/8 de la cote 310 ml jusqu'au sol.
- Volumes de laitier de ciment calculer selon l'espace annulaire :

Espace annulaire (S') : casing - casing : Ø (28''×18''5/8)

Casing API Ø 28'' → 397.2 l/m $S' = \text{Csg } \text{Ø } 28'' - \text{Csg } \text{Ø } 18'' 5/8$

Casing API Ø 18''5/8 (ext) → 176,2 l/m $S' = 470,8 - 176,2 = 221 \text{ (l /m)}$

$S' = 221 \text{ (l /m)}$

$H' \text{ (Profondeur)} = 30 \text{ m}$

$V' \text{ (volume de laitier de ciment)} = S' \times H' = 221 \times 30 = 6630 \text{ litres} = 6.63 \text{ m}^3$

$V' = 6.63 \text{ m}^3$

Espace annulaire (S'') : Trou-casing : Ø (26''×18''5/8)

Trou Ø 26'' → 342.5 l/m $S'' = \text{Trou } \text{Ø } 26'' - \text{Csg } \text{Ø } 18'' 5/8$

Casing API Ø 18''5/8 (extérieur) → 176.2 l/m $S'' = (342.5 - 176.2) = 166.3 \text{ l /m}$

$H'' \text{ Profondeur : } = \text{de } 30 \text{ m à } 310 \text{ m} = 280 \text{ m}$

$S'' \text{ (volume espace annulaire litre par mètre)} = 166.3 \text{ l /m}$

$V'' \text{ (Volume)} = S'' \times H'' = 166.3 \times 280 = 46564 \text{ litre} = 46.56 \text{ m}^3$

Volume (laitier de ciment) majoré à 18% :

Volume total majoré = $(18\% V'' + V'') = (8.38 + 46.56) \text{ m}^3 = 54.94 \text{ m}^3$

$V'' = 54.94 \text{ m}^3$

$V2 \text{ (Total)} = V' + V'' = (6.63 + 54.94) \text{ m}^3 = 61.57 \text{ m}^3$

$V2 = 61.57 \text{ m}^3$ soit : $1 \text{ m}^3 = 1.1 \text{ Tonne}$ Densité 1,80

$V2 \text{ (Total)} \text{ en tonne} = 61.57 \text{ m}^3 = 61.57 \times 1.1 \text{ Tonne} = 67.72 \text{ Tonnes}$

➤ Attente prise de 48 heures.

Phase III : Colonne de complétion API Ø13''3/8 :

- Forage en Ø 12''1/4 de (310 à 1400) m.
- Elargissage en Ø 17''1/2 de la cote (310 à 1400) m.
- Mise en place colonne de complétion API Ø13''3/8 de 1400 m jusqu'à surface du sol
- Cimentation de l'espace annulaire par ciment forage entre le trou Ø 17''1/2 et la colonne de complétion Ø13''3/8 de 1400 ml jusqu'au sol.
- Volumes de laitier de ciment calculer selon l'espace annulaire :

Espace annulaire (S') : casing - casing: Ø (18''5/8×13''3/8)

Casing API Ø 18''5/8 (intérieur) → 159.74 l/m $S' = \text{Csg } \text{Ø } 18''5/8 - \text{Csg } \text{Ø } 13''3/8$

Casing API Ø 13''3/8 (extérieur) → 90.80 l/m $S' = 159.74 - 90.80 = 68.94 \text{ l/m}$

S' (volume espace annulaire litre par mètre) = 68.94 l/m

H' (Profondeur) = 310 m

V' (volume de laitier de ciment) = $S' \times H' = 68.94 \times 310 = 21371.4 \text{ litres} = 21.37 \text{ m}^3$

$V' = 21.37 \text{ m}^3$

Espace annulaire (S'') : Trou-casing : Ø (17''1/2×13''3/8)

Trou Ø 17''1/2 → 155.2 l/m $S'' = \text{Trou } \text{Ø } 17''1/2 - \text{Csg } \text{Ø } 13''3/8$

Casing API Ø 13''3/8 (extérieur) → 90.80 l/m $S'' = (155.2 - 90.80) \text{ l/m} = 64.5 \text{ l/m}$

H'' Profondeur : = de 310 m à 1400 m = 1090 m

S'' (volume espace annulaire litre par mètre) = 64.5 l/m

V'' (Volume) = $S'' \times H'' = 64.5 \times 1090 = 70305 \text{ litre} = 70.30 \text{ m}^3$

V'' Volume (laitier de ciment) majoré à 18% :

V'' (Volume total majoré) = $(18\% V'' + V'') = (12.65 + 70.30) \text{ m}^3 = 82.95 \text{ m}^3$

$V'' = 82.95 \text{ m}^3$

$V3$ (total) = $V' + V'' = (21.37 + 82.95) \text{ m}^3 = 104.32 \text{ m}^3$ $V3(\text{total}) = 104.32 \text{ m}^3$

soit : $1 \text{ m}^3 = 1.1 \text{ Tonne}$ Densité 1,80

$V3$ (Total) en tonne = $104.32 \text{ m}^3 = 104.32 \times 1.1 \text{ Tonne} = 114.75 \text{ Tonnes}$

- Attente prise de 48 heures.

Phase IV : Colonne de captage Inox 8''5/8 et colonne production API 9''5/8

Forage de reconnaissance en Ø12''1/4 de 1400 m jusqu'à la base de l'aquifère à 1850 m

-Enregistrement Diagramme (PS, G.RAY, Résistivité, PN, GN et latéral, Dia mètre et pendagéométrie) de 1400 m jusqu'au 1850 m.

-Descente colonne de captage Inox Ø 8''5/8 super renforcé (Super-well) de 1850m à 1385m suivi des accessoires : Raccord diélectrique Ø (8''5/8×9''5/8) +Liner Hanger Packer +

Anneau de cimentation + DV) de 1385m à 1370.3m accompagné de la colonne de production API Ø 9' 5/8 de 1370.3m jusqu'à la surface du sol.

-Ancrage de la colonne mixte Ø (8"5/8×9"5/8) selon l'évolution du poids du liner au martin decker.

-Cimentation de l'espace annulaire entre les deux casings : Ø (13"3/8×9"5/8)

De 1370 m jusqu'au sol.

Volumes de laitier de ciment calculer selon l'espace annulaire :

Espace annulaire (S'): casing - casing: Ø (28"×18"5/8)

Casing API Ø 13"3/8 (intérieur) → 77.24 l/m $S' = \text{Csg } \text{Ø } 13"3/8 - \text{Csg } \text{Ø } 9"5/8$

Casing API Ø 9"5/8 (extérieur) → 46.94 l/m $S' = 77.24 - 46.94 = 30.30 \text{ (l/m)}$

$$S' = 30.30 \text{ (l/m)}$$

$$H' \text{ (Profondeur)} = 1370 \text{ m}$$

$$V' \text{ (volume de laitier de ciment)} = S' \times H' = 30.30 \times 1370 = 41511 \text{ litres} = 41.51 \text{ m}^3$$

$$V' = 41.51 \text{ m}^3 \text{ soit : } 1\text{m}^3 = 1.1\text{Tonne Densité } 1,80$$

$$V' \text{ (Total)} \text{ en tonne} = 41.51 \text{ m}^3 = 41.51 \times 1.1\text{Tonne} = 45.66 \text{ Tonnes}$$

➤ Attente prise de 48 heures.

Phase V.

