

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DES
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT 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

THEME

Etude et suivi des forages hydrauliques dans la région de Ghardaïa

Présenté par

M. KEBILI Mokhtar, M. BOUZIANE Mohamed Chrif Nadji

Soutenu publiquement le

24 / 06 / 2018

Devant le jury :

Président :	SATOUH Adel	M. C. B Univ. Ouargla
Promoteur :	BOUSELSAL Boualem	M. C. A Univ. Ouargla
Examineur :	BELKSIER Mohamed Salah	M. C. B Univ. Ouargla

Année Universitaire : 2017/2018

Remerciements

Avant tout, nous remercions **Dieu** le tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens de pouvoir accomplir ce modeste travail.

Nos reconnaissances vont tout particulièrement :

À notre directeur du mémoire **Mr BOUSELSAL Boualem**, M.C.A à l'université de KASDI Merbah Ouargla, d'avoir accepté d'encadrer et de suivre nos travail de prés avec sa rigueur scientifique, ses conseils et sa disponibilité qui nous ont permis de mener à bien ce travail. Nous tenons aussi à lui remercier pour sa gentillesse exceptionnelle.

À messieurs les membres jury :

- Mr **SATOUH Adel**, M. C. B à l'université de KASDI Merbah Ouargla, qui a accepté de présider le jury,
- Mr **BELKSIER Mohamed Salah**, M. C. B à l'université de KASDI Merbah Ouargla, d'avoir bien voulu assister au jury et critiquer ce mémoire.

À tous les enseignants du département de géologie de l'université de KASDI Merbah, qui nous ont enseignés tout au long de nos cinq ans de formation.

À tous les enseignants qui nous ont formés au cours de notre cursus scolaire dès le primaire, et en particulier, nos deux enseignantes : Mme **DJEBRIT Aicha** et Mme **BRAHE Razkia**.

À Mr **DEBBA Fouad**, bureau d'études spécialisée en hydrogéologie à Djamaa.

À Mr **ACHOUR Mansour**, Doctorant hydrogéologie, Université de Oran 2, ingénieurs de l'ANRH «Ghardaia».

À Mr **BENOMAR Abderrahmane** chef de service dans la DRE «Ghardaia».

À nos chers parents et nos chères familles pour leur aide précieux et leur encouragement continue.

Enfin, nous tenons à remercier tous les amis et les collègues qui nous ont aidés et encouragés pour réaliser ce mémoire, nous citons spécialement : **KABDI Badreddine**, **BOUSSAID Taha**, **BENZOUADA Djaâfar**.

RESUMÉ

Etude et suivi des forages hydrauliques dans la région de Ghardaïa

La région de Ghardaïa est située au sud de l'Algérie, sa superficie est d'ordre de 84 660,12 km², avec une population de 451.456 habitants. La région appartient au système aquifère de Sahara septentrional (SASS) caractérisé par la superposition de deux aquifères (le continental intercalaire et le complexe terminal).

La réalisation des forages hydrauliques dans la région de Ghardaïa, passe par plusieurs étapes, suivant la profondeur et la pression de la nappe. Pour les forages profonds (>1000 m), l'opération consiste à la pose du tube guide avec cimentation, en suite la pose d'une colonne de tubage avec cimentation, suivie de la pose d'une colonne de production avec cimentation et en fin la pose d'une colonne de captage constituée d'une crépine type Johnson avec des intercalations de tube plein (lorsque la crépine est longue), de tube de décantation à la base et de tube réserve au sommet. Pour les forages de moyen et faible profondeurs, on exécute deux phases de cimentation pour la pose du tube guide et la pose de la colonne de production, avant la mise en place d'une colonne de captage.

L'introduction du massif filtrant s'effectue seulement lorsque la nappe est non jaillissante, si c'est le cas on met en place packer sans mise en place de massif filtrant. L'opération de forage terminera par dégorgeage et développement des puits pour élimination des particules fines et l'exécution des essais de pompage pour déterminer le débit d'exploitation.

Mots clés : Ghardaïa, forage, continental intercalaire, complexe terminal, crépine.

الملخص

دراسة ومتابعة انجاز آبار المياه في منطقة غرداية

تقع منطقة غرداية جنوب الجزائر ، وتبلغ مساحتها 84606 كم² ، ويبلغ عدد سكانها 451.456 نسمة. تنتمي المنطقة إلى نظام مستودعات مياه الصحراء الشمالية (SASS) الذي يتميز بتراكب اثنين من طبقات المياه الجوفية (المتداخل القاري والمركب النهائي).

يتم حفر الآبار الهيدروليكية في منطقة غرداية عبر عدة مراحل ، حسب عمق المياه وضغطها. للآبار العميقة (< 1000 م) ، العملية تنطوي على وضع أنبوب التوجيه مع الأسمنت ، بعد تثبيت عمود غلاف مع الاسمنت ، تليها وضع عمود الإنتاج مع الاسمنت وأخيرا زرع عمود القبض يتكون من مصفاة من نوع جونسون مع اقحام أنابيب كاملة (عندما تكون المصفاة طويلة)، من أنبوب الاستقرار في الأسفل وأنبوب الاحتياط في الأعلى. من أجل الآبار المتوسطة والمنخفضة، وضع الاسمنت على مرحلتين عند وضع انبوب التوجيه وعند وضع عمود الانتاج، قبل وضع عمود القبض.

لا يتم تنفيذ كتلة الترشيح إلا عندما لا تتدفق المياه فوق السطح، أما إذا كانت هذه هي الحالة يتم إعداد كتلة الترشيح. سيتم إنهاء عملية الحفر عن طريق عملية التفريغ والتطوير للآبار لإزالة الجسيمات الدقيقة وإجراء اختبارات الضخ لتحديد معدل التدفق.

كلمات المفتاح: غرداية، آبار، حفر، طبقة، انبوب، مياه جوفية.

ABSTRACT

Study and monitoring of hydraulic drilling in the Ghardaia region

The region of Ghardaïa is located in the south of the Algerian, its surface is of the order of 84 660.12 km², with a population of 451.456 inhabitants. The region is part of the northern Sahara aquifer system (SASS) characterized by the superposition of two aquifers (the continental intercalary and the complex terminal).

The drilling of hydraulic boreholes in the Ghardaia region goes through several stages, depending on the depth and pressure of the water table. For deep drilling (> 1000 m), the operation involves laying the guide tube with cementing, then laying a column of casing with cementing, followed by the installation of a production column with cementation and end the installation of a collection column consisting of a strainer type Johnson with intercalations of solid tube (when the strainer is long), of the settling tube at the base and reserve tube at the top. For the drilling of medium and shallow depths, two cementing phases are carried out for the laying of the guide tube and the laying of the production column, before the installation of a capture column.

The introduction of the filtering mass to be carried out only when the sheet is not gushing, if it is the case one to set up packer without setting up filtering mass. The drilling operation will terminate by disgorging and developing wells to remove fine particulates and performing pumping tests to determine the operating flow.

Keywords: Ghardaia, drilling, aquifer, tube, cementation, tank, pumping.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	1
 Partie 1 : GENERALITES SUR LA ZONE D'ETUDE	
1. Présentation de la zone d'étude.....	2
1.1. Situation géographique.....	2
1.2. La géomorphologie de Ghardaïa.....	2
1.3. Contexte socio-économique.....	4
1.3.1. L'évolution de la population.....	4
1.3.2. Activité industrielle.....	4
1.3.2. Activité agricole.....	5
1.4. Gestion des ressources hydrique dans la région de Ghardaïa.....	5
1.4.1. Réseau hydrographique.....	5
1.4.2. Eaux souterraines.....	5
2. Contexte hydro-climatologique.....	6
2.1. Etude climatologique.....	6
2.1.1. Précipitations.....	6
2.1.2. Température.....	7
2.1.3. L'humidité.....	7
2.1.4. Le vent.....	8
2.1.5. L'évaporation.....	8
2.2. Régime climatique (Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN).....	9
2.3. Bilan hydrique.....	10
2.4. Hydrologie des principaux cours d'eau.....	10
3. Contexte géologique.....	12
3.1. La géologie régionale.....	12
3.1.1. Cadre tectonique et structural.....	12
3.1.3. Litho-stratigraphie.....	13
3.2. La géologie locale.....	15
4. Conclusion.....	17
 Partie 2 : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE	
1. SYSTEME AQUIFERE DE SAHARA SEPTENTRIONAL.....	18
1.1. Extension de système aquifère de Sahara septentrional.....	18

1.2. Définition des aquifères du SASS.....	20
1.2.1. Complexe Terminal.....	20
1.2.1. Continental Intercalaire.....	20
2. Le système aquifère de Ghardaïa.....	23
2.1. Nappe superficielle de la vallée de M'Zab.....	23
2.2. Nappe du complexe terminal (CI) de Ghardaïa.....	24
2.3. Nappe du Continental Intercalaire (CI) de Ghardaïa.....	25
3. Conclusion.....	29

Partie 3 : GENERALITES SUR LES FORAGES HYDRAULIQUES

1. Les méthodes de forage d'eau.....	30
1.1. Forage au marteau fond de trou (MFT).....	30
1.2. Forage au marteau fond de trou avec tubage à l'avancement.....	30
1.3. Forage rotary circulation directe.....	31
1.4. Forage en circulation inverse.....	31
1.5. Forage par battage.....	32
2. les appareils de forages hydrauliques.....	33
2.1. Les équipements de surface.....	34
2.1.1. Les équipements de levage.....	34
2.1.2. Les équipements de rotation.....	34
2.1.3. Les équipements de pompage.....	35
2.1.4. Les équipements de puissance.....	35
2.2. Les équipements de fond.....	35
2.2.1. Les tiges.....	36
2.2.2. Les tiges lourdes.....	36
2.2.3. Les masse-tiges.....	36
2.2.4. Les stabilisateurs.....	36
2.2.5. Les outils de forage rotary.....	36
3. Les équipements de puits.....	38
3.1. Le tube plein.....	38
3.2. La crépine.....	38
3.3. Le massif filtrant (gravier additionnel).....	39
4. Règlements sur les l'exploitation des eaux souterraines.....	40
4.1. Forages de Continental Intercalaire (CI).....	40

4.1.1. Exécution et équipement.....	40
4.1.2. Diagraphie.....	41
4.1.3. Programme de boue.....	41
4.1.4. Cimentation.....	41
4.1.5. Essais des débits.....	42
4.1.6. Equipement de surface.....	43
4.1.7. Contrôle des forages.....	43
4.2. Forages au Complexe Terminal (CT).....	43
4.2.1. Forage de reconnaissance.....	43
4.2.2. Exécution et équipement.....	44
4.2.3. Diagraphies.....	44
4.2.4. Programme de boue.....	44
4.2.5. Equipement de surface.....	45
5. CONCLUSION.....	45

Partie 4 : SUIVIS DE LA REALISATION DES FORAGES HYDRAULIQUES

1. Suivis les forages profonds (CI).....	46
1.1. Forage de Guerrara.....	46
1.1.1. Localisation du forage.....	46
1.1.2. But de forage.....	46
1.1.3. Description lithologique et stratigraphie.....	46
1.1.4. Caractéristiques hydrogéologiques.....	46
1.1.5. Construction du forage.....	47
1.1.6. Mesure du débit.....	48
1.1.7. Coupe technique et lithologique du forage de Guerrara.....	48
1.2. Forage de Zelfana.....	49
1.2.1. Localisation du forage.....	49
1.2.2. But de forage.....	49
1.2.3. Description lithologique et stratigraphie.....	49
1.2.4. Construction du forage.....	49
1.2.5. Mesure du débit.....	50
1.2.6. Difficulté d'exécution.....	50
1.2.7. Coupe technique du forage de Zelfana.....	51
2. Suivis les forages moyennement profonds (CI).....	52

2.1 Forage de vallée de M'Zab.....	52
2.1.1. Localisation du forage.....	52
2.1.2. But de forage.....	52
2.1.3. Description lithologique et stratigraphie.....	52
2.1.4. Construction du forage.....	52
2.1.5. Résultat des essais de puits.....	53
2.1.6. Difficulté d'exécution.....	53
2.1.7. Coupe technique et lithologique du forage de vallée de M'Zab.....	54
2.2. Forage de Metlili.....	55
2.2.1. Localisation du forage.....	55
2.2.2. But de forage.....	55
2.2.3. Description lithologique et stratigraphie.....	55
2.2.4. Construction du forage.....	55
2.2.5. Résultat des essais de puits.....	56
2.2.6. Coupe technique et lithologique du forage de Metlili.....	57
3. Suivis les forages faible profonds.....	58
3.1. Forage de Hassi El Gara.....	58
3.1.1. Localisation du forage.....	58
3.1.2. But de forage.....	58
3.1.3. Description lithologique.....	58
3.1.4. Caractéristiques hydrogéologiques.....	58
3.1.5. Construction du forage.....	58
3.1.6. Mesure du débit.....	59
3.1.7. Coupe technique et lithologique du forage de Hassi El Gara.....	59
3.2. Forage de Hassi Touil.....	60
3.2.1. Localisation du forage.....	60
3.2.2. But de forage.....	60
3.2.3. Description lithologique et stratigraphie.....	60
3.2.4. Construction du forage.....	60
3.2.5. Mesure du débit.....	61
3.2.6. Difficulté d'exécution.....	61
3.2.7. Coupe technique et lithologique du forage de Hassi Touil.....	62
4. CONCLUSION.....	63
CONCLUSION GENERALE.....	64

Liste des tableaux

Partie 1 : GENERALITES SUR LA ZONE D'ETUDE

Tableau 01: Evolution de la population de Ghardaïa (DPSB, 2016).....	4
Tableau 02: Précipitations moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).....	6
Tableau 03: Température moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).....	7
Tableau 04: Humidité moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).....	7
Tableau 05: Vites de vent moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).....	8
Tableau 06: Évaporation moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).....	9
Tableau 07: Bilan hydrique selon Thornthwaite à la station de Ghardaïa (2007-2017).....	10

Partie 2 : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

Tableau 08: Comparaison entre l'eau de nappe superficiel de la région et de l'OMS (Source ANRH).....	24
Tableau 09: La répartition des forages et Le volume d'eau extrait de la nappe du (CI) pour chaque utilisation (ACHOUR, 2011).....	26
Tableau 10: Comparaison entre l'eau de la nappe (CI) de la région et de l'OMS (ANRH, 2005).....	29

Partie 3 : GENERALITES SUR LES FORAGES HYDRAULIQUES

Tableau 11: Programme de boue pour les forages (CI).....	41
--	----

Liste des figures

Partie 1 : GENERALITES SUR LA ZONE D'ETUDE

Fig. 01: Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa.....	2
Fig. 02: Géomorphologie de la région de Ghardaïa.....	3
Fig. 03: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (Période : 2007- 2017).....	6
Fig. 04: Histogramme des températures moyennes mensuelles (Période : 2007- 2017).....	7
Fig. 05: Histogramme des humidités moyennes mensuelles (Période : 2007- 2017).....	8
Fig. 06: Histogramme des vites de vent moyennes mensuelles (Période : 2007- 2017).....	8
Fig. 07: Histogramme des évaporations de vent moyennes mensuelles (Période : 2007- 2017).....	9
Fig. 08: Diagramme ombrothermique de GAUSSEN (Période : 2007- 2017).....	9
Fig. 09: Bassin versant de la vallée du M'Zab (GUESSOM et LAOUAR, 2011).....	11
Fig. 10: Coupe géostructurale transversale régionale du Sahara (WEC, 2007).....	12
Fig. 11: Carte géologique de la région de Ghardaïa (ACHOUR, 2010).....	16

Partie 2 : ETUDE HYDROGEOLOGIQUE

Fig. 12: Domaine du SASS (CI + CT).....	18
Fig. 13: Les aquifères du bassin saharien algérien (OSS, 2003).....	19
Fig. 14: La carte piézométrique de la nappe du (CT) (OSS, 2003).....	20
Fig. 15: La carte piézométrique de la nappe du (CI) (OSS, 2003).....	22
Fig. 16: Coupe géologique schématique de la vallée du M'Zab (ACHOUR, 2011).....	23
Fig. 17: Répartition spatiale des forages captant le CI région de Ghardaïa (ACHOUR, 2010).....	27
Fig. 18: Carte piézométrique de la nappe de (CI) région du M'Zab (ACHOUR, 2010).....	28

Partie 3 : GENERALITES SUR LES FORAGES HYDRAULIQUES

Fig. 19: Schéma simplifié d'une installation de forage fond de trou (MFT).....	30
Fig. 20: Schéma simplifié d'une installation de forage rotary.....	32
Fig. 21: coupes schématiques des différents types de forage par battage.....	33
Fig. 22: les composants d'un appareil de forage rotary.....	34
Fig. 23: les composants de la garniture de forage.....	36
Fig. 24: Les outils à molettes.....	37
Fig. 25: Les types des crépines.....	39
Fig. 26: Emplacement du massif filtrant dans le forage.....	39

Partie 4 : SUIVIS DE LA REALISATION DES FORAGES HYDRAULIQUES

Fig. 27: Coupe technique et lithologique du forage de Guerrara.....	48
Fig. 28: Coupe technique du forage de Zelfana.....	51
Fig. 29: Coupe technique et lithologique du forage de vallée de M'Zab.....	54
Fig. 30: Coupe technique et lithologique du forage de Metlili.....	57
Fig. 31: Coupe technique et lithologique du forage de Hassi El Gara.....	59
Fig. 32: Coupe technique et lithologique du forage de Hassi Touil.....	62

INTRODUCTION GENERALE

Dans la région de Ghardaïa, la rareté des précipitations et l'augmentation de la demande sur l'eau, pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et l'alimentation en eau industrielle, nécessite l'exploitation de les nappes profond de l'aquifère de (CI) et de (CT).

Le nombre de forages dans les nappes du (CI) a augmenté de 288 forages en 1999 à 565 forages en 2011, avec une profondeur varie entre 250 et 1000 métrées forages qui captant le (CI) sont jaillissante dans certaines zones ou exploitée par pompage dans d'autres zones.

Le présent travail est pour objectif de mettre la lumière sur l'industrie de réalisation des forages hydrauliques dans la région Ghardaïa, le sujet est divisé en quatre parties:

Partie1. Généralités sur la zone d'étude : Cette partie nous avons défini les caractéristiques géographique, géomorphologique, socio-économiques, la gestion des ressources hydrique, le contexte hydro-climatologique et le contexte géologique de la région.

Partie 2. Étude hydrogéologique : Cette partie est consacrée à la définition et la présentation du système aquifère de Sahara septentrional (SASS) et l'étude quantitatif et qualitatif des aquifères de la région de Ghardaïa.

Partie 3. Généralités sur les forages hydrauliques : Traite les méthodes et les appareils de forage hydraulique, les équipements de puits et les réglementations sur l'exploitation des eaux souterraines.

Partie 4. Etude des forages réels dans la région de Ghardaïa : dans cette partie nous avons analysé les rapports forages réalisés dans la région de Ghardaïa, depuis le démarrage de forage jusqu'au la mise en marche de la pompe d'eau.

Et en fin nous avons terminé avec une **Conclusion générale** qui représente les résultats acquis à la fin de l'étude.

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographique

La wilaya de Ghardaïa est située dans le sud algérien, exactement dans la partie septentrionale et centrale du Sahara algérien (Fig. 01), elle s'étend sur 84 660,12 km² (DPSB, 2016).

Administrativement elle est limitée par les wilayas suivantes:

- Au Nord par la wilaya de Laghouat,
- Au Nord-Est par la wilaya de Djelfa,
- A l'Est par la wilaya de Ouargla,
- Au Sud par la wilaya de Tamanrasset,
- A l'Ouest par la wilaya d'El-Bayadh,
- Au Sud-Ouest par la wilaya d'Adrar.

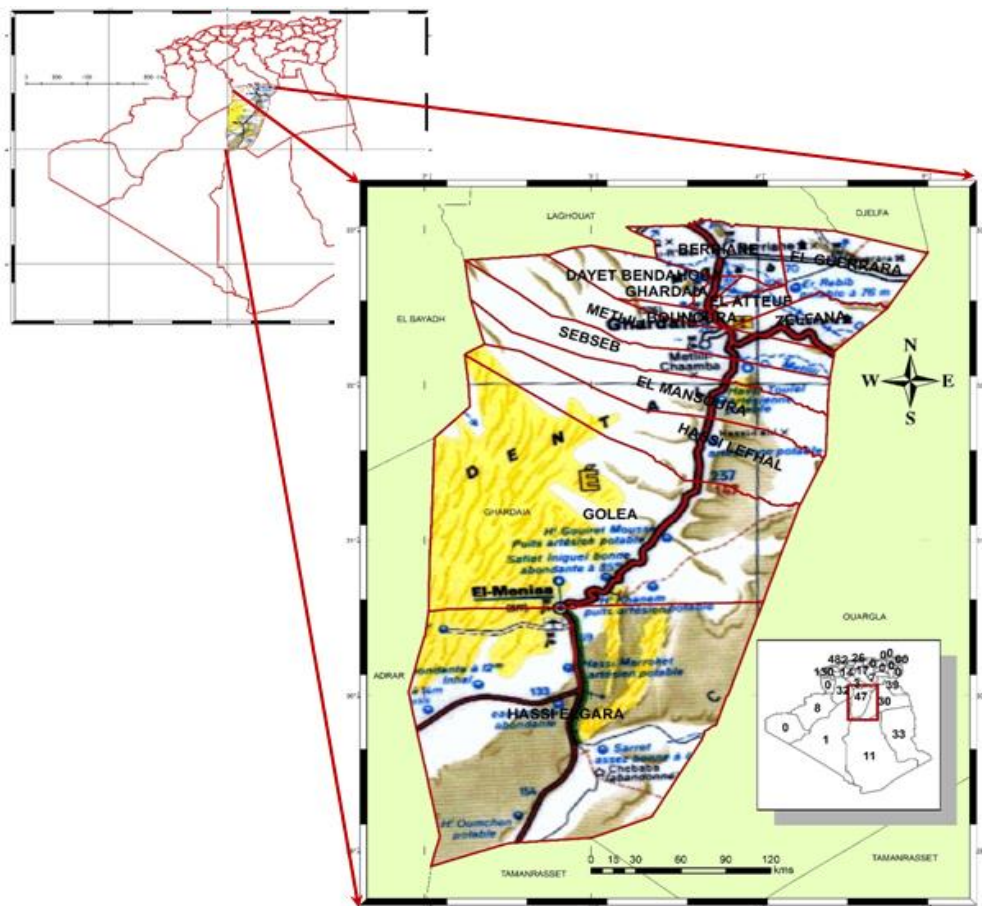


Fig. 01: Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa.

1.2. La géomorphologique de Ghardaïa

La région de Ghardaïa se caractérise par un plateau rocheux, le "Hamada", et des zones d'accumulation des eaux et de dépôts alluvionnaires. Elle présente quatre principaux ensembles différents (Fig. 02).

- **Chebka du M'Zab**

C'est un plateau crétaé rocheux et découpé par de petites vallées de sens chevauchés dirigées en général vers l'Est, qui peuvent atteindre quelques kilomètres de largeur. Les formations encaissantes comprennent des calcaires généralement dolomitiques au-dessus de couches de marnes. Ce plateau rocheux occupe une superficie d'environ 8000 km² (COYNE, 1989).

- **Région des dayas**

De substratum géologique miopliocène, les daïas sont des dépressions de dimensions très variables. Seule la commune de Guerrara, située au Nord-Est, occupe une petite partie de ce plateau (BENSAHA, 2011).

- **Région des Regs**

Ils se présentent sous forme d'étendues de sols solides caillouteuses sans relief apparent localisés à l'Est (Zelfana, Bounoura et El Atteuf), et de substratum géologique du pliocène (KHENE, 2013).

- **Région de l'Erg**

Dominée par l'erg occidental, massif de dunaire. Il constitue une source d'ensablement des périmètres agricoles, dans l'axe Mansoura – El Ménéa (KHENE, 2013).

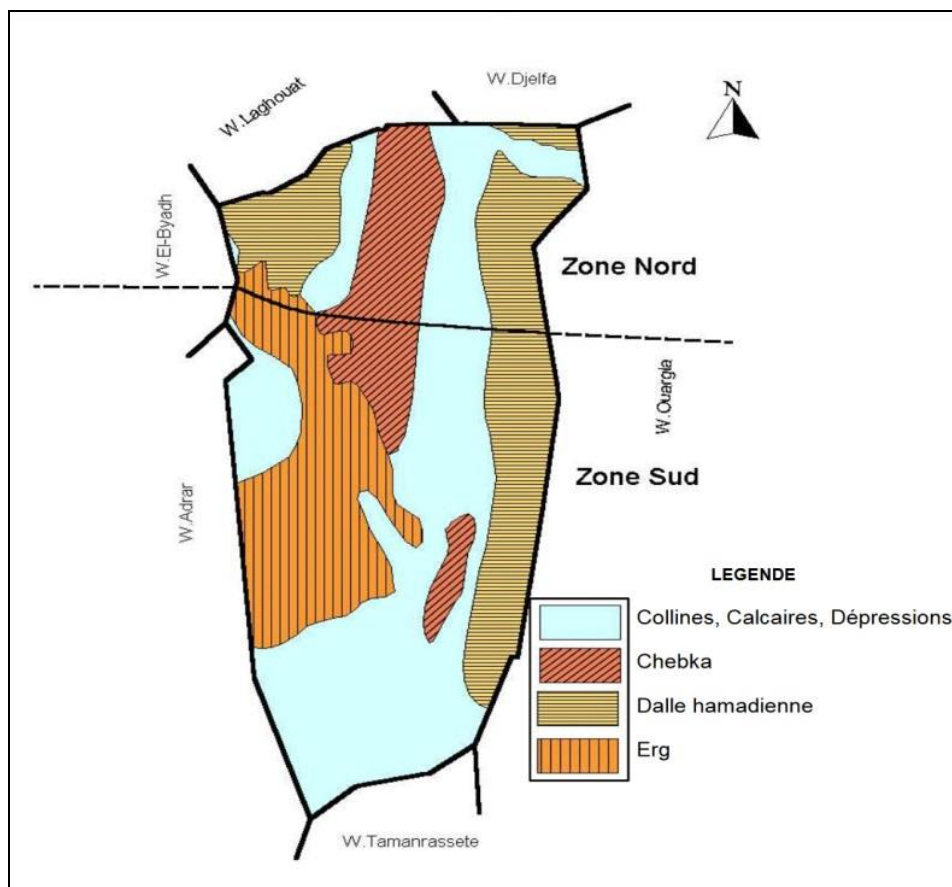


Fig. 02: Géomorphologie de la région de Ghardaïa.

1.3. Contexte socio-économique

Du découpage administratif du territoire de l'année 1984, regroupe 13 communes et 9 daïra.

1.3.1. L'évolution de la population

Plus de 451.456 habitants sont réparties dans neuf communes. La commune de Ghardaïa, capitale de la wilaya qui s'étend sur une petite superficie par rapport à d'autres communes, regroupe la concentration la plus forte en population (Tableau 01).

Tableau 01: Evolution de la population de Ghardaïa (DPSB, 2016).

Commune	Population	Superficies (Km ²)	Taux brut (en ‰)		Densité de population par (habitant/km ²)
			Natalité	Mortalité	
Ghardaïa	127.076	306,47	41,53	2,82	414.6442
El-Menia	46.162	23920,68	36,39	5,55	1.929795
Daya	14.423	2234,94	13,64	1,46	6.453417
Berriane	36.430	2609,80	21,41	2,06	1.395892
Metlili	50.082	5010,12	34,16	4,81	9.996168
Guerrara	72.228	3382,27	23,13	3,22	21.35489
El-Atteuf	18.681	717,01	18,74	1,18	26.05403
Zelfana	11.798	1946,23	17,80	1,61	6.061976
Sebseb	3.550	4366,82	0,84	0,56	0.081295
Bounoura	41.867	778,92	17,44	8,48	53.75006
Hassi El-F'Hel	4.679	6875,39	11,11	2,14	0.680543
Hassi El-Gara	20.977	27698,92	17,73	1,95	0.757322
Mansoura	3.503	4812,55	3,14	1,99	0.727889
Total	451.456	84660,12	28,90	3,63	5.33257

1.3.2. Activité industrielle

Selon (DPSB, 2016), La wilaya de Ghardaïa elle possède deux zones industrielles: Guerrara (créée 1969) et Bounoura (créée 1970), spécialisée dans plusieurs branches

- Industrie Sidérurgique, Métallique, Mécanique et électrique (ISMME) : Principaux produits fabriqués : mobilier métallique, fil électrique, serrures, tubes en cuivre.
- Industrie des Matériaux de Construction, Céramique et Verre
- Branche d'Activité des Industries Textiles : Les activités principales sont: boutonnerie, filature de laine, impression sur tissu.
- Branche d'Activité Économique des Industries Agro-alimentaires : Production d'eau minérale, lait-yaourtière, semoule, farine et pâtes, raffinerie d'huile d'olives.

