

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université d'EL-Oued



Faculté de Technologie



Département d'Hydraulique et de Génie Civil

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme du Master en Hydraulique

Option : Ouvrages Hydrauliques

THEME:

Diagnostic et réhabilitation du forage
Taghzout-centre

Dirigé par :

* KHECHANA Salim.

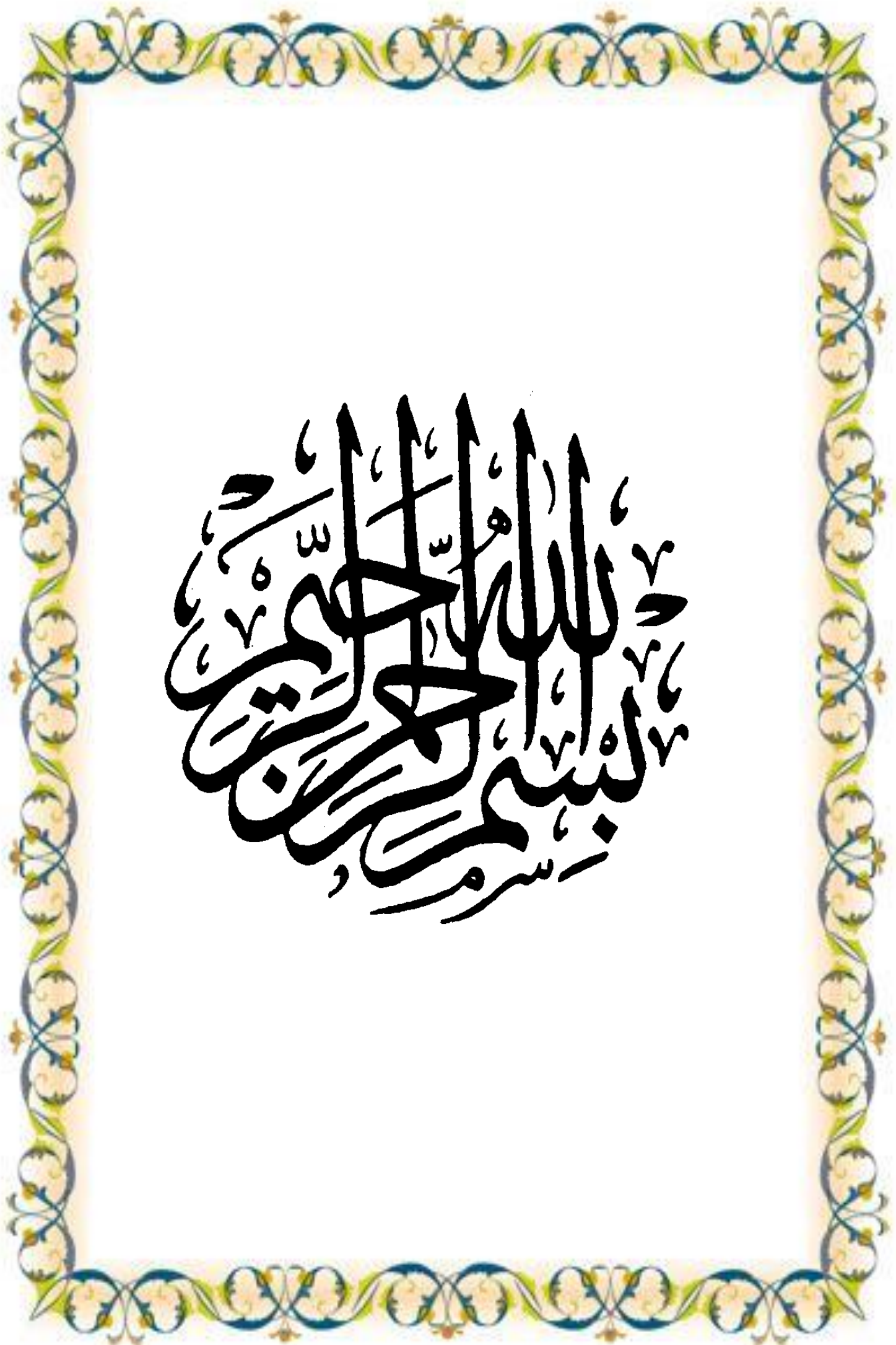
Présenté par :

* HAMID Brahim.

* Bedda Abdelhakim.

Promotion: 2019/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



REMERCIEMENTS

*En premier lieu, nous tenons à remercier notre **ALLAH**, Notre créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.*

*Nous adressons nos vifs remerciements à notre docteur **Mr: KHECHANA Salim** pour nous avoir dirigés tout au long de ce travail,*

Ainsi qu'au personnel de la sub-direction hydraulique Guemar-El-oued qui nous a beaucoup aidé de réaliser ce travail dans les meilleures conditions, Nous tenons à remercier en particulier

Mr. Hannanou, et Mr: Kacemi.

Nous présentons nos chaleureux remerciements aux enseignants du département hydraulique pour leurs aides et orientations durant notre étude et formation.

Nos derniers remerciements, et ce ne sont pas des moindres, vont à tous ceux qui ont contribué de près où de loin pour l'aboutissement de ce travail.

Merci à tous







Je Dédie ce Modeste Travail :

- + A ma Mère et mon Père qui ont Beaucoup sacrifié
avant de voir le fruit de Leur éducation ;*
- + A mes très chères frère : Bachir, Ali et laid;*
- + A mes très chères sœurs;*
- + A tous les membres de ma famille;*
- + A tous mes camarades du groupe: OH2019;*
- + A tous les amis que j'ai connus dans ma vie ;*
- + A tous les victimes algériennes de corona covid-19.*

HAMID Brahim



Merci et gratitude

-  *Premièrement à remercier Dieu le tout puissant, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste mémoire.*
-  *En second lieu je tiens à remercier mon encadreur «Mr: KHECHANA Salim» pour ses précieux conseils, sa patience, son aide et ses orientations ficelées tout au long de mon travail.*
-  *Mes remerciements les plus distinguées vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.*
-  *Et Je Dédie ce Modeste Travail À : mon cher père. Toute ma famille. Tous mes frères et sœurs. Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans ma formation. Tous mes amis de « Département d'OH ».*

BEDDA ABDELHAKIM



L'eau n'est pas nécessaire à la vie, elle est la vie, sans elle il n'y aurait aucune vie possible sur terre, le constat est simple, tous les êtres vivants ont besoin d'eau pour exister.

D'un point de vue économique, une grande investissement de l'Etat pour l'approvisionnement de l'eau potable à leurs population tels que les constructions des ouvrages (les barrages, les forages, les réseaux d'adduction, entretien des ouvrages...etc).

Dans notre région, les forages constituent la seule et l'unique ressource d'eau et les meilleurs moyens d'obtenir de l'eau potable, les premiers forages sont ceux qui ont capté la nappe phréatique mais suite à la remontée des eaux de cette nappe et sa contamination, le recours au captage des eaux de la nappe du complexe terminal, qui emmagasine des volumes d'eaux importants, est devenue une exigence, en exploitant ces forages depuis longtemps, des problèmes de productivités se sont apparus, d'où la nécessité de penser à leur réhabilitation, en passant par le diagnostique pour relever les anomalies et déceler les dysfonctionnements afin de proposer des solutions en vue de la réhabilitation de ses forages ou leur remplacement si nécessaire.

Après la panne du forage Taghzout-Centre de la commune du Taghzout un projet d'urgence c'est l'adduction a été réalisé avec un autre forage d'une distance de 2 km pour résoudre partialement le problème d'approvisionnement de l'eau potable de quelques cites, après, un diagnostique du forage en question a été réalisé, tels que le film de la séquence diagraphie qui observe une grande fissure au niveau du puits apparaitre clairement au film, qui est oblige une opération de réhabilitation par un nouveau chemisage qui est l'objet de notre étude, la réhabilitation de forage en question a été exécuté par l'entreprise SADINE des travaux hydrauliques avec un appareil de forage ROTARY durant le mois du juin 2020, la remise en service de ce forage a été effectué la fin du mois juillet 2020.