-Mise en place d'une tête de forage

-Dégorgement du forage avec de l'eau claire

-Auto-développement du forage

-Essai de débit et par pression

1.5. Essais de débit

C'est un essai de pression pour les forages artésiens jaillissants, captant la nappe du continental intercalaire, il a été réalisé par l'entreprise –TASSILI Spa Hassi Messaoud, sur une profondeur de 1850m. ces essais à pour objectif de déterminer les paramètres hydrauliques de l'aquifère à savoir :

-Débit d'exploitation, débit critique et les rabattements correspondantes

-les paramètres hydrodynamiques : Transmissivité T, Perméabilité K et le coefficient d'emmagasinement s'il y'a lieu, Le rayon d'action Ra (rayon d'influence) on a :

- s = rabattement total (m) . s/Q = Rabattement spécifique (m/m³/h)
- Q = débit de pompage (m³/h ou L/s)
- B = coefficient des pertes de charge quadratique dans l'aquifère
- C = coefficient des pertes de charge linéaire dans le forage

Tableau.20. Essais de débit par palier (courte durée)

	Temps	Débit (Q)		Pression	ND	s
	(Heure)	(l/s)	(m3/h)	(bar)	(m)	(m)
Statique				14,7	147	0
Palier 1	8	85	306	10,1	101	46
Palier 2	8	115	414	7,6	76	71
Palier 3	8	150	540	4,4	44	103

Tableau 21. Coefficients de JACOB (B et C) $s = s_1 + s_2$

	Q	s	s/Q	s ₁ =BQ	s ₂ = CQ ²	s=BQ+CQ ²	B	C
	(m ³ /h)	(m)						
Statique		0	0	0	0	0	0,095	0,000185
Palier 1	306	46	0,15	29,1	17,3	46,4		
Palier 2	414	71	0,18	39,3	31,7	71		
Palier 3	540	103	0,19	51,3	53,9	105,2		

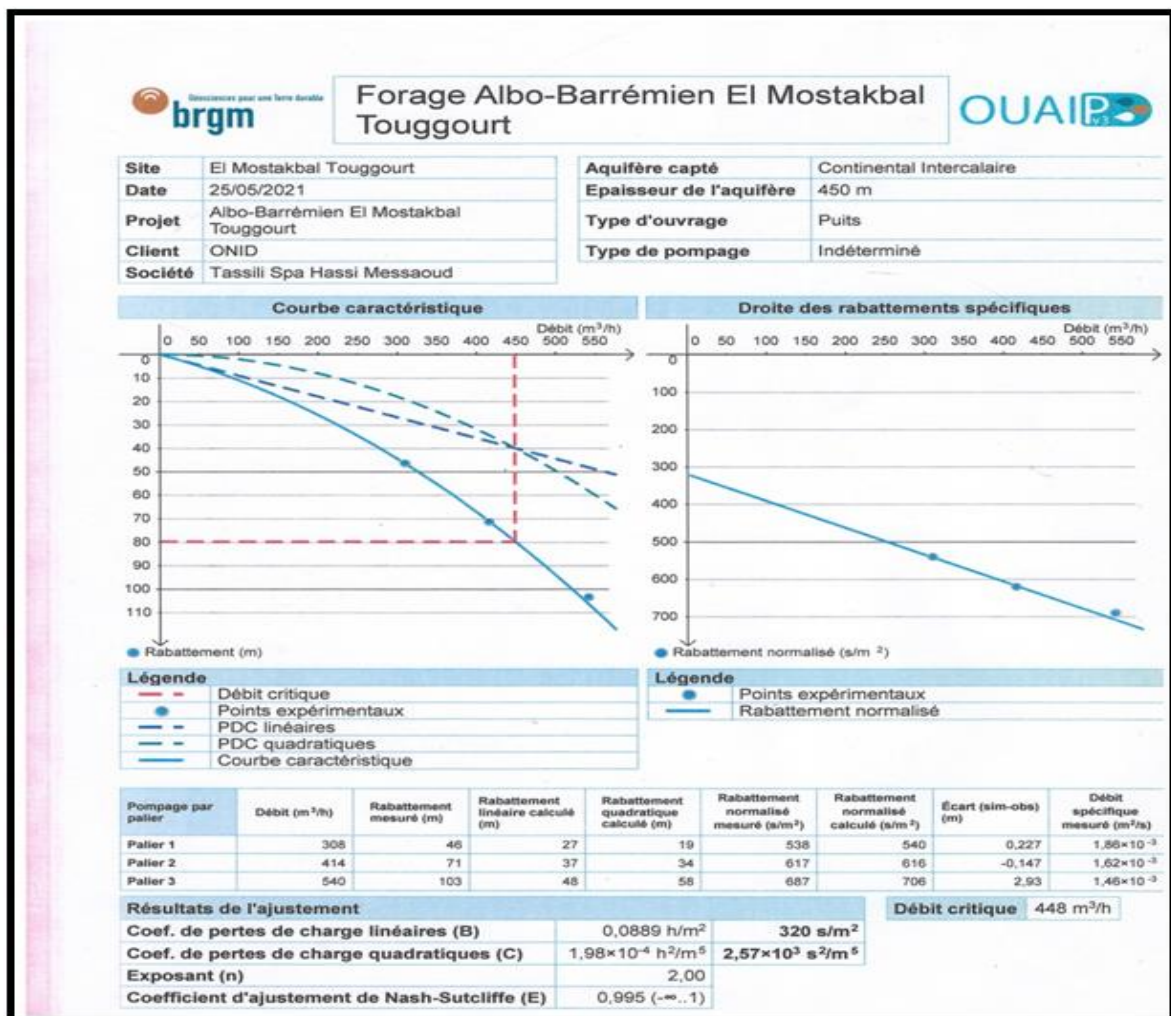


Figure 42. Simulation des essais de débit de courte durée par logiciel OUAIP de BRGM



2. Forage profond Albo-Barrémien Sidi Mehdi commune de Nezla

2.1. Localisation de forage:

Le forage profond a été réalisé à la commune de Nezla par l'entreprise : TASSILI SPA – Hassi Messaoud destiné pour l'irrigation des palmeraies de la ville de Sidi Mehdi.

Tableau 22. Coordonnées (WGS84) du forage de Sidi Mehdi.

(UTM) Fuseau 32S	(Géographique)
X : 0230739	X : Longitude X : 6° 06' 55.85'' E
Y : 3663826	Y : Latitude Y : 33° 04' 47'' N
Z(sol) : 86m (GPS)	Z(sol) : 86m (GPS)