- Branche d'Activité Économique du Bois, Liège, Papier et Impression : Les principaux produits fabriqués sont: articles scolaires (cahiers, carnets, etc..), emballages divers, transformation de papier, articles en bois.
- Branche d'Activité des Industries de la Chimie, Caoutchouc et Plastique : Les principaux produits fabriqués par ces unités: produits de blanchissage, sachets en plastique, emballage, gaine et tube PVC.

1.3.2. Activité agricole

Plusieurs facteurs caractérisent l'activité agricole de la région: l'agressivité du climat (précipitations faibles, évapotranspiration excessive...), la nature du sol dans les zones de production agricole, le système oasien, les vastes zones agricoles, le réservoir hydrogéologique (DPSB, 2016).

L'exploitation du milieu: Il y a deux façons principales d'exploiter cet environnement:

- L'ancienne oasis: s'appuyer entièrement sur l'exploitation des eaux souterraines peu profondes ou des crues d'oueds.
- La mise en valeur de vastes zones agricoles la création des nouveaux périmètres irrigués par les forages profonds dans la nappe albiennaise, qui donnent un débit très important.

Productions agricole: Les cultures pratiquées au niveau de la Wilaya de Ghardaïa sont: fourrages 119.945 t, cultures maraîchères 76.412 t, phoeniciculture 57.500 t, céréales 13.640 t, agrumes 6.628 t, cultures industrielles 675 t.

1.4. Gestion des ressources hydrique dans la région de Ghardaïa

Les ressources hydriques dans cette région divisée en deux principaux types

1.4.1. Réseau hydrographique

Ressource instable, dépend principalement de forage de puits peu profonds, et de petite barrages pour diriger les crues de oueds. Furent longtemps, les oueds étaient la seule ressource hydrique des oasis jusqu'à la réalisation des premiers forages dans le continental intercalaire.

1.4.2. Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont souvent stockées dans un très grand réservoir "Aquifère", pour l'exploitation de cette ressource, les puits doivent être forés à un niveau profond. Les ressources hydriques souterraines sont constituées de trois nappes caractéristiques:

- Nappe superficielle
- Nappe du complexe terminal (CT)

- Nappe du continental intercalaire (CI)

2. Contexte hydro-climatologique

2.1. Etude climatologique

Le but de cette étude est de donner un aperçu sur les caractéristiques climatiques de la région et de déterminer les différents paramètres qui conditionnent l'écoulement superficiel et souterrain. Les paramètres étudiés sont : les précipitations, la température, l'humidité et l'évaporation pour une série d'observation qui s'étale de 2007 à 2017 prises au niveau de la station de Ghardaïa (ONM).

2.1.1. Précipitations

La principale source d'alimentation des réserves d'eau souterraines se les précipitations, elles permettent une appréciation indirecte de l'état des réserves en eau du sol, la recharge et le régime des cours d'eau dans les bassins versants. En vue de suivre la répartition des précipitations au cours de l'année hydrologique, on a calculé la moyenne mensuelle entre les années (2007-2017) enregistrés (Tableau 02). Ainsi, le taux des précipitations annuelles recueillies est (71.4mm).

L'histogramme des précipitations moyennes mensuelles (Fig. 03), montre que le mois le plus pluvieux est le mois de Septembre avec une lame d'eau maximale enregistrée au mois de Septembre de l'ordre de (19.23mm) tandis que le mois le plus sec est le mois de Juillet avec une lame d'eau de (1.35mm).

Tableau 02: Précipitations moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).

Mois	jan	fév	mars	avr	Mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	déc	Annuelles
P (mm)	9.04	3.18	8.6	5.22	2.60	3.44	1.35	3.98	19.23	6.12	4.05	4.65	71.4

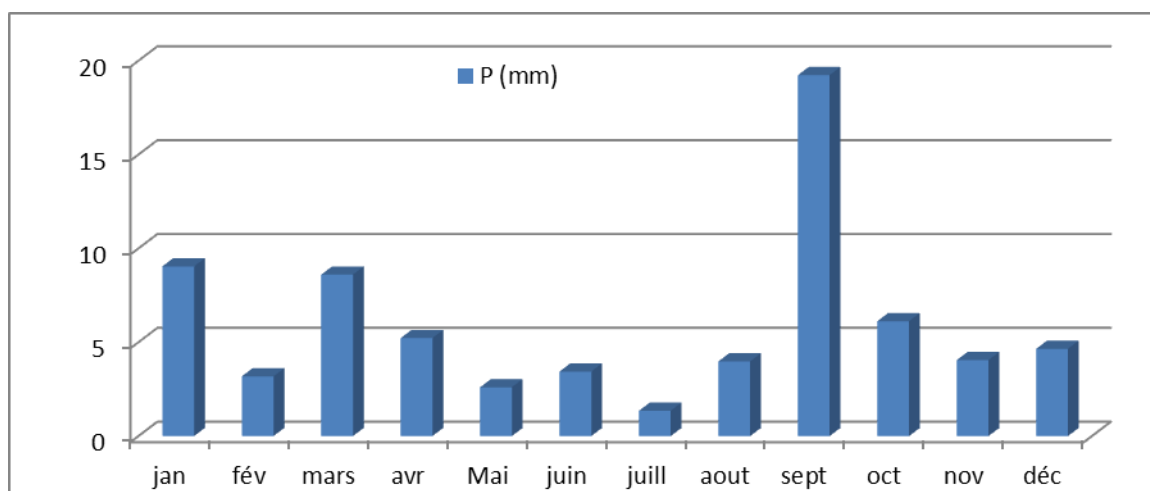


Fig. 03: Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (Période : 2007- 2017).

2.1.2. Température

La température est un paramètre très important dans la caractérisation du régime climatique d'une région donnée. Le tableau suivant montre les moyennes mensuelles des températures. On remarque ainsi que la température moyenne annuelle est de (22.21°C).

Tableau 03: Température moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).

Mois	jan	fév	mars	avr	Mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	déc	M. Annuelles
T de c°	11.95	13.39	16.92	21.6	26.36	31.12	33.59	29.68	29.71	23.54	16.44	12.28	22.21

L'histogramme (Fig. 04) montre que les températures moyennes mensuelles présentent leurs maxima aux mois de Juin, Juillet et Aout avec un maximum de 33.59°C au mois de Juillet.

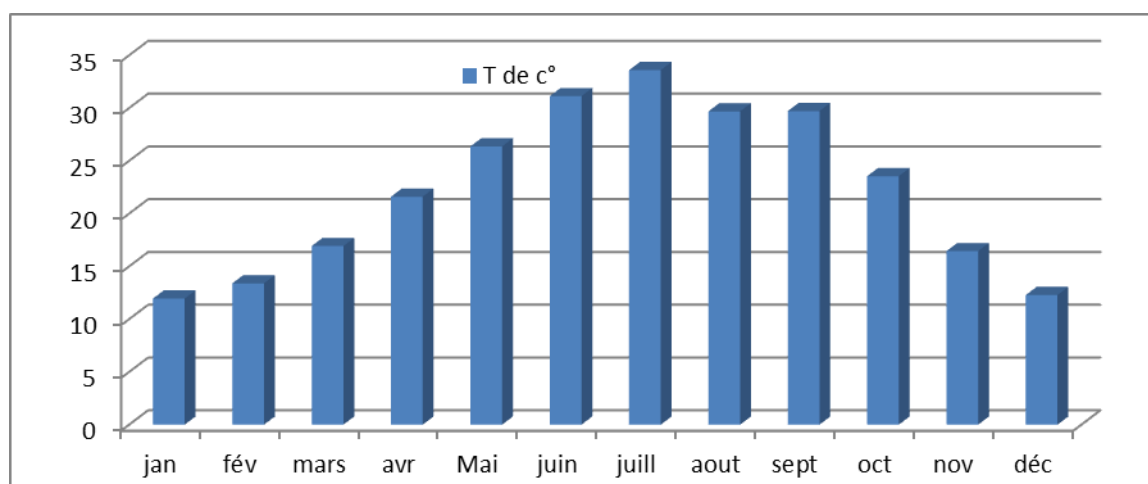


Fig. 04: Histogramme des températures moyennes mensuelles (Période : 2007- 2017).

2.1.3. L'humidité

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en pourcentage, de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante. C'est un élément atmosphérique très important puisqu'il donne le taux de condensation de l'atmosphère.

Les données d'humidité relative moyenne à la station de Ghardaïa pour la période (2007-2017) sont reportées dans le tableau suivant :

Tableau 04: Humidité moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).

Mois	jan	fév	mars	avr	Mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	déc	M. Annuelles
(H) %	45.18	40.36	33.18	31.09	26	23.91	19.82	25.91	35.36	42	47.45	54.27	35.38

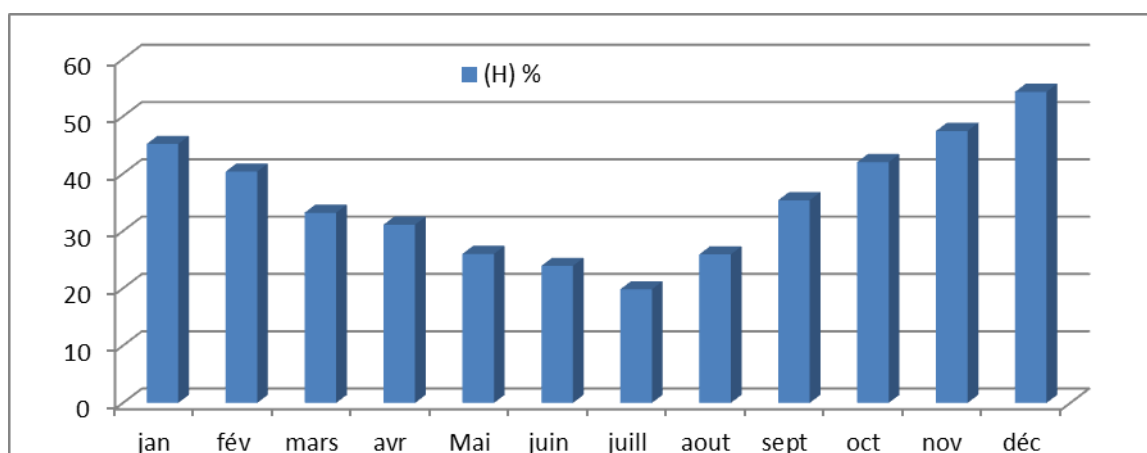


Fig. 05: Histogramme des humidités moyennes mensuelles (Période : 2007- 2017).

2.1.4. Le vent

Le vent est un autre facteur climatique important dans la caractérisation du climat. Les résultats des moyennes mensuelles de la vitesse du vent enregistrées à la station de Ghardaïa (2007-2017) sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 05: Vites de vent moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).

Mois	jan	fév	mars	avr	Mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	déc	M. Annuelles
Vites m/s	19	18.25	21.56	21.11	22.44	21.67	18.89	21.63	22.25	18.75	17.25	16.88	19.97

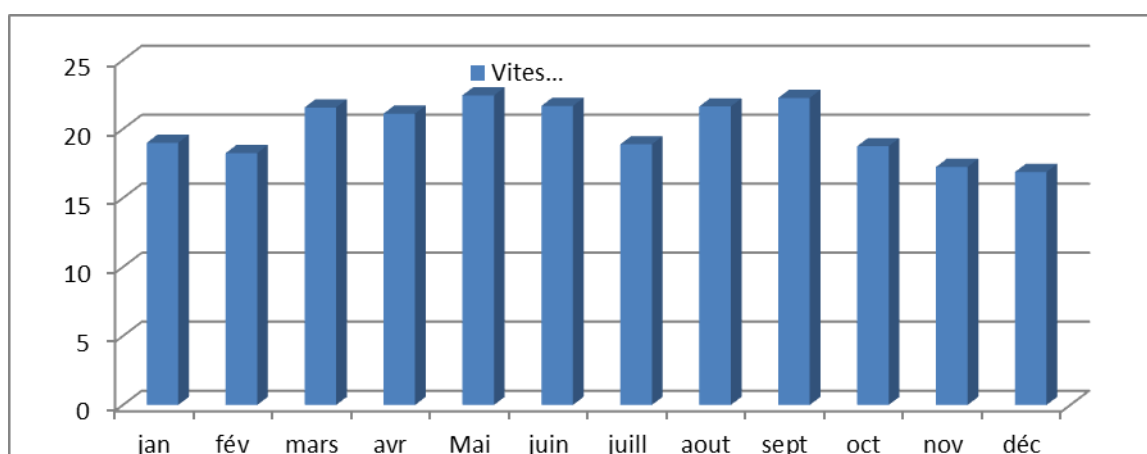


Fig. 06: Histogramme des vites de vent moyennes mensuelles (Période : 2007- 2017).

2.1.5. L'évaporation

C'est le processus physique de la transformation de l'eau en vapeur Elle est un paramètre essentiel, car il représente une partie de la fonction de « sortie » dans le bilan hydrologique d'une région donnée. Les mesures de l'évaporation à la station de Ghardaïa sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau 06: Évaporation moyennes mensuelles à la station de Ghardaïa (2007-2017).

Mois	jan	fév	mars	avr	Mai	juin	juill	aout	sept	oct	nov	déc	M. Annuelles
Evp (mm)	95.6	117.8	167.7	228.5	286.3	342.1	371.8	327.9	254.5	166.1	116.9	145.9	218.42

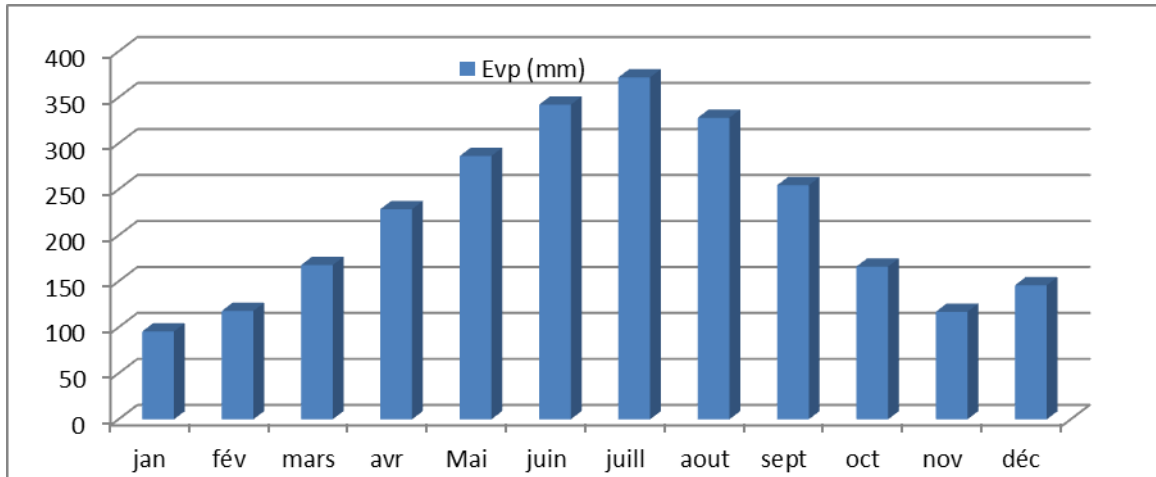


Fig. 07: Histogramme des évaporations de vent moyennes mensuelles (Période : 2007- 2017).

2.2. Régime climatique (Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN)

Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN (Fig. 08) permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle qui sont portées sur des axes où l'échelle de la température est double de la pluviosité.

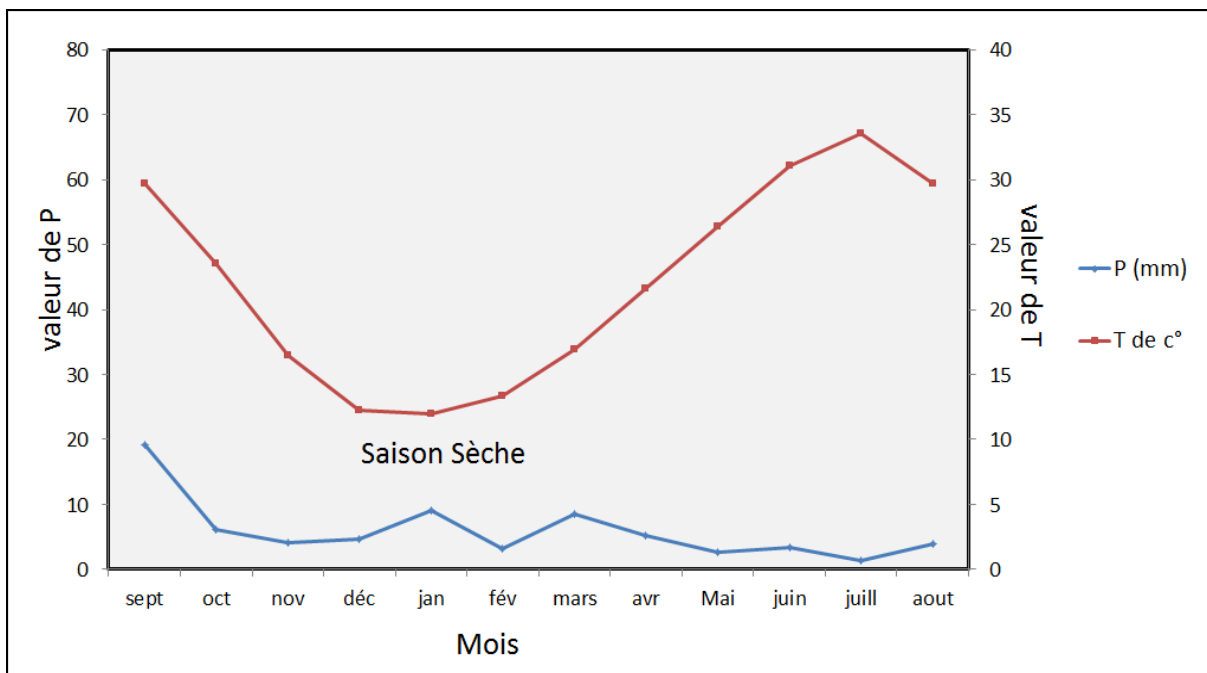


Fig. 08: Diagramme ombrothermique de GAUSSEN (Période : 2007- 2017).

Dans le cas de notre région d'étude la courbe des pluies passe au-dessous de celle des températures. Cette allure permet de constater que la période sèche s'étale le long de l'année avec une intense sécheresse du mois de mai à aout.

2.3. Bilan hydrique

Tableau 07: Bilan hydrique selon Thornthwaite à la station de Ghardaïa (2007-2017).

Mois	T	P	ETP	ETR	RU	DA	EX
S	29.71	19.23	147.9	19.2	0.0	128.6	0.0
O	23.54	6.12	79.3	6.1	0.0	73.2	0.0
N	16.44	4.05	29.5	4.1	0.0	25.4	0.0
D	12.28	4.65	13.7	4.7	0.0	9.1	0.0
J	11.95	9.04	13.8	9.0	0.0	4.8	0.0
F	13.39	3.18	17.7	3.2	0.0	14.6	0.0
M	16.92	8.6	37.9	8.6	0.0	29.3	0.0
A	21.6	5.22	73.0	5.2	0.0	67.8	0.0
M	26.36	2.6	130.0	2.6	0.0	127.4	0.0
J	31.12	3.44	195.9	3.4	0.0	192.5	0.0
J	33.59	1.35	239.6	1.4	0.0	238.2	0.0
A	29.68	3.98	166.1	4.0	0.0	162.1	0.0
Annuel	22.2	71.5	1144.4	71.5	-	1073.0	0.0

Le bilan hydrique établi par la méthode de Thornthwaite pour la station de Ghardaïa (Période: 2007- 2017) est déficitaire, la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que l'évapotranspiration potentielle (ETP) est beaucoup plus élevée que les précipitations, Le bilan hydrique de la région de Ghardaïa montre aussi que la recharge par la pluie efficace est négligeable.

2.4. Hydrologie des principaux cours d'eau

- Oued Zegrir
- Oued N'ssa
- Oued Balouh
- Oued Soudane
- Oued Metlili
- Oued M'Zab

Oued M'Zab est le oued le plus important dans cette région s'étend sur une longueur de 320 km et coule de l'Ouest à l'Est, son exutoire naturel qui est la sebkha Safioune au Nord

de la ville de Ouargla (GUESSOM et LAOUAR, 2011). Les principaux affluents du M'Zab sont:

- L'Oued El Haïmeur, sur la rive gauche qui conflue à la Daïa ben Dahoua ;
- L'Oued Touzouz, sur la rive droite qui rejoint le M'Zab en amont de la palmeraie de Ghardaïa ;
- L'Oued N'tissa, en aval de ce centre, on le rencontre à droite au niveau de Ben Isguen, et il traverse la palmeraie de cette ville ;
- L'Oued Zouil, à gauche et à quelque centaines de mètres en aval du précédent. Dans le lit duquel sont situés les jardins de Bounoura ;
- L'Oued Noumirate à l'aval de la pentapole mozabite, sur la rive droite ;
- L'Oued Nessaimou, légèrement en amont de Zelfana ;
- L'Oued Hasseï, en aval de cette nouvelle Oasis de Zlefana.

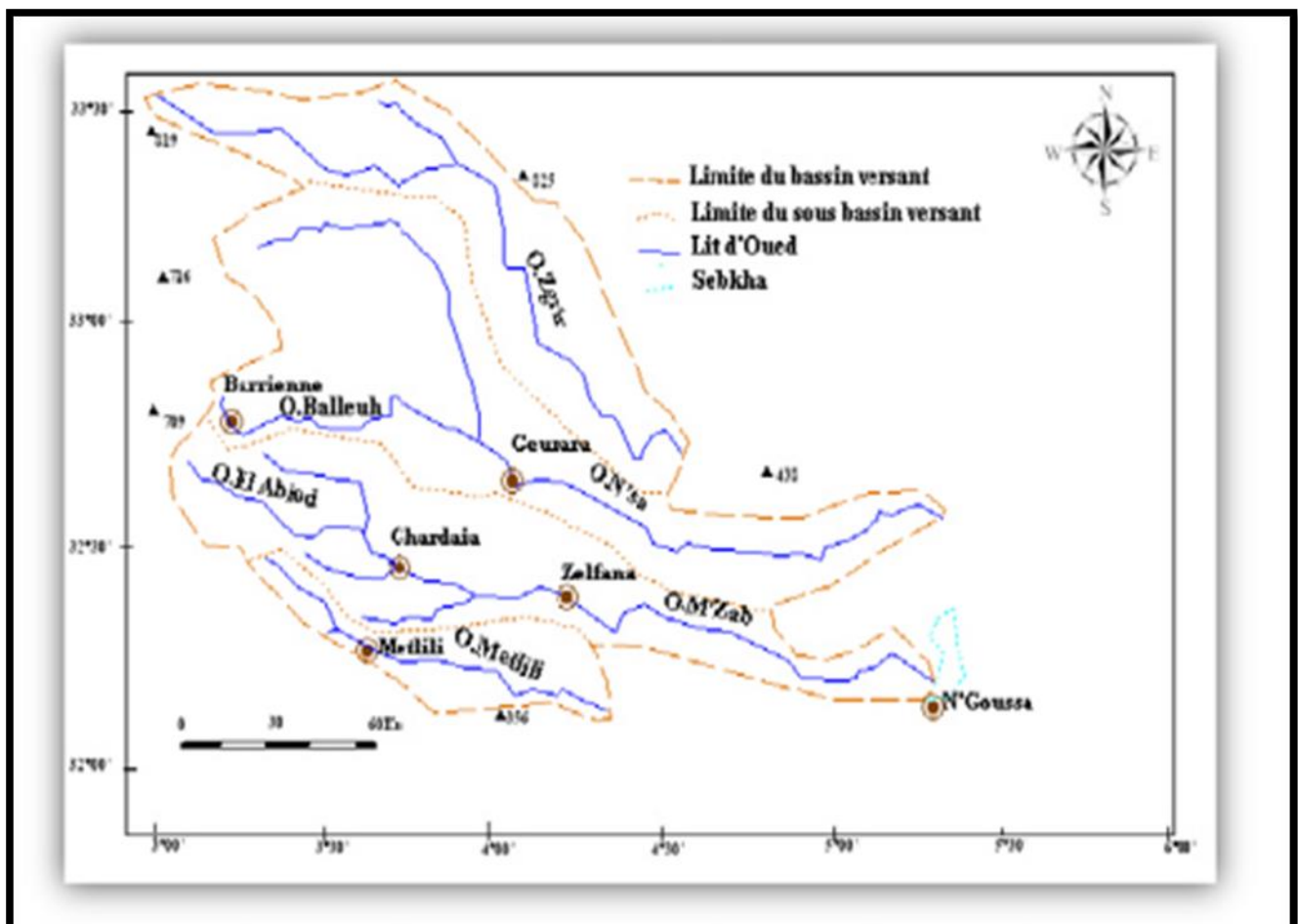


Fig. 09: Bassin versant de la vallée du M'Zab (GUESSOM et LAOUAR, 2011).

3. Contexte géologique

3.1. La géologie régionale

3.1.1. Cadre tectonique et structural

L'Algérie est divisée en deux unités tectoniques majeures séparées par la faille sud-atlasique: le Nord de l'Algérie portant l'empreinte de la tectonique alpine et la plate-forme saharienne, relativement stable, où la tectonique est moins prononcée. Elle est constituée d'un socle précambrien recouvert de sédiments phanérozoïques transgressifs.

La zone d'étude fait partie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional dont l'extension couvre une superficie de 780 000 Km². Ce bassin, est une vaste zone d'épandage, constituée d'une importante dépression topographique, laquelle est sous tendue par une cuvette structurale en forme de synclinal dissymétrique. La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques sub-verticaux.

À la base de l'édifice sédimentaire il y a des terrains paléozoïques marins contenant des niveaux aquifères salés et des gisements d'hydrocarbure au-dessus, et en discordance on rencontre des formations d'âge Secondaire et Tertiaire qui peut dépasser 3000 m d'épaisseur dans le centre du bassin. Le Quaternaire représenté essentiellement par des sables dunaires, atteint parfois plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. L'existence de sable éoliens dans les dunes provient essentiellement de l'érosion du Hoggar.