Mots clés : Eau potable, Oued Souf, nappe du complexe terminal, forage Taghzout-Centre, diagnostique et réhabilitation, productivités,

المخلص:

الماء ليس ضروريًا للحياة ، إنه الحياة ، بدونها لن تكون هناك حياة ممكنة على الأرض ، الملاحظة بسيطة ، كل الكائنات الحية تحتاج إلى وجود الماء

من الناحية الاقتصادية ، استثمار كبير للدولة لتزويد سكانها بمياه الشرب مثل بناء الأشغال (سدود ، آبار ، شبكات إمداد ، صيانة أعمال.. إلخ)

في منطقتنا ، تعتبر الآبار هي المصدر الوحيد للمياه وأفضل وسيلة للحصول على مياه الشرب ، وأول الآبار هي تلك التي استولت على منسوب المياه الجوفية ولكن بعد ارتفاع المياه من هذا المياه الجوفية وتلوثها ، واللجوء إلى جمع المياه من المياه الجوفية لمجمع المحطة ، الذي يخزن كميات كبيرة من المياه ، أصبح من المتطلبات ، باستخدام هذه الآبار لفترة طويلة ، نشأت مشاكل الإنتاجية ، وبالتالي الحاجة إلى التفكير في إعادة تأهيلهم ، من خلال التشخيص لتحديد الحالات الشاذة واكتشاف الخلل الوظيفي من أجل اقتراح حلول لإعادة تأهيل الآبار أو استبدالها إذا لزم الأمر

بعد انهيار بئر تغزوت وسط في بلدية تغزوت ، تم تنفيذ مشروع إمداد طارئ بالمياه مع بئر أخرى على مسافة 2 كم لحل مشكلة إمدادات المياه جزئيًا لبعض الأحياء وبعد إجراء تشخيص للبئر المعني يتمثل في فيلم تسلسلي الذي يلاحظ ظهور صدع كبير على مستوى البئر بوضوح على الفيلم ، الأمر الذي يتطلب عملية إعادة تأهيل بواسطة بطانة جديدة الذي هو موضوع دراستنا إعادة الاعتبار لبئر المعني الذي قامت به شركة سعدين للأعمال الهيدروليكية في جوان 2020 بجهاز روتاري وتمت العودة إلى التزود بالمياه بالبئر نهاية جويلية 2020

SOMMAIRE

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I GENERALITES SUR LA REGION D'ETUDE	4
<i>I. SITUATION GEOGRAPHIQUE, ET HISTORIQUE D'OUED-SOUF:.....</i>	5
<i>II. TOPOGRAPHIE D'EL-OUED:</i>	7
<i>III. REPARTITION ADMINISTRATIF, ET DEMOGRAPHIQUE:</i>	7
<i>IV. CADRE CLIMATOLOGIQUE :</i>	9
IV.1. Introduction :	9
IV.2. Précipitation :	10
IV.3. Température :	12
IV.4. Le Vent :	13
IV.5. L'humidité :	14
IV.6. La durée d'insolation :	15
IV.7. Diagramme Pluviothermique :	16
IV.8. Diagramme d'Emberger :	17
IV.9. Evapotranspiration :	18
IV.10. Bilan hydrique :	19
<i>V. SITUATION ECONOMIQUE :</i>	21
<i>VI. CONCLUSION :</i>	22
CHAPITRE II GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE.....	23
<i>I. CONTEXTE GEOLOGIQUE :.....</i>	24
I.1. Cadre tectonique et structural :	24
I.2. Cadre géologique régionale :	25
I.3. Cadre géologique, et Stratigraphie de la zone d'étude :	26
CHAPITRE III HYDROGEOLOGIE ET HYDRODYNAMIQUE DE LA REGION D'ETUDE	34
<i>I. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE :.....</i>	35
<i>II. PRESENTATION DE SYSTEME AQUIFERE DE SAHARA SEPTENTRIONAL : ...</i>	35
II.1. Extension de système aquifère de Sahara septentrional :	35
II.2. Définition des nappes aquifères du SASS :	37
IV.4. Interprétations des coupes hydrogéologiques réalisées dans la zone d'étude.	41
IV.5. Litho stratigraphie des nappes aquifères d'El-Oued	46
<i>V. PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES DE L'AQUIFERE LIBRE :</i>	47
V.1. Mesure de perméabilité par la méthode de Muntz :	47
V.2. Essais de pompage dans l'aquifère libre d'El Oued.	50
V.3. Comparaison des résultats de mesure de perméabilité.	55
<i>VI. CONCLUSION.</i>	56
CHAPITRE IV METHODOLOGIE DE REALISATION D'UN FORAGE D'EAU. 57	
<i>I. APPORT D'ANALYSE DES LOGS DES FORAGE D'EAU :.....</i>	58
I.1. Généralités sur les forages d'eau :	58
II. Les forages hydrauliques dans le Sahara septentrional.	61
II.1. Considérations générales.	61
II.3. Forages de Continental Intercalaire (CI).....	62
II.4. Exécution et équipement :	62
II.5. Diagraphie :	63

II.6. Le programme de boue :	63
II.7. Cimentation :	63
II.8. Essais des débits :	64
II.9. Equipement de surface :	65
II.10. Contrôle des forages :	65
II.4. Forages au Complexe Terminal (CT).	66
II.6. Récolte et analyse des données des forages.	68
III. GENERALITE :	69
III.1. Cartographie :	71
III.2. Cartes hydrogéologiques :	71
III.3. Cartes structurales :	71
IV. LA TECHNIQUE DE FORAGE:	71
IV. 1. Forage Rotary à boue :	71
IV.2. Installation du chantier de forage :	71
IV.3. Les étapes de réalisation d'un forage	72
CHAPITRE V DIAGNOSTIQUE ET REHABILITATION DU FORAGE	
TAGHZOUT-CENTRE	76
I. INTRODUCTION:	77
II. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA COMMUNE TAGHZOUT :	77
III. APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE LA COMMUNE TAGHZOUT : ...	79
III.1. Ressource en eau à Taghzout :	79
III. 2. Historique du Forage Taghzout-centre :	80
IV. LA DEMARCHE PRELIMINAIRE DE DIGNOSTIQUE:	81
V. GENERALITE SUR LE DIAGNOSTIQUE D'UN FORAGE ET SON EQUIPEMENTS	
.....	83
V.1. Définition du diagnostique :	83
V.2. Classification des causes techniques :	83
V.3. Les outils pour le diagnostique de forage :	84
V.4. Le diagnostique des équipements électriques :	84
V.6. Dispositifs Industriels de Commande :	85
V.7. Diagnostique de la pompe :	86
VI. DIAGNOSTIQUE DU FORAGE DE TAGHZOUT-CENTRE :	86
VI.1. Démarches suivies pour la dignostique du forage Taghzout-centre.....	87
VI.2. Réalisation du diagnostic :	88
VII. PREPARATION POUR TRAVAUX DE REHABILITATION:	91
VII.1. Installation du chantier : Comprenant les actions suivantes :	91
VII.2. Re-diagnostique de forage :	91
VIII. EXECUTION DES TRAVAUX DE REHABILITATION:	91
VIII.1. Développement et nettoyage :	92
VIII.2. Essais de débit.....	93
IX. COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES DU FORAGE TAGHZOUT-CENTRE	
EN 1987 ET APRES SA REHABILITATION :	95
X. EXPLOITATION DU FORAGE :	96
CONCLUSION GENERALE.....	97
REFERENCE BIBLIOGRAPHIES	97
ANNEXE	97

Listes Sommaire des Tableau

Tableau 1 : La superficie, et population par commune de la wilaya de Souf Statistique population Fin 2019.....	8
Tableau 2 : Caractéristiques géographiques de station climatique (OMN : 2010).....	9
Tableau 3 : Précipitations moyenne mensuelles d'El Oued (1978/2010).....	11
Tableau 4 : Températures moyennes mensuelles d'El-Oued (1978/2010).....	12
Tableau 5 : Vitesses moyenne des vents mensuels en (m/s) (1978/2010).....	13
Tableau 6 : Humidité relative moyenne mensuelle (1978 – 2010).....	14
Tableau 7 : La durée d'insolation moyenne mensuelle (1978 – 2010)	15
Tableau 8 : Données des précipitations et des températures moyennes mensuelles.	16
Tableau 9: Evapotranspirations potentielle et réelle mensuelle (en mm) calculée par la méthode de Thorntwaite sur la période 1978/2010.	18
Tableau 10 : Bilan hydrique de la station de Guemar (1978/ 2010) par la méthode de.....	20
Tableau 11 : Etat de réserve facilement utilisable et le déficit agricole dans la région d'El-Oued.	20
Tableau 12 : Programme de boue pour les forages CI	63
Tableau 13 : Ressource en eau dans la commune Taghzout	79
Tableau 14 : Tableau de bord	88
Tableau 15 : Estimation et évaluation financière (DRE 2019).....	90
Tableau 16 : Bultin N:0760/20 d'analyse d'eau physico-chimique d'un l'échantillon.....	94
Tableau 17 : Etude comparative de forage Taghzout-centre.....	95