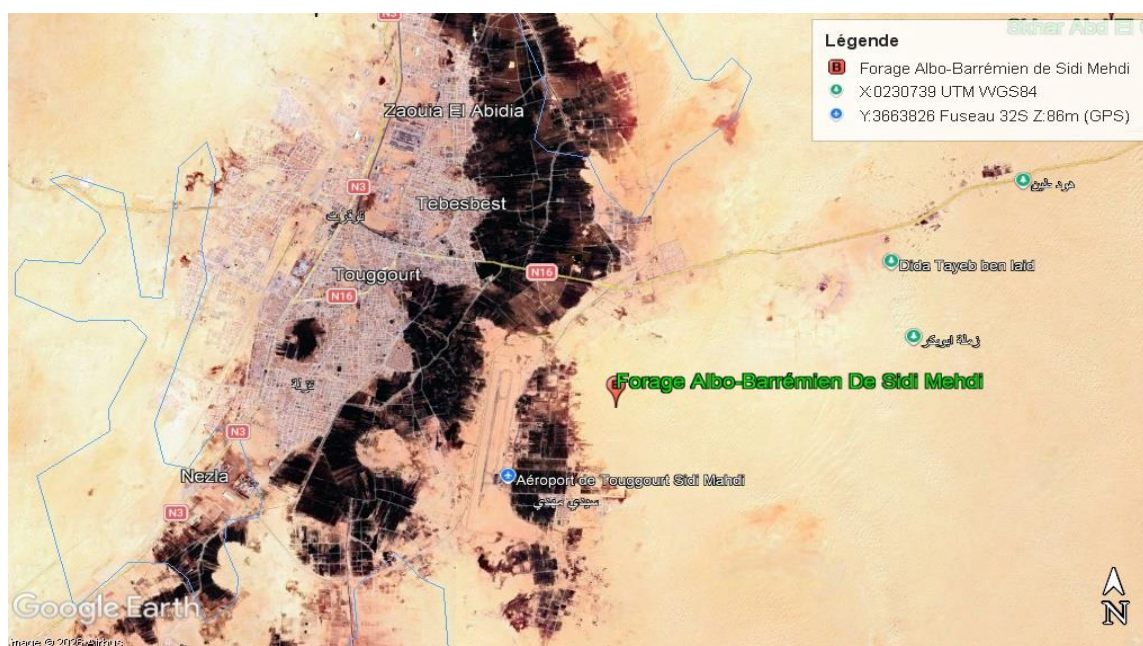


Figure.44. Localisation de forage Albo-Barrémien de Sidi Mehdi par Google Earth

2.2. But du forage

Il s'agit d'un projet de l'ONID portant sur la réalisation de 30 forages profonds captant l'Albien, à travers les wilayas de Ouargla, El Oued et Biskra. Dans ce cadre, un forage profond Albien-Barrémien a été réalisé pour l'irrigation des palmeraies de la ville de Sidi Mehdi, commune de Nezla, wilaya de Touggourt.

Ce forage capte la nappe du Continental Intercalaire. Le projet a été confié à l'entreprise Tassili SPA, Hassi Messaoud, et les travaux sont achevés à 100 %.

Le forage a été réalisé en date du 18/05/2022. Sa profondeur totale est de 1 850 m. La méthode de forage utilisée est le Rotary, avec une boue bentonitique. Aucune perte totale n'a été signalée au cours des travaux.

2.3. Description lithologique et hydrogéologique

Le sondage hydrogéologique de la zone d'étude, d'une profondeur de 1 850 m, a recoupé des terrains sédimentaires appartenant au Crétacé inférieur. La coupe géologique de l'ouvrage a été établie sur la base des cuttings récupérés à chaque changement de nature du terrain au cours de la foration.

L'aquifère exploité correspond au Continental Intercalaire. Il est rencontré entre 1 406 m et 1 850 m de profondeur et se compose principalement de deux niveaux aquifères : l'Albien et le Barrémien.

Tableau 23: Coupe lithologique du forage de Sidi Mehdi.

Profondeur en (m)	Description géologique
0 -----10	Sable moyen (Miopliocène)
10-----87	Argile (Miopliocène)
87-----130	Argile sableuse (Miopliocène)
130 -----138	Calcaire (Miopliocène)
138 -----160	Argile sableuse+calcaire (Eocène)
160-----210	Calcaire (Eocène)
210-----254	Argile sableuse (Sénonien carbonaté)
254-----442	Calcaire gréseux+Anhydrite (Sénonien carbonaté)
442-----534	Intercalation marne calcaire gréseux et calcaire (Sénonien lagunaire)
534-----958	Alternance ,calcaire marneux + gypse (Sénonien lagunaire)
958-----1128	Anhydrite, calcaire+sel massif et gypse (Sénonien Salifier)
1128-----1215	Calcaire (Turonien)
1215-----1298	Marne, gypse et calcaire (Cénomanién)
1298-----1438	Calcaire, marne (Vraconien)
1438-----1578	Alternance d'argile et grés avec passage de calcaire dolomitique (Albien)
1578-----1602	Calcaire et calcaire dolomitique (Aptien)
1602-----1850	Alternance d'argile et sable (Barrémien)

2.4. Déroulement des travaux de la réalisation de forage

Phase I : Construction de l'avant puits (tube guide API Ø 28'') :

- Installation du chantier, confection plate forme, bassins et rigoles.
- Forage en Ø 36'' de (0 à 45) m.
- Mise en place de Tube Guide en API Ø 28'' de (0 à 45) m.
- Cimentation de l'espace annulaire par ciment forage entre le trou Ø 36'' et le Tube Guide Ø 28'' de la cote 45 ml jusqu'au surface du sol.

Forage Ø 36'' —————→ 656.8 l/m S = Trou Ø 24'' - Csg Ø 19'' 5/8

Casing API Ø 28'' —————→ 397.2 l/m S = (656.8 – 397.2) l/m = 259.6 l/m

S (volume de l'espace annulaire litre par mètre) = 259.6 l/m

H (Profondeur) = 45 m

V (Volume de laitier de ciment) = $S \times H = 259.6 \times 45 = 11682$ litres = 11.68 m^3

Volume (laitier de ciment) majoré à 15%

Volume total (laitier de ciment) majoré = $(15\% V + V) = (1.75 + 11.68) = 13.43 \text{ m}^3$

$V1 = 13.43 \text{ m}^3$ soit : $1 \text{ m}^3 = 1.1 \text{ Tonne}$ Densité 1,80

Volume total de (laitier de ciment) en tonne = $13.43 \times 1.1 \text{ Tonne} = 12.57 \text{ Tonnes}$

➤ Attente prise de 48 heures.

Phase II : Colonne technique API Ø 18''5/8 :

➤ Forage de reconnaissance en Ø 12''1/4 de la cote (45 à 310) m.

➤ Elargissage en Ø 26'' de la cote (45 à 310) m.

➤ Mise en place colonne technique API Ø 18''5/8 de la cote 310 ml jusqu'au sol

➤ Cimentation de l'espace annulaire par ciment forage entre le trou Ø 26" et la colonne Technique Ø18''5/8 de la cote 310 ml jusqu'au sol.

➤ Volumes de laitier de ciment calculer selon l'espace annulaire :

Espace annulaire (S'): casing - casing: Ø (28''×18''5/8)

Casing API Ø 28'' → 397.2 l/m $S' = \text{Csg Ø 28''} - \text{Csg Ø 18'' 5/8}$

Casing API Ø 18''5/8 (extérieur) → 176,2 l/m $S' = 397,2 - 176,2 = 221(\text{l/m})$

$S' = 221(\text{l/m})$ H' (Profondeur) = 45 m

V' (volume de laitier de ciment) = $S' \times H' = 221 \times 45 = 9945$ litres = 9.94 m^3

$V' = 9.94 \text{ m}^3$

Espace annulaire (S''): Trou-casing : Ø (26''×18''5/8)

Trou Ø 26'' → 342.5 l/m $S'' = \text{Trou Ø 26''} - \text{Csg Ø 18''5/8}$

Casing API Ø 18''5/8 (extérieur) → 176.2 l/m $S'' = (342.5 - 176.2) = 166.3 \text{ l/m}$

H'' Profondeur : = de 45 m à 310 m = 265 m

S'' (volume espace annulaire litre par mètre) = 166.3 l/m

V'' (Volume) = $S'' \times H'' = 166.3 \times 265 = 44069.5$ litre = 44.06 m^3

Volume (laitier de ciment) majoré à 18% :

Volume total majoré = $(18\% V'' + V'') = (7.93 + 44.06) \text{ m}^3 = 51.99 \text{ m}^3$

$V'' = 51.99 \text{ m}^3$

$V2$ (Total) = $V' + V'' = (9.94 + 51.99) \text{ m}^3 = 59.92 \text{ m}^3$

$V2 = 59.92 \text{ m}^3$ soit : $1 \text{ m}^3 = 1.1 \text{ Tonne}$ Densité 1,80

$V2$ (Total) en tonne = $59.92 \text{ m}^3 = 59.92 \times 1.1 \text{ Tonne} = 65.91 \text{ Tonnes}$

- Attente prise de 48 heures.