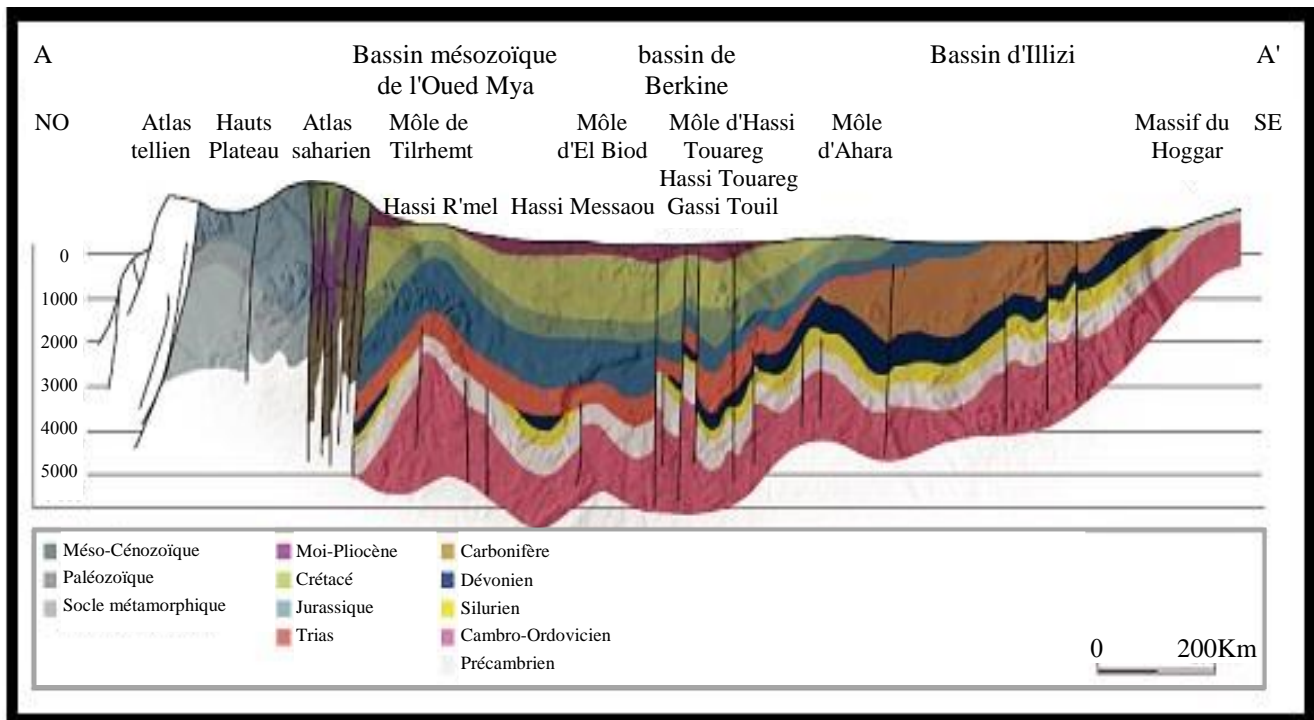


Fig. 10: Coupe géostructurale transversale régionale du Sahara (WEC, 2007).

3.1.3. Litho-stratigraphie

En Sahara algérien, les travaux de G. Busson (1963, 1967 et 1970) et de J. Fabre (1976) constituent les références de base pour une bonne compréhension de la géologie du Sahara algérien. Toutefois, un complément d'information est recherché dans les différentes cartes géologiques qu'ont couvrant cette région (SASS 2003).

Des études récentes sont réalisés par SONATRACH et ENAGEO, ces auteurs ont travaillé et publiés des articles et des ouvrages sur la géologie du bassin sédimentaire du Sahara septentrional, surtout dans le cadre de la géologie pétrolière.

La description stratigraphique des formations influençant les nappes de cette zone, est limitée à la base du Trias.

Le Trias montre une grande variation de faciès et des épaisseurs (Busson G., 1970). Le Trias est divisé en grandes unités lithologiques distinctes qui sont de bas en haut :

- le Trias argilo-gréseux inférieur (Grès de Nezla),
- le Trias carbonaté,
- le Trias argilo-gréseux supérieur (Grès de Tartrat),
- le Trias argileux,
- le Trias salifère.

L'épaisseur de ces différentes formations est très variable, principalement là où s'intercalent des bancs salifères éruptifs (Rhourde El Baguel). L'épaisseur du Trias argilo-gréseux inférieur augmente vers le Nord-Ouest (150-180 m). Elle diminue dans les zones de hauts-fonds (Hassi Messaoud, G. El Baguel). Le Trias salifère présente une grande épaisseur (NE de Ghadamès : 700m et H. Messaoud : 1300m). Le Trias ne joue pas de rôle dans l'hydrogéologie du bassin saharien algérien.

Le Jurassique inférieur et moyen (Lias-Dogger) comprend essentiellement des couches lagunaires constituées de sel, d'anhydrite et d'argiles qui deviennent par la suite, marines et se présentent sous forme de calcaires et argiles avec des bancs d'anhydrite. La transgression jurassique couvre tous le bassin du Grand Erg Oriental et les séries jurassiques y sont épaisses.

Le Jurassique est caractérisé par une permanence relative du régime marin avec des sédiments de milieu confiné. Dans la partie occidentale du bassin, le régime marin accuse une certaine régression à l'image de ce qui se passe plus à l'ouest et vers le Sud. Le passage du Jurassique vers le Crétacé inférieur se caractérise par des apports terrigènes dont l'origine est constituée par les reliefs nourriciers situés au Sud du bassin saharien (Hoggar).

Le Crétacé inférieur est constitué par des couches terrigènes continentales azoïques qui sont en contraste lithologique et sédimentaire avec les formations marines du Jurassique supérieur.

Le Crétacé inférieur comprend, en partant des formations les plus anciennes :

- **Le Néocomien**, comprenant, dans le Bas-Sahara, des argiles vertes et rouges avec de l'anhydrite en bans massifs qui se déposent à la base. Ils sont surmontés par une alternance de dolomies et d'argiles. Dans la région de HassiRmel, se sont surtout des argiles et des sables avec quelques couches de lignites et de rares bancs carbonatés. Cette évolution latérale de faciès s'accroît vers l'ouest dans le Mzab, le Nord-Est du Grand Erg Occidental ainsi que vers le Centre et le Sud du bassin où l'équivalent du Néocomien se confond dans un ensemble argilo-gréseux de transition entre le Jurassique et le Crétacé inférieur
- **Le Barrémien** est la période qui vit un épandage généralisé des formations détritiques du Crétacé inférieur jusqu'à dans le Bas-Sahara. Ces formations se présentent sous forme de grès fins ou grossiers et d'argiles provenant apparemment du Sud (Hoggar). Dans la région de Touggourt, les sondages ont traversé des grès arkosiques. Les bancs carbonatés sont peu nombreux et cantonnés au Nord-Est du Sahara algérien, dans la région des daïas et le Nord du Mzab. Dans l'ensemble, le Barrémien correspond à une sédimentation en milieu continental fluviatile, lacustre, sur la plus grande partie du Bas-Sahara. Vers le Nord-Est, cette sédimentation est mixte, deltaïque, avec quelques influences marines. L'épaisseur des sédiments varie notablement d'un point à l'autre. Elle est forte dans les zones subsidentes du Bas-Sahara (Laghoua: 800-1100m), faible sur les môles (El Abiod, GassiTouil, Rh. El Baguel : 100-300m) et les zones de bordure orientale et sud-ouest.
- **L'Aptien** est un bon repère lithologique dans les sondages. Il est représenté dans la grande partie du Bas-Sahara, par 20 à 30 m en moyenne, de dolomies alternant avec des lits d'anhydrite, d'argiles et de lignite (sédimentation lagunaire). Cette barre dolomitique aptienne passe latéralement vers le Sud, à des argiles rouges et sableuses et vers le nord, à des argiles grises, vertes et beiges. Les formations gréseuses de l'Aptien se localisent sur les bordures du bassin. Sur les confins atlasiques et vers le sud tunisien, la dolomie aptienne passe, latéralement sur une courte distance, à des calcaires à orbitolines et algues. Dans l'ensemble, l'Aptien est caractérisé, dans le Sahara algérien, par une très grande homogénéité de faciès et d'épaisseur. Il semble coïncider avec un ralentissement des apports terrigènes et de la subsidence. C'est une période de stabilité de la plate-forme.

- **L'Albien** est caractérisé par un retour massif de la sédimentation terrigène. Cet étage regroupe la masse des sables et argiles comprise entre la barre aptienne et l'horizon argileux sous-jacent attribué au Cénomaniens. L'Albien gréseux est formé de grès fins avec quelques intercalations carbonatées. Vers les bords du bassin (Tinrhert et Tademaït) les sédiments deviennent plus grossiers.

Le Crétacé supérieur est constitué essentiellement de couches marines calcaires et dolomitiques. Il est essentiellement constitué par:

- **le Cénomaniens** argileux dans le Tinrhert et le Bas-Sahara. Le Cénomaniens supérieur et le Turonien sont calcaires. Ces formations contiennent généralement de l'eau salée ;
- **le Sénonien inférieur** à sédimentation lagunaire caractérisé par des formations argileuses et salifères à anhydrite et sel gemme ;
- **le Sénonien carbonaté** constitué de calcaires et dolomies avec quelques alternances argileuses. Cette formation se termine avec la sédimentation calcaire du Maestrichtien qui se poursuit jusque dans l'Eocène qui constitue le dernier épisode marin du Sahara algérien.

Le Tertiaire continental du Sahara peut être relativement épais (150m). Il se présente sous forme d'un faciès sableux et argileux avec du gypse. Dans le Bas-Sahara, la sédimentation lacustre se présente sous forme de séries sableuses et argileuses connues sous le nom du Continental terminal dont l'épaisseur peut atteindre, dans la région des Chotts algéro-tunisiens, quelques centaines de mètres. On y identifie, dans la région de Oued Rhir, deux niveaux aquifères au sein des sables qui sont séparés par une couche argileuse au milieu (première et deuxième nappe de OuedRhir). L'ensemble est surmonté par le Plio-Quaternaire argilo-sableux et gypseux qui résulte de sédimentation en milieu lacustre durant la phase d'assèchement des lagunes des Chotts.

3.2. La géologie locale

La région de Ghardaïa fait partie de la plateforme saharienne constituée d'un bouclier précambrien, n'émergeant des sédiments qu'ils surmontent que dans le Sahara Central (Massif du Hoggar) et le Sahara Occidental (Massif des Eglab) (UNESCO, 1972). Elle est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire du Bas - Sahara, les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur, composés principalement par des dépôts calcaires turoniens dolomitiques ; qui forment un plateau sub-horizontal appelé couramment "la dorsale du M'zab".

Du point de vue lithologique, les affleurements sont de type (Fig. 11) ;

- Argiles verdâtres et bariolées à l'Ouest et le Sud-Ouest attribués au Cénomaniens. En grande partie il est couvert par les dunes du grand erg occidental.
- Calcaires massifs durs ; blanc grisâtre au centre, attribués au Turonien.
- Calcaires marneux et argiles gypseuses à l'Est, attribués au Sénonien.
- Sables rougeâtre consolidés à Est et au Nord-Est attribués au Mio-pliocène.
- Alluvions quaternaires tapissant le fond des vallées des oueds.

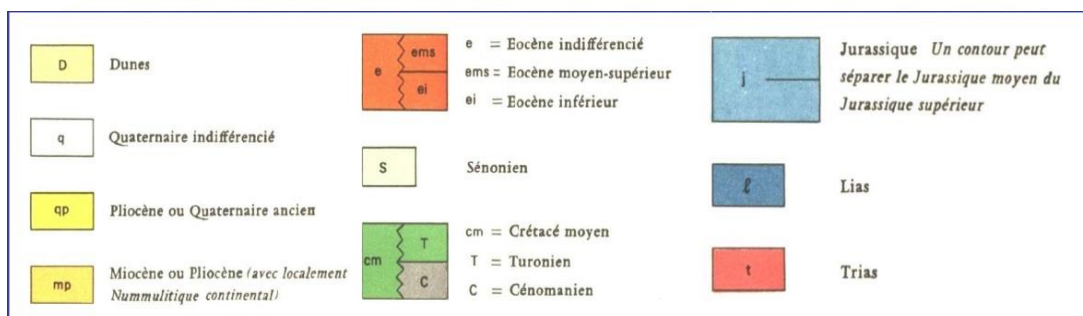
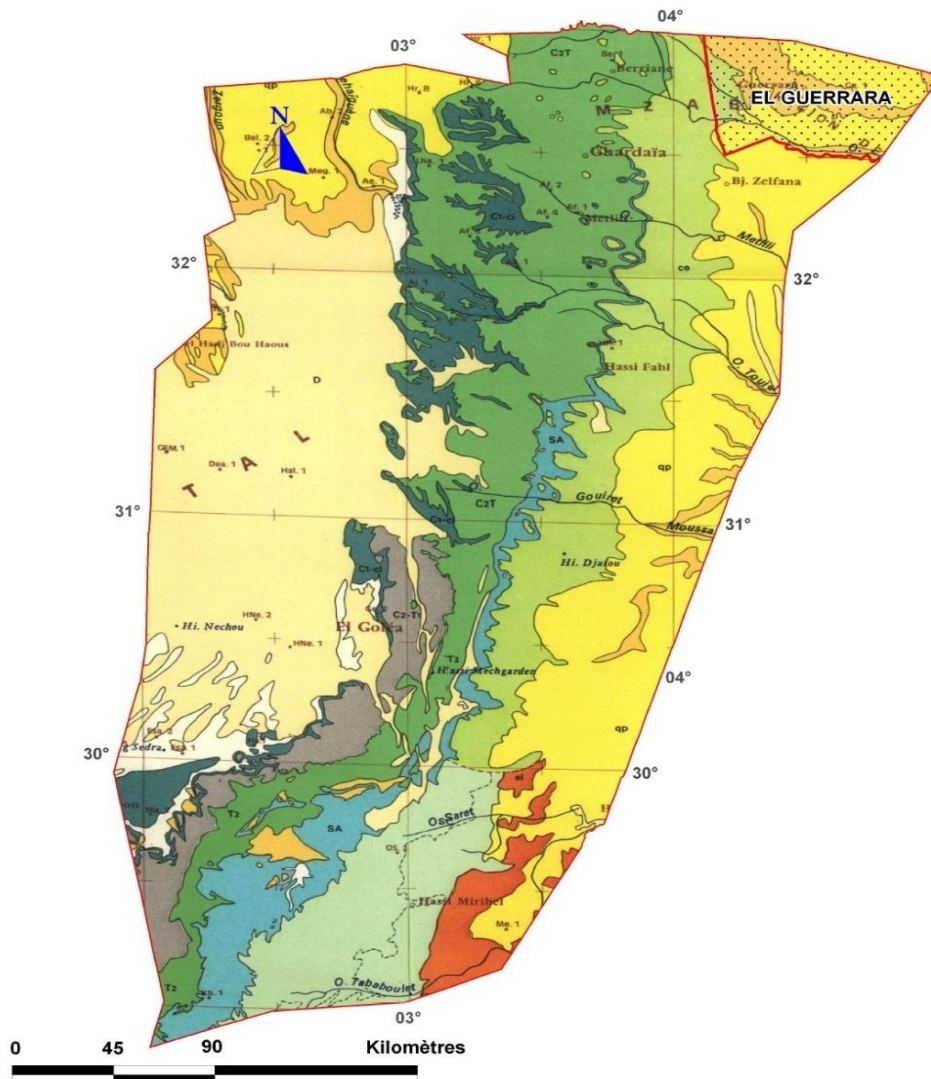


Fig. 11: Carte géologique de la région de Ghardaïa (ACHOUR, 2010).

4. Conclusion

La région de Ghardaïa est située dans le sud algérien, exactement dans la partie septentrionale et centrale du Sahara algérien et limitée par les wilayas de Laghouat, Djelfa, Ouargla, Tamanrasset, El-Bayadh et Adrar. Elle s'étend sur 84 660,12 km², avec une population de 451.456 habitants. La région possède deux zones industrielles (Guerrara et Bounoura), spécialisée dans plusieurs branches (Industrie Sidérurgique, Métallique, Mécanique et électrique - Industrie des Matériaux de Construction, Céramique et Verre - Branche d'Activité Économique du Bois, Liège, Papier et Impression...), l'activité agricole est basé sur l'exploiter des oasis et la mise en valeur des nouveaux périmètres irriguées. Le climat de la région est Saharien caractérisé par une période sèche qui s'étale sur toute l'année, la température mensuelle est maximal au mois de Juillet (33.59°C) et minimal au mois de janvier (11.95°C), la hauteur de précipitation annuelle est d'ordre de 71.4mm.

La géomorphologie de Ghardaïa se caractérise par un plateau rocheux, le "Hamada", et des zones d'accumulation des eaux et de dépôts alluvionnaires. Elle présente quatre principaux ensembles différents sont: Chebka du M'Zab, Régions des dayas, des Regs et de l'Erg.

La région de Ghardaïa est située sur la bordure occidentale du bassin sédimentaire du Bas - Sahara, les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur, composés principalement par des dépôts calcaires turoniens dolomitiques ; qui forment un plateau sub-horizontal appelé couramment "la dorsale du M'Zab".

1. SYSTEME AQUIFERE DE SAHARA SEPTENTRIONAL

1.1. Extension de système aquifère de Sahara septentrional

Le système aquifère du Sahara septentrional (SASS) est partagé entre trois pays : l'Algérie, la Tunisie et la Libye. Il recouvre une étendue de plus d'un million de km², dont 70 % se trouvent en Algérie, 6 % en Tunisie, et 24 % en Libye. Le SASS est la superposition de deux principales couches aquifères; la formation du Continental Intercalaire, (CI), la plus profonde et celle du Complexe Terminal, (CT) (Fig. 12).

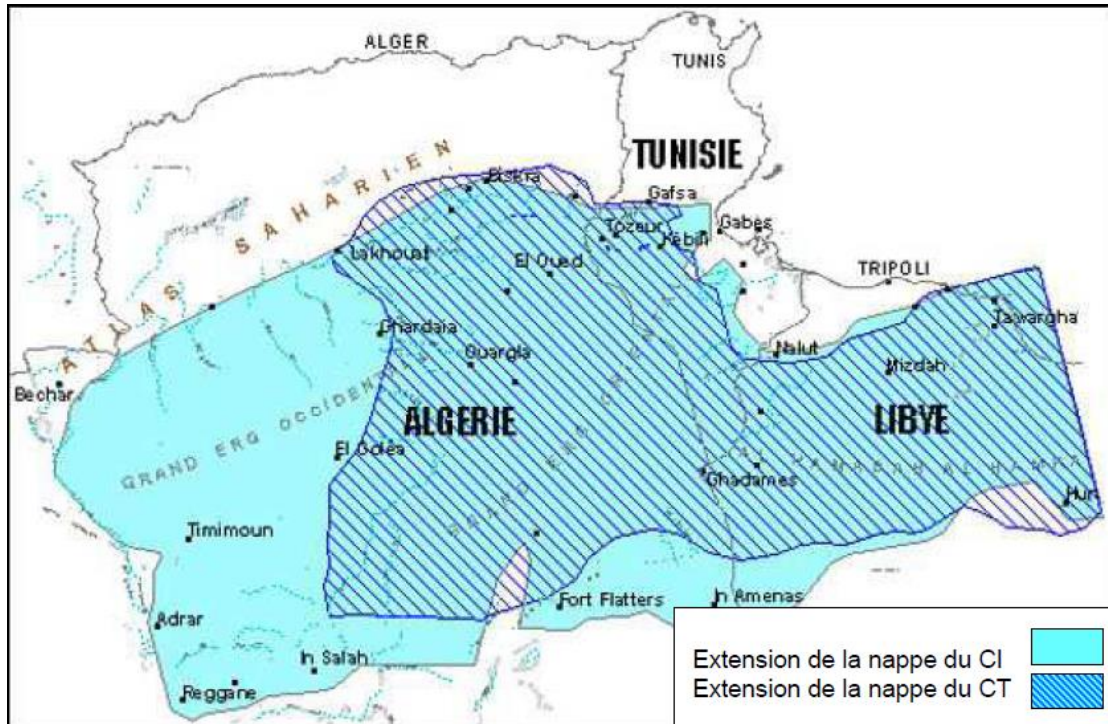


Fig. 12: Domaine du SASS (CI + CT).

Le bassin sédimentaire du Sahara septentrional (BG, 2002) couvre une superficie de 780 000 km². Ce bassin possède une envergure de 1800 km E-W et de 900 km N-S (OSS, 2003). Il est limitée au Nord-ouest par les piémonts du versant Sud de l'Atlas saharien, au Nord par l'accident sud atlasique au Nord des Chotts, relayé vers le golf de Gabès par la faille d'El Hamma - Médenine. A l'Ouest, la limite se situe au niveau de l'Oued Saoura-Reggane, au Sud par un alignement Est-ouest, de plateaux (Hammadas) du Tinrhert et du Tademaït. Enfin, la limite Nord-est se situe un peu après les reliefs du Dahart et celle du Sud-est parcourt la région de Syrte et va jusqu'à la ville de Hun en Libye (Castany, 1982). Ce bassin, constitue une importante dépression topographique, laquelle est sous-tendue par une cuvette structurale en forme de synclinal dissymétrique. La série sédimentaire est marquée, au centre de la fosse, par d'importants accidents tectoniques subverticaux.

Les pendages des bancs sont en général faibles, à l'exception de la zone bordière située au nord-est du bassin (Busson.G, 1970 ; Fabre.J, 1976 ; SASS 2002). Celui-ci comporte, à sa base, des formations paléozoïques marines surmontées en discordance par les formations continentales du Secondaire et du Tertiaire épaisses de plusieurs milliers de mètres. Le Quaternaire y succède. Il est constitué essentiellement de sables dunaires dont l'épaisseur peut atteindre quelques centaines de mètres. Seule la série supérieure présente un intérêt hydrogéologique.

Le système aquifère de Ghardaia est constitué de deux aquifères (OSS, 2003) un aquifère de Complexe Terminal (CT) et un aquifère de Continentale Intercalaire (CI).

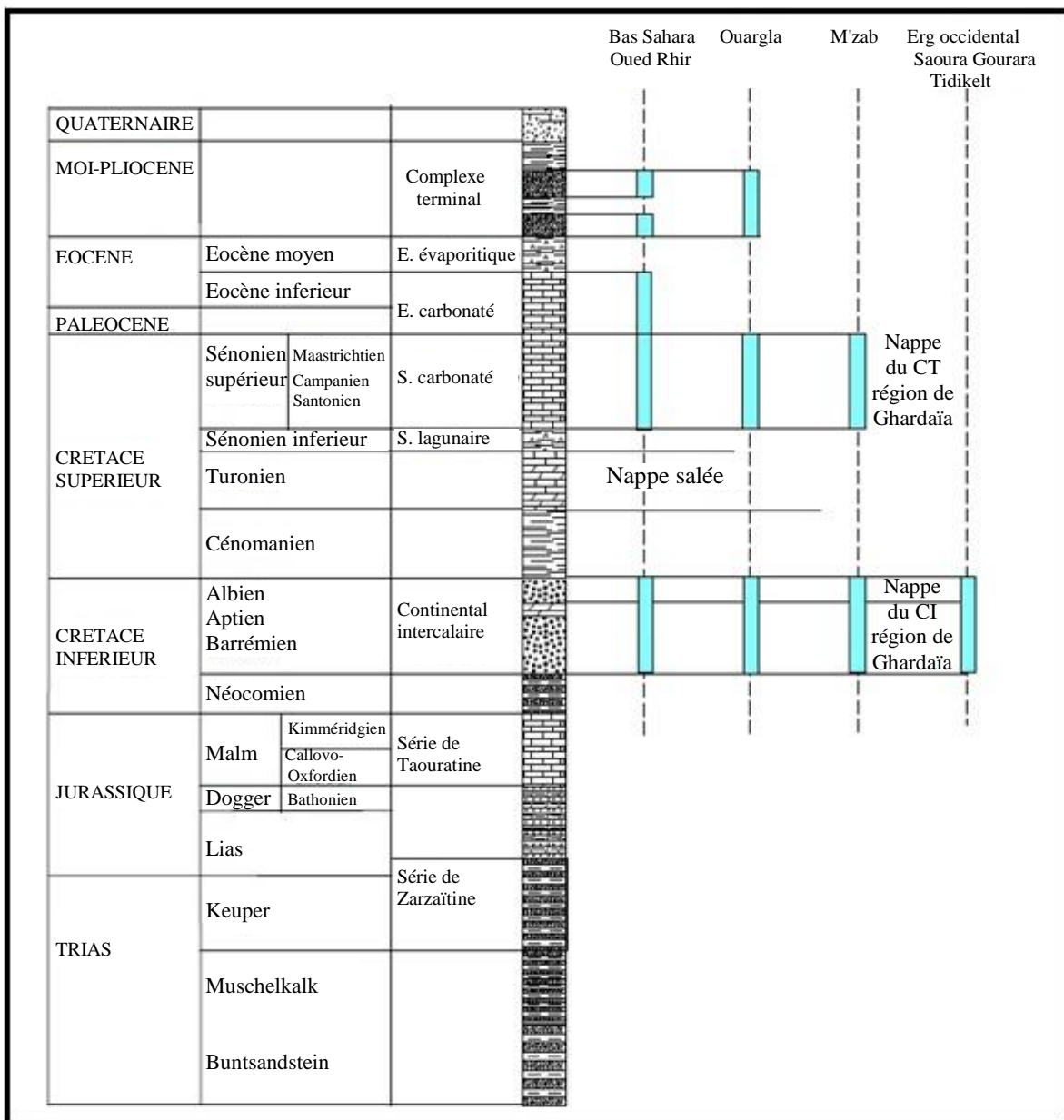


Fig. 13: Les aquifères du bassin saharien algérien (OSS, 2003).

1.2. Définition des aquifères du SASS

1.2.1. Complexe Terminal

Le complexe terminal (CT) compose de trois aquifères superposées, sont: l'aquifère de Turonien carbonaté, l'aquifère de Sénonien carbonaté, l'aquifère de Mio-Pliocène et Eocène.

La carte piézométrique de la nappe du (CT) (Fig. 14), montre en général, un écoulement presque linéaire du sud dans la zone de le Grand Erg Oriental vers le nord dans les chotts algéro-tunisiens où il y deux dépressions piézométrique, un écoulement divergent du nord dans les Frontières tuniso-libyenne vers l'est et l'ouest, un écoulement divergent du sud dans la zone de la Hamada El Hamra vers le nord-est et le nord-ouest, ainsi que un écoulement convergent vers le nord-est dans l'exutoire du bassin libyen.

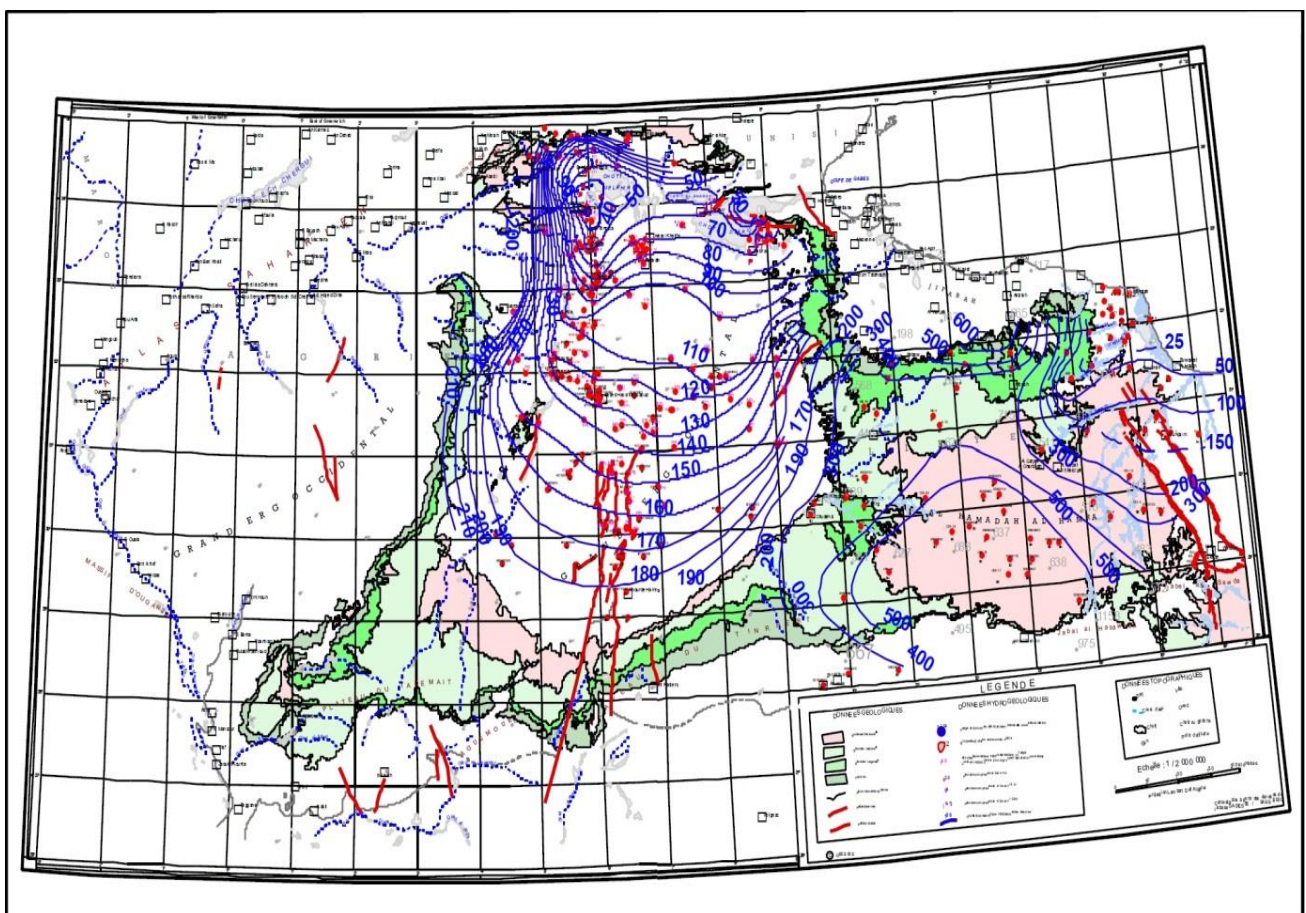


Fig. 14: La carte piézométrique de la nappe du (CT) (OSS, 2003).