Listes Sommaire des figures

Figure 1 : : Situation géographique de la zone d'étude.....	6
Figure 2 : Histogramme des variations annuelles des précipitations.....	10
Figure 3 : Histogramme des précipitations moyenne mensuelles. (1978-2010).	11
Figure 4 : Histogramme des températures moyennes mensuelles (1978-2010).....	12
Figure 5 : Histogramme de la vitesse moyenne mensuelle de vent (1978-2010).....	13
Figure 6 : Histogramme d'humidité moyenne mensuelle (1978-2010) d'El Oued.	14
Figure 7 : Histogramme de la durée d'insolation moyenne mensuelle (1978-2010).	15
Figure 8 : Courbe Pluvio-thermique d'El-Oued (1978-2010).....	16
Figure 9 : Diagramme d'Emberger de la station d'El-Oued (1978-2010)	17
Figure 10 : Evapotranspirations potentielle et réelle mensuelle (en mm) calculée par la méthode de Thorntwaite sur la période 1978/2010.	19
Figure 11 : Etat de réserve facilement utilisable et le déficit agricole dans la région d'El-Oued.	21
Figure 12 : Coupe géostructurale transversale régionale du Sahara (WEC, 2007).	25
Figure 13 : Carte géologique de la zone d'étude (extrait de la carte de nord-ouest Afrique 1976).....	26
Figure 14 : Coupe géostructurale transversale régionale du Sahara (WEC, 2007)	28
Figure 15 : Colonne stratigraphique de forage CT dans la zone d'étude	32
Figure 16 : Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrionale (UNESCO 1972).....	36
Figure 17 : Présentation des formations aquifères du complexe terminal à El Oued.....	38
Figure 18 : Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS 2003).	39
Figure 19 : :Positionnement des coupes géologiques dans la zone d'étude	42
Figure 20 : Coupe hydrogéologique N°1.....	43
Figure 21 : : Coupe hydrogéologique N°2	44
Figure 22 : Coupe hydrogéologique N°3.....	45
Figure 23 : Colonne lithostratigraphique et répartition des aquifères dans la zone d'étude	46
Figure 24 : Dispositif de H. Darcy.	47
Figure 25 : Carte de perméabilité des sols de l'aquifère superficielle d'El-Oued.....	50
Figure 26 : Carte de positionnement des sites des essais de pompage.	51
Figure 27 : : Essai de pompage de longue durée à El-Oued.....	52
Figure 28 : Essai de pompage de longue durée à Kouinine.....	53
Figure 29 : Essai de pompage de longue durée à Nakhla.	54
Figure 30 : Essai de pompage de longue durée à Ourmes.	55
Figure 31 : Les types des crépines.....	60
Figure 32 : Emplacement du massif filtrant dans le forage.....	61
Figure 33 : Image appareil de forage.....	70
Figure 34 : Machine de forage au chantier (Forage Taghzout Nord).....	72
Figure 35 : Situation géographique de la commune de Taghzout	78
Figure 36 : Déroulement des travaux de réhabilitation du forage Taghzout-centre.	81
Figure 37 : Fiche technique forage d'eau Taghzout-centre	82
Figure 38 : Armoire électrique	86
Figure 39 : La mesure par sonde piézométrique (forage).....	87
Figure 40 : Colonne de production.	88
Figure 41 : L'appareil forage lors des travaux de réhabilitation	92
Figure 42 : L'appareil forage lors des travaux de réhabilitation	93

LISTE DES ABREVIATIONS :

ADE: Algérienne Des Eaux

ABHS: Agence de Bassin Hydrographique Sahara

AEA : Alimentation en Eau d'Agriculture.

AEI : Alimentation en Eau d'Industrie.

AEP : Alimentation en Eau Potable.

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydriques

CI : Continental Intercalaire

CT : Complexe Terminal

DRE : Direction des Ressources en eau.

DSA : Direction des Services Agricoles.

Da : Densité apparente du sol .

ETR : l'évaluation de l'évapotranspiration réelle

ETP : l'évapotranspiration potentielle du mois considéré (en mm d'eau).

GIRE : Gestion Intégrée de la Ressource en Eau.

He : Humidité équivalente du sol.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONA : Office nationale de l'assainissement.

ONM : Office National Météorologique.

PH : Potentiel hydrogène

RFU : Réserves Facilement Utilisables

Introduction Générale

L'eau n'est pas nécessaire à la vie, elle est la vie, sans elle il n'y aurait aucune vie possible sur terre, le constat est simple, tous les êtres vivants ont besoin d'eau pour exister.

La nappe de l'Albien se trouve en grande partie dans le Sahara algérien, elle est la plus grande réserve d'eau au monde. Cette eau est le résultat de l'accumulation qui s'est effectuée au cours des périodes humides qui se sont succédé depuis 1 million d'années. De point de vue quantité, l'eau au Sahara est généralement disponible, et ce grâce à d'importants aquifères, surtout au bas Sahara, le Sahara algérien a fait l'objet de plusieurs études géologiques et hydrogéologiques, en vue de l'exploration des nappes d'eaux souterraines, à savoir le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire.

Les eaux souterraines sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, elles ont des avantages évidentes sur les eaux de surface. L'eau souterraine dans la région est exploitée par des forages pour délivrer aux consommateurs une eau répondant aux normes de qualité, et avec une continuité de service sans défaut, les dysfonctionnements à cause du vieillissement des forages se manifestent principalement à travers de trois Symptômes caractéristiques :

- ✓ Une diminution des capacités d'eau,
- ✓ Une dégradation de la qualité de l'eau (colorées, salées, ...),
- ✓ Dégradation et réduction de diamètre de la colonne de production d'eau (tubage de forage).

Ce travail a pour objet de diagnostiquer tous les aléas de dysfonctionnement de forage Taghzout-centre destinée à l'alimentation en eau potable, et l'intervention de leur réhabilitation.

On proposera une méthode de prévision pour sa réhabilitation ou le renouvellement économiquement fiable, et un diagnostic approfondi doit être réalisé au préalable sur le forage en question. Une inspection vidéo fait partie de cette étude, afin que la réhabilitation de forage se passe dans les meilleures conditions, et pour pouvoir évaluer les travaux de réhabilitation nécessaires avec précision.

Notre travail comporte quatre chapitres :

Au chapitre I, on expose la région d'étude de point de vue géographique, historique, topographique, et climatologique.

Le chapitre II, est consacré à tout ce qui concerne la géologie de la région d'étude.

Le chapitre III, on expose l'hydrogéologie et l'hydrodynamique de la région d'étude.

Le chapitre IV, on expose la méthodologie de réalisation d'un forage d'eau.

Le chapitre V, fera l'objet de la partie pratique que nous avons réalisée au forage d'eau de Taghzout- Centre. Il concerne la diagnostique de problème, et sa réhabilitation de forage d'eau, ainsi que sa mise en service à nouveau.

Chapitre I

Généralités sur la région d'étude

I. Situation géographique, et historique d'Oued-Souf:

La wilaya d'El Oued se trouve au Sud-est de l'Algérie. Elle devint une commune depuis **1957**, une wilaya depuis janvier **1984**, ce découpage a pour but de faciliter les conditions de vie sociale, culturelle, professionnelle, et de limiter les difficultés dues à l'isolement, la wilaya d'El-Oued (**Fig 1**) est située au Sud Est algérien à environ **600 Km** d'Alger, elle occupe une superficie de **44586 km²**, avec une population **de 900 000** habitants (**estimation fin 2019**), et la densité est de **20,2** habitant par km², répartie à travers **30** communes regroupées dans **12** daïras (DRE 2020).

Les limites de la Wilaya sont :

- ✓ Au Nord : Les wilayas de Tebessa et Khenchela ;
- ✓ Au nord et au Nord-Ouest : La wilaya de Biskra ;
- ✓ Au Sud , et au Sud-Est : La wilaya de Ouargla ;
- ✓ A l'Est : La république Tunisien.

La vallée de Souf ce n'est pas un bassin versant mais une unité de ressource en eau qui est délimitée :

- Au Sud par la mer de dunes du grand erg oriental.
- A l'Est par une série de chotts.
- A l'Ouest par l'Oued Right et par la ligne de palmeraie qui court de Biskra à Touggourt

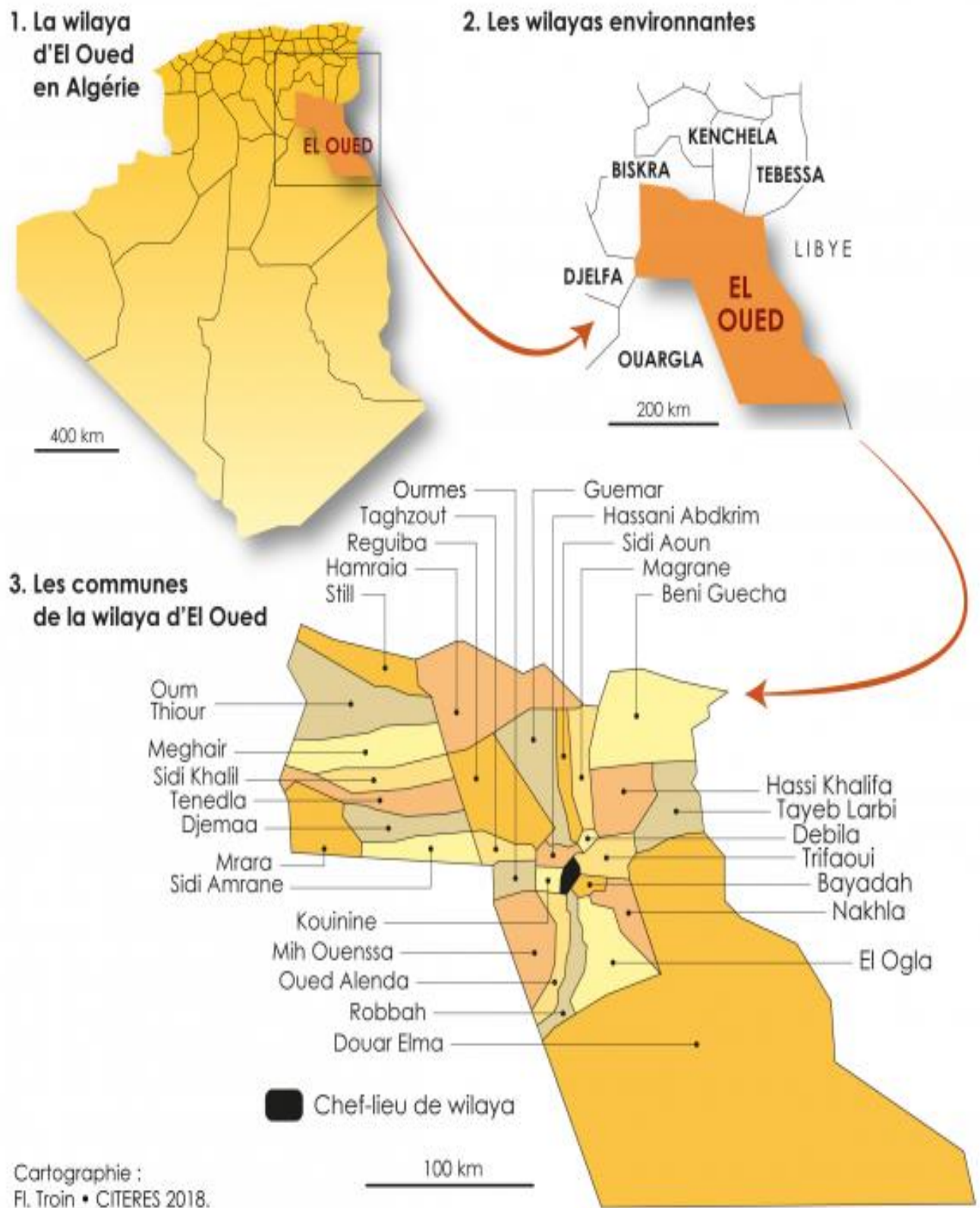


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

II. Topographie d'El-Oued:

La zone d'étude fait partie du grand Erg oriental, qui se caractérise par un ensemble de dunes de sable d'origine continentale d'altitudes oscillantes entre 64m et 100m (Cornet, 1964).