Phase III : Colonne de complétion API Ø13''3/8 :

- Forage en Ø 12''1/4 de (310 à 1406) m.
- Elargissage en Ø 17''1/2 de la cote (310 à 1406) m.
- Mise en place colonne de complétion API Ø13''3/8 de 1406 m jusqu'à surface du sol
- Cimentation de l'espace annulaire par ciment forage entre le trou Ø 17''1/2 et la colonne de complétion Ø13''3/8 de 1406 m jusqu'au sol.
- Volumes de laitier de ciment calculer selon l'espace annulaire :

Espace annulaire (S') : casing - casing: Ø (18''5/8×13''3/8)

Casing API Ø 18''5/8 (intérieur) 159.74 l/m $S' = \text{Csg } \text{Ø } 18''5/8 - \text{Csg } \text{Ø } 13''3/8$

Casing API Ø 13''3/8 (extérieur) 90.80 l/m $S' = 159.74 - 90.80 = 68.94 \text{ l/m}$

S' (volume espace annulaire litre par mètre) = 68.94 l/m

H' (Profondeur) = 310 m

V' (volume de laitier de ciment)= $S' \times H' = 68.94 \times 310 = 21371.4 \text{ litres} = 21.37 \text{ m}^3$

$V' = 21.37 \text{ m}^3$

Espace annulaire (S'') : Trou-casing : Ø (17''1/2×13''3/8)

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

Casing API Ø 13''3/8 (extérieur) $\rightarrow$ 90.80 l/m $S'' = (155.2 - 90.80) \text{ l/m} = 64.5 \text{ l/m}$

H'' Profondeur : = de 310 m à 1406 m = 1096 m

S'' (volume espace annulaire litre par mètre) = 64.5 l/m

V'' (Volume) = $S'' \times H'' = 64.5 \times 1096 = 70692 \text{ litres} = 70.69 \text{ m}^3$

V'' Volume (laitier de ciment) majoré à 18% :

V'' (Volume total majoré) = $(18\% V'' + V'') = (12.72 + 70.69) \text{ m}^3 = 83.41 \text{ m}^3$

$V'' = 83.41 \text{ m}^3$

V_3 (total) = $V' + V'' = (21.37 + 83.41) \text{ m}^3 = 104.78 \text{ m}^3$ $V_3(\text{total}) = 104.78 \text{ m}^3$

soit : $1 \text{ m}^3 = 1.1 \text{ Tonne}$ Densité 1,80

V_3 (Total) en tonne = $104.78 \text{ m}^3 = 104.78 \times 1.1 \text{ Tonne} = 115.26 \text{ Tonnes}$

- Attente prise de 48 heures.

Phase IV : Colonne de captage Inox 8''5/8 et colonne production API 9''5/8

-Forage de reconnaissance en Ø12''1/4 de 1406 m jusqu'à la base de l'aquifère à 1850 m

-Enregistrement Diagraphique (PS, G.RAY, Résistivité, PN, GN et latéral, Dia mètreur et pendagéométrie) de 1406 m jusqu'au 1850 m.

-Descente colonne de captage Inox Ø 8"5/8 super renforcé (Super-well) de 1850m à 1406 m suivi des accessoires : Raccord diélectrique Ø (8"5/8×9"5/8)+Liner Hanger Packer + Anneau de cimentation + DV) de 1406m à 1394m accompagné de la colonne de production API Ø 9"5/8 de 1394m jusqu'au surface du sol.

-Ancrage de la colonne mixte Ø (8"5/8×9"5/8) selon l'évolution du poids du liner au martin decker

-Cimentation de l'espace annulaire entre les deux casings : Ø (13"3/8 × 9"5/8) De 1394 m jusqu'au sol.

➤ Volumes de laitier de ciment calculer selon l'espace annulaire :

Espace annulaire (S') : casing - casing: Ø (13"3/8 × 9"5/8)

Casing API Ø 13"3/8 (intérieur) → 77.24 l/m $S' = C_{sg} \text{ Ø } 13"3/8 - C_{sg} \text{ Ø } 9"5/8$

Casing API Ø 9"5/8 (extérieur) → 46.94 l/m $S' = 77.24 - 46,94 = 30.30 \text{ (l /m)}$

$S' = 30.30 \text{ (l /m)}$

H' (Profondeur) = 1394 m

V'(volume de laitier de ciment) = $S' \times H' = 30.30 \times 1394 = 42238.2 \text{ litres} = 42.23 \text{ m}^3$

$V' = 42.23 \text{ m}^3$ soit : $1 \text{ m}^3 = 1.1 \text{ Tonne}$ Densité 1,80

V'(Total) en tonne = $42.23 \text{ m}^3 = 42.23 \times 1.1 \text{ Tonne} = 46.45 \text{ Tonnes}$

➤ Attente prise de 48 heures.

Phase V.

-Mise en place d'une tête de forage

-Dégorgement du forage avec de l'eau claire

-Auto-développement du forage

-Essai de débit et par pression

2.5. Essais de débit

C'est un essai de pression pour les forages artésiens jaillissants, captant la nappe du continental intercalaire, il a été réalisé par l'entreprise –TASSILI Spa Hassi Messaoud, sur une profondeur de 1850m.ces essais à pour objectif de déterminer les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère à savoir :

-Débit d'exploitation, débit critique et les rabattements correspondants

-les paramètres hydrodynamiques : Transmissivité T, Perméabilité K et le coefficient d'emmagasinement s'il y'a lieu, Le rayon d'action Ra (rayon d'influence).

Tableau 24. Essais de débit par palier (courte durée).

	Temps	Débit (Q)		Pression	ND	s
	(Heure)	(l/s)	(m³/h)	(bar)	(m)	(m)
Statique		.	.	12,50	125	0
Palier 1	8	70	252	9	90	35
Palier 2	8	100	360	5.50	55	70
Palier 3	8	120	432	3	30	95

Tableau 25. Détermination des valeurs "B" ET "C" Forage Nezla (Sidi Mahdi)

	Q	s	s/Q	s1=BQ	s2= Q2	S=BQ+CQ2	B	C
	(m3/h)	(m)						
Statique		0		0	0	0	0,04	0,00043
Palier 1	252	35	0,14	10,1	27,3	37,39		
Palier 2	360	70	0,2	14,4	55,7	70,13		
Palier 3	432	95	0,22	17,3	80,2	97,53		