Les études hydrogéologiques ont montré que l'alimentation actuelle se fait par :

- le faible gradient hydraulique et l'orientation d'écoulement montré que la zone de la Hamada El Hamra est une zone d'alimentation, Il s'agit plus probablement d'un grand réservoir non alimenté actuellement (OSS, 2003).

- les mêmes principales zones d'alimentation que la nappe du (CI) Atlas saharien (ouest algérien), Dahar-J. Nafusa (Entre la Libye et la Tunisie) (OSS, 2003).
- bien que peu arrosée, l'écoulement de La dorsale du Mzab, dans les oueds et participent à l'alimentation (CT) (OSS, 2003).

Alors que l'exutoire de l'aquifère se localise :

- dans les Chotts Marouan-Melrhir (en Algérie) et Gharsa-Djérid (en Tunisie) où se concentrent les forages d'exploitation.
- Sous forme des pertes par drainance verticale, dans les zones d'exutoire.

Des valeurs approximatives de transmissivité obtenues à partir de pompages d'essais :

- Région du Souf de 5 à $25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.
- Bordure sud-atlasique dans les sables mio-pliocènes 1 à $10 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et dans les calcaires éocènes ou sénoniens 10 à $50 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
- Oued Rhir-Nord qui s'échelonnent entre 1 et $25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.
- Les plus fortes valeurs de transmissivité sont obtenues dans la région d'Oued Rhir-Sud entre 1 et $130 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$.

Les valeurs du coefficient d'emmagasinement, dans les zones à nappe libre de $150 \cdot 10^{-3}$ (roches à porosité intergranulaire), et 100 et $150 \cdot 10^{-3}$ (roches fissurées entre), dans les zones à nappe en charge, estimés à partir de la lithologie des forages Les résultats obtenus varient entre $4,4$ et $12,4 \cdot 10^{-3}$.

1.2.1. Continental Intercalaire

Le Continental Intercalaire (CI), est logé dans les formations du Crétacé inférieur (Néocomien, Barrémien, Aptien et Albien). Il est séparé de l'aquifère sus-jacent du (CT) par des formations argileuses, gypseuses et calcaires, d'âge Cénomaniens. Les discontinuités horizontales et verticales y sont complexes et résultent d'une longue évolution géologique caractérisée par des changements notables dans les conditions de sédimentation.

La carte piézométrique de la nappe du (CI) (Fig. 15), montre en général, un écoulement divergent du Nord-Ouest dans la zone d'alimentation du Grand Erg Occidental vers les zones d'exutoires du Sud-Ouest (le plateau de Tadmaït) et du Sud-Est (à sous l'effet relativement d'une zone des grand forages d'exploitation dans la région de Ghardaïa), un écoulement linéaire d'Ouest (le Bas-Sahara) en Est (l'exutoire tunisien marqué par la faille d'El Hamma), un écoulement presque linéaire du Sud dans la zone du Tinrhert et du Grand Erg Oriental vers le Nord.

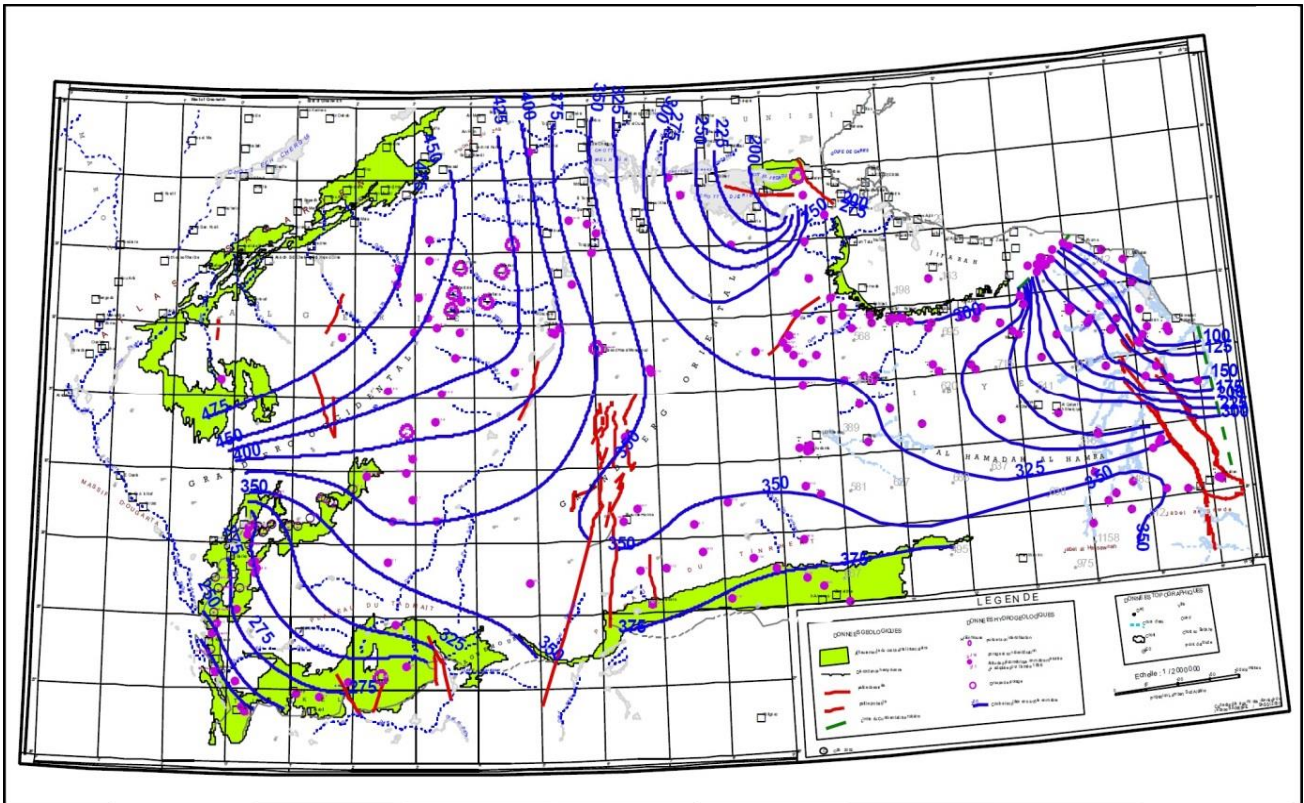


Fig. 15: La carte piézométrique de la nappe du (CI) (OSS, 2003).

On distingue trois directions d'écoulements :

- une direction ouest–est: provenant de l'Algérie qui représente l'écoulement principal du système aquifère.
- une direction sud-ouest nord-est qui provient de la frontière algéro–libyenne.
- une direction sud-est nord-ouest provenant du massif du Dahar.

Le gradient hydraulique dans cette carte est faibles à cause de le grand réservoir de (CI) mais dans la zone Nord-Est du bassin libyen le gradient hydraulique est fort et les courbes de niveau sont plus proche et orientent vers l'exutoire à cause de la présence des failles et de la concentration des forages.

Les valeurs de transmissivité ne dépendent pas beaucoup du type de l'aquifère, mais La variation de la nature lithologique de l'aquifère d'une zone à l'autre, est à l'origine des variations observées dans les valeurs de la transmissivité. Des valeurs approximatives de transmissivité obtenues à partir de pompages d'essais sont varié 10 et 30. $10^{-3}m^2/s$ dans le bassin du Grand Erg Occidental et entre 10 et 40. $10^{-3}m^2/s$ dans le bassin de bas Sahara et bassin du Grand Erg Oriental.

Les valeurs du coefficient d'emmagasinement, dans les zones à nappe libre obtenues varient entre 16,8 et 18. 10^{-2} , dans les zones à nappe en charge, obtenues varient entre 4 et 30,3. 10^{-4} .

2. Le système aquifère de Ghardaïa

Le système aquifère de Ghardaïa varie d'une région à l'autre, il est composé généralement des nappes superficielles et la nappe du Continental Intercalaire.

2.1. Nappe superficielle de la vallée de M'Zab

L'aquifère superficielle est formé d'alluvions et de sables du Quaternaire d'épaisseur peut atteindre 25 à 30 mètres reposent sur les couches calcaires du Turonien fissurés d'épaisseur de 40 à 100m. Cette nappe d'Infero-flux, exploitée par des puits traditionnels, présente un intérêt très important dans le domaine agricole. L'examen de la carte piézométrique montre que l'écoulement général des eaux de la nappe se fait de l'Ouest vers l'Est, le long du lit de l'oued, il est identique aux écoulements de surface. Le gradient hydraulique est de 2,5‰ en amont et de 3,5‰ en aval.

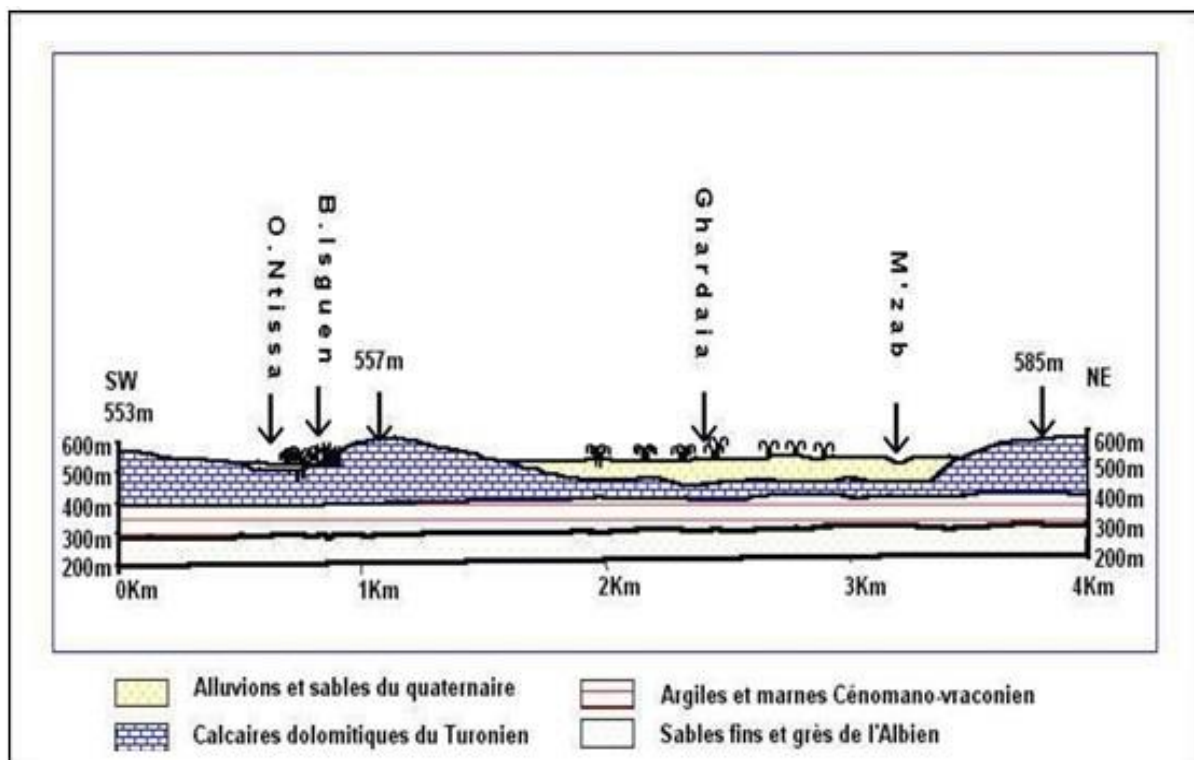


Fig. 16: Coupe géologique schématique de la vallée du M'Zab (ACHOUR, 2011).

Du point de vue de la qualité des eaux des nappes superficielles, les analyses chimiques d'échantillons, présentés dans le tableau comparatif (Tableau 08), montrent que les eaux de la nappe superficielle de la vallée de M'Zab, ne sont pas potables en référence aux normes de l'OMS d'eau potable, car elles sont très minéralisées et très dures.

Tableau 08: Comparaison entre l'eau de nappe superficiel de la région et de l'OMS (Source ANRH).

localités	Quantités (mg/l)								
	Ca	Mg	Na	K	Cl	So4	Hco3	No3	R.S
P1	0.059	0.02	617.232	220.644	512.5	38.333	921.778	308	1305.848
P2	0.009	0.05	328.656	247.86	228.571	33.33	611.209	206	846.969
P3	0.01	0.03	216.432	160.38	122.222	17.5	584.265	260	823.1
P4	0.162	0.1	633.264	155.52	512.5	12.5	981.339	332	797.995
P5	0.003	0.02	312.624	92.34	336.363	17.5	649.498	320	630.494
P6	0.019	0.02	296.592	179.82	155.555	12.25	553.066	262	679.057
P7	0.077	0.04	480.96	199.26	500	35	930.286	450	1740.033
P8	0.022	0.03	336.672	200.232	390.909	36.666	536.049	386	1316.96
P9	0.224	0.09	296.592	148.716	363.636	33.33	599.864	290	940.391
P10	0.156	0.04	439.276	248.832	675	46	907.596	388	1305.436
Normes de l'OMS	100	250	200	-	250	400	-	44	2000

2.2. Nappe du complexe terminal (CI) de Ghardaïa

Le complexe terminal (CT) existe dans la région de Guerrara, sous forme trois aquifères (HEMIDI, 2014).

- L'aquifère du Mio-Pliocène et Eocène: cet aquifère peut être exploité dans la partie Est de la région de Guerrara, à partir de longitude 4°35' Est. Il est constitué d'une nappe de Mio-Pliocène sableux d'une épaisseur moyenne de 125 m et d'une nappe d'Eocène contenue dans des calcaires blancs fins à moyens avec une épaisseur de 100 m. L'épaisseur totale de l'aquifère est de 225 mètres avec un niveau statique estimé à 123 m du sol.
- L'aquifère du Sénonien carbonaté: cet aquifère est en continuité hydraulique avec la nappe de Mio-Pliocène. Ainsi l'ensemble des formations aquifères (Mio-Pliocène, Eocène et Sénonien) peut être exploité jusqu'à une profondeur de 430 m environ. Dans la partie Ouest de la région de Guerrara les dépôts du Mio-Pliocène sont réduits et reposent directement sur le Sénonien carbonaté. De ce fait seul la nappe formée par les calcaire du sénonien peut constituer un aquifère exploitable. Le Sénonien carbonaté

est formé de calcaire microcristallin au sommet et de dolomite beige à la base. Son épaisseur moyenne est de 205 m avec un niveau statique estimé à 150 m.

- L'aquifère du Turonien carbonaté: avec une épaisseur de 74 m cette nappe peut être captée à une profondeur de 500 m environ dans la partie Ouest de la région de Guerrara. Cet aquifère est constitué de dolomite beige cryptocristalline compacte, dure avec intercalation de calcaire tendre.

2.3. Nappe du Continental Intercalaire (CI) de Ghardaïa

Sous les calcaires turoniens, il y a une couche imperméable d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite de 220 mètres de l'étage de le Cénomaniens, cette couche sépare la nappe phréatique et le Continental Intercalaire.

Le Continental Intercalaire commence à partir de l'étage de l'Albien (sables fins à grès et argiles vertes), sous la couche de l'étage de le Cénomaniens. La nappe du Continental Intercalaire draine, les formations gréseuses et grès-argileuses du Barrémien et de l'Albien. En raison de l'altitude de la zone et l'épaisseur des formations au-dessus de CI allant de 250 à 1000m, on a deux types de type puits (ACHOUR, 2011) :

- Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage (Zelfana, Guerrara et certaines régions d'El Menia).
- Exploitée par pompage à des profondeurs importantes, dépassant parfois les 120m (Ghardaïa, Metlili, Berriane et certaines régions d'El Menia).

Au cours du temps on remarque une évolution rapide du nombre des forages captant le (CI) dans la wilaya de ghardaïa, entre les années (1999-2011) de 288 à 565 forages, en raison de lancement des programmes de mise en valeur des terres agricoles à travers le territoire de la wilaya, ainsi que pour satisfaire les besoins en eau de la population grandissante.

Le tableau suivant (Tableau 09), représente la répartition des forages et Le volume d'eau extrait de la nappe du (CI), pour chaque utilisation (l'irrigation IRR, l'alimentation en eau potable AEP et l'alimentation en eau industrielle AEI) dans tout le territoire de la wilaya de Ghardaïa.

Tableau 09: La répartition des forages et Le volume d'eau extrait de la nappe du (CI) pour chaque utilisation (ACHOUR, 2011).

Communes	Forages d'AEP		Forages d'irrigation		Forages d'AEI		Total des forages	Volumes soutirés (hm ³ /an)
	Nbre	Q (hm ³ /an)	Nbre	Q (hm ³ /an)	Nbre	Q (hm ³ /an)		
Bounoura	7	5.90	3	1.33	2	1.31	17	7.73
El Attuef	8	2.45	6	1.26	2	0.51	21	6.70
Ghardaia	22	13.97	3	0.63	2	0.30	42	14.90
Daya bnedahoua	4	1.30	4	1.02	1	0.16	20	2.48
Berriane	7	5.55	5	2.04	0	0.00	22	7.59
Metlili	11	7.27	4	4.03	1	0.26	39	13.42
Sebesb	1	0.79	7	3.41	0	0.00	14	4.00
Mansourah	2	1.05	11	10.10	0	0.00	21	13.23
Hassif'hale	4	4.42	29	53.16	0	0.00	40	59.47
EL Meniaa - Hi gara	18	10.30	184	163.88	5	0.13	262	178.07
Guerrara	7	6.53	26	40.98	0	0.00	43	49.06
Zelfana	5	10.00	11	20.18	4	1.04	24	31.22
Toutaux	99	68.71	299	302.02	17	6.17	565	387.66

Au moins 262 forages sur un total de 565 forages (Fig. 17) sont localisés dans les communes d'El-Menia et de Hassi El-Gara, ils représentent environ la moitié du volume total d'eau extraite dans la wilaya de Ghardaïa. C'est à cause de l'intensité de l'activité agricole dans ces zones, qui compte 184 forages d'irrigation du total de 262 forages, donc la région d'El-Menia est une zone agricole. Les forages restants sont répartis au nord-est de la wilaya de Ghardaïa (Ghardaia, Zelfana, Metlili, Guerrara...).

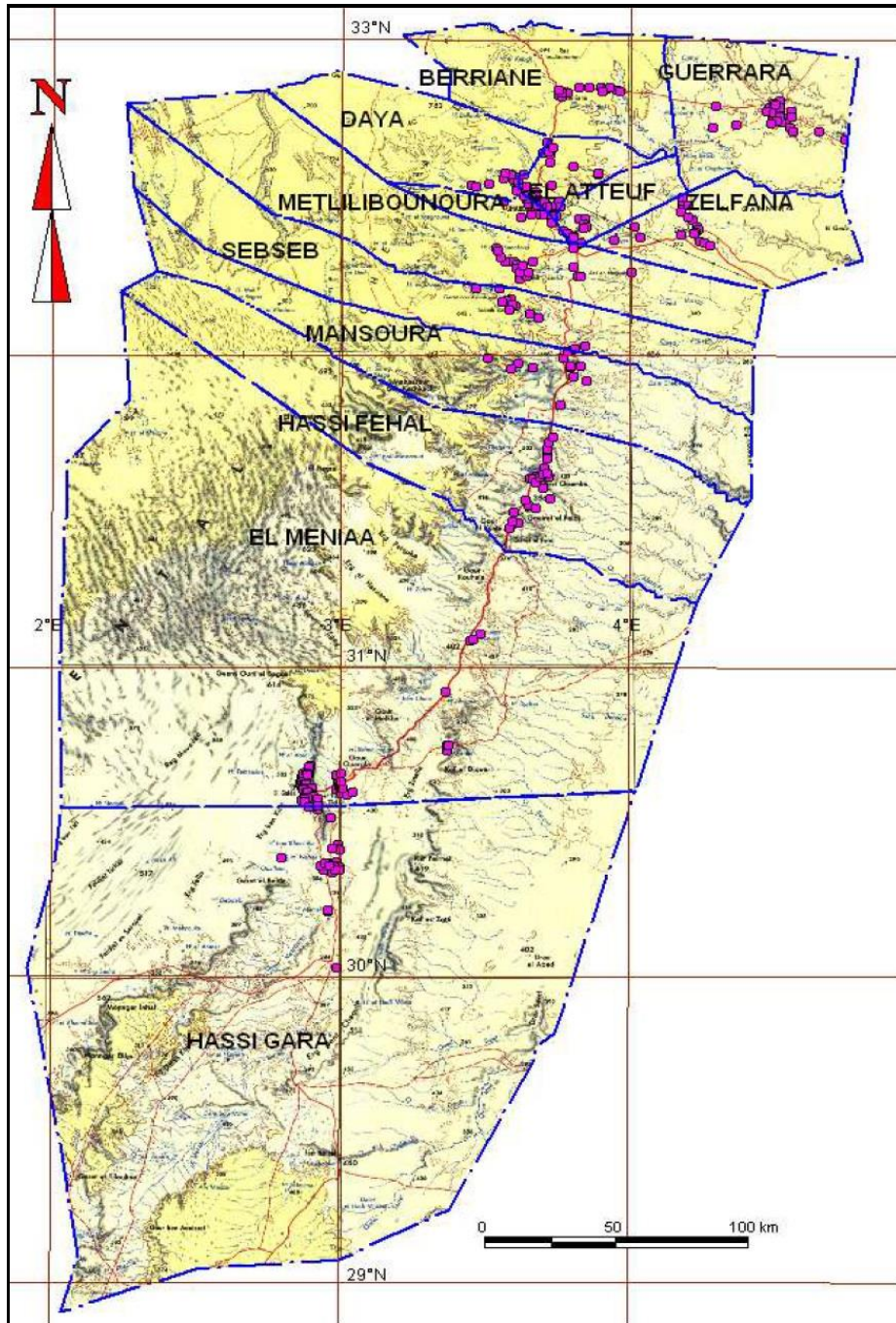


Fig. 17: Répartition spatiale des forages captant le CI région de Ghardaïa (ACHOUR, 2010).

L'interprétation de la carte piézométrique (Fig. 18) montre que l'écoulement de la nappe du CI se fait de l'Ouest vers l'Est au nord de la wilaya de Ghardaïa, et du Nord vers le Sud-Ouest au sud-Ouest dans la région d'El Meniaa. On remarque l'existence de deux dépressions piézométriques dans les régions de M'Zab et Metlili. Le gradient hydraulique est relativement faible dans toute la région sauf dans les zones de Sud-Ouest et de Nord-Est.

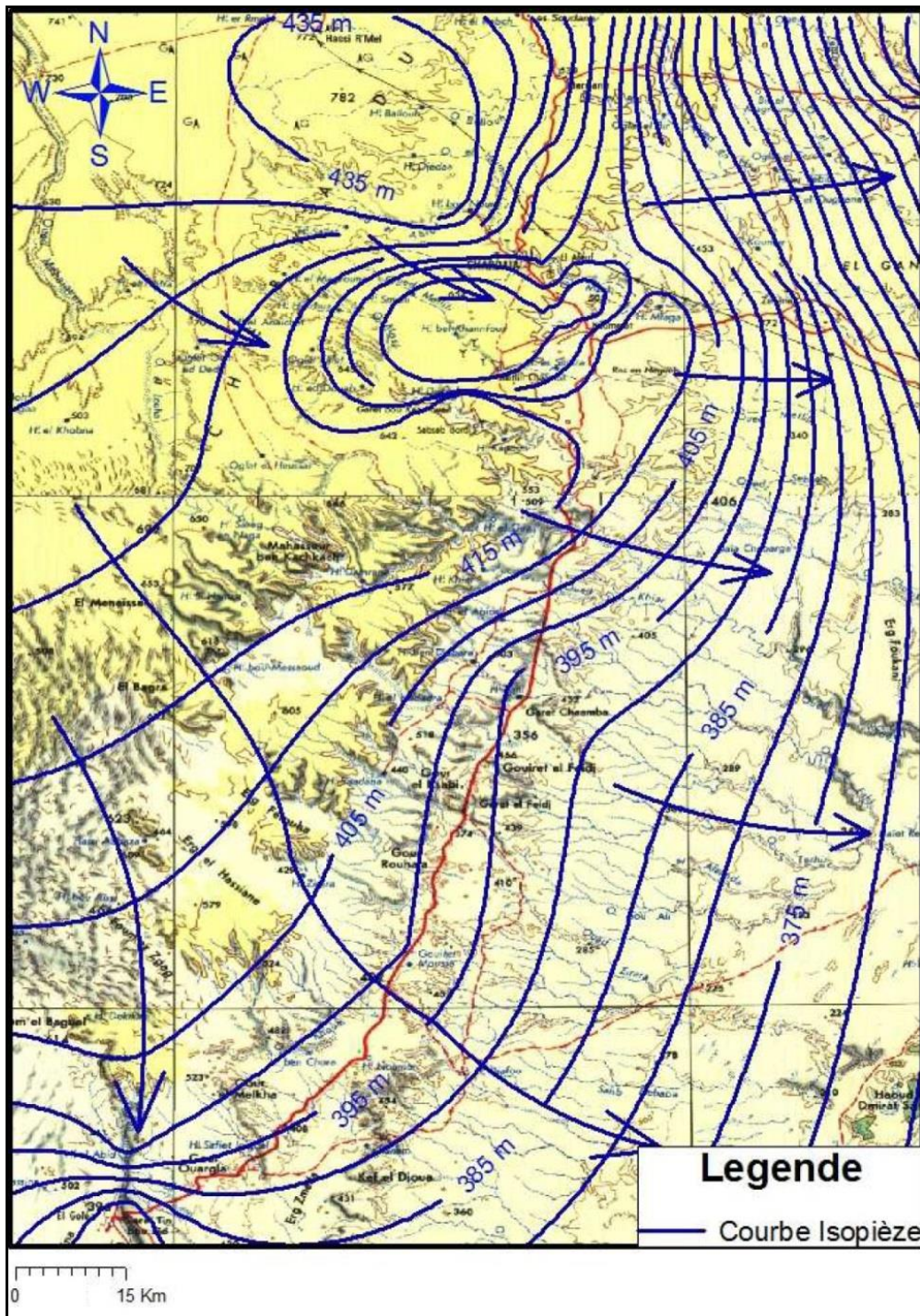


Fig. 18: Carte piézométrique de la nappe de (CI) région du M'Zab (ACHOUR, 2010).

Du point de vue de la qualité des eaux de (CI), les analyses chimiques d'échantillons, présentés dans le tableau comparatif (Tableau 10), représentant les différentes localités de la wilaya, montrent que les eaux, à l'exception de celles d'El Meniaa qui sont extrêmement douces, ne sont pas trop chargées (R.S variant entre 1 et 1,8g/l) et présentent un faciès chimique de type sulfaté-magnésien et parfois sulfaté-chloruré-magnésien.

La comparaison des quantités de minéraux contenus dans les eaux de la région et les normes de l'OMS montre que ces eaux sont bonnes pour la consommation.