La pente de la zone d'étude est très faible oscille entre 0.2% à 1.5%, comme titre d'exemple nous donnerons les valeurs de pente dans quelques points sur la carte :(A =0.8%),

(B = 0.2%) (C= 0.75%), (D = 1.5%) et (E=0.3%). Elle est généralement orienté Sud-Nord, avec des dépressions dans le centre-ville d'El-Oued aux niveaux de ; chott et hôtel Louss.

Elle limitée par les coordonnées Lambert suivantes :

• X = 275 200 / 322 000 • Y = 3 665 000 / 3743 000

Il faut signaler l'existence dans la zone d'étude des « ghout » (entonnoirs artificiels creusés par les habitants pour planter les palmiers et les légumes).

III. Répartition administratif, et démographique:

La commune la plus peuplée est El-Oued (2410.6 hab. /km²), suivi par la commune de Hassani Abdelkrim (552,24 hab. /km²), sachant que la commune Douar El-maa a la moindre densité populaire (0,53hab./km²). Ainsi que la densité populaire de la commune Taghzout est de (34,43hab./km²). Voir le tab I.1 qui représente la population, la superficie, et la densité populaire des communes de la wilaya d'El-oued (DRE 2020),

Tableau 1 : La superficie, et population par commune de la wilaya de Souf Statistique population Fin 2019 (DRE 2020)

N°	Commune	Population (hab.)	Superficie	Densité populaire (hab/km ²)
1	El-Oued	185615	77	2410.58
2	Robbah	29685	499	59.49
3	Oued Allenda	8545	712	12.00
4	Bayadha	43720	139	314.53
5	Nakhla	18040	700	25.77
6	Guemar	57220	1264	45.27
7	Kouinine	14395	116	124.09
8	Reguiba	58610	1966	29.81
9	Hamraia	7370	2444	3.02
10	Taghzout	18560	539	34.43
11	Debila	33960	78	435.38
12	Hassani	32030	58	552.24
13	Hassi Khalifa	43255	1112	38.90
14	Taleb El-arbi	14905	1110	13.43
15	Douar El-maa	9395	17814	0.53
16	Sidi Aoun	15950	480	33.23
17	Trifaoui	11375	474	24.00
18	Magrane	32115	618	51.97
19	Ben Guecha	6390	2640	2.42
20	Ourmes	7540	443	17.02
21	Still	7540	4978	1.51
22	M'Rara	11710	1132	10.34
23	Sidi Khalil	8550	840	10.18
24	Tenedla	11515	978	11.77
25	El-Ogla	8620	1352	6.38
26	Mih Ouansa	23885	1111	21.50
27	El-meghaier	66905	1532	43.67
28	Djamaa	71905	780	92.19
29	OumThiour	13430	2116	6.35
30	Sidi Amrane	27265	552	49.39
Total	Wilaya	900000	48654	18.50

IV. Cadre climatologique :

IV.1. Introduction :

L'Algérie, est partagée en trois zones climatiques distinctes, la première à climat méditerranéen au Nord, la seconde semi-aride aux hauts plateaux, et enfin un climat aride, qui caractérise le grand Sahara. La wilaya d'El-Oued se trouve au Nord du Sahara Oriental, le littoral d'Annaba se trouve à 390 km au Nord, le littoral de Gabés à 305 km à l'Est, El-Oued est à 1100 km au Nord de tropique de Cancer et à 3700 km de l'Equateur. La connaissance des caractéristiques climatologiques est nécessaire pour l'étude hydrogéologique, il est indispensable pour l'établissement d'un bilan hydrique et pour l'évaluation de la recharge de réservoir souterrain (nappe phréatique) par infiltration. Les données climatologiques traitées relevées de l'Office National Météorologique d' El-Oued (ONM), sont réparties sur une période de 33 ans (1978-2010). La station climatique (ONM) est située dans la Daïra de Guemar (**Tab 2**), au Nord de ville d'El Oued.

Tableau 2 : Caractéristiques géographiques de station climatique (ONM : 2010).

Station	Code A.N.R.H	Altitude (m)	Longitude	Latitude
Guemar	13 04 09	64	06° 47'E	33° 30' N

IV.2. Précipitation :

IV.2.1. Précipitations annuelles :

La courbe des variations annuelles des précipitations (1978-2008) (**Fig 2**) montre que l'année la plus pluvieuse est l'année 1990 avec une hauteur annuelle de 209,1 mm, et l'année la plus sèche est celle de 1983 avec une hauteur annuelle de 15,9 mm. La moyenne interannuelle de précipitation est 70,03 mm.

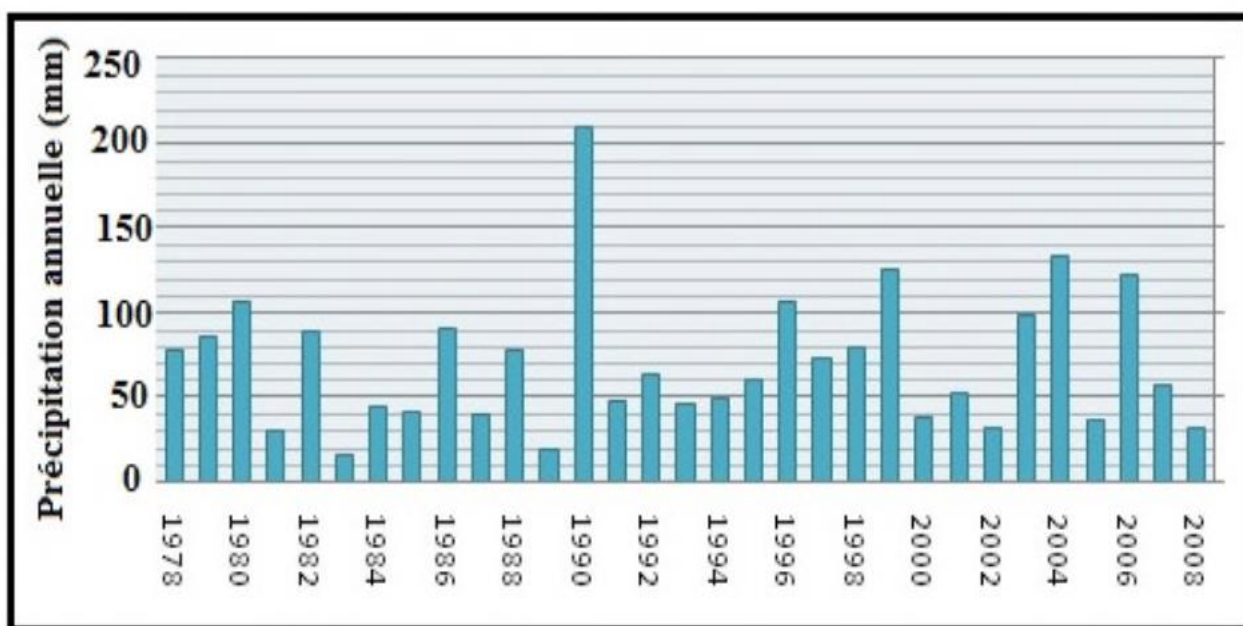


Figure 2 : Histogramme des variations annuelles des précipitations 1978-2008 (ONM : 2010).

IV.2.2. Précipitations moyenne mensuelles :

Selon les données de tableau (**Tab 3**), nous avons établi la courbe de variation moyenne mensuelle interannuelle des précipitations (**Fig 3**) L'histogramme, donne un aperçu sur les variations mensuelles, et pluriannuelles des précipitations dans la région d'étude. On constate que le mois de janvier est le plus arrosé avec 16,53 mm, et le mois de juillet est le moins arrosé avec 0,48 mm. La moyenne interannuelle de précipitation est d'ordre de 74,9 mm.