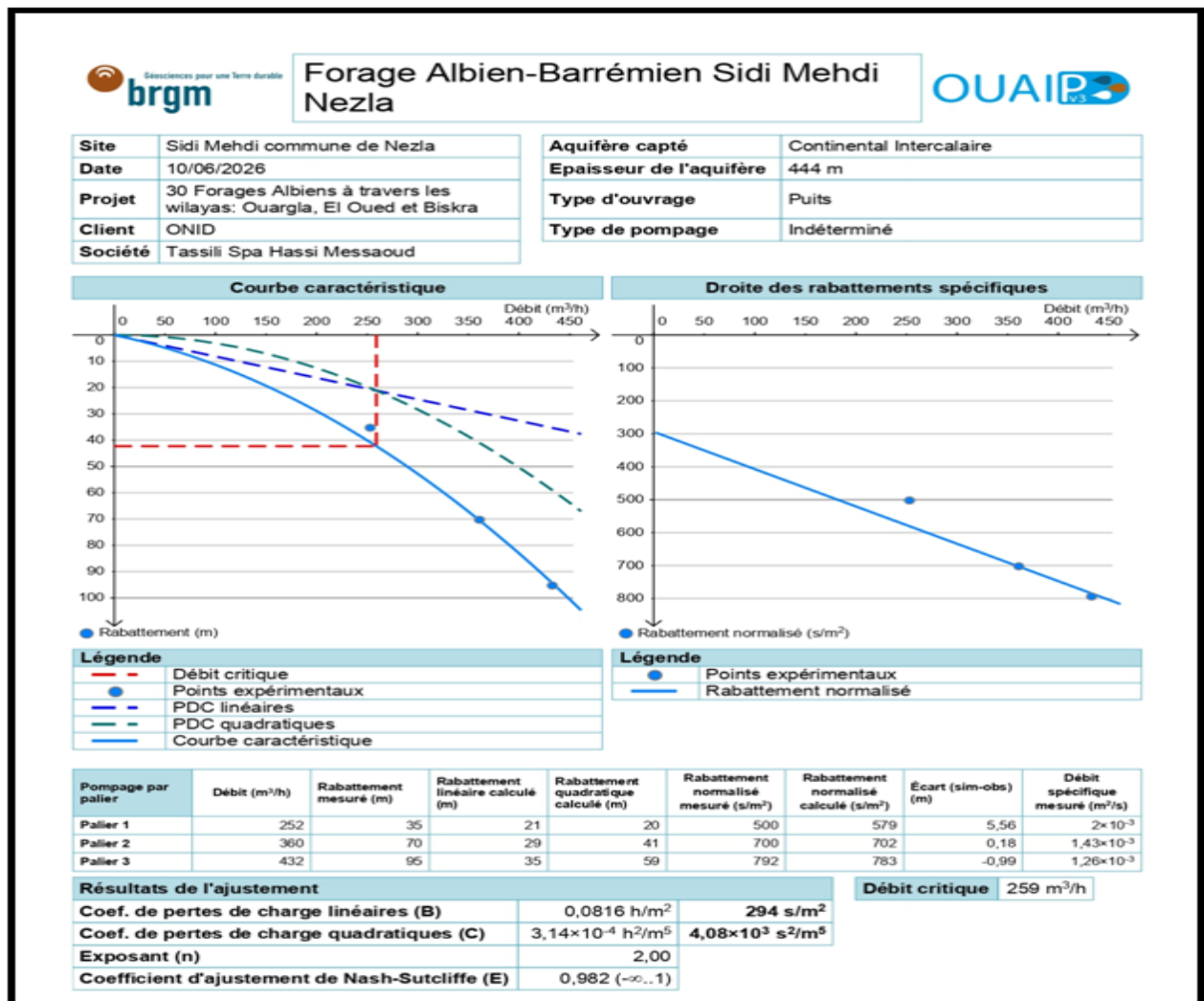


Figure.45. Simulation des essais de débit de courte durée par logiciel OUAIP de BRGM

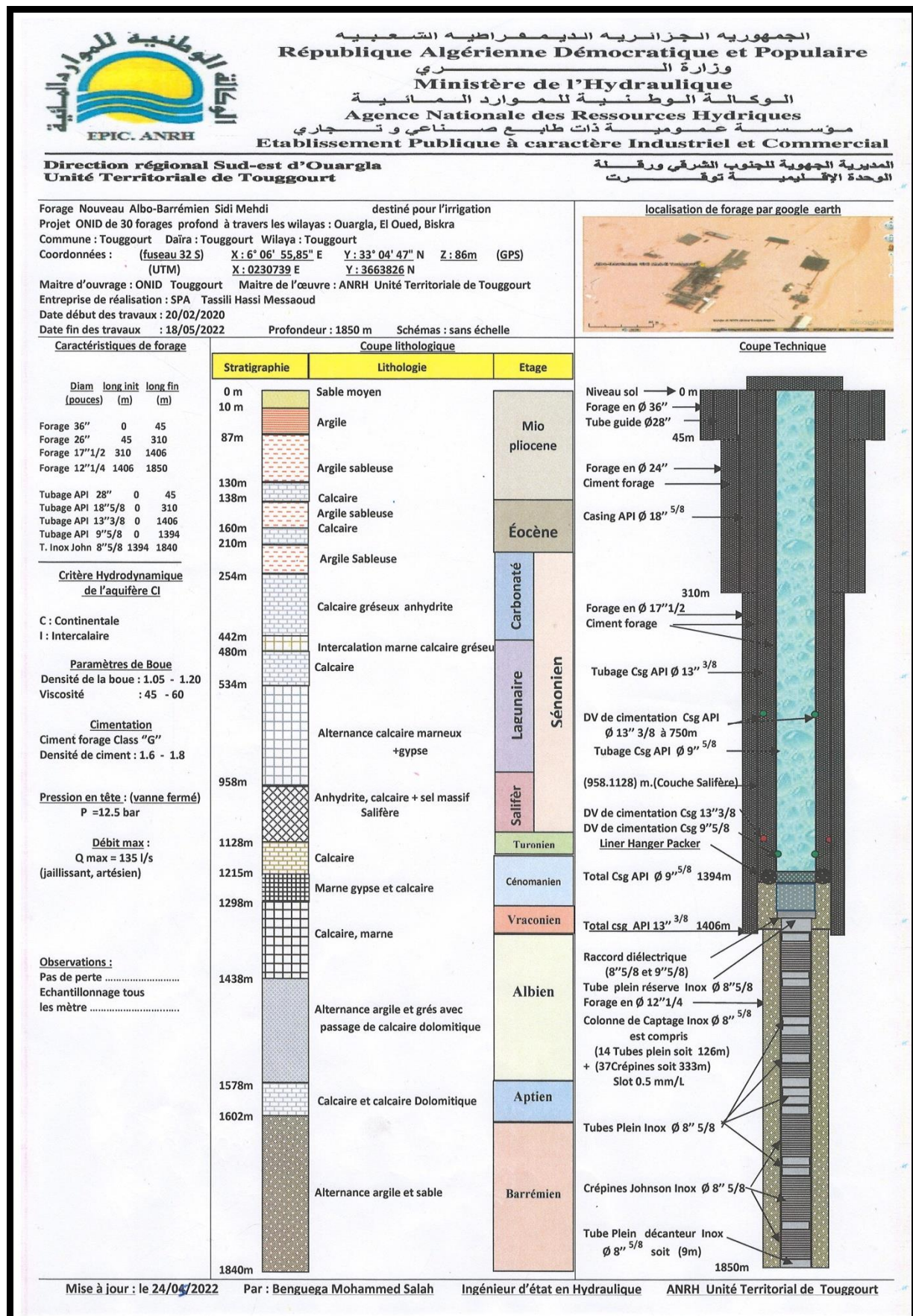


Figure.46. Fiche technique de forage Albo-Barrémien de Sidi Mehdi (l'échelle Schématique)

3.Problèmes techniques rencontrés lors de la réalisation des forages profonds :

étude de cas du forage Albien 102 (El Abadlia)

3.1. Localisation de forage

Le forage Albien 102 (El Abadlia), situé dans la commune d'El M'rara (wilaya d'El Meghaier), a été réalisé en 1974 par la SONATRACH pour l'irrigation des palmeraies locales. D'une profondeur de 1 975 mètres, cet ouvrage capte la nappe de l'Albien (Continental Intercalaire). Une fuite d'eau étant apparue au niveau de la tête de puits, un diagnostic technique et une expertise approfondie sont désormais indispensables. L'objectif est de déterminer l'origine de l'anomalie afin de résoudre rapidement ce problème, qui présente un risque environnemental majeur.

Tableau 26. Coordonnées (WGS84) du forage d'Albien 102 El Abadlia.