Tableau 10: Comparaison entre l'eau de la nappe (CI) de la région et la réglementation nationale et de l'OMS (ANRH, 2005).

localités	Quantités (mg/l)								
	Ca	Mg	Na	K	Cl	So4	Hco3	No3	R.S
Berriane	67	105	145	8	270	325	170	26	1068
Guerrara	98	170	212	16	470	536	140	21	1840
Ghardia	21	149	145	13	265	400	128	10	1226
Zelfana	126	169	112	20	135	950	153	0	1832
Metlili	35	214	145	8	180	796	275	20	1424
Mansourah	60	110	132	7	230	305	163	21	987
EL Meniaa	39	13	63	7	40	45	210	7	370
Normes de l'OMS	100	250	200	-	250	400	-	44	2000

3. Conclusion

La zone d'étude appartient au système aquifère de Sahara septentrional(SASS), est la superposition de deux aquifères principales :

- L'aquifère du continental intercalaire (CI), au fond, présent dans toute la zone d'étude à des profondeurs varie d'un endroit a l'autre (profond dans la région Guerrara et Zelfana et de faible profondeur à Meniea et Hassi El Gara). La salinité des eaux varie entre 1 g/l et 1,8 g/l.
- L'aquifère du complexe terminal (CT), présent dans la partie nord-est de Ghardaia, il est captif dans les régions de Guerrara et Zelfana, et libre dans la vallée de M'Zab.

1. Les méthodes de forage d'eau

Il existe de nombreuses méthodes de forage dont la mise en œuvre dépend de paramètres très divers. Cette partie présente les méthodes de forages utilisés dans la région de Ghardaïa.

1.1. Forage au marteau fond de trou (MFT)

Cette méthode de forage utilise la percussion assortie d'une poussée sur l'outil qui se trouve lui-même en rotation (Fig. 19). L'énergie utilisée pour actionner cet outillage est l'air comprimé à haute pression (10-25 bars). C'est un procédé très intéressant en recherche hydrogéologique et principalement en terrains durs (calcaire et grès). Un marteau pneumatique équipé de taillants est fixé à la base d'un train de tiges et animé en percussion par envoi d'air comprimé dans la ligne de sonde, d'où le nom de "marteau fond de trou".

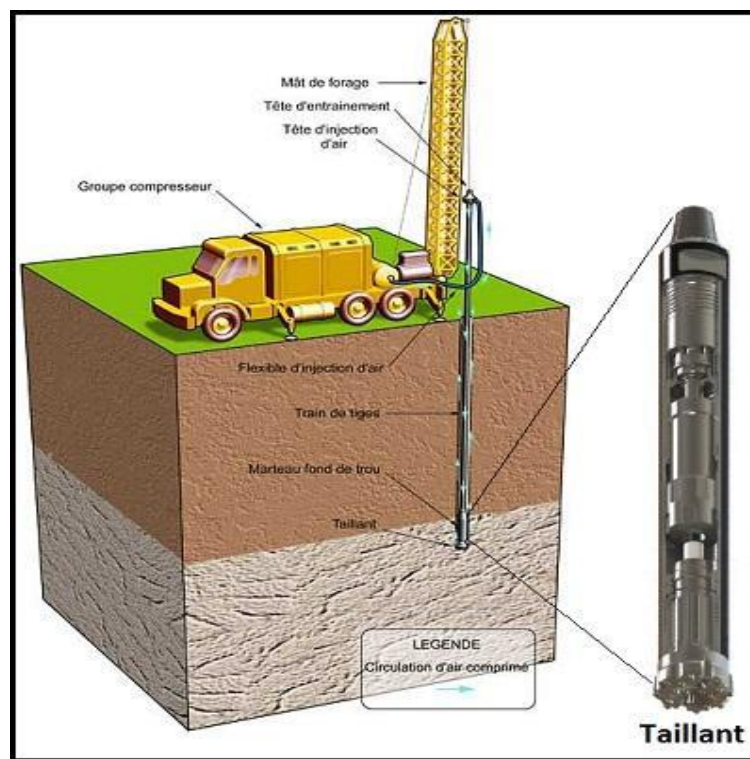


Fig. 19: Schéma simplifié d'une installation de forage fond de trou (MFT).

1.2. Forage au marteau fond de trou avec tubage à l'avancement

Cette technique est appelée forage ODEX, elle est identique à la technique MFT "classique" exposée ci-avant, cette méthode concerne la mise en place d'un tubage des parois du trou au fur et à mesure de sa foration. Elle met en œuvre un taillant pilote avec alésoir excentrique qui permet de forer des trous d'un diamètre légèrement supérieur au diamètre extérieur des tubes. Le tubage est ainsi enfoncé progressivement à la suite de l'alésoir sous l'effet de son propre poids et de l'énergie de percussion du marteau. Les tubes sont solidarisés entre eux soit par soudure, soit par filetage. Le taillant excentrique se déploie par rotation dans le sens des

aiguilles d'une montre, une rotation en sens inverse en fin de foration permet son repli et la remontée de la garniture. Comme en foration au marteau fond de trou classique, l'évacuation des cuttings est là aussi assurée par la remontée de l'air, ici entre tiges et tube. La circulation de l'air sera directe ou à circulation inverse.

1.3. Forage rotary circulation directe

Le technique de forage rotary utilise un outil (trépan) monté au bout d'une ligne de sonde (tiges vissées les unes aux autres), animé d'un mouvement de rotation de vitesse variable et d'un mouvement de translation verticale sous l'effet d'une partie du poids de la ligne de sonde ou d'une pression hydraulique. Le mouvement de rotation est imprimé au train de tiges et à l'outil par un moteur situé sur la machine de forage en tête de puits (Fig. 20). Les tiges sont creuses et permettent l'injection de boue au fond du forage. Les outils utilisés en rotation sont des trépan de plusieurs types en fonction de la dureté des terrains rencontrés (outils à lames, outils à pastilles, molettes ou tricône, outils diamantés ou à carbures métalliques). Au-dessus du trépan, on peut placer une ou plusieurs masses-tiges très lourdes qui accentuent la pression verticale sur l'outil et favorisent la pénétration et la rectitude du trou. Le forage rotary nécessite l'emploi d'un fluide de forage préparé sur le chantier. Dans le cas de la circulation directe, le fluide est injecté en continu sous pression dans les tiges creuses de la ligne de sonde, il sort par les événements de l'outils et remonte à la surface dans l'espace annulaire (entre les tiges et les parois du trou).

1.4. Forage en circulation inverse

Cette méthode de foration diffère des méthodes précédentes par une circulation du fluide (boue, eau ou air), elle descendre dans l'espace annulaire (entre la formation et les tiges) et la remontée des cuttings se fait à l'intérieur du train de tiges. Il existe également des tiges à double parois qui assurent l'injection et la remontée du fluide par l'intermédiaire des seules tiges.

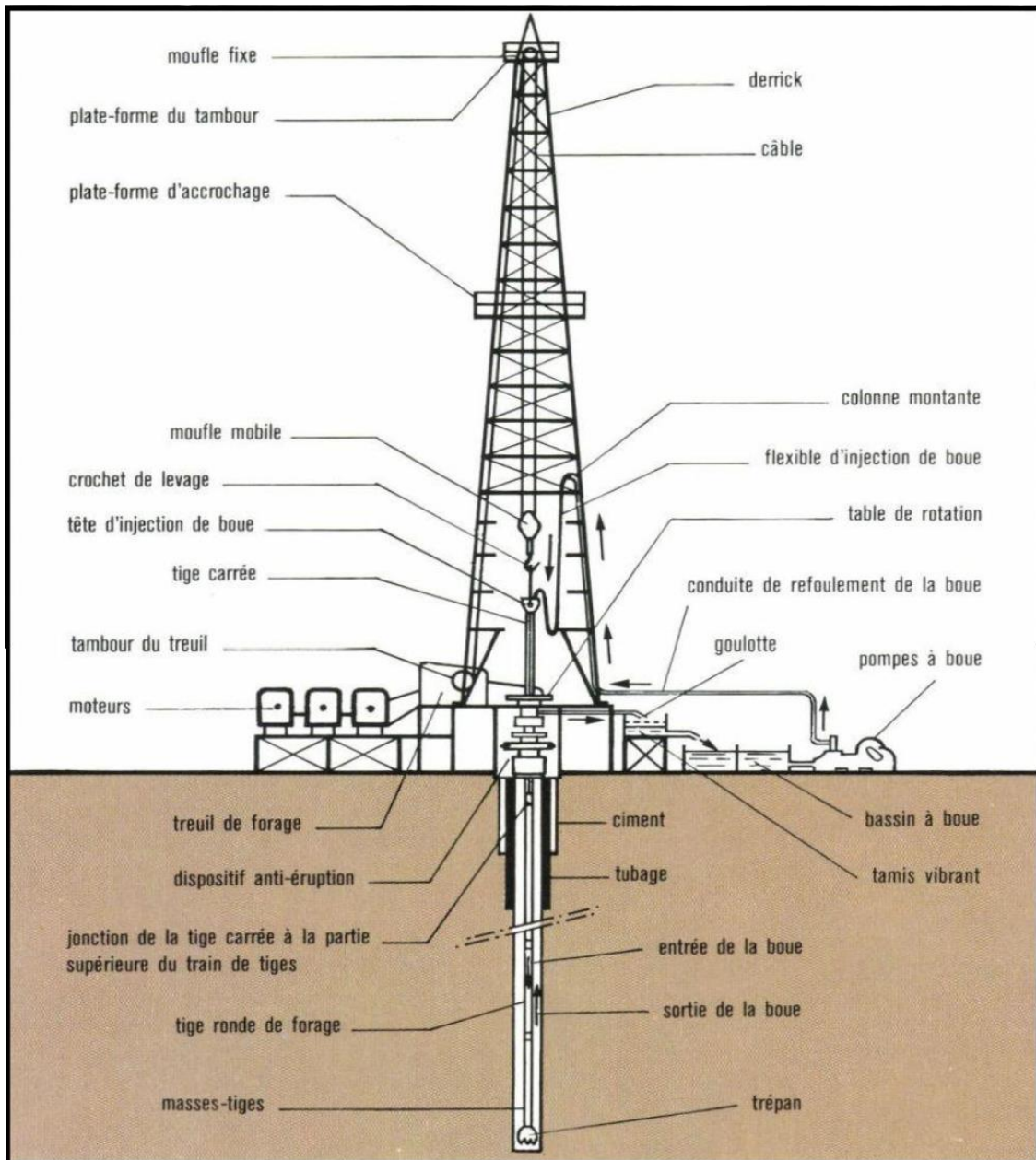


Fig. 20: Schéma simplifié d'une installation de forage rotatif.

1.5. Forage par battage

La méthode consiste à soulever un outil lourd (trépan) et le laisser retomber sur le terrain à perforer en chute libre. La hauteur et la fréquence de chute varient selon la dureté des formations. Le battage se produit par le mouvement alternatif d'un balancier actionné par un arbre à came (ou bien un treuil : cylindre horizontal). Après certain avancement, on tire le trépan et on descend une curette (soupape) pour extraire les déblais (cuttings). Pour avoir un bon rendement, on travaille toujours en milieu humide en ajoutant quelque litre d'eau au fond de trou. On distingue trois types de battages (Fig. 21): Le battage au câble, Le battage au treuil, Le battage rapide.

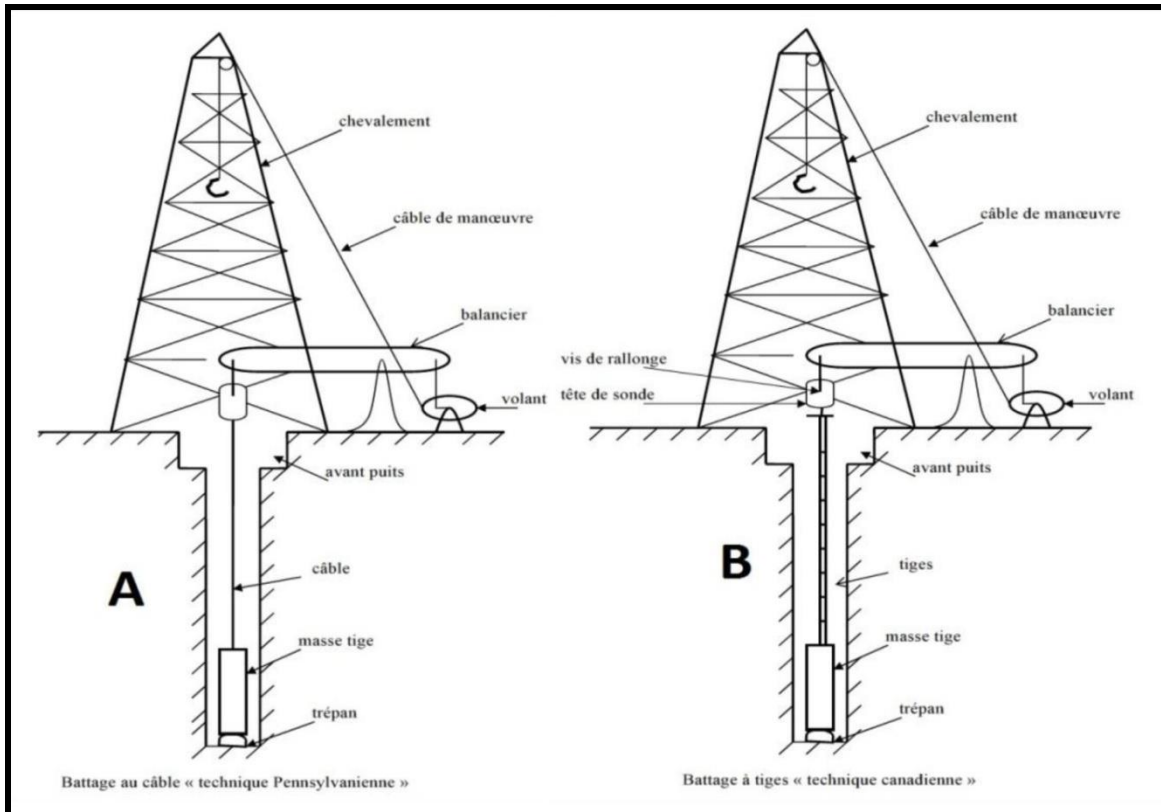


Fig. 21: coupes schématiques des différents types de forage par battage.

2. les appareils de forages hydrauliques

Les installations de forage employées pour le forage rotary des puits profonds (comme le cas des forages captant nappe de continentale intercalaire dans la région de Ghardaïa où la profondeur de forage dépasse parfois 1000m) représentent un ensemble de différentes machines, mécanismes et bâtiments (Fig. 22), semblables aux machines de forage pétrolière.

L'appareil de forage assure ces fonctions par deux catégories d'équipements:

- Les équipements de surface: Cette catégorie est répartie en plusieurs groupes mettant en œuvre l'outil de forage et assurant la sécurité du puits.
- Les équipements de fond: C'est l'ensemble des outils de forage et garniture qui travaillent au-dessous de la surface.

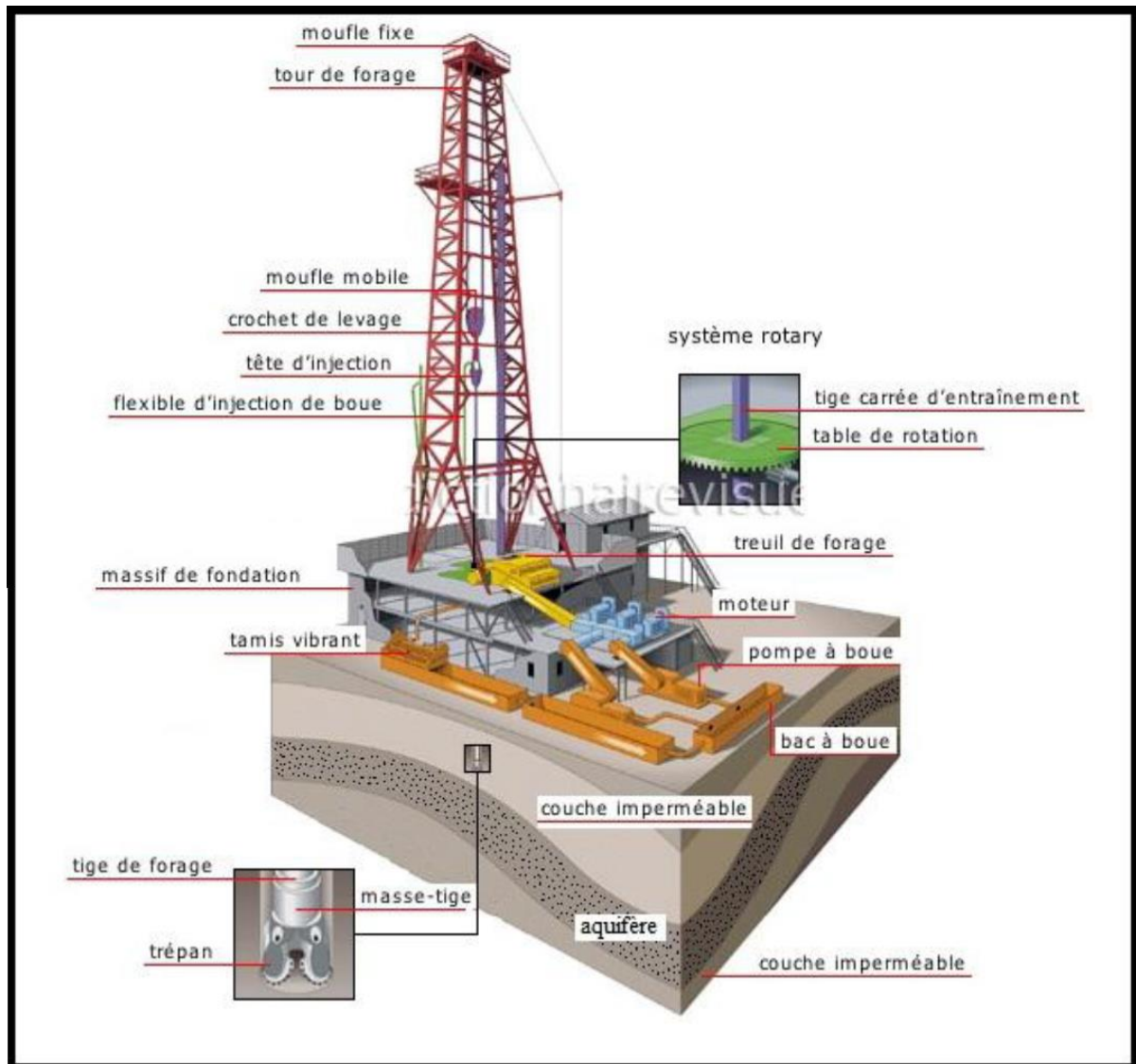


Fig. 22: les composants d'un appareil de forage rotatif.

2.1. Les équipements de surface

2.1.1. Les équipements de levage : Pour soulever la garniture de forage (ensemble tiges-tiges lourdes–masse-tiges), il faut utiliser une grue de grande capacité, car la garniture de forage peut atteindre un poids supérieur à 150 tonnes ou plus. La grue permet de contrôler le poids sur l'outil, les changements d'outils (manœuvres de garnitures), la descente des colonnes de tubages (casing) et les levées et descentes du mât. Cette grue est constituée: **Le mât de forage / Le moufle fixe / Le moufle mobile / Le treuil.**

2.1.2. Les équipements de rotation: Pour faire tourner l'outil, on visse au sommet des tiges, de forme cylindrique, une autre tige de section carrée ou hexagonale, appelée tige d'entraînement, et on l'introduit dans la table de rotation [rotary table]. Alors la fonction de rotation est assurée par:

- **La table de rotation :** En cours de forage, elle transmet le mouvement de rotation à la garniture de forage, par l'intermédiaire de fourrures et de la tige d'entraînement, et, en cours de manœuvre, supporte le poids de la garniture de forage, par l'intermédiaire de coins de retenue.
- **Le carré d'entraînement et les fourrures :** Le mouvement de rotation est transmis par la table à la tige d'entraînement par le biais d'un carré d'entraînement rendu solidaire en rotation de la table par l'intermédiaire d'une fourrure principale. Pendant les manœuvres, des fourrures intermédiaires sont mises en place à l'intérieur de fourrure principale pour pouvoir caler la garniture de forage.
- **La tige d'entraînement:** Elle assure la liaison entre la garniture de forage et la tête d'injection et communique le mouvement de rotation de la table à la garniture de forage par l'intermédiaire du carré d'entraînement.
- **Le top drive :** Le top drive est une tête d'injection motorisée qui, en plus de l'injection, assure la rotation de la garniture de forage. Ainsi, on n'a besoin ni de la tige d'entraînement ni de la table de rotation pour faire tourner la garniture, c'est le top drive qui s'en charge. En plus, pendant le forage, au lieu de faire les ajouts simple par simple, on peut les faire longueur par longueur.

2.1.3. Les équipements de pompage : La fonction pompage assure l'acheminement du fluide de forage depuis l'aspiration de la pompe jusqu'au retour aux bassins.

2.1.4. Les équipements de puissance : Dans pratiquement tous les cas, un moteur Diesel fournit la puissance nécessaire aux forages. La puissance est alors délivrée soit par électricité, soit mécaniquement. Dans le cas de forages profonds, des générateurs électriques alimentés par un moteur Diesel sont le plus souvent utilisés. L'option « électrique » a de nombreux avantages dont, entre autres, la réduction du bruit et une organisation du chantier plus simple.

2.2. Les équipements de fond

C'est l'ensemble des outils de forage et garniture qui travaillent au-dessous de la surface. La garniture de forage est un arbre de forage creux, constituée des tiges, des tiges lourdes et des masse-tiges, leurs principales fonctions :

- Entraîner l'outil en rotation.
- Appliquer un certain effort sur l'outil.
- Apporter l'énergie hydraulique nécessaire à l'évacuation des déblais,
- Canaliser la boue de forage jusqu'au fond de trou.

2.2.1. Les tiges : Les tiges de forage permettent la transmission de la rotation de la table à l'outil et le passage du fluide de forage jusqu'à ce dernier.

2.2.2. Les tiges lourdes : Les tiges lourdes ont une flexibilité plus grande que celle des masses tiges et plus petite que celle des tiges normales. Les tiges lourdes sont fréquemment utilisées comme intermédiaires entre les masse-tiges et les tiges. On utilise donc avantageusement une, deux ou trois longueurs de tiges lourdes, entre les masse-tiges et les tiges, chaque fois que les conditions de forage sont difficiles.

2.2.3. Les masse-tiges : Les masse-tiges permettent de :

- mettre du poids sur l'outil pour éviter de faire travailler les tiges de forage en compression. Le poids utilisable des masse-tiges ne devra pas excéder 80% de poids total dans la boue.
- jouer le rôle du plomb du fil à plomb pour forer un trou aussi droit et vertical que possible.
- canaliser la boue de forage jusqu'au fond de trou.

2.2.4. Les stabilisateurs : pour limiter et contrôler la déviation d'un puits, on intègre dans la garniture de forage des stabilisateurs dont on choisit le nombre, le dimensionnement et la position pour répondre au mieux aux problèmes posés.



Fig. 23: les composants de la garniture de forage.

2.2.5. Les outils de forage rotary: Le rôle de l'outil de forage est la destruction de la roche et la réalisation d'un trou dans le plus court temps possible.

Les outils à molettes : sont constitués de trois cônes tournant de façon indépendante et montés sur trois bras réunis entre eux par soudure constituant le corps de l'outil. Les outils à molettes travaillent par compression produisant la pénétration de la dent ou du picot dans la formation et l'éclatement de la roche induisent des fractures et en suite l'arrachage du copeau de terrain se fait par ripage de la molette sur elle-même.

- **Les outils à dents acier** : sont utilisés en début de trou, dans les formations tendres, avec de grandes vitesses de rotation, ainsi que dans les zones où l'épaisseur des couches rend les outils à picots non économiques. Les outils pour formations tendres sont conçus avec des dents longues, largement espacées, de façon à favoriser la pénétration dans le terrain et l'arrachement de fragments plus importants. Les outils pour formations moyennes et mi-dures présentent des dents plus rapprochées. La dent a également des angles légèrement plus grands pour supporter la charge nécessaire pour vaincre la résistance de la formation. Les formations dures ont de fortes résistances à la compression et sont habituellement très abrasives. Les outils conçus pour forer ces formations sont munis de dents solides et peu espacées ainsi que des cônes de molette épais de manière à supporter des poids importants.
- **L'outil à picots (insert bit) de carbure de tungstène** : ont permis d'améliorer les performances de forage dans les formations dures, là où les outils à dents ne pouvaient forer que quelques mètres avec une vitesse d'avancement faible. Les picots de carbure de tungstène et les paliers de friction ont permis d'appliquer des poids de plus en plus importants sur l'outil et d'augmenter la durée de vie des outils dans les formations dures et abrasives composées de silice ou de quartzite. Grâce aux progrès de la métallurgie, différentes formes de picots sont actuellement disponibles, ce qui permet d'utiliser ce type d'outil pratiquement dans tous les types de terrain.

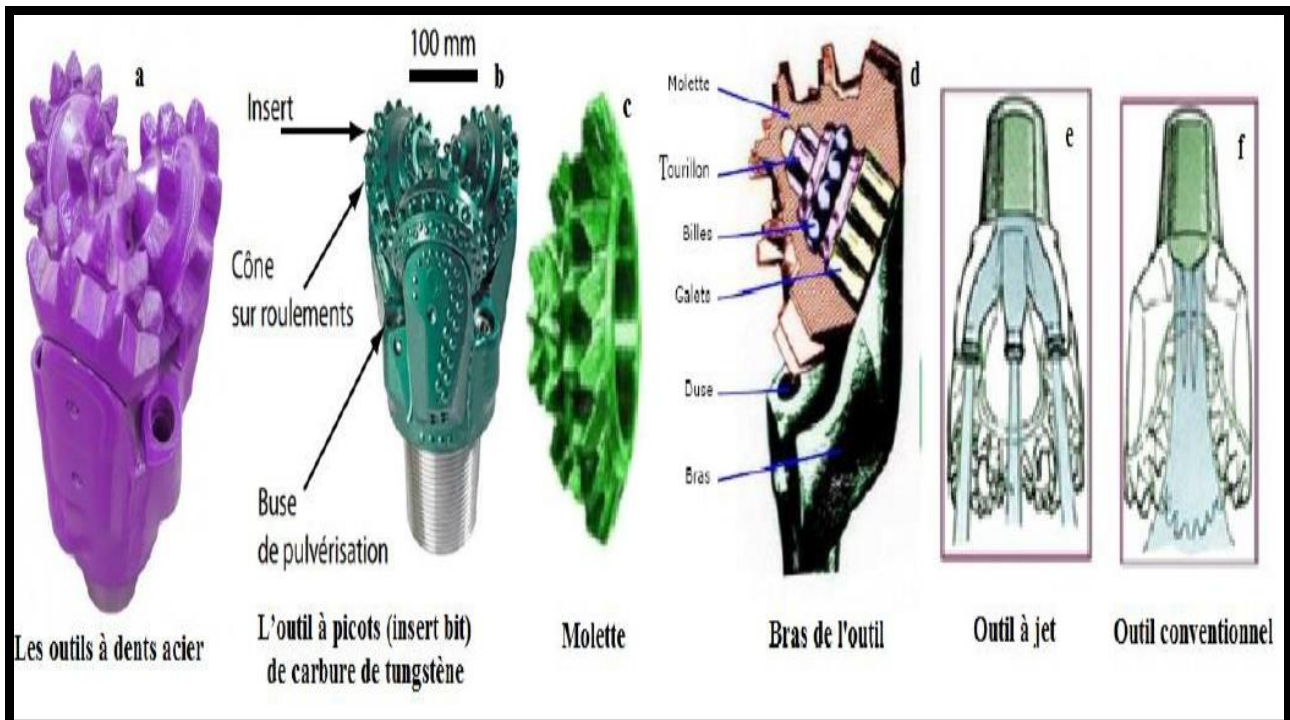


Fig. 24: Les outils à molettes.

3. Les équipements de puits

Trois éléments essentiels constituent l'équipement de forage d'exploitation sont, Les tubages pleins, les crépines ou tubages perforés et le massif filtrant.