Tableau 3 : Précipitations moyenne mensuelles d'El Oued 1978-2010 (ONM : 2010).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P(mm)	5.6	7.29	8.66	6.51	16.53	6.63	8.49	6.90	4.53	1.44	0.48	1.83

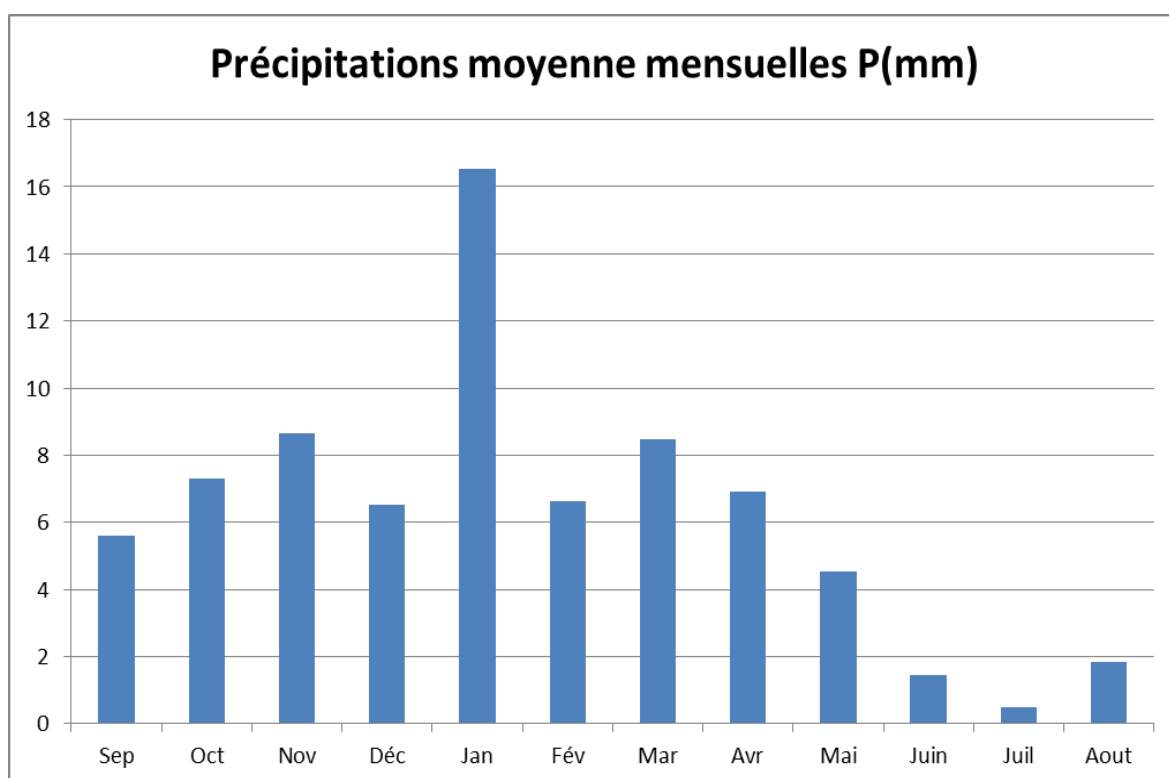


Figure 3 : Histogramme des précipitations moyenne mensuelles 1978-2010 (ONM : 2010).

IV.3. Température :

Les températures moyennes journalières oscillent entre 29°C et 42°C à l'ombre pendant l'été.

Durant la période allant de 1978 à 2010, la moyenne annuelle des températures est 21.3°C.

Les variations moyennes mensuelles des températures (**Fig 4 et Tab 4**) montrent qu'elle est maximale au mois d'aout avec une valeur d'ordre de 32,35 °C et minimale au mois de janvier avec une valeur d'ordre de 10,27 °C.

Tableau 4 : Températures moyennes mensuelles d'El-Oued 1978-2010 (ONM : 2010).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
T (c°)	27.8	22.1	15.42	11.18	10.27	12.6	16.22	20.06	24.98	29.45	32.24	32.35

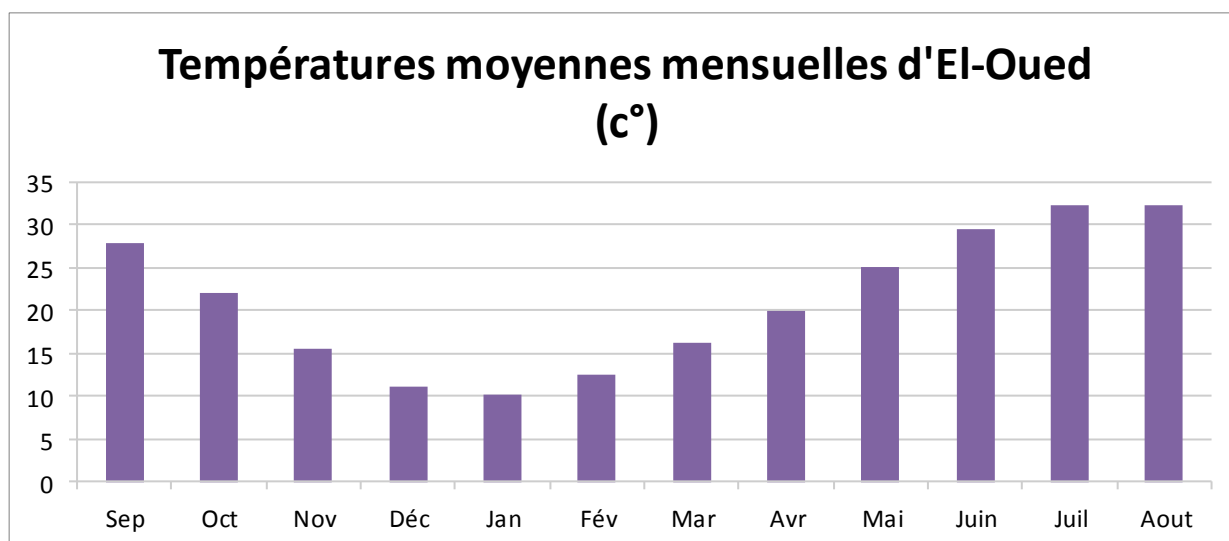


Figure 4 : Histogramme des températures moyennes mensuelles 1978-2010 (ONM : 2010).

IV.4. Le Vent :

Les vents de direction Est et Nord-est prédominent, puis à un degré moindre ceux de direction Ouest et Sud-ouest, caractérisés par le Sirocco. Généralement c'est au printemps (**Fig 5 et Tab 5**) que les vents sont les plus forts, ils sont chargés de sables éoliens donnant au ciel une teinte jaune et peuvent durer jusqu'à trois jours consécutifs avec une vitesse allant de 40 à 50 Km/h.

Tableau 5 : Vitesses moyenne des vents mensuels en (km/h) 1978-2010 (ONM : 2010).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Vitesse(km/h)	3.15	2.37	2.23	2.44	2.19	2.56	3.33	4.05	4.13	3.68	3.39	3.11

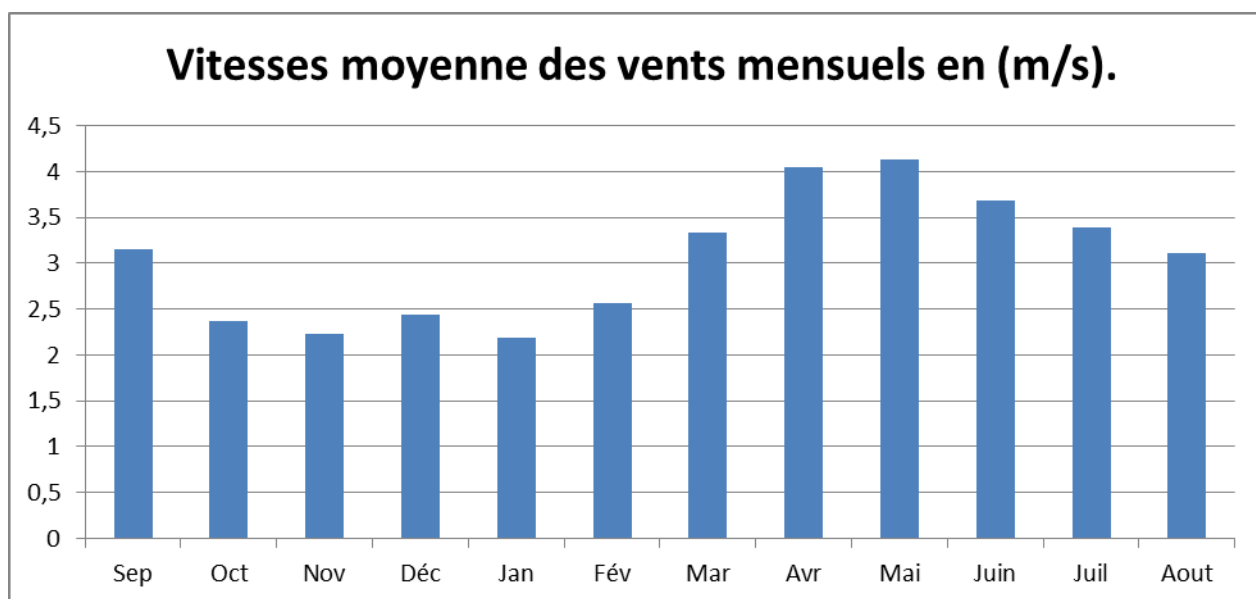


Figure 5 : Histogramme de la vitesse moyenne mensuelle de vent 1978-2010 (ONM : 2010).

IV.5. L'humidité :

L'humidité représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère. L'humidité moyenne de la région (**Fig 6 et Tab 6**) est minimum pendant le mois de juillet avec une valeur de l'ordre de 32.19 % et maximum pendant le mois de décembre avec une valeur de 65,33 %. L'humidité relative est de 62.44 % en hiver et de 34.26 % en été.