(UTM) Fuseau 31S	(Géographique)
X : 0750258,83	X : Longitude X : 5° 41' 35,6'' E
Y : 3607819,55	Y : Latitude Y : 33° 25' 50'' N
Z(sol) : 121m (GPS)	Z(sol) : 121m (GPS)



Figure.47. localisation de du forage d'Albien 102 El Abadlia par Google Earth

3.2. Description lithologique et hydrogéologique

Le sondage hydrogéologique réalisé dans la zone d'étude, d'une profondeur de 1575 m, a traversé des formations sédimentaires appartenant au Crétacé inférieur.

La coupe géologique de l'ouvrage a été établie à partir de l'analyse des cuttings récupérés au cours du forage, en fonction de la nature des terrains rencontrés. Ces analyses ont permis de mettre en évidence le profil lithologique du forage, conformément aux données établies par SONATRACH.

Tableau 27. Coupe lithologique du forage Albien 102, dit El Abadlia.

Profondeur en (m)	Description géologique
0 -----50	Sables et grés argileux
50----- 150	Marne blanche gypseuse
150-----181	Calcaire marneux
181 -----252	Marne , anhydrite et gypse , dolomie
252 -----332	Calcaire marneux dolomitique à gypse et anhydrite
332-----404	Calcaire marneux
404-----476	Calcaire dolomitique à anhydrite
476-----639	Dolomie et marne blanche
639-----776	Marne rouge et grise à anhydrite
776-----911	Anhydrite, marne
911-----1008	Calcaire marneux brune
1008-----1071	Argile et marne dolomitique
1071-----1236	Marne dolomitique et calcaire dolomitique
1236-----1285	Marne dolomitique
1285-----1440	Argile sableuse
1440-----1575	Sable et grés fin

3.3. Caractéristiques de forage

D'après les données disponibles relatives à l'ouvrage étudié, et conformément à la coupe technique présentée ci-après, les principales caractéristiques du forage peuvent être résumées comme suit :

- Numéro BIRH : H10-67
- Désignation de l'ouvrage : Forage 102, dit El Abadlia
- Entreprise de réalisation : SONATRACH
- Année de réalisation : 1974
- Diamètre du tubage cimenté : 13''3/8
- Diamètre du tubage suspendu non cimenté : 9''5/8

- Type de crépine : Crépine Johnson de diamètre Ø 10'', munie d'un cône de réduction 9''5/8 × 10''
- Débit d'exploitation : 50 l/s
- Pression : faible, non mesurée en raison de l'absence de prise de pression
- Température de l'eau : entre 50 et 55 °C

3.4. Description de l'effondrement observé à proximité du forage

Un effondrement du terrain a été observé depuis plusieurs années à environ 50 m au nord-ouest de la tête du puits. Il présente une forme globalement ellipsoïdale, avec des dimensions estimées à environ 12 × 14 m et une profondeur variant entre 5 et 8 m. Cette zone d'affaissement semble s'étendre en direction du forage sur une distance d'environ 15 à 20 m. Cet effondrement a favorisé l'apparition de cavités souterraines, de fissures et de zones d'affaissement autour du forage, traduisant un problème de stabilité du sol à proximité de l'ouvrage.

L'instabilité constatée pourrait être liée à plusieurs facteurs, notamment un éventuel problème de corrosion du tubage du forage, ou encore à l'infiltration des eaux de ruissellement et des eaux provenant de fuites au niveau des vannes latérales de l'ancien forage. Ces infiltrations peuvent contribuer progressivement à l'érosion interne du terrain et à la formation de vides souterrains, favorisant ainsi l'apparition d'effondrements en surface.

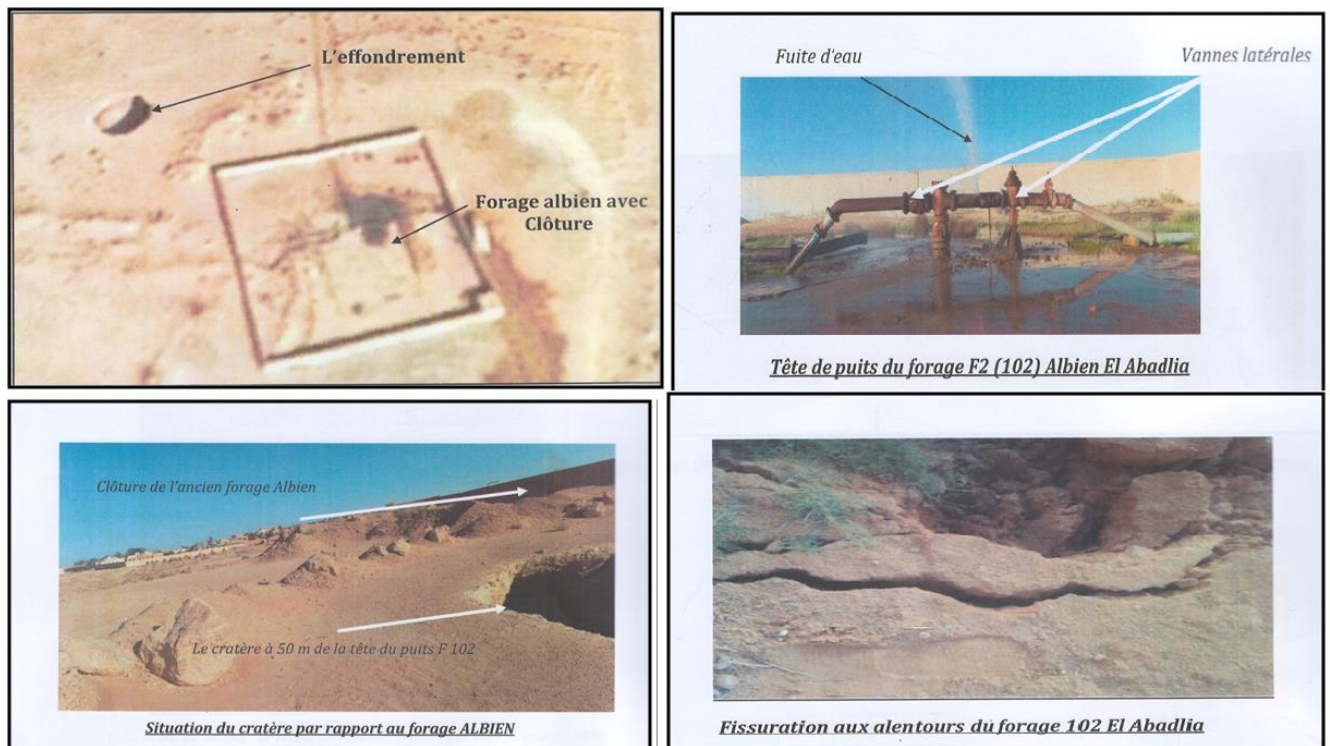


Figure 48: Photos illustrant l'effondrement et la fissuration du terrain à proximité du forage Albien 102.

3.5. Déroulement des travaux de bouchage du forage Albien 102

Les travaux de bouchage du forage profond Albien 102, dit El Abadlia, ont été réalisés à partir de 10/03/2025, suivant plusieurs opérations techniques destinées à condamner définitivement l'ouvrage et à assurer l'étanchéité du forage. Les principales données relevées lors de l'intervention sont les suivantes :

- Réalisation d'une opération de diagrapie **CBL/VDL** sur une profondeur de **1200 m**, à travers le tubage **9''5/8 API** ;
- Débit mesuré : **77,72 l/s** ;
- Pression mesurée : **3 bars** ;
- Température de l'eau : **50,9 °C** ;
- Injection d'une boue salée saturée, pour un volume total de **950 m³** ;
- Injection de ciment, pour un volume total de **144 m³** ;
- Mise en place d'un bouchon en béton sur une profondeur de **17 m** ;
- Achèvement de l'opération de bouchage du forage Albien 102.