3.1. Le tube plein

C'est un tube aveugle (non perforé), il peut être de l'acier ou en PVC, on distingue plusieurs types de tubes mise en place pendant l'exécution d'un forage:

Tube guide ou cuvelage : est dans presque tous les cas nécessaire et peut être défini comme le tube qui isole tout le puits des terrains encaissants et qui durant les opérations contient le fluide de forage.

Tubages intermédiaires : ils sont facultatifs et peut être défini comme « le tubage installé dans un puits après l'installation et à l'intérieur du tubage de surface et dans lequel les opérations de forage ultérieures peuvent être effectuées à l'intérieur du puits ».

Tubage de production : on appelle aussi tube plein, celui qui isole l'encaissant du système d'exploitation (pompe et tiges). Ce tubage est cimenté dans l'encaissant (terrains imperméables), du moins dans la partie basse du forage si un tubage intermédiaire est utilisé.

3.2. La crépine

La crépine constituée l'élément principal de l'équipement d'un ouvrage d'exploitation d'eau. Elle est placée à la suite du tubage plein, face à une partie ou à la totalité de la formation aquifère. les crépines doivent permettre la production maximale d'eau claire sans sable, résister à la corrosion due à des eaux agressives, résister à la pression d'écrasement exercée par la formation aquifère en cours d'exploitation, avoir une longévité maximale et induire des pertes de charge minimales.

On rencontre plusieurs types de crépines industrielles (Fig. 25), elles sont déterminées suivant la forme et le pourcentage de vides pour allier résistance et vitesse de l'eau dans les ouvertures. Un grand pourcentage de vides permet une faible vitesse de circulation donc une plus grande sensibilité aux phénomènes d'incrustation, d'érosion et de corrosion. Une vitesse de l'eau trop importante au travers de la crépine entraîne des pertes de charge. La vitesse de l'eau au travers des ouvertures de la crépine dépend du débit de pompage, du diamètre de la crépine et de son coefficient d'ouverture.

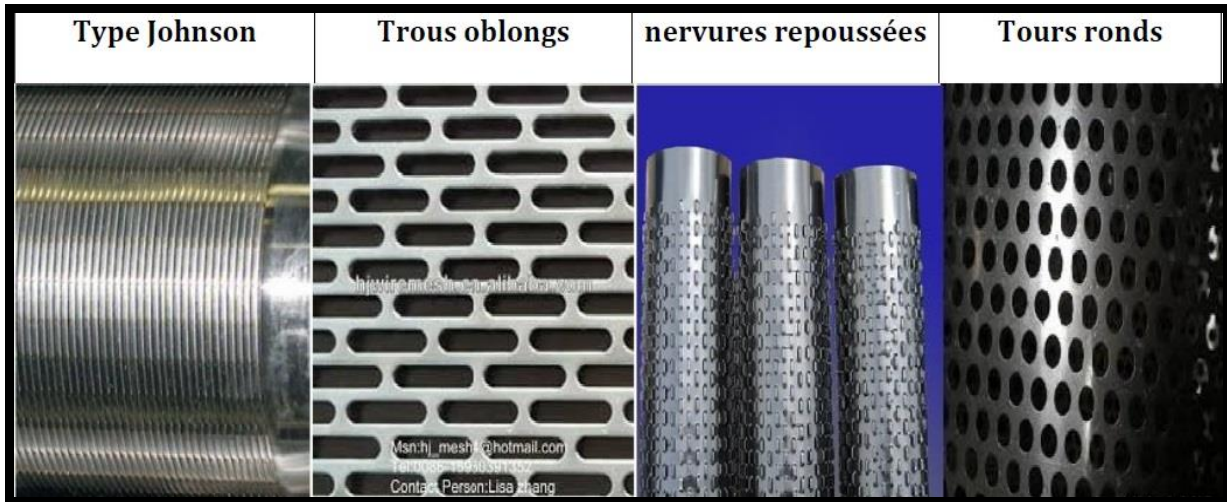


Fig. 25: Les types des crépines.

3.3. Le massif filtrant (gravier additionnel)

Ce sont des matériaux meubles formés d'éléments calibré (graviers, granulats), disposé dans l'espace annulaire entre la crépine et les parois de puits (Fig. 26) pour empêcher l'érosion souterraine et prévenir le colmatage et la réduction conséquente de l'efficacité de puits. Par ailleurs, il faut savoir qu'un massif filtrant de granulométrie surdimensionnée dans une formation sableuse fine, peut provoquer un ensablement de l'ouvrage. Par contre, un massif filtrant de granulométrie trop fine peut conduire à une exploitation partielle de la nappe et rendre difficile l'élimination de la boue de forage.

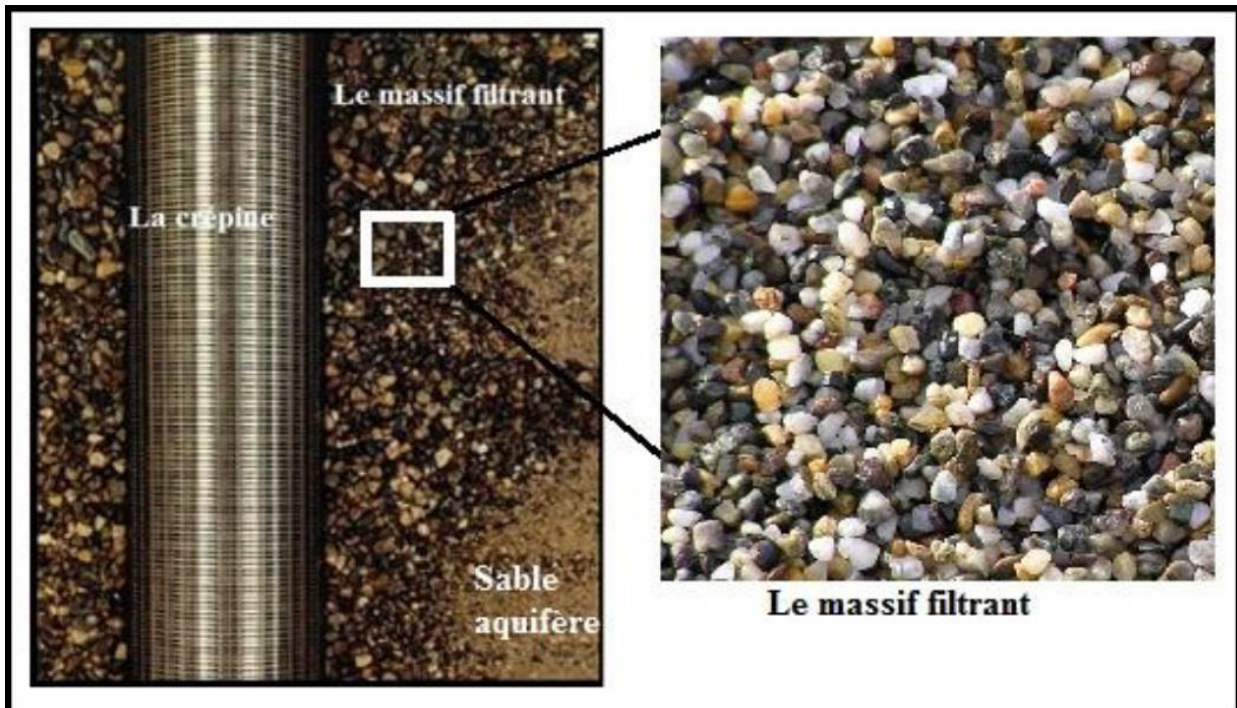


Fig. 26: Emplacement du massif filtrant dans le forage.

4. Règlements sur les l'exploitation des eaux souterraines

Les dispositions du décret 86-277 du 2 septembre 1986 relatif à la concession des travaux des recherches des captages d'eau et l'exécute de tout forage hydraulique dans le bassin du Sahara Septentrional est soumise à l'avis technique préalable de l'ANRH.

Le forage à exécuter doit faire l'objet par le maître d'ouvrage d'un rapport comportant :

- Les coordonnées exactes du forage.
- La profondeur prévisionnelle.
- L'usage de l'eau (AEP, irrigation, industrie).
- Les débits et pressions attendus.
- La coupe géologique et l'équipement prévisionnel du forage.

4.1. Forages de Continental Intercalaire (CI)

L'exécution d'un forage au (CI) nécessite l'établissement d'un programme qui prend en compte:

- la profondeur prévisionnelle de la couche aquifère à capter.
- les caractéristiques des couches à traverser, en particulier, la présence des couches salifères, nécessitant des dispositions techniques spéciales notamment de double tubage.
- les conditions géologiques particulières (pertes totales, éboulements. etc.)
- les caractéristiques des forages réalisés dans la région.

4.1.1. Exécution et équipement : Après exécution des opérations successives de forage et d'alésage de différents diamètres, et la mise en place des tubages et des crépines, l'équipement du forage sera constitué de tube guide, de colonne technique, de colonne de production et de colonne de captage. Ces tubes et crépines seront munis de centreurs.

Pour la mise en place du tube guide on procède à un forage de diamètre 32 pouces sur longueur minimum de 25 mètres, en suite on met en place un tubage de diamètre 26 pouces et on fait la cimentation totale de l'espace annulaire. Les raccords seront obligatoirement filetés et non soudés.

L'ouverture des crépines est déterminée par l'analyse granulométrique, les échantillons de terrain (cuttings) seront recueillis tous les 5 m (minimum) dans la couche aquifère et seront prélevés, tous les 10 m dans les formations situées au-dessus de l'aquifère. En règle générale, il est conseillé une ouverture qui laisse passer 50% des grains. La longueur de la colonne de captage ne doit pas excéder 200 m et doit comporter au moins 75% de crépines.

Il faut mentionner dans cette partie que la crépine utilisée dans le captage de l'aquifère du continental intercalaire est en double parois pour résister à la pression très forte, et aussi on ne

procède pas à la mise en place du massif filtrant, vu l'impossibilité de leur introduction dans l'espace annulaire.

4.1.2. Diagraphie : La diagraphie fournit un certain nombre d'informations sur les terrains traversés par le forage ou l'état de trou nu. Le programme de boue sera donc déterminé en fonction des informations à recueillir de la diagraphie. Dans le cas des forages du continental intercalaire, l'enregistrement des diagraphies suivantes est obligatoire : Polarisation Spontanée(P.S), Gamma Ray, Laterolog, Diamètreur et Résistivité.

4.1.3. Programme de boue : il doit être établi en tenant compte, des terrains des aquifères et des couches supérieures ; Mio-Pliocène, Sénonien, les zones de pertes de boue, la présence des formations géologiques salifères et les zones de fortes pressions de couche (CI). Dans les zones salifères, la boue de forage devra être saturée en sel. A titre indicatif, les caractéristiques principales de la boue à utiliser sont illustrées dans le tableau les suivantes :

Tableau 11: Programme de boue pour les forages (CI).

	Densité g/cm³	Viscosité dynamique Marsh	Filtrat Cm³
Colonne de technique	1.20	80	15 à 20
Colonne de production	1.5 à 1.40	45 à 60	10
Colonne de captage	1.30	45 à 60	4 à 5

4.1.4. Cimentation : La cimentation est une opération fondamentale dans l'exécution des forages profonds à l'Albien. Elle doit être particulièrement efficace pour protéger les tubages contre toute corrosion externe et assurer la solidité et l'étanchéité parfaite de la colonne de production.

L'Opération de préparation du lait de ciment consiste à remplir avec un mélange eau + ciment (laitier de ciment), l'espace annulaire au-dessus du réservoir de (CI), jusqu'à la surface du sol. Le dosage est d'environ 50 litres d'eau pour 100 kg de ciment, ce qui donne 75 litres de laitier. Si vous disposez de bentonite, utilisez le mélange suivant : 70 litres d'eau, 4 kg de bentonite et 100 kg de ciment; ce mélange évitera à l'eau de filtrer hors du ciment, mais le temps de prise sera légèrement supérieur. A titre indicatif : les caractéristiques de ciment sont: densité (1,85-1,90), dosage (50 litres d'eau pour 100 kg de ciment), nature de ciment (Portland ou équivalent, résistant aux sulfates).

La mise en place de ciment consiste à remplir l'espace annulaire jusqu'au niveau du sol, et laisser sécher un minimum de 12 heures avant d'effectuer les opérations de développement.

La cimentation doit être faite en règle générale avant les essais de pompage. Cependant, lorsqu'il n'est pas possible d'attendre 12 heures, il est toujours possible de faire une cimentation après les opérations de développement et d'essais de pompage, dans la mesure où un bouchon d'argile a été déposé au-dessus du gravier filtre.

L'opération de cimentation étant réalisée sous pression, elle sera considérée achevée lorsque le ciment sort en tête de puits de façon régulière et simultanée tout autour de l'espace annulaire. Pour contrôler la qualité d'exécution de la cimentation, on procédera aux diagraphies de contrôle suivantes : CBL/Densité variable et CET/Evaluation des cimentations.

4.1.5. Essais des débits : Les essais des débits, constituent une opération obligatoire qui doit suivre la phase de développement. Ils sont réalisés dans l'objectif de déterminer le débit d'exploitation du forage (CI et CT). Ces essais doivent se dérouler comme suit :

- Mesure de la pression en tête (Pression Statique P_0 vanne fermée).
- Réalisation de cinq paliers de débits croissants pour obtenir cinq points sur la courbe caractéristique.
- Les débits peuvent correspondre à des pressions : $P_0/5$, $2P_0/5$, $3P_0/5$, $4P_0/5$ et P_0 (vanne ouverte).
- Les mesures de pression et débit seront prises toutes les 15 minutes, de manière alternative. On change de palier quand 6 mesures successives donnent le même résultat.
- Fermeture du forage pendant un temps égal à celui du dernier palier. Observation de la remontée aux rythmes ci-après (par mesure de pression):
 - toutes Les minutes pendant les 5 premières minutes.
 - toutes les 2 minutes jusqu'à la fin du 1ère quart heure.
 - toutes les 5 minutes jusqu'à de la 2ème quart heure.
 - toutes les 10 minutes jusqu'à de la 1ère heure.
 - toutes les 15 minutes jusqu'à de la 2ème heure.
 - toutes les 30 minutes jusqu'à de la 3ème heure.
 - toutes les heures ensuite si nécessaire.
- Le programme pourra être adapté aux conditions d'essais par l'hydrogéologie de l'Administration.
- Les essais des débits devront être obligatoirement réalisés en présence de l'hydrogéologue de l'Administration.

4.1.6. Equipement de surface : L'équipement de surface doit permettre d'assurer :

- La sécurité de l'ouvrage.
- La commodité d'exploitation et d'entretien.
- Le réglage du débit désiré.
- Le contrôle de la nappe.

Il doit comporter, une vanne de tête en acier inox (adaptée au débit, à la pression, au degré de corrosivité et à la température des eaux), une prise de pression en tête de forage et une vanne de service et un dispositif de réglage du débit.

4.1.7. Contrôle des forages : Pour assurer la conservation des nappes profondes de (CI), les contrôles périodiques des forages profonds (CI et CT) sont obligatoires. Ils sont à la charge de la personne physique ou morale qui exploite le forage. Les objectifs du contrôle est ; la suivie de l'évolution des caractéristiques hydrodynamiques de la nappe, la suivie des caractéristiques hydrauliques du forage et de son équipement, la suivie de la qualité des eaux et la maintenance de têtes de forage.

Le contrôle par l'Administration comporte les opérations suivantes :

- Une inspection annuelle de l'équipement de surface devra être réalisée pour vérifier l'état de fonctionnement des vannes et équipement constituant la tête de forage.
- Les opérations d'entretien courant devront être réalisées au cours inspection (manœuvre de la vanne de tête, nettoyage, graissage. etc.).
- Les fuites d'eau devront être impérativement signalées.
- Analyse d'eau du forage devra être réalisée annuellement pour contrôler la qualité d'eau.
- Des opérations spécifiques de contrôle du forage et devront être réalisées tous les 10 ans.

4.2. Forages au Complexe Terminal (CT)

4.2.1. Forage de reconnaissance : La phase de reconnaissance consiste à la foration d'un trou de diamètre 8½ pouces jusqu'à la profondeur finale prévue. Cette phase doit permettre l'enregistrement des diagraphies et le recueil des échantillons en vue de l'analyse granulométrique de l'établissement de la coupe géologique des terrains traversés et l'équipement du forage. L'exécution d'un forage au Complexe Terminal nécessite l'établissement d'un programme qui prend en compte :

- La profondeur prévisionnelle de la couche aquifère à capter et du débit escompté.
- Les caractéristiques des couches traverses en particulier la présence des nappes en surface.

- Les conditions géologiques particulières (pertes totales, éboulements. etc.).
- Les caractéristiques des forages réalisés la région.

4.2.2. Exécution et équipement: Après exécution des opérations successives de forage et d'alésage en différents diamètres et de mise. En place des tubages et crépines, l'équipement du forage sera constitué comme suit :

Pour la mise en place du tube guide procède à un forage en diamètre 32 pouces sur une profondeur minimum de 25 m, à la mise en place d'un tubage en acier grade J-55, de diamètre 26 pouces et la cimentation totale de l'espace annulaire.

Pour la mise en place de la colonne de production on procède à l'alésage en diamètre 24^{1/4} pouces du toit de l'aquifère à la mise en place d'un tubage en acier grade J-55 de diamètre 18^{5/8} pouces et à la cimentation de tout l'espace annulaire.

Pour la mise en place de la colonne de captage on procède à l'alésage en diamètre 12^{1/4} pouces du toit de l'aquifère à la profondeur finale, à la mise en place d'une crépine en acier inoxydable de type à file enroulé, de diamètre 8^{5/8} pouces, la section du fil de crépine devra être trapézoïdale, a crépine doit être surmontée d'un Liner en DIOX en vue de canaliser l'écoulement et permettre une réserve de gravier. Pour les forages à fort débit artésien on utilisera une suspension par un Liner Hanger.

Un massif de gravier siliceux roulé doit être mise en place pour améliorer la filtration de l'eau et assurer une bonne stabilité de la colonne de captage. Le gravillonnage sera décidé quand on a $d_{10} < 0,25$ mm et $1 < CU < 5$. Les dimensions des grains du massif de gravier seront déterminées par les dimensions d'orifices des crépines, elles-mêmes fonction de la granulométrie du terrain.

L'ouverture des crépines étant calibré en fonction de la granulométrie des formations captées, les échantillons de terrain (cutings) devront être recueillis tous les 5 m (au minimum dans la couche aquifère). Il sera alors procédé d'une analyse granulométrique. Dans les formations situées au-dessus de l'aquifère les échantillons de terrain seront prélevés tous les 10 m.

4.2.3. Diagraphies : Le programme de diagraphies dont le but essentiel, est la délimitation des formations aquifères, peut-être adapté par l'hydrogéologie de l'Administration. Néanmoins, les enregistrements suivants sont obligatoires : polarisation Spontanée(P.S), Résistivité, Diamètreur, Laterolog, Microlog.

4.2.4. Programme de boue : Le programme de boue doit-être établi en tenant compte: des terrains de mauvaise tenue, des zones de pertes de boue et des risques de colmatage dus à l'invasion des formations aquifères par la boue. Les principales caractéristiques de la boue à utiliser sont les suivantes : Densité (1.20), Viscosité (50 à 60 Marsh) et Filtrat (15 cm³).

4.2.5. Equipement de surface : La tête de forage doit-être peinte et montée sur un socle bétonné, entouré d'un caniveau de collecte et d'évacuation des eaux. Pour les forages artésiens une prise de pression doit-être installée juste avant la vanne la distribution. Pour les forages en pompage, lors de l'installation de la pompe d'exploitation, un emplacement doit être aménagé en vue de réaliser les mesures de niveau, à l'aide d'une sonde de diamètre 2 p.

5. CONCLUSION

Les dispositions du décret 86-277 du 2 septembre 1986 relatif à la concession des travaux des recherches des captages d'eau et l'exécute de tout forage hydraulique dans le bassin du Sahara Septentrional est soumise à l'avis technique préalable de l'ANRH.

La méthode de forage adoptée dans la région est le rotary à circulation directe. Dans cette méthode l'outil est monté au bout d'une ligne de sonde, animé d'un mouvement de rotation de vitesse variable et d'un mouvement de translation verticale sous l'effet d'une partie du poids de la ligne de sonde ou d'une pression hydraulique. Le mouvement de rotation est imprimé au train de tiges et à l'outil par un moteur situé sur la machine de forage en tête de puits. Les tiges sont creuses et permettent l'injection de boue au fond du forage. Le forage rotary nécessite l'emploi d'un fluide de forage préparé sur le chantier. Un tube plein est placé devant les formations qui se trouvent au-dessus de nappe captée, l'espace entre la paroi et le trou est cimenté pour éviter la contamination des eaux de la nappe par les eaux de surface. Une crépine est placée devant la couche aquifère et l'espace annulaire est rempli par le massif filtrant.

1. Suivis les forages profonds (CI)

1.1. Forage de Guerrara

1.1.1. Localisation du forage : le forage est situé à l'entrée de la ville de Guerrara, Daira Guerarra, les coordonnées de forage sont : Longitude 04° 28' 38" E, Latitude 32° 46' 29" N, Altitude Z 316 m.

1.1.2. But de forage : Le projet consiste à la réalisation d'un forage profond captant la nappe albienne afin de renforcer la zone industrielle de Guerrara en matière de l'eau que ce soit pour l'industrie ou pour l'AEP.

1.1.3. Description lithologique et stratigraphie : Le sondage hydrogéologique de la zone industrielle, d'une profondeur de 1020 m, a recoupé les terrains sédimentaires du Crétacé supérieur. La coupe géologique de l'ouvrage a été déterminée sur la base des cuttings récupérés à chaque changement de la nature du terrain au cours de la foration.

- **Miopliocène :** De 0 m à 7 m. Il est composé de calcaire conglomératique rose et sable moyen rouge à ciment argileux.
- **Eocène :** De 7 m à 56 m. Il est composé de calcaire dolomitique marneux.
- **Sénonien :** De 56 m à 343 m. Il est composé de marne gypseux, dolomie et anhydrite.
- **Turonien :** De 343 m à 435 m. Calcaire grisâtre à blanc à passage de marne jaune à rose.
- **Cénomaniens :** De 435 m à 695 m. Il s'agit d'argiles grises, vertes foncées sableuses à la base.
- **Albien :** De 695 m à 1020 m : Sable jaunâtre à gris fins, argiles vertes et rouge.

1.1.4. Caractéristiques hydrogéologiques : La nappe est fortement jaillissante. Le toit l'aquifère se trouve à 710 m, il est composée de sables gris jaunâtres fins très avec intercalation d'argiles.

1.1.5. Construction du forage : Le sondage a été exécuté par un appareil de forage Rotary à table de rotation posée sur le sol.

Phase I : Construction de l'avant puits

- Forage en outil Ø38" de 0 m à 10 m.
- Pose du tube guide API en Ø28" de 0 m à 10 m, installé et cimenté en HTS.

Phase II : Colonne de production

- Forage en outil Ø12^{1/4}" de 10 m à 300 m.
- élargi en outils Ø18^{5/8}" et Ø24" de 10 m à 300 m.

- Pose d'une colonne de tubage API grade J55 fileté de $\text{Ø}17^{1/2}$ " , installé et cimenté en HTS de 0 m à 300 m.
- Forage en outil $\text{Ø}12^{1/4}$ " de 300 m à 710 m.
- élargi en outils $\text{Ø}17^{1/2}$ " de 300 m à 710 m.
- Pose d'une colonne de tubage API grade J55 fileté de $\text{Ø}13^{3/8}$ " , installé et cimenté en HTS de 0 m à 710 m.
- Un packer d'étanchéité $\text{Ø}13^{3/8}$ " x $\text{Ø}8^{5/8}$ " (1,5 m).

Phase III : Colonne de captage

- Forage en outil $\text{Ø}12^{1/4}$ " de 710 m à 1020 m.
- Pose d'une colonne de captage $\text{Ø}8^{5/8}$ " du bas en haut :
 - Tube plein Inox de décantation en de 1008,3 m à 1020 m.
 - Tube crépine Inox type Johnson (slot 18) de 920,55 m à 1008,3 m.
 - Tube plein Inox intercalé en de 914,7 m à 920,55 m.
 - Tube crépine Inox type Johnson (slot 18) de 803,55 m à 914,7 m.
 - Tube plein Inox intercalé en de 797,7 m à 803,55 m.
 - Tube crépine Inox type Johnson (slot 18) de 709,95 m à 797,7 m.
 - Tube plein Inox de réserve en de (fileté) de 692,40 m à 709,95 m.

Phase IV : Gravillonnage, dégorgement et développement

- Dégorgement des puits : Par circulation avec de l'eau claire le long de la colonne de captage, jusqu'à l'obtention d'une eau claire.
- Développement des puits : Etant un forage jaillissant, il a été adapté la méthode de l'auto-développement par l'application d'une série d'ouverture et de fermeture de la vanne maitresse à la tête du puits (selon les exigences techniques dans le cas des forages à forte pression en tête du puits), jusqu'à l'obtention d'une eau claire dépourvue de sables. L'opération a donné des bons résultats.

1.1.6. Mesure du débit : Les résultats de auto-développement ont donné un forage artésien jaillissant d'une pression en tête du puits de 2 bars, soit une hauteur d'eau de 20 mètres / sol. Le débit de jaillissement est de 80 l/s.

1.1.7. Coupe technique et lithologique du forage de Guerrara

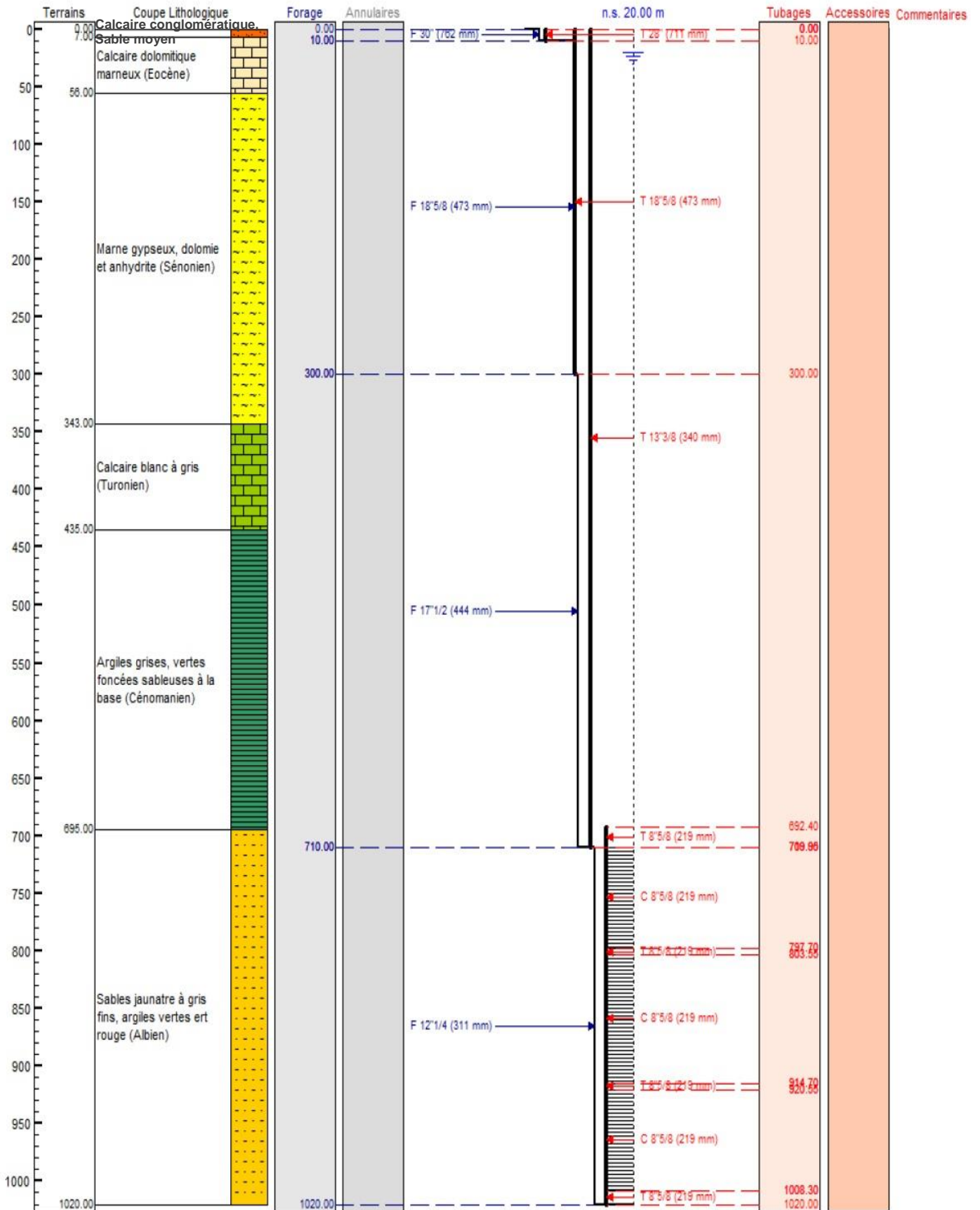


Fig. 27: Coupe technique et lithologique du forage de Guerrara.