Tableau 6 : Humidité relative moyenne mensuelle 1978-2010 (ONM : 2010).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Humidité(%)	46.76	53.43	60.97	65.33	65.26	56.75	49.19	44.03	39.52	35.27	32.19	35.32

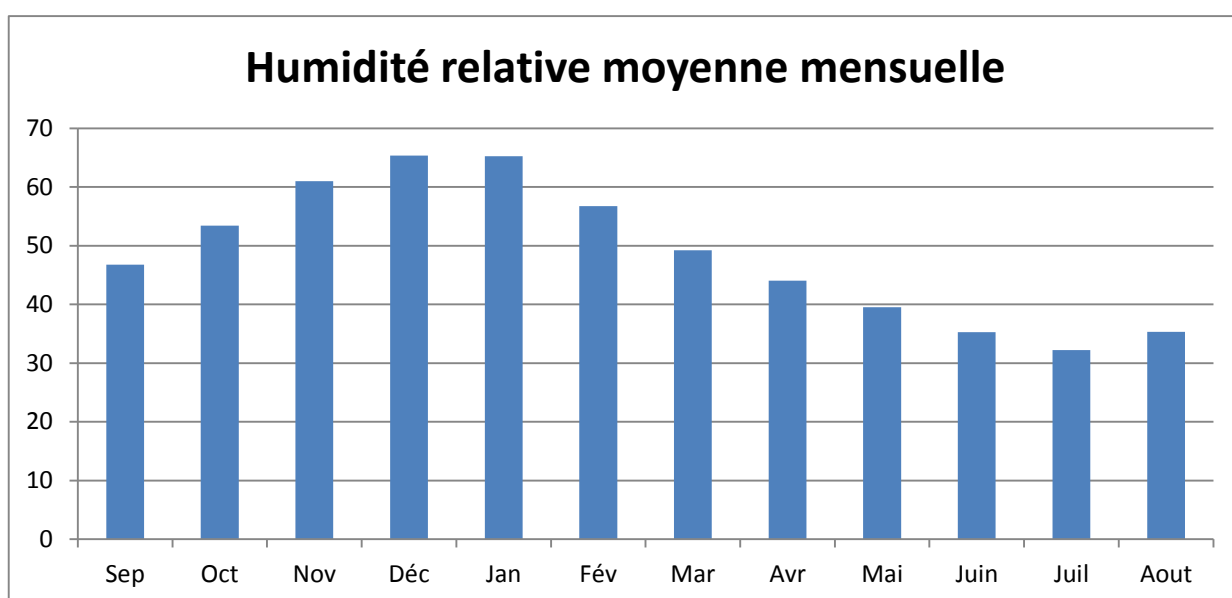


Figure 6 : Histogramme d'humidité moyenne mensuelle d'El Oued 1978-2010 (ONM : 2010).

IV.6. La durée d'insolation :

La région d'El-Oued reçoit une quantité de lumière solaire relativement très forte (**Fig 7**) et (**Tab 7**), le maximum est atteint au mois de juillet avec une durée d'insolation de 353.29 heures et le minimum est enregistré au mois de décembre avec une durée de 227.35 heures.

Tableau 7 : La durée d'insolation moyenne mensuelle 1978-2010 (ONM : 2010).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Insolation(H)	271	257.1	277.6	227.3	238.1	247.2	275.8	283.7	307.0	344.2	353.2	323.1

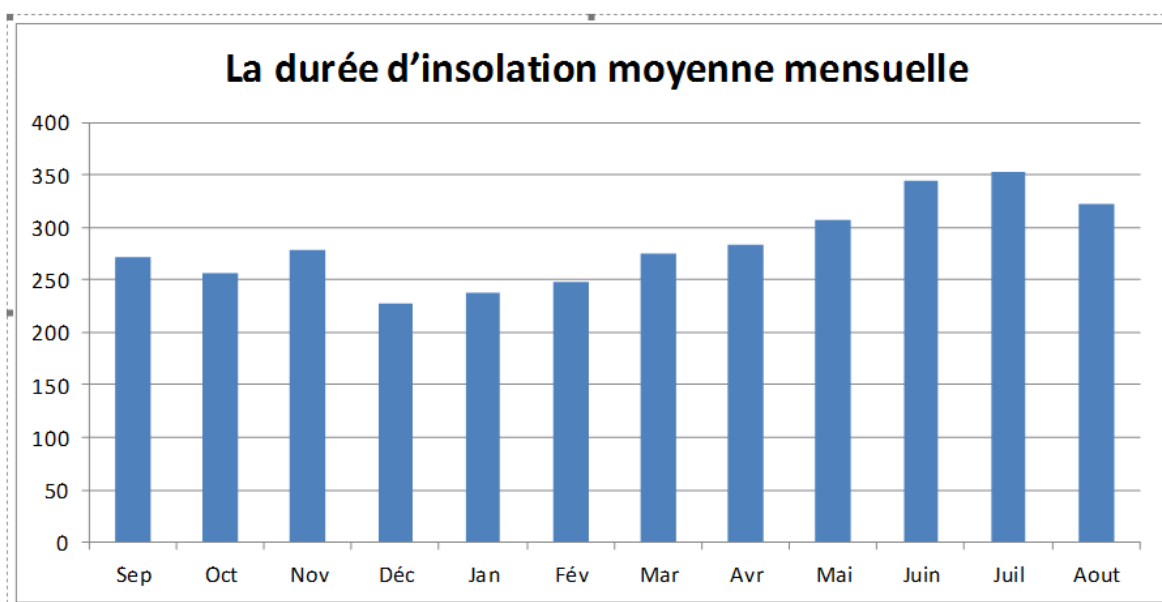


Figure 7 : Histogramme de la durée d'insolation moyenne mensuelle 1978-2010 (ONM : 2010).

IV.7. Diagramme Pluviothermique :

Les valeurs des précipitations, et des températures enregistrées au niveau de la station de Guemar sur une période de 33 années, permettent l'établissement du diagramme pluviothermique (**Fig 8 et Tab 8**). Suivant Gaussen et Bagnouls, un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne (°C) du même mois. Le diagramme pluviothermique montre que la période sèche est étendue sur les douze mois de l'année dans la zone d'étude.

Tableau 8 : Données des précipitations et des températures moyennes mensuelles 1978-2010 (ONM : 2010).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
P(mm)	11,2	14,58	17,32	13,02	33,06	13,26	16,98	13,8	9,06	2,88	0,96	3,66
T (c°)	27.8	22.1	15.42	11.18	10.27	12.6	16.22	20.06	24.98	29.45	32.24	32.35

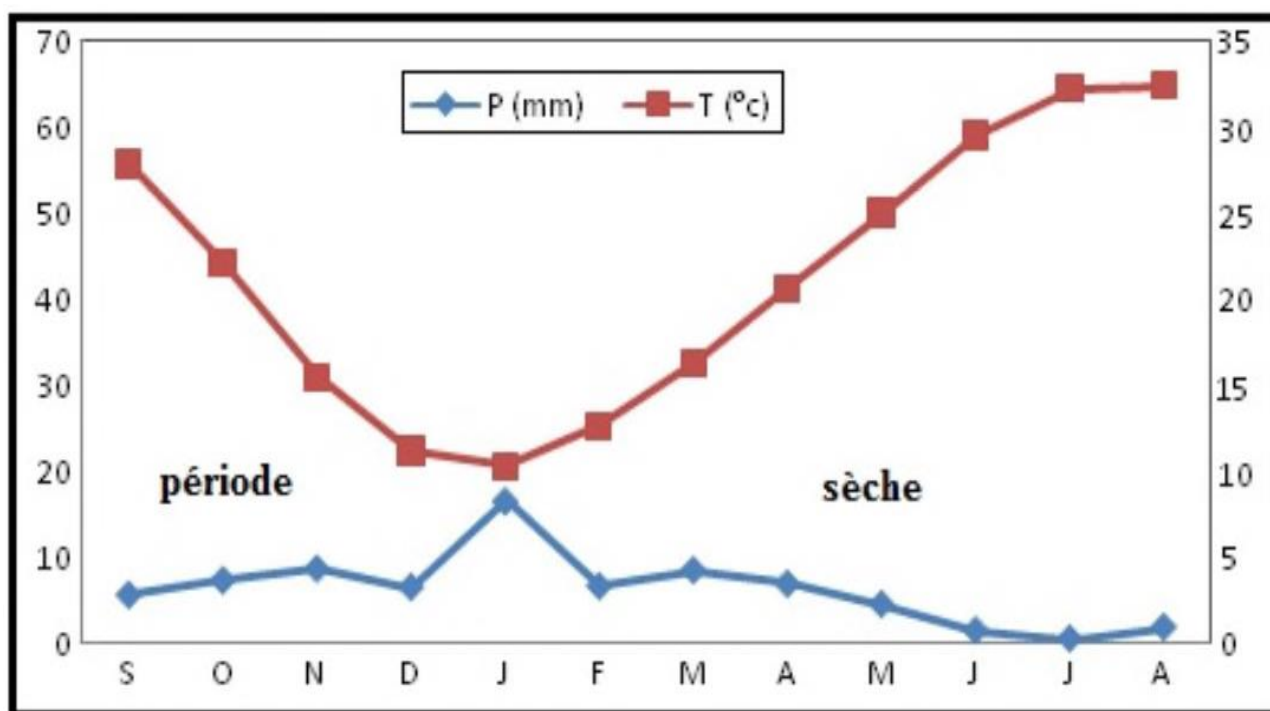


Figure 8 : Courbe Pluvio-thermique d'El-Oued 1978-2010 (ONM : 2010).