3.6. Bouchage de forage

Le bouchage d'un forage profond Albien est une opération technique visant à condamner définitivement un ouvrage devenu inutilisable, dangereux, abandonné ou susceptible de présenter un risque pour l'environnement. Il a pour objectif principal de protéger la nappe du Continental Intercalaire, appelée communément nappe albienne, contre toute forme de pollution, d'infiltration ou de communication hydraulique avec d'autres aquifères.

Cette opération permet également de restaurer l'étanchéité naturelle des formations géologiques traversées, de limiter les pertes d'eau et de pression dans les nappes captives, et d'assurer la sécurité du site ainsi que de son environnement immédiat.

En effet, un forage profond mal abandonné peut constituer une voie préférentielle de circulation des eaux entre plusieurs horizons aquifères. Il peut ainsi favoriser la migration des polluants de surface vers les nappes profondes, entraîner une dégradation durable de la qualité des eaux souterraines et représenter un danger physique pour les personnes et les animaux.

Ainsi, le bouchage d'un forage Albien constitue une mesure indispensable pour préserver la ressource en eau, maintenir l'équilibre hydrogéologique et sécuriser durablement l'ouvrage abandonné.

3.6.1. Principales opérations de bouchage

Les travaux de bouchage d'un forage profond comprennent généralement les opérations suivantes :

- Retrait des équipements de pompage et des accessoires installés dans l'ouvrage ;
- Nettoyage et inspection de l'état général du forage ;
- Remplissage du forage à l'aide de matériaux d'obturation adaptés, tels que le coulis de ciment, la bentonite ou des matériaux équivalents ;
- Mise en place de bouchons étanches au niveau des horizons aquifères et des zones sensibles ;
- Scellement définitif de la tête du forage en surface.

3.6.2. Étapes du bouchage d'un forage profond Albien

A. Diagnostic préalable

Avant toute opération de bouchage, un diagnostic technique de l'ouvrage doit être réalisé. Cette étape consiste à :

- Examiner les archives techniques du forage ;
- Identifier la profondeur totale de l'ouvrage ;
- Déterminer les diamètres des tubages et des équipements en place ;
- Localiser les crépines, les tubages et les zones captantes ;
- Vérifier l'état général du forage par inspection ou par diagraphies appropriées.

B. Retrait des équipements

Tous les équipements présents dans l'ouvrage doivent être retirés avant le début du bouchage. Il s'agit notamment de :

- La pompe immergée ;
- La colonne de refoulement ;
- Les câbles électriques ;
- Les instruments de mesure ;
- Les accessoires de tête de forage.

C. Nettoyage du forage

Le forage doit être nettoyé afin d'éliminer les éléments pouvant gêner la bonne mise en place des matériaux de bouchage. Cette opération permet d'évacuer :

- Les dépôts minéraux ;
- Les boues accumulées ;
- Les sables présents dans l'ouvrage ;
- Les corps étrangers éventuels.

Cette étape est importante, car elle favorise une meilleure adhérence des matériaux d'obturation et améliore l'efficacité du bouchage.

D. Mise en place des matériaux de bouchage

Le comblement du forage est généralement réalisé du fond vers la surface, à l'aide de matériaux adaptés à la nature de l'ouvrage et aux formations traversées. Les matériaux les plus utilisés sont :

- Le coulis de ciment ;
- Le mélange ciment-bentonite ;
- La bentonite expansible ;
- Le gravier ou le sable propre, dans certaines sections non sensibles.

L'injection doit être effectuée à l'aide d'un tube plongeur, afin d'éviter la formation de vides et de garantir un remplissage homogène du forage.

E. Obturation des zones aquifères

Une attention particulière doit être portée aux zones aquifères traversées par le forage, notamment :

- Les niveaux captants ;
- Les zones crépinées ;
- Les interfaces entre les différents aquifères.

Des bouchons étanches en ciment ou en bentonite doivent être mis en place afin de reconstituer l'étanchéité naturelle des formations géologiques et d'empêcher toute communication hydraulique entre les nappes.

F. Fermeture de la tête du forage

Après le remplissage complet de l'ouvrage, la tête du forage doit être définitivement condamnée. Cette opération comprend généralement :

- La coupe du tubage sous le niveau du sol ;
- La réalisation d'une dalle en béton ;
- Le repérage de l'ouvrage bouché et sa conservation dans les archives techniques.

4. Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter le suivi technique de deux forages profonds Albo-Barrémiens réalisés dans la région de Touggourt : le forage d'El Mostakbal, destiné à l'alimentation en eau potable, et le forage de Sidi Mehdi, destiné à l'irrigation des palmeraies. Ces deux ouvrages atteignent une profondeur totale de 1 850 m et captent l'aquifère du Continental Intercalaire.

Sur le plan lithologique, les coupes montrent une succession importante de terrains sédimentaires appartenant à plusieurs formations géologiques : Miopliocène, Éocène, Sénonien carbonaté, Sénonien lagunaire, Sénonien salifère, Turonien, Cénomanién, Vraconien, Albien, Aptien et Barrémien. Ces formations sont constituées principalement de sables, d'argiles, d'argiles sableuses, de calcaires, de calcaires gréseux, de marnes, de gypse, d'anhydrite, de sel massif et de niveaux dolomitiques.

L'aquifère capté correspond au Continental Intercalaire. Il est rencontré entre 1 400 m et 1 850 m au forage d'El Mostakbal, soit une épaisseur captée d'environ 450 m, et entre 1 406 m et 1 850 m au forage de Sidi Mehdi, soit une épaisseur d'environ 444 m. Les principales couches captées correspondent aux niveaux albo-barrémiens, notamment l'Albien, formé d'alternances d'argiles et de grès avec des passages de calcaire dolomitique, et le Barrémien, constitué d'alternances d'argiles et de sables.

Les essais de débit confirment le caractère artésien jaillissant de la nappe du Continental Intercalaire. Au forage d'El Mostakbal, la pression statique est de 14,7 bars. Les débits testés varient de 85 à 150 l/s, soit de 306 à 540 m³/h, avec une diminution progressive de la pression de 10,1 à 4,4 bars. Au forage de Sidi Mehdi, la pression statique est de 12,50 bars. Les débits testés varient de 70 à 120 l/s, soit de 252 à 432 m³/h, avec une pression qui diminue de 9 à 3 bars.

Les travaux ont été réalisés par la méthode Rotary avec boue bentonitique. Les principales étapes ont compris l'installation du chantier, la construction de l'avant-puits, la pose du tube guide, la mise en place des colonnes techniques et de complétion, la descente de la colonne de captage inox, la cimentation, les enregistrements diagraphiques, le dégorgement, l'auto-développement et les essais de débit. Ces opérations ont permis d'assurer une bonne reconnaissance lithologique et hydrodynamique de l'aquifère exploité.

La réalisation des forages profonds peut rencontrer des problèmes lors de la réalisation ou de l'exploitation. Ces problèmes peuvent présenter des risques pour la stabilité du sol, la sécurité du site et la protection des nappes profondes. Le bouchage définitif du forage, associé

au comblement des cavités, au drainage des eaux superficielles et à un suivi régulier, constitue une solution nécessaire pour limiter les infiltrations, prévenir les effondrements et préserver la ressource hydrique.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'étude et le suivi de réalisation des forages hydrauliques dans la région de l'Oued Righ ont permis de mettre en évidence l'importance stratégique des eaux souterraines dans un contexte saharien marqué par la rareté des eaux de surface, l'intensification des besoins agricoles et l'augmentation de la demande en eau potable. La région étudiée dispose d'un potentiel hydrogéologique important, représenté principalement par le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire, deux aquifères essentiels mais différents par leur profondeur, leurs conditions d'exploitation et leurs contraintes techniques.