1.2. Forage de Zelfana

1.2.1. Localisation du forage : Le forage est situé dans l'oasis de Hassi Nord 2 de la ville de Zelfana ; près de la route CW menant vers Guerrara, et à 4km du chef-lieu de la commune de Zelfana, Daïra du Zelfana, wilaya de Ghardaïa. Les coordonnées de forage sont : Latitude 32° 25' 31" N, Longitude 04° 13' 58" E, Z 358 m.

1.2.2. But de forage : Le forage est destiné pour renforcer l'alimentation en eau agricole des oasis de la région de Hassi Nord.

1.2.3. Description lithologique et stratigraphie : Les échantillons (cuttings) prélevés tous les mètres du trou ont été analysés à l'œil nu et nous permis de décrire le log lithologique suivant ;

- **Miopliocène :** de 0 m à 50 m Argile, poudingues, sables, consolidés
- **Sénonien :** de 50 m à 122 m Calcaire jaune crayeux, friable marneux, marne grise à gypse fibreux et anhydrite
- **Turonien :** de 122 m à 243 m Calcaire gris clair crayeux à marneux
- **Cénomaniens :** de 243 m à 455 m Argile verte à grise à gypse et intercalation de calcaire, de 455 m à 581 m Argile verte à noirâtre
- **Vraconien :** de 581 m à 600 m Argile bariolée plastique, de 600 m à 660 m Argile grise verdâtre sableuse
- **Albien :** de 660 m à 720 m Sable fin gris, légèrement argileux à présence de grès, de 720 m à 850 m Argile verdâtre sableuse, sable fin et grès, de 850 m à 935 m Sable fin argileux rougeâtre et argile rouge plastique, de 935 m à 960 m Sable rougeâtre, argile rouge sableuse, de 960 m à 990 m Sable rouge argileux, argile rouge sableuse plastique, de 990 m à 1010 m Argile marron rouge lits de grès.

1.2.4. Construction du forage : Le forage a été exécuté par l'entreprise Chinoise SARL SHAOLIN avec un appareil au rotary à boue bentonitique.

Phase I : Construction de l'avant puits

- Forage en outil Ø26" de 0 m à 10 m.
- Pose et cimentation du tube guide API en Ø24" de 0 m à 10 m.

Phase II : Colonne de production

- Forage de reconnaissance en outil Ø12^{1/4}" de 10 m à 280 m.
- Alésage en outil Ø22" de 10 m à 280 m.
- Mise en place du tube API Ø18^{5/8}" de 0 m à 280 m.
- Forage de reconnaissance en outil Ø12^{1/4}" de 280 m à 718,4 m.
- Alésage en outil Ø17^{1/2}" de 280 m à 718,4 m.
- Pose d'une colonne de tubage API Ø13^{3/8}" de 0 m à 718,4 m.

- Cimentation de l'espace annulaire : ciment HTS, volume 46 m³ et la densité de 1,68. attente prise de ciment pendant 48 heures.

Phase III : Colonne de captage

- Forage en outil Ø12^{1/4"} de 718,4 m à 1010 m.
- Pose d'une colonne de captage Inox en Ø8^{5/8"} d'une longueur totale de 321,75 et encreée à l'intérieur de la colonne de production (Ø13^{3/8"}) à l'aide d'un packer de suspension et d'étanchéité Ø (13^{3/8"} x 8^{5/8"}); d'une longueur de 1,30m.
 - Tube plein de décantation en de 1010 m à 998,3 m.
 - Tube crépine type Johnson (slot 20) de 998,3 m à 857,9 m.
 - Tube plein intercalé en de 857,9 m à 852,05 m.
 - Tube crépine type Johnson (slot 20) de 852,05 m à 711,65 m.
 - Tube plein intercalé en de 711,65 m à 688,25 m.

Phase IV : Gravillonnage, dégorgeement et développement

- Dégorgeement des puits : Après l'encreage du packer de suspension à la côte de 686 m, Il a été procédé au nettoyage de la crépine par circulation avec de l'eau claire jusqu'à la mise en jaillissement du puits.
- Développement des puits : Le forage est artésien jaillissant, il a été procédé donc à des séries d'ouverture et de fermeture de la vanne du puits jusqu'à l'obtention d'une eau claire.

1.2.5. Mesure du débit : Le débit de jaillissement mesuré est de 75 l/s. La pression en tête du puits est de 1,0 bar.

1.2.6. Difficulté d'exécution : Une perte totale de la boue a été rencontrée à la cote de 170 mètres. Faciès recoupé à cette cote : calcaires jaunâtres marneux du Turonien. Après plusieurs tentatives qui à durés 27 jours, la perte a été colmatée par bouchons d'argiles et de ciment.

1.2.7. Coupe technique du forage de Zelfana

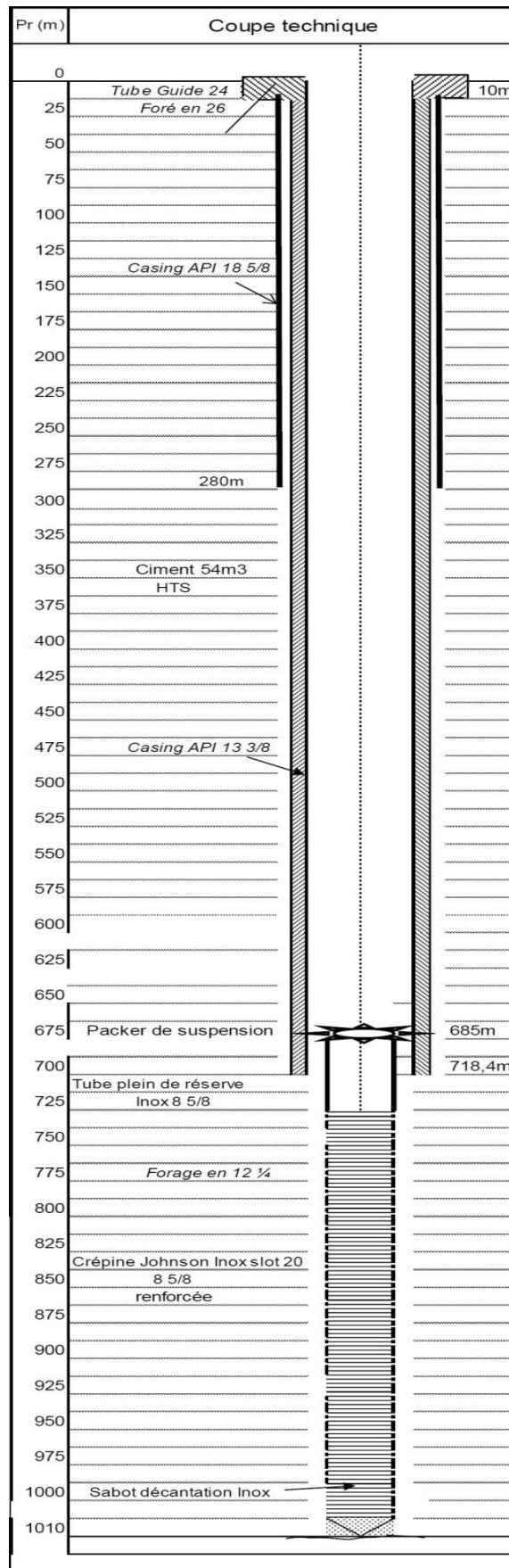


Fig. 28: Coupe technique du forage de Zelfana.

2. Suivis les forages moyennement profonds (CI)

2.1 Forage de vallée de M'Zab

2.1.1. Localisation du forage : Le forage de 540 mètre linéaire de profondeur, est situé dans sur les périphériques de la vallée de l'oued M'Zab, dans le quartier dit Bouhraoua. Commune de Ghardaïa, Daïra de Ghardaïa, wilaya de Ghardaïa. Les coordonnées de forage sont : Latitude 32°29'57.98" N, Longitude 3°40'21.51" E, Z : 545 m.

2.1.2. But de forage : Le forage est destiné pour renforcer l'alimentation en eau potable des zones en question.

2.1.3. Description lithologique et stratigraphie : L'analyse des cuttings du sondage a été effectué chaque mètre, elle permet de mettre en évidence le profil lithostratigraphique représenté dans la figure (Fig.29). A partir de la coupe lithologique on peut distinguer les étages géologiques suivants :

- **Le Turonien :** de 3 m à 115 m. Calcaire dur et massif, grisâtre à blanc, marneux jaunâtre à calcaire à la base.
- **Le Cénomaniens :** de 115 m à 310 m. Il s'agit d'argiles verdâtres grises, brunes. Argiles bariolée marrons et verdâtres à gypses blanc et fibreux blanc, argiles grisâtres claires sableuses à la base.
- **L'Albien :** A partir de 310 m. Sables fin argileux, sables jaunâtres, argiles sableuses brunes, argiles rougeâtres sableuse, sables fins, sables fins à moyen peu argileux et argiles grises.

2.1.4. Construction du forage : Le forage a été exécuté par l'entreprise SARL SHAOLIN avec des appareils au rotary, à boue de base bentonitique.

Phase I : Construction de l'avant puits

- Forage en outil Ø24" de 0 m à 10 m.
- Pose et cimentation du tube guide API en Ø18 5/8" de 0 m à 10 m, Attente prise de ciment 24 heures.

Phase II : Colonne de production

- Forage de reconnaissance en outil Ø12^{1/4}" de 10 m à 340 m.
- Alésage en outil Ø17^{1/2}" de 10 m à 340 m.
- Pose d'une colonne de tubage API Ø13^{3/8}" de 0 m à 340 m.
- Cimentation de l'espace annulaire : ciment HTS, volume 19 m³ et la densité de 1,67. Attente prise de ciment pendant 48 heures.

Phase III : Colonne de captage

- Forage du bouchon de ciment en outil $\text{Ø}12^{1/4}$ " de 330 m à 340 m.
- Forage en outil $\text{Ø}12^{1/4}$ " de 340 m à 540 m.
- Pose d'une colonne de captage Inox en $\text{Ø}8^{5/8}$ " du bas en haut :
 - Tube plein de décantation de 5,90 m.
 - Tube crépine type Johnson (slot 18).
 - Tube plein intercalé de 5,90 m.
 - Tube crépine type Johnson (slot 18).
 - Tube plein de réserve / extension.
 - Raccord baïonnette de 1,50 m.

Phase IV : Gravillonnage, dégorgeement et développement

- Gravillonnage (massif additionnel) : La mise en place de graviers siliceux calibrés sur les deux forages à fin d'augmenter la perméabilité de la zone de captage.
- Développement des puits : Il a été procédé au développement par pistonnage et à l'air lift, qui est une méthode idéale pour les forages pompages. Résultat : eau claire sans éléments en suspension.

2.1.5. Résultat des essais de puits

- Niveau statique (NS) = 172,0 m.
- Débit jaillissant (Q) = 25 l/s (90 m³/h).
- Débit spécifique (Q/s) = 8 l/s/m.
- Rabattement (s) = 3 m.
- Rabattement spécifique (s/Q) = 0,12 m/l/s.

2.1.6. Difficulté d'exécution : Pas de pertes de la boue dans les niveaux calcaires, Les calcaires du Turonien quelque fois présentent des niveaux durs.

2.1.7. Coupe technique et lithologique du forage de vallée de M'Zab

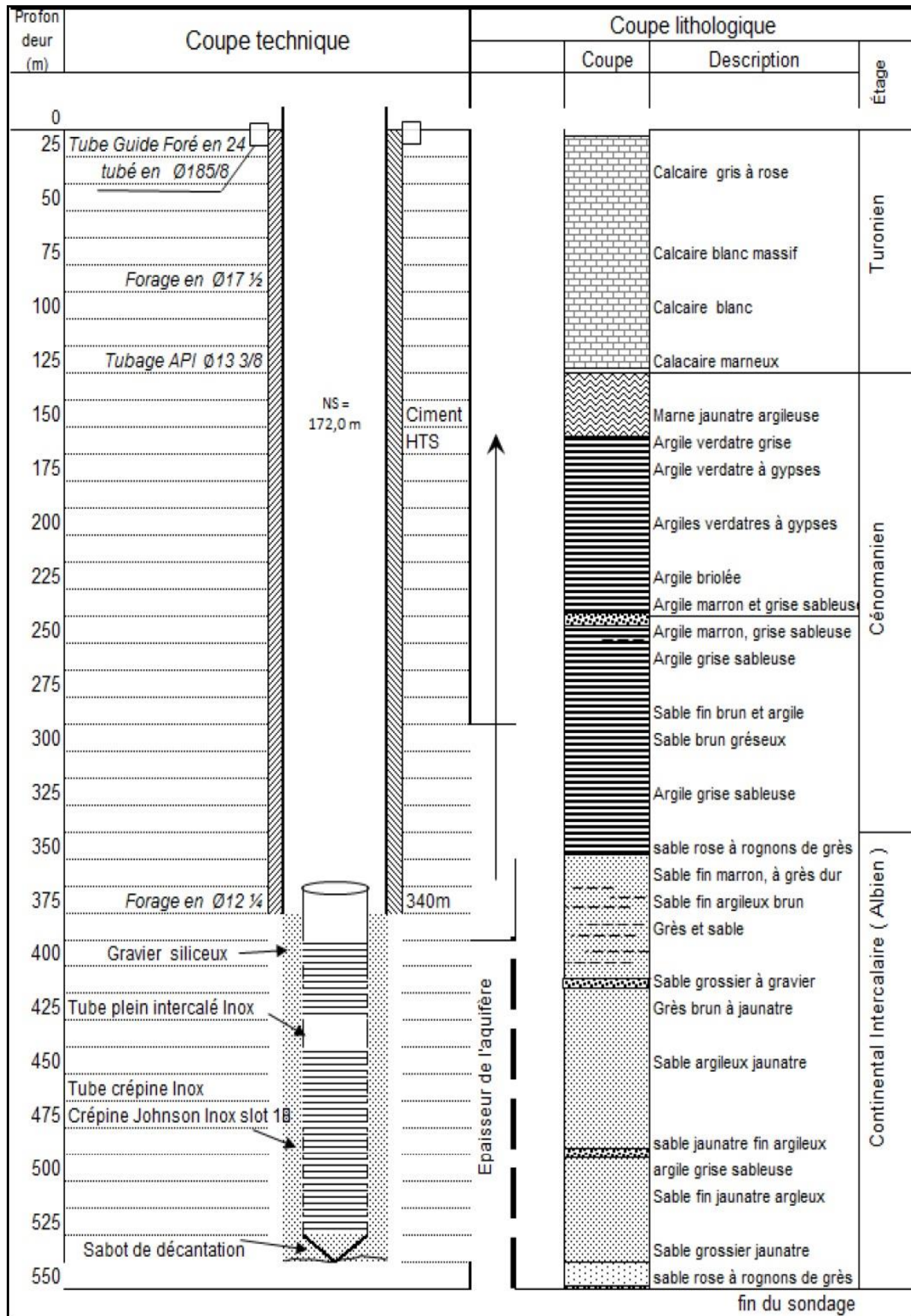


Fig. 29: Coupe technique et lithologique du forage de vallée de M'Zab.

2.2. Forage de Metlili

2.2.1. Localisation du forage : Le forage de 500 mètre linéaire de profondeur est situé à proximité de la RN1, menant vers la Daïra du Mansourah, aux points kilométriques PK649. Commune de Sebseb, daïra de Metlili, wilaya de Ghardaïa. Les coordonnées de forage sont : Longitude 03° 46' 42" E, Latitude 32° 06' 51" N, Z 438 m.

2.2.2. But de forage : Le forage est destiné pour l'irrigation de l'exploitation agricole d'une superficie de 50 hectares extensible, et dont l'activité principale est axée sur l'élevage ovin et les fourrages.

2.2.3. Description lithologique et stratigraphie : L'analyse des cuttings du sondage à chaque mètre, a permis de mettre en évidence le profil stratigraphique suivant ;

- **Le Sénonien :** de 0 m à 25 m. Marnes rougeâtres carbonatées
- **Le Turonien :** de 25 m à 131 m. Calcaire dur riche en dolomie, grisâtre à blanc massif, marneux jaunâtre à calcaire à la base
- **Le Cénomaniens :** de 131 m à 280 m. Il s'agit d'argiles verdâtres grises, brunes. Argiles bariolée marrons et verdâtres à gypses massif et fibreux blanc, argiles grisâtres claires sableuses à la base
- **L'Albien :** A partir de 280 m. Sables bruns moyen à fin argileux, sables jaunes, gris, sables fins bruns argileux, sables fins brun argileux, grès rose et brun à ciment argileux, sables à argiles rougeâtres, sables fins, argile rouge sableuse plastique à la base.

2.2.4. Construction du forage : Le forage a été exécuté par l'entreprise de sondage SOUILEM BACHIR avec un appareil au rotary, à boue de base bentonitique.

- Début des travaux : 15 décembre 2010.
- Fin des travaux : 22 février 2011.

Phase I : Construction de l'avant puits

- Forage en outil Ø24" de 0 m à 10 m.
- Pose et cimentation du tube guide API en Ø20" de 0 m à 10 m, Attente prise de ciment 24 heures.

Phase II : Colonne de production

- Forage de reconnaissance en outil Ø12^{1/4}" de 10 m à 290 m.
- Alésage en outil Ø17^{1/2}" de 10 m à 290 m.
- Pose d'une colonne de tubage API Ø13^{3/8}" de 0 m à 286,84 m.
- Cimentation de l'espace annulaire : ciment HTS, volume 18 m³ et la densité de 1,68. Attente prise de ciment pendant 24 heures.

Phase III : Colonne de captage

- Forage du bouchon de ciment en outil $\text{Ø}12^{1/4}$ " de 260 m à 290 m.
- Forage en outil $\text{Ø}12^{1/4}$ " de 290 m à 500 m.
- Pose d'une colonne de captage Inox en $\text{Ø}8^{5/8}$ " du bas en haut :
 - Tube plein de décantation de 494 m à 500 m.
 - Tube crépine type Johnson (slot 20) de 386 m à 494m.
 - Tube plein intercalé de 380 m à 386m.
 - Tube crépine type Johnson (slot 20) de 296 m à 380m.
 - Tube plein de réserve / extension de 272 m à 296m.
 - Raccord baïonnette de 0,84 m.

Phase IV : Gravillonnage, dégorgement et développement

- Gravillonnage (massif additionnel) : Après tamisage et calibration (3 mm) et sous une circulation lente avec une boue très allégée, il a été mis par graviter du gravier siliceux, le long de l'espace annulaire de l'aquifère. Le volume mis en place est de 8 m³, soit 100 brouettes.
- Développement des puits :
 - Du 17 au 19 février 2011, il a été procédé au développement ; par la méthode air lift (injection de l'air comprimé à 24 bars de pression), par barbotage en obturant la sortie de la tige d'eau, soit un volume horaire de 32 heures. Résultat eau claire sans éléments en suspension.
 - Du 20 au 21 février 2011, il a été procédé au pompage alterné (pompe immergée calée à 57 m), soit un volume horaire de 42 heures. Résultat eau claire sans éléments en suspension.

2.2.5. Résultat des essais de puits

- Niveau statique (NS) = 31,50 m.
- Pomme immergée $\text{Ø}8$ " de 6 turbines, calée à 57 m.
- Débit de pompage (Q) = 55 l/s (198 m³/h).
- Niveau dynamique (ND) = 47,35 m.
- Débit spécifique (Q/s) = 3,47 l/s/m.
- Rabattement (s) = 15,85 m.
- Rabattement spécifique (s/Q) = 0,288 m/l/s.

2.2.6. Coupe technique et lithologique du forage de Metlili

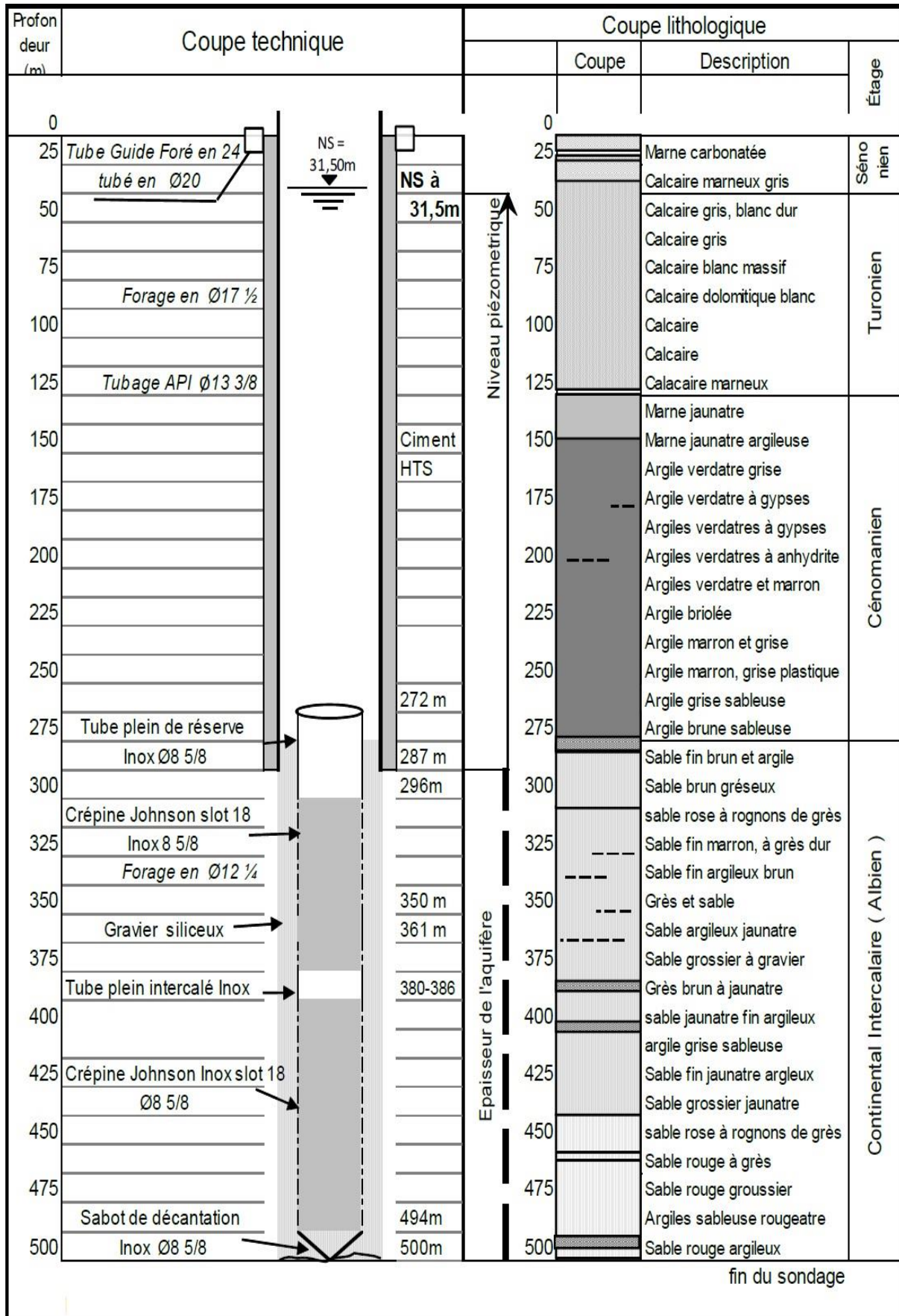


Fig. 30: Coupe technique et lithologique du forage de Metlili.

3. Suivis les forages faible profonds

3.1. Forage de Hassi El Gara

3.1.1. Localisation du forage : situé au sein de l'ancienne palmeraie de Hassi El Gara. Les coordonnées de forage sont : Longitude 2°54'33.17" E, Latitude 30°33'6.47" N, Z 384 m.

3.1.2. But de forage : L'Objectif visé c'était le captage des eaux de la nappe captive de l'Albien, pour renforcement des sites en matière de l'irrigation

3.1.3. Description lithologique: Le sondage hydrogéologique d'une profondeur de 180m, a recoupé les terrains sédimentaires du Crétacé supérieur. La coupe géologique de l'ouvrage a été déterminée sur la base des cuttings récupérés à chaque changement de la nature du terrain au cours de la foration. De 0 m à 50 m argiles bariolées vertes et marron, de 50 m à 95 m argiles rougeâtres sableuses, de 95 m à 170 m sables jaunâtres très poreux, de 170 m à 180 m sables jaunâtres à intercalation argileuses.

3.1.4. Caractéristiques hydrogéologiques : la nappe est artésienne faiblement jaillissante. La couche aquifère peu profonde est composée de sables jaunâtres très poreux à faible intercalation d'argile (d'où la bonne qualité de ses eaux).

3.1.5. Construction du forage : Le sondage a été exécuté par un appareil de forage Rotary de type SS-35.

Phase I : Construction de l'avant puits

- Forage en outil Ø20" de 0 m à 10 m.
- Pose et cimentation du tube guide en Ø18^{5/8}" de 0 m à 10 m.

Phase II : Colonne de production

- Forage de reconnaissance en outil Ø12^{1/4}" de 10 m à 100 m.
- Alésage en outil Ø17^{1/2}" de 10 m à 100 m.
- Pose d'une colonne de tubage API grade J55 fileté Ø13^{3/8}" de 0 m à 102 m.
- Un packer d'étanchéité Ø13^{3/8}" x Ø8^{5/8}".

Phase III : Colonne de captage

- Forage en outil Ø12^{1/4}" de 100 m à 180 m.
- Pose d'une colonne de captage Inox en Ø8^{5/8}" du bas en haut :
 - Tube plein de décantation de 174 m à 180 m.
 - Tube crépine type Johnson (slot 18) de 97.8 m à 174 m.
 - Tube plein de réserve (fileté) de 79.8 m à 97.8 m.

Phase IV : Gravillonnage, dégorgeement et développement

- Dégorgement des puits : Par circulation avec de l'eau claire le long de la colonne de captage, jusqu'à l'obtention d'une eau claire.
- Développement des puits : Etant les forages de faible pression en tête du puits, il a été adapté une série de pompage intermittent jusqu'à l'obtention d'une eau claire dépourvue de sables. Suivi par une autre série de pompage par injection d'air comprimé (barbotage) afin de nettoyer la colonne de la crépine. Les opérations ont donné des bons résultats.

3.1.6. Mesure du débit : Les résultats de développement ont donné un forage artésien jaillissant d'une pression en tête du puits de 0.01 bar. Le débit de jaillissement est de 15 l/s. Avec une pompe calée à 40 m et un rabattement de 6 mètres, le débit pompé est de 50 l/s.