IV.8. Diagramme d'Emberger :

Pour déterminer les types de climat de la zone méditerranéenne, L. Emberger (1955) a proposé la détermination d'un quotient pluviométrique Q (**Fig 9**). Ce quotient dépend de la précipitation moyenne annuelle, et les moyennes des températures minima et maxima, respectivement des mois les plus froids et les plus chauds.

$$Q = 3,43 P / (M-m)$$

Q : facteur des précipitations d'Emberger

P : Précipitation moyenne annuelle (mm)

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (°C).

m : moyenne des minima du mois le plus froid (°C).

Le calcul de facteur d'Emberger dans la zone d'El-Oued donne les valeurs suivantes :

$$Q = 3,43 P / (M-m) = 3,43 * 74,9 : (32,35 - 10,27) = 11.63 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}$$

Selon la position sur le Diagramme d'Emberger (**Fig 11**) la zone d'étude est caractérisée par un climat saharien avec un hiver chaud.

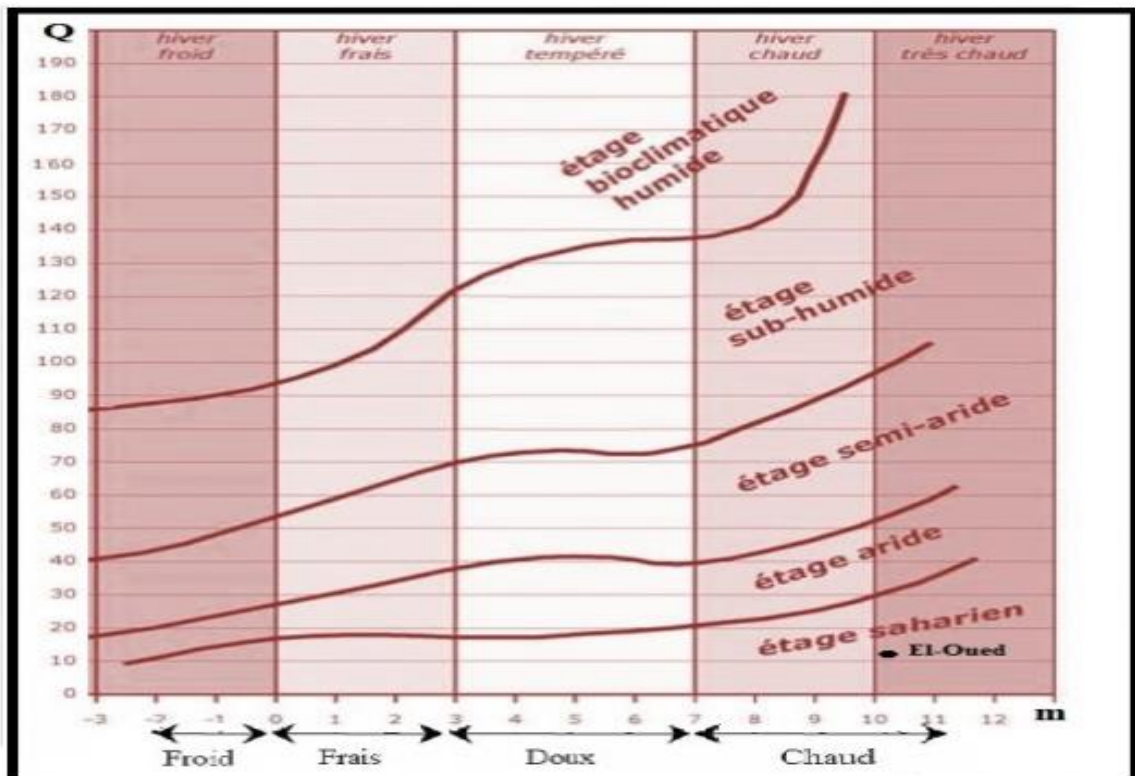


Figure 9 : Diagramme d'Emberger de la station d'El-Oued 1978-2010 (ONM : 2010).

IV.9. Evapotranspiration :

Plusieurs expressions empiriques, introduisant les paramètres climatiques, ont été établies pour l'évaluation de l'évapotranspiration réelle (ETR) et/ou potentielle (ETP). La méthode utilisée dans ce travail est celle de Thornthwaite (1948) puisque cette méthode semble la plus utilisée est celle qui donne les résultats les plus cohérents dans les zones méditerranéennes (Rkiouak, 1996 et Stitou El Messari, 2002)

IV.9.1. Evapotranspiration potentielle (ETP) :

La formule proposée par Thornthwaite (in Belkacem, 1994 et Stitou El Messari, 2002) permet le calcul de l'évapotranspiration potentielle en millimètres, à partir de la température moyenne mensuelle (T) par l'expression : $ETP = 16 [10 T / I]^a K$. Avec :

t : la température moyenne mensuelle du mois considéré.

ETP : l'évapotranspiration potentielle du mois considéré (en mm d'eau).

K : un coefficient d'ajustement mensuel.

I : appelé indice thermique annuel

Le paramètre : $a = 0.016 * I + 0.5$

L'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle (**Fig 10**) obtenue est de 1164.2 mm. Le maximum s'enregistre au mois de juillet (216.2 mm) et le minimum au mois de janvier (9.4 mm).

IV.9.2. Evapotranspiration réelle (ETR) :

Elle a été déterminée également à l'aide de la méthode de Thornthwaite. Cette méthode part d'un bilan hydrique du sol, dans lequel on estime la réserve facilement utilisable exprimée en millimètres de hauteur d'eau. En plus, cette méthode tient en compte les précipitations et l'évapotranspiration potentielle. En considérant que les réserves superficielles en tant que réserves facilement utilisables (RFU) sont de l'ordre de 100 mm. L'évapotranspiration réelle moyenne annuelle (**Fig 10 et Tab 9**) est de 74.9 mm avec un maximum au mois de janvier (13.8 mm) et un minimum au mois de juillet (0.5 mm). L'évapotranspiration réelle représente 100% la pluviométrie moyenne annuelle.

Tableau 9: Evapotranspirations potentielle et réelle mensuelle (en mm) calculée par la méthode de Thorntwaite sur la période 1978-2010 (ONM : 2010).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
ETP	125,2	180,3	24,9	10,7	9,4	15,1	33,8	60,5	113,4	170,7	216,2	203,9
ETR	5,6	7,3	8,7	6,5	9,4	13,8	8,5	6,9	4,5	1,4	0,5	1,8

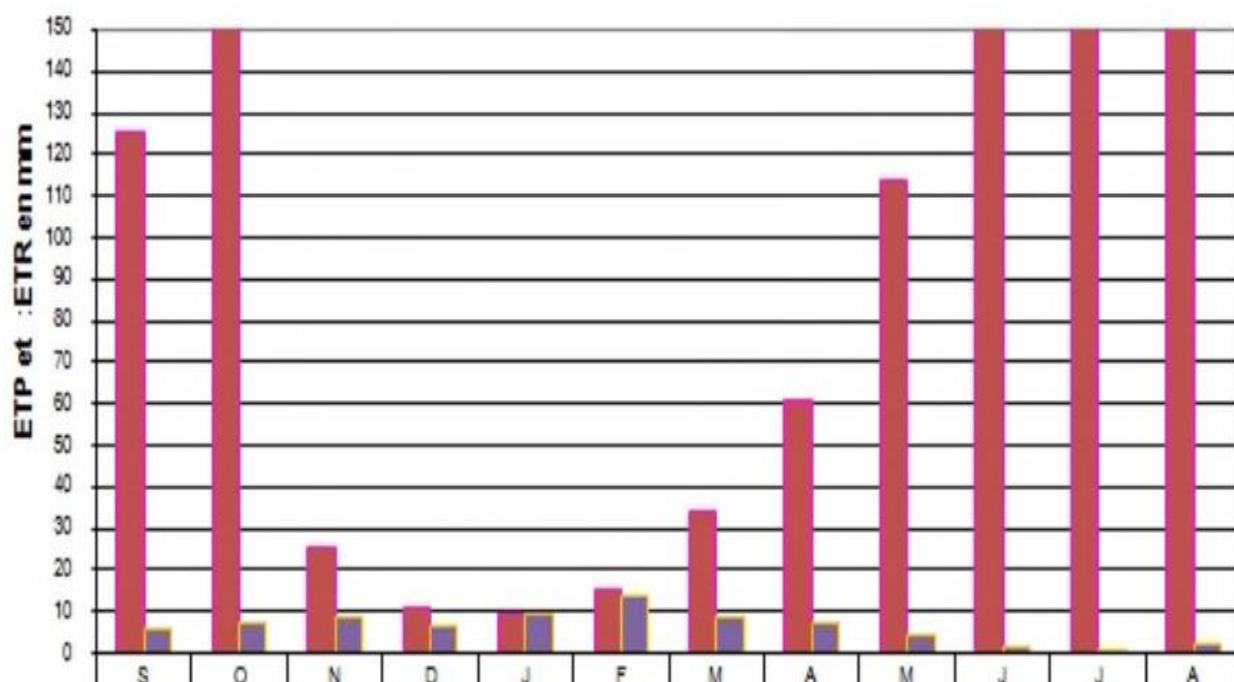


Figure 10 : Evapotranspirations potentielle et réelle mensuelle (en mm) calculée par la méthode de Thornthwaite sur la période 1978-2010 (ONM : 2010).