Les forages captant le Complexe Terminal, notamment ceux de Megarine, Sidi Slimane, Blidet Amor et Goug, montrent que cette nappe constitue une ressource relativement accessible. Les profondeurs des ouvrages restent modérées, variant globalement entre 129 m et 170 m, avec des niveaux aquifères localisés dans des formations sableuses, gréseuses et calcaires. La méthode Rotary avec boue bentonitique, associée à l'équipement par tubages, crépines Johnson, gravillonnage, développement et essais de pompage, a permis d'assurer la mise en exploitation des ouvrages dans de bonnes conditions techniques.

Les forages profonds captant le Continental Intercalaire présentent, quant à eux, des contraintes plus importantes en raison de leur grande profondeur, de la température élevée des eaux et du caractère artésien de la nappe. Les cas des forages d'El Mostakbal et de Sidi Mehdi montrent que cette ressource possède un potentiel hydraulique considérable, avec des débits élevés et des pressions significatives. Cependant, son exploitation exige une maîtrise technique rigoureuse, notamment lors de la cimentation, de la descente des colonnes, des enregistrements diagrammiques et des essais de débit.

L'étude du forage Albien 102 d'El Abadlia met en évidence une autre problématique importante : celle des anciens forages profonds accidentés ou abandonnés. Les fuites, la corrosion éventuelle des tubages, l'instabilité du terrain et les risques de communication entre aquifères peuvent représenter une menace réelle pour la sécurité du site et la protection des nappes profondes. Dans ce contexte, le bouchage définitif du forage constitue une solution indispensable pour restaurer l'étanchéité géologique, empêcher les infiltrations polluantes et limiter les pertes d'eau et de pression.

La durabilité de l'exploitation des eaux souterraines dépend non seulement de la réussite des nouveaux ouvrages, mais aussi de la surveillance, de l'entretien et du bouchage sécurisé des forages anciens ou défectueux. Une gestion rationnelle de ces ressources demeure donc essentielle pour préserver les aquifères, sécuriser les ouvrages et garantir l'approvisionnement en eau des générations actuelles et futures.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. Belksier M.S (2017) Caractéristiques hydrogéologiques de la nappe superficielle dans la région de l'Oued Righ et évaluation de l'impact de la pollution et de la salinité sur la qualité de ses eaux. Ph D thesis, University of Annaba, Algeria :123p.
2. Belksier, M. S., Chaab, S., Abour, F., Zeddouri, A., Bouselsal, B., & Kechiched, R. (2014). l'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux de la nappe libre dans la région de Touggourt. International Journal for Environment & Global Climate Change, 2(3), 32-39.
3. Bouselsal B., Kherici N., Hadj-Said S., Belksier M.S. (2014) Qualité des eaux des aquifères de Sahara septentrionale cas des eaux des aquifères d'el-oued (SE Algérie). International Journal for Environment & Global Climate Change. Vol 2, Issue 3, 2014. P 21-31.
4. Bouselsal B., Kherici N., Hadj-Said S. (2015). Vulnérabilité et risque de Pollution de la nappe libre d'El-Oued (SE Algérie) : application de la Méthode DRASTIC. Bulletin du Service Géologique National., Vol. 26, n° 1.
5. Bouselsal B. (2016) Etude hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère libre d'El Oued souf (SE Algérie). Th. Doctorat Univ.de Annaba, 204p
6. Bouselsal B. (2017). Forage d'eau (procèdes et mesures) ; Destiné aux étudiants de 3èmeannée hydrogéologie. Université de Kasdi Merbah.Ouargla. 170p.
7. Bouselsal B., Belksier M.S. 2018. Caractérisation géochimique de l'aquifère de Complexe Terminal de El-Oued (SE Algérie) . Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement. Volume III- Numéro1- Avril 2018. P 74 -80.
8. Boussaada N, Bouselsal B, Benhamida SA, Hammad N, Kharroubi M (2023) Geochemistry and water quality assessment of continental intercalary aquifer in Ouargla region (Sahara, Algeria).J Ecol Eng24(2)
9. Bouznad I.E (2017) Ressources en eau et gestion intégrée dans la vallée de Oued Righ (Sahara septentrional algérienne). PhD thesis, University of Annaba, Algeria : 201p.
10. Busson G (1967) Le Mésozoïque saharien. 1ère partie : L'Extrême Sud-tunisien. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 8, 194 p. Ed. C.N.R.S.
11. Cornet A (1964) Introduction à l'hydrogéologie Saharienne. Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique, 61, 5–72.

12. Busson G (1970) Le Mésozoïque saharien. 2ème partie : Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens. Edit., Paris, « Centre Rech. Zones Arides », Géol., 11, 811p. Ed. C.N.R.S.
13. Castany G (1982) Bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie-Tunisie). Aquifère du Continental Intercalaire et du Complexe terminal. Bull. BRGM 2 III (2), 127–147.
14. OSS (Observatoire Sahara et Sahel) (2010) GEOAQUIFER: Amélioration de la connaissance et de la gestion concertée du système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) par l'utilisation des images satellitaires. Rapport de synthèse. OSS, Tunisie. 23p.
15. UNESCO (1972) Etude des Ressources en Eau de Sahara Septentrional. UNESCO, Paris, France.
16. Mabillot, Albert. (1971). Forage d'eau : guide pratique, édition : Johnson filtration systems, Naintre. 237p.
17. Detay, M. (1993). Le forage d'eau, réalisation, entretien et réhabilitation. Masson, 379 p
18. Bouznad Imade Eddine (2010) Ressources en eau et Essai de la gestion intégrée dans Sud d'Oued Righ . Mémoire de magister. Univ. Annaba, 128P.
19. Busson G (1971) Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Edit., Paris, 464p.
20. B. Boualem, "FORAGE D'EAU Procédés et mesures," Polycopié de cours, UKMO, 2017.
21. Bellaoueur A. 2008. Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et perspectives de solutions palliatives (Sahara Nord-est Septentrional - Algérie), Mémoire de Magister. Univ. Batna, Algérie, 146p.
22. Abdelkader BAALI .Le passage Turonien-Sénonien dans le plateau Tedmait: Biostratigraphie et Sédimentologie), Mémoire de Magister. Univ. Oran, Algérie, 109p.
23. Draoui AM. 2013. Faciès et évolution séquentielle du Continental Intercalaire Cuvette DeSbaa, Sahara Occidental Algérie Mémoire de Magister. Univ. Annaba, Algérie, 161p.
24. BELKSIER M. (2009)- Hydrogéologie et hydrochimie de la nappe superficielle dans la région de l'Oued Righ et l'évaluation de sa vulnérabilité. Mémoire de Magister, Univ. Tlemcen (Algérie). 173p.
25. Baali. F, (2007) : Contribution à l'étude hydrogéologique, hydrochimique et Vulnérabilité d'un système aquifère karstique en zone semi aride, Cas du Plateau de Chéria N. E. Algérien, Thèse de Doctorat université Annaba, 152p.

26. Benhamza Messaoud.2013.Aperçu hydrogéologique et hydrochimique sur le système de captage traditionnel des eaux souterrains « Foggara » dans la région d'Adrar, Mémoire de Magister. Université Abou baker Belkaid .Tlemcen 2014.
27. Rapport ANRH sur l'état de forage Albien 102 dit Abadlia dans la commune d'El M'rara Wilaya d'El Meghaier décembre 2022