3.1.7. Coupe technique et lithologique du forage de Hassi El Gara

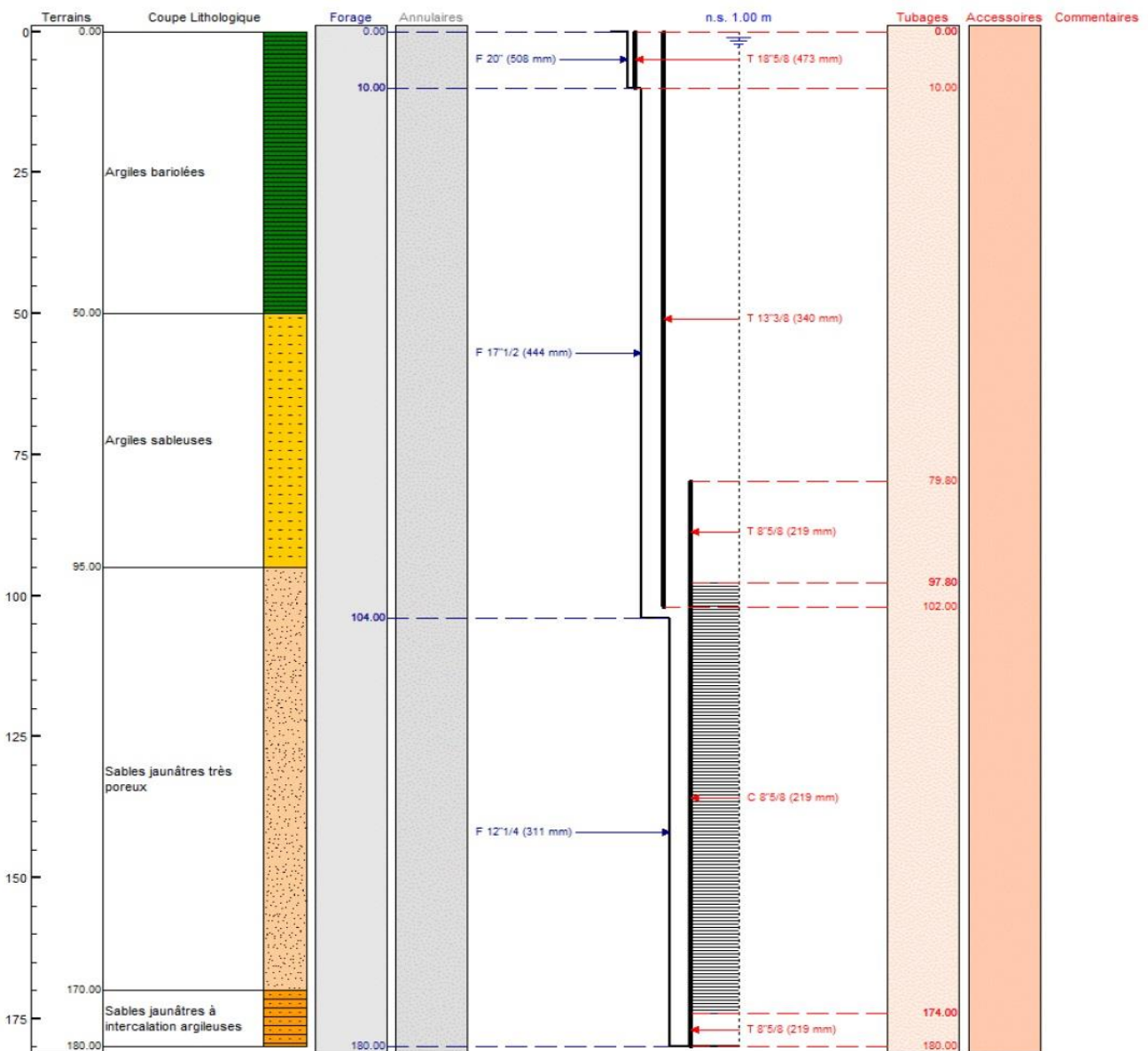


Fig. 31: Coupe technique et lithologique du forage de Hassi El Gara.

3.2. Forage de Hassi Touil

3.2.1. Localisation du forage : Le forage est situé au sud de la Wilaya de Ghardaïa. A 32 km au sud du chef-lieu de la commune de Hi El Gara, dans les périmètres de mise en valeur de Hassi Touil. Les coordonnées de forage sont : Latitude 30° 21' 20" N, Longitude 02° 57' 54" E, Z 378 m.

3.2.2. But de forage : Le forage est destiné pour renforcer l'irrigation des périmètres de mise en valeur de Hassi Touil.

3.2.3. Description lithologique et stratigraphie : Le profil stratigraphique a été mis en évidence suite au prélèvement des cuttings de chaque mètre du sondage ;

Le Turonien : de 0 m à 45 m Calcaire gris, blanc dur

Le Cénomaniens : de 45 m à 70 m Argile grisâtre verte à calcaire blanc, de 70 m à 85 m Argile grisâtre verte à marron, de 85 m à 115 m Argile grisâtre verte, de 115 m à 125 m Argile bariolée, marron et rouge, de 125 m à 140 m Argile rouge, de 140 m à 150 m Argile rouge et verte à gypse fibreux, de 150 m à 160 m Argile rouge à traces de sables

L'Albien : de 160 m à 175 m Sable moyen argileux à calcaire blanc, de 175 m à 185 m Sable jaune et argile grise verte, de 185 m à 200 m Sable fin à moyen jaunâtre, de 200 m à 225 m Grès rouge, sable moyen rougeâtre, de 225 m à 240 m Sable jaunâtre argileux, de 240 m à 250 m Sable rouge à grès rose, de 250 m à 260 m Sable moyen à grossier rouge, de 260 m à 266 m Argile rouge sableuse.

3.2.4. Construction du forage : Le sondage a été exécuté par une machine de forage au rotary avec une boue bentonitique.

Phase I : Construction de l'avant puits

- Forage en outil Ø12^{1/4}" de 0 m à 10 m.
- Alésage en outil Ø17^{1/2}" de 0 m à 10 m.
- Pose et cimentation du tube guide en Ø13^{3/8}" de 0 m à 10 m.

Phase II : Colonne de production

- Forage de reconnaissance en outil Ø12^{1/4}" de 10 m à 161 m.
- Pose d'une colonne de tubage API Ø9^{5/8}" de 0 m à 161 m.
- Cimentation de l'espace annulaire : ciment HTS, volume 4.5 m³ et la densité de 1,65. Attente prise de ciment pendant 36 heures.

Phase III : Colonne de captage

- Forage en outil Ø8^{1/2}" de 161 m à 266 m.
- Pose d'une colonne de captage Inox en Ø6^{5/8}" du bas en haut :
 - Tube plein de décantation de 260 m à 266 m.

- Tube crépine type Johnson (slot 18) de 218 m à 260 m.
- Tube plein intercalé de 212 m à 218 m.
- Tube crépine type Johnson (slot 18) de 176,5 m à 212 m.
- Tube plein de réserve / extension de 146,5 m à 176,5 m.

Phase IV : Gravillonnage, dégorgeement et développement

- **Dégorgement des puits** : Par circulation avec de l'eau claire le long de la colonne de captage, jusqu'à la mise en éruption du puits.
- **Développement des puits** : Suite à la faible pression constatée à la tête du puits, trois méthodes de développement ont été procédées ;
 - Traitement chimique par l'injection au niveau de la crépine de 450 kg de polyphosphate de sodium (hexamétaphosphate).
 - Pneumatique par l'injection latérale de l'air comprimé (12 bars) le long de la colonne captant.
 - En adoptant une série d'ouverture et de fermeture de la vanne du puits (forage jaillissant).

3.2.5. Mesure du débit : Le débit de jaillissement mesuré par un fut de 220 L est de 22 l/s.

3.2.6. Difficulté d'exécution

- Le 16/12/2008 chute d'une longueur de 80,4 m du casing API Ø9^{5/8}" lors de la descente. Elle a été repêchée le 18/12/2008.
- Le 28/12/2008 coincement de la colonne de captage à la côte de 186,5m, soit 25,5 m dans la formation aquifère. Elle a été remontée à jour le 8/02/2009 avec succès.
- Neutralisation du puits jaillissant et la reprise de la circulation de la boue.
- Reforage de nouveau jusqu'à la côte de 266 m.

3.2.7. Coupe technique et lithologique du forage de Hassi Touil

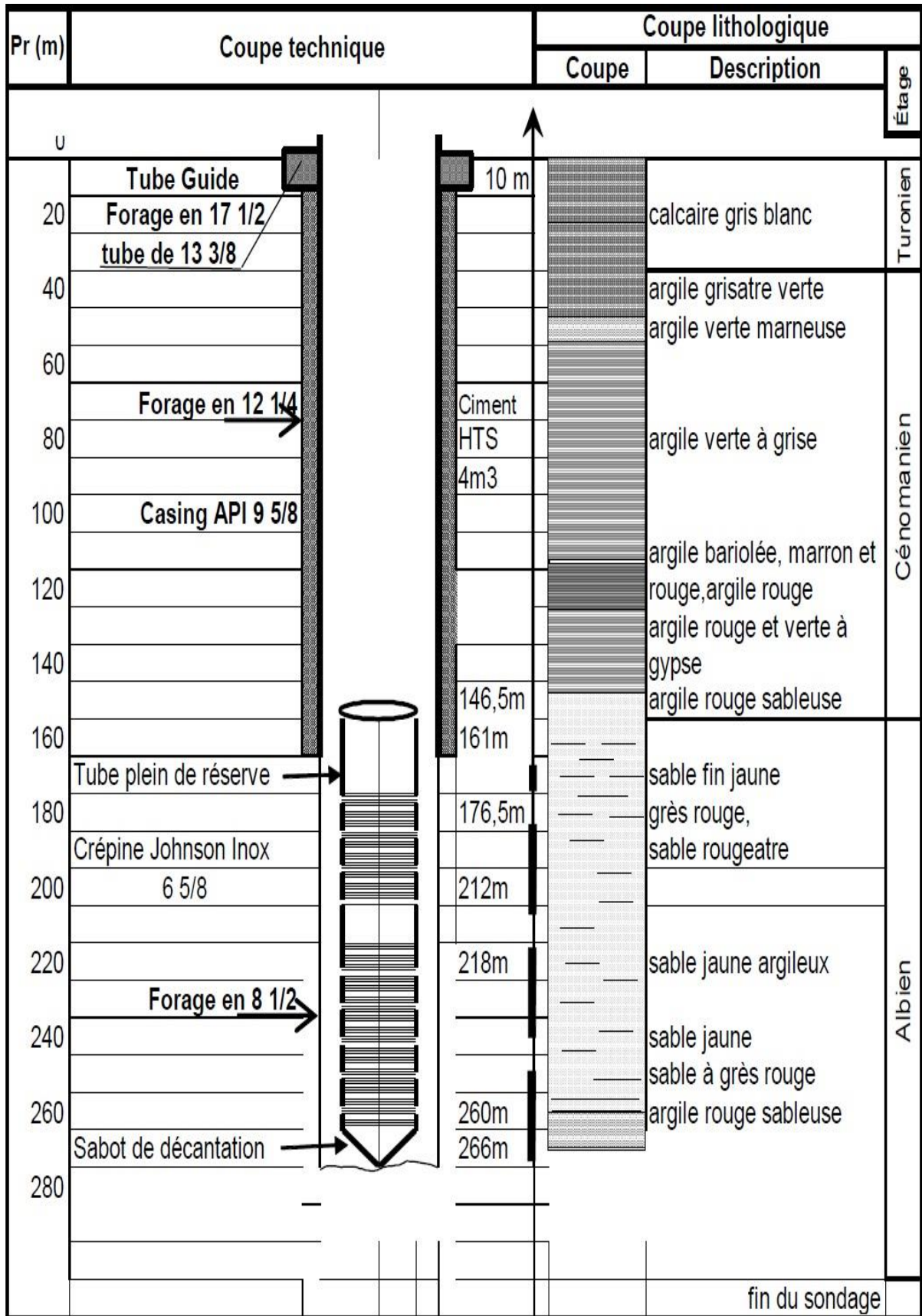


Fig. 32: Coupe technique et lithologique du forage de Hassi Touil.

4. CONCLUSION

La réalisation des forages hydrauliques dans la région de Ghardaïa, passe par plusieurs étapes, suivant la profondeur et la pression de la nappe.

Pour les forages profonds (>1000 m), l'opération consiste à la pose du tube guide avec cimentation, en suite la pose d'une colonne de tubage avec cimentation, suivie de la pose d'une colonne de production avec cimentation et en fin la pose d'une colonne de captage constituée d'une crépine type Johnson avec des intercalations de tube plein (lorsque la crépine est longue), de tube de décantation à la base et de tube réserve au sommet. Pour les forages de moyen et faible profondeurs, on exécute deux phases de cimentation pour la pose du tube guide et la pose de la colonne de production, avant la mise en place d'une colonne de captage.

L'introduction du massif filtrant s'effectue seulement lorsque la nappe est non jaillissante, si c'est le cas on met en place packer sans mise en place de massif filtrant. L'opération de forage terminera par dégorgeement et développement des puits pour élimination des particules fins et l'exécution des essais de pompage pour déterminer le débit d'exploitation.

CONCLUSION GENERALE

La région de Ghardaïa est située dans le sud algérien, exactement dans la partie septentrionale et centrale du Sahara algérien et limitée par les wilayas de Laghouat, Djelfa, Ouargla, Tamanrasset, El-Bayadh et Adrar. Elle s'étend sur 84 660,12 km², avec une population de 451.456 habitants. La région possède deux zones industrielles (Guerrara et Bounoura), l'activité agricole est basé sur l'exploiter des oasis et la mise en valeur des nouveaux périmètres irriguées. Le climat de la région est Saharien caractérisé par une période sèche qui s'étale sur toute l'année, la température mensuelle est maximal au mois de Juillet (33.59°C) et minimal au mois de janvier (11.95°C), la hauteur de précipitation annuelle est d'ordre de 71.4mm.

La région de Ghardaïa est située sur la bordure occidentale du bassin sédimentaire du Bas - Sahara, les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur, composés principalement par des dépôts calcaires turoniens dolomitiques ; qui forment un plateau subhorizontal appelé couramment "la dorsale du M'Zab".

La zone d'étude appartient au système aquifère de Sahara septentrional(SASS), est la superposition de deux aquifères principales :

- L'aquifère du continental intercalaire (CI), au fond, présent dans toute la zone d'étude à des profondeurs varie d'un endroit à l'autre (profond dans la région Guerrara et Zelfana et de faible profondeur à Meniea et Hassi El Gara). La salinité des eaux varie entre 1 g/l et 1,8 g/l.
- L'aquifère du complexe terminal (CT), présent dans la partie nord-est de Ghardaia, il est captif dans les régions de Guerrara et Zelfana, et libre dans la vallée de M'Zab.

La méthode de forage adoptée dans la région est le rotary à circulation directe. Les dispositions du décret 86-277 du 1986 relatif à la concession des travaux de captages d'eau dans le bassin du Sahara Septentrional sont soumises à l'avis technique préalable de l'ANRH.

La réalisation des forages hydrauliques dans la région de Ghardaïa, passe par plusieurs étapes, suivant la profondeur et la pression de la nappe.

Pour les forages profonds (>1000 m), l'opération consiste à la pose du tube guide avec cimentation, en suite la pose d'une colonne de tubage avec cimentation, suivie de la pose d'une colonne de production avec cimentation et en fin la pose d'une colonne de captage constituée d'une crépine type Johnson avec des intercalations de tube plein (lorsque la crépine est longue), de tube de décantation à la base et de tube réserve au sommet. Pour les forages de moyen et faible profondeurs, on exécute deux phases de cimentation pour la pose

du tube guide et la pose de la colonne de production, avant la mise en place d'une colonne de captage.

L'introduction du massif filtrant s'effectuer seulement lorsque la nappe est non jaillissante, si c'est le cas on met en place packer sans mise en place de massif filtrant. L'opération de forage terminera par dégorgement et développement des puits pour élimination des particules fins et l'exécution des essais de pompage pour déterminer le débit d'exploitation.

Annexe



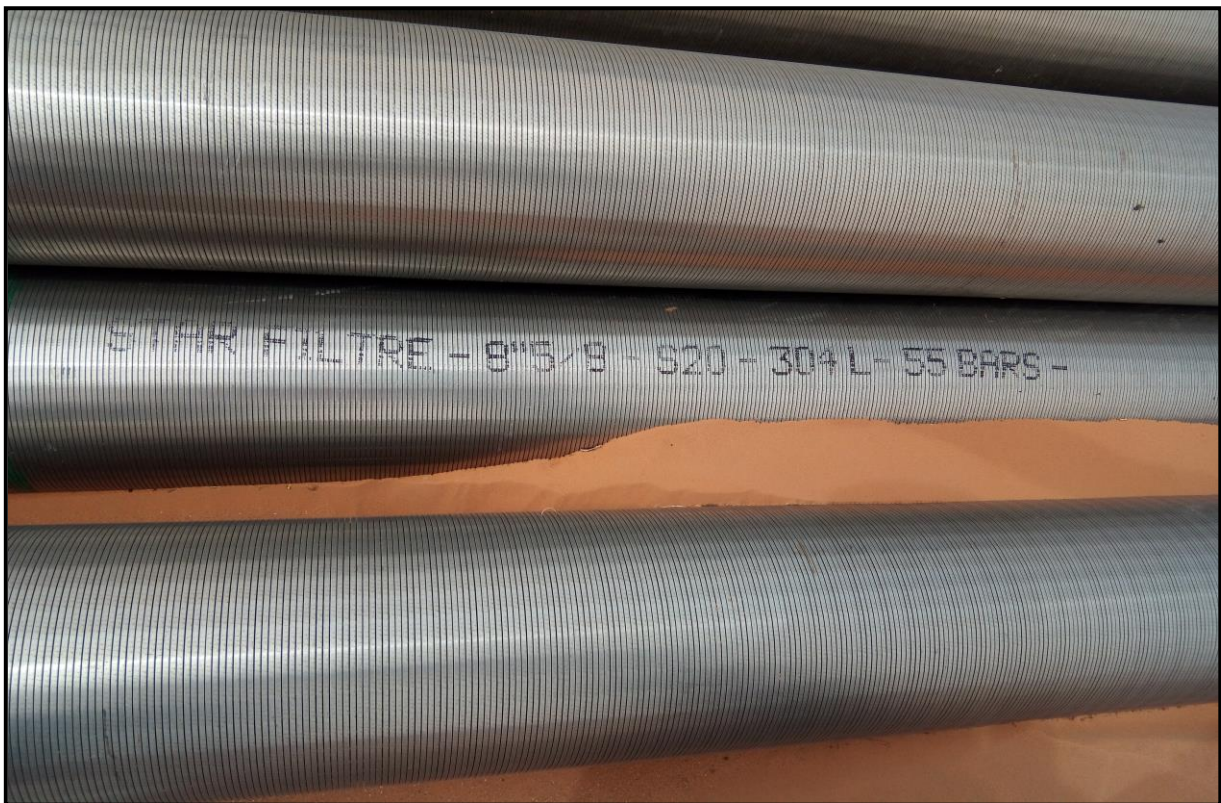
Essai de pompage d'un forage d'eau région de Mansoura



L'appareil de forage hydraulique



Table de rotation





Crépine Inox type Johnson (slot 20, $\text{Ø}8^{5/8}$ ")

BIBLIOGRAPHIE

ABDOUSE L ET BOUCHIBA D, 1982. Contribution à l'étude hydrogéologique de la chebka du M'Zab. Mémoire d'ingénieur, Alger, U.S.T.H.B., 67p.

ACHOUR, 2014. Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride: Cas de la vallée du m'zab (ghardaia – algérie).mèmoir magistre univ d'oran.126p.

ACHOUR, 2010. Note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du Continental Intercalaire dans la wilaya de Ghardaïa, 10p.

ACHOUR, 2010. Note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du Continental Intercalaire dans la wilaya de Ghardaïa, 10p.

ACHOUR, 2011. Invente des forages d'eau et enquête sur les débits extraits de la wilaya de Ghardaïa, 16p.

Albert Mabilot (1989) : le forage d'eau : guide pratique, éditions Lavoisier.

AMOURIA. N, AMOURIA. (2006): Réalisation des forages dans la nappe albienne dans la région de Oued Righ Nord, aspects technique et qualité des eaux souterraines Université de Constantine - mémoire d'ingénieur

A.N.R.H, 2005. Note relative aux ressources en eaux souterraines de la Wilaya de Ghardaïa, 19p.

A.N.R.H, 2009. Rapport de fin du sondage, Rapport de SOULEM FORAGE, Meniaa, 9p.

A.N.R.H, 2011. Rapport de fin du sondage, Rapport HABIB H, LABIOD M, Metlili, 8p.

A.N.R.H, 2013. Rapport de fin du sondage, Rapport de SHAOLIN, Zelfana, 13p.

A.N.R.H, 2014. Rapport de fin du sondage, Rapport de SHAOLIN, Ghardaïa, 12p.

A.N.R.H, 2016. Rapport de fin du sondage, Rapport de SHAOLIN, Guerrara, 8p.

A.N.R.H, 2017. Rapport de fin du sondage, Rapport de EGETHAK, Meniaa, 17p.

BENSAHA, 2011. Les palmeraies de Metlili. Diagnostic et proposition de programme de rénovation, p18.

BENZAYET B, 2010. Evaluation hydrochimique des eaux souterraines de la vallée du M'Zab: Cas de Oued Labiod Mém. Ing, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, Alger, 78p.

BONNARD et GARDAL (BG), 2002. Etude d'assainissement et de protection contre les

crues de la vallée de l'Oued M'Zab, Bonard et Gardal Ingénieur- conseil S A 2002.

BOUDJEMA A, 1987. Evolution structurale du bassin pétrolier triasique du Sahara Nord oriental (Algérie). Thèse Universitaire Paris XI Orsay, 290p

BOUSELSAL B. 2016. Etude hydrogéologique et hydrochimique de l'aquifère superficiel d'Oued Souf (SE Algérie). Thèse Doctorat Univ Annaba. 206p.

BRGM. (1995). Equipement de forage d'exploitation d'eau minérale « Approche méthodologique ». Note technique n°4. 21p.

BRGM. (1998). Mémento techniques des eaux minérales. 235p.

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.

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.

Busson, G. 1971. Principes, méthodes et résultats d'une étude stratigraphique du Mésozoïque saharien. Edit., Paris, 464p.

CASTANY Gilbert (1982). Principe et méthode de l'hydrogéologie. Dunod, 237p.

Cornet, A. 1964. Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Géographie Physique et Géologie Dynamique. Vol.VI. 1964. fascl, pp.5-72.

COYNE A., 1989. Le M'Zab. Ed. ADOLPHE JOURDAN, Algérie, 41P.

Detay, M. 1993. Le forage d'eau, réalisation, entretien et réhabilitation. Masson, 379p.

Detay, M. 1997. La gestion active des aquifères. Masson Paris, 416 p.

DPSB, 2016. Monographie De la wilaya de Ghardaia 2016, Ghardaia, 179.

Fabre, J. 1976. Introduction à la géologie du Sahara d'Algérie et des régions voisines. SNED, Alger, 421p.

GUERRADI H et FARADJI O, 2007. Géochimie et sédimentologie des alluvions de la daya d'El Amied (Guerrara). Mémoire d'ingénieur, Ouargla, Université Kasdi Merbah, Ouargla. 66p.

KETTAB A, 2000. Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision. Ed, 2000, 25-33pp.

KHENE, 2013. Dynamique des systèmes de production phoénicoles et promotion de la filière « dattes » : perspectives de développement Cas de la région de Ghardaïa, p31.

Mabilot, Albert. (1971). Forage d'eau : guide pratique, édition : Johson filtration systems, Naintre. 237p.

ONM Ghardaïa, 2016. Office national de Météo.

OSS, (2003). "Système aquifère du Sahara septentrional - gestion commune d'un bassin transfrontière".

Robert, J. (2007). Groundwater & wells. Third edition. JOHNSON SCREENS. 799p.

UNESCO. 1972. Etude des Ressources en Eau de Sahara Septentrional. (7 vols. et annexes). UNESCO, Paris, France.

Ville, (1872). Exploration géologique du Béni-M'Zab, du Sahara et de la région des steppes de la province d'Alger. Paris, Imprimerie Nationale, 540p.

RESUMÉ

Etude et suivi des forages hydrauliques dans la région de Ghardaïa

La région de Ghardaïa est située au sud de l'Algérie, sa superficie est d'ordre de 84 660,12 km², avec une population de 451.456 habitants. La région appartient au système aquifère de Sahara septentrional (SASS) caractérisé par la superposition de deux aquifères (le continental intercalaire et le complexe terminal).

La réalisation des forages hydrauliques dans la région de Ghardaïa, passe par plusieurs étapes, suivant la profondeur et la pression de la nappe. Pour les forages profonds (>1000 m), l'opération consiste à la pose du tube guide avec cimentation, en suite la pose d'une colonne de tubage avec cimentation, suivie de la pose d'une colonne de production avec cimentation et en fin la pose d'une colonne de captage constituée d'une crépine type Johnson avec des intercalations de tube plein (lorsque la crépine est longue), de tube de décantation à la base et de tube réserve au sommet. Pour les forages de moyen et faible profondeurs, on exécute deux phases de cimentation pour la pose du tube guide et la pose de la colonne de production, avant la mise en place d'une colonne de captage.

L'introduction du massif filtrant s'effectue seulement lorsque la nappe est non jaillissante, si c'est le cas on met en place packer sans mise en place de massif filtrant. L'opération de forage terminera par dégorgeage et développement des puits pour élimination des particules fines et l'exécution des essais de pompage pour déterminer le débit d'exploitation.

Mots clés : Ghardaïa, forage, continental intercalaire, complexe terminal, crépine.

الملخص

دراسة ومتابعة انجاز آبار المياه في منطقة غرداية

تقع منطقة غرداية جنوب الجزائر ، وتبلغ مساحتها 84606 كم² ، ويبلغ عدد سكانها 451.456 نسمة. تنتمي المنطقة إلى نظام مستودعات مياه الصحراء الشمالية (SASS) الذي يتميز بتراكب اثنين من طبقات المياه الجوفية (المتداخل القاري والمركب النهائي).

يتم حفر الآبار الهيدروليكية في منطقة غرداية عبر عدة مراحل ، حسب عمق المياه وضغطها. للآبار العميقة (< 1000 م) ، العملية تنطوي على وضع أنبوب التوجيه مع الأسمنت ، بعد تثبيت عمود غلاف مع الأسمنت ، تليها وضع عمود الإنتاج مع الأسمنت وأخيرا زرع عمود القبض يتكون من مصفاة من نوع جونسون مع اقحام أنابيب كاملة (عندما تكون المصفاة طويلة)، من أنبوب الاستقرار في الأسفل وأنبوب الاحتياط في الأعلى. من أجل الآبار المتوسطة والمنخفضة، وضع الأسمنت على مرحلتين عند وضع انبوب التوجيه وعند وضع عمود الإنتاج، قبل وضع عمود القبض.

لا يتم تنفيذ كتلة الترشيح إلا عندما لا تتدفق المياه فوق السطح، أما إذا كانت هذه هي الحالة يتم إعداد كتلة الترشيح. سيتم إنهاء عملية الحفر عن طريق عملية التفريغ والتطوير للآبار لإزالة الجسيمات الدقيقة وإجراء اختبارات الضخ لتحديد معدل التدفق.

كلمات المفتاح: غرداية، آبار، حفر، طبقة، انبوب، مياه جوفية.

ABSTRACT

Study and monitoring of hydraulic drilling in the Ghardaia region

The region of Ghardaïa is located in the south of the Algerian, its surface is of the order of 84 660.12 km², with a population of 451.456 inhabitants. The region is part of the northern Sahara aquifer system (SASS) characterized by the superposition of two aquifers (the continental intercalary and the complex terminal).

The drilling of hydraulic boreholes in the Ghardaia region goes through several stages, depending on the depth and pressure of the water table. For deep drilling (> 1000 m), the operation involves laying the guide tube with cementing, then laying a column of casing with cementing, followed by the installation of a production column with cementation and end the installation of a collection column consisting of a strainer type Johnson with intercalations of solid tube (when the strainer is long), of the settling tube at the base and reserve tube at the top. For the drilling of medium and shallow depths, two cementing phases are carried out for the laying of the guide tube and the laying of the production column, before the installation of a capture column.

The introduction of the filtering mass to be carried out only when the sheet is not gushing, if it is the case one to set up packer without setting up filtering mass. The drilling operation will terminate by disgorging and developing wells to remove fine particulates and performing pumping tests to determine the operating flow.

Keywords: Ghardaia, drilling, aquifer, tube, cementation, tank, pumping.