IV.10. Bilan hydrique :

Le bilan hydrique d'El-Oued (**Tab 10**), dans la période (1978-2010) suivant la méthode de Thornthwaite est déficitaire, la quantité d'eau précipitée sera vite évaporée parce que évapotranspiration potentiel (ETP) est plus importante que les précipitations, sauf au mois de janvier, le réserve facilement utilisable est nulle pendant les onze mois de l'année (**Fig.I-11 et Tab.I-10**).

Le déficit agricole est présent pendant onze mois de l'année, elle atteindra son maximum au mois de juillet 215.7mm.

Le bilan hydrique de la région d'El-Oued montre que la recharge par la pluie efficace est négligeable, la recharge de la nappe est faite par les eaux la ré-infiltration due à l'irrigation et les eaux urbaines (les eaux usées domestiques).

Tableau 10 : Bilan hydrique de la station de Guemar par la méthode de THORNTWAITE1978-2010 (ONM : 2010).

	T	P	ETP	ETR	RFU	DA	EX
Sep	27,8	5,6	125,2	5,6	0	119,6	0
Oct	33,1	7,29	180,3	7,3	0	173	0
Nov	15,42	8,66	24,9	8,7	0	16,3	0
Déc	11,18	6,51	10,7	6,5	0	4,2	0
Jan	10,27	16,53	9,4	9,4	7,1	0	0
Fév	12,6	6,63	15,1	13,8	0	1,3	0
Mar	16,22	8,49	33,8	8,5	0	25,3	0
Avr	20,06	6,9	60,5	6,9	0	53,6	0
Mai	24,98	4,53	113,4	4,5	0	108,9	0
Juin	29,45	1,44	170,7	1,4	0	169,2	0
Juil	32,24	0,48	216,2	0,5	0	215,7	0
Aout	32,35	1,83	203,9	1,8	0	202,1	0
Annuel	22,1	74,9	1164,2	74,9	7,1	1089,3	0

On peut calculer la réserve facilement utilisable RFU d'après la formule Hallaire

$$RFU = 1/3Da \cdot He \cdot P \quad \text{Ou :}$$

Da : Densité apparente du sol .

He : Humidité équivalente du sol.

P : Profondeur de la couche de la terre parcourue par les racines en mm ;

D'après les agronomes de l'institut national d'agronomie d'Alger, la réserve facilement utilisable RFU est de l'ordre de **50 mm** qui est la valeur maximale, mais seulement dans les régions sahariennes.

Tableau 11 : Etat de réserve facilement utilisable et le déficit agricole dans la région d'El-Oued 1978-2010 (ONM : 2010).

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout
Excédent	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
Déficit	119,6	17,3	16,3	4,2	00	1,3	25,3	53,6	108,9	169,2	215,7	202,1
RFU	00	00	00	00	7,1	00	00	00	00	00	00	00

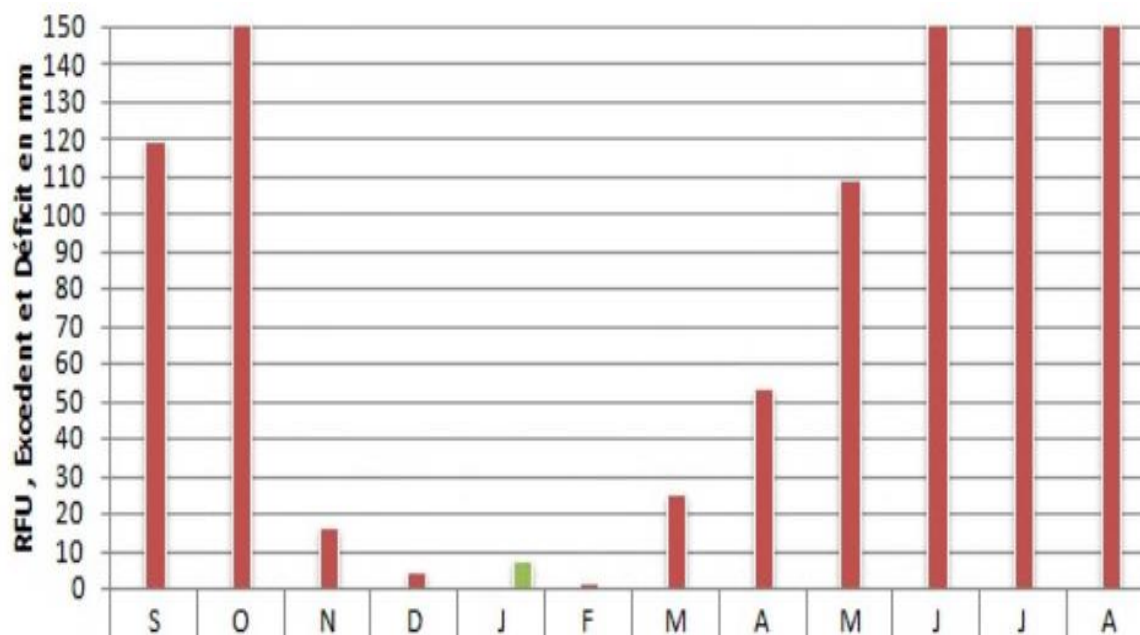


Figure 11 : Etat de réserve facilement utilisable et le déficit agricole dans la région d'El-Oued 1978-2010 (ONM : 2010).

○ **Diagnostic des ressources hydriques :**

Malgré l'absence des ressources de surfaces, la vallée de Oued-Souf dispose d'une réserve hydraulique très importante, présente sous forme de trois nappes souterraines : la nappe de l'Albien (ou Continental Intercalaire CI), la nappe du Complexe Terminal (CT) et la nappe phréatique.

V. Situation économique :

La région est caractérisée par une économie agricole liée intimement au palmier dattier. Actuellement il existe près de 2500000 palmiers dattier dont 183000 seulement sont productifs.

La moyenne d'exportation est de 40000 tonnes/an. L'élevage est une autre activité qui se répartie comme suit (DSA/ 2016) :

- Ovin : 500 000 têtes.
- Caprin : 153 000 têtes.
- Camelin : 27300 têtes.
- Bovin : 4700 têtes.

Cela permet d'avoir :

- Une production de viande rouge estimée à : 4700 tonnes/an ;
- Une production de viande blanche estimée à : 2240 tonnes/an ;

- Une production d'œufs estimée à : 27561270 Œufs/an ;
- Une production laitière : 44000000 litres/an.

L'agriculture et le commerce représentent les principales activités des habitants de la région. La culture dominante est le palmier dattier viennent après le tabac, les arachides en dernier la pomme de terre et quelques cultures maraîchères. La ville d'El-Oued est un centre d'échange commercial très actif grâce à sa position géographique.

En ce qui concerne les activités artisanales, la région du Souf a toujours été un centre artisanal, connu particulièrement dans la confection des outils de travail destinés à l'agriculture ainsi que pour ses tapis tissés. Enfin son architecture est admirable, distinctes par les coupoles qui coiffent les maisons (DCW - El-Oued).

VI. Conclusion :

La wilaya d'el Oued est considérée comme l'une des régions les plus touristiques en Algérie et plus particulièrement au Sahara central. Ses palmeraies, appelées « Ghitanes », ses mosquées, ses Zaouïates, ses ruelles ombragées, et ses dunes de sables blancs, enserrant de minuscules palmeraies sur des immenses étendues de sables, ont fait du Souf et d'Oued Righ l'une des plus belles régions d'Algérie.

L'étude climatologique montre que le climat de la zone d'étude est saharien avec un hiver chaud.

- La précipitation moyenne interannuelle est d'ordre de 74.9 mm, le mois de janvier est le plus arrosé avec 16.53 mm, et le mois de juillet est le moins arrosé avec 0.48 mm ;
- La température moyenne annuelle est 21.3°C, elle est maximale au mois d'août avec une valeur de 32,35 °C et minimale au mois de janvier avec une valeur de 10,27°C ;
- Le bilan hydrique de la zone d'étude est déficitaire, conséquence d'une faible précipitation et d'une forte évapotranspiration, la réserve facilement utilisable est nulle durant les douze mois de l'année, sauf le mois de janvier dont elle est de l'ordre de 7.1 mm et la recharge par la pluie efficace est négligeable.

Chapitre II

Géologie de la région d'étude

I. Contexte géologique :

La formation de la géologie du désert se prolonge à d'énormes distances avec des caractères à peu près identiques à ceux que nous avons constatés dans la région sud de Sahara algérienne.

I.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. La série sédimentaire lagunaire recouvrant la plate-forme crétacé forme un vaste synclinal (Fig.9) dont le fond a un très grand rayon de courbure. Les couches sédimentaires semblent s'épaissir du Nord d'El Oued vers le centre de cette dépression, ce qui montre que l'approfondissement suit de près la sédimentation. Donc

si nous désirons retracer l'évènement paléogéographique d'Oued Souf, il faut noter qu'au cours de la jeunesse de l'immense dépression au début du Quaternaire et sous l'effet de la sédimentation, le centre de celle-ci (dépression) se déplace en fonction du temps vers le Nord, tout en donnant naissance à des nouvelles dépressions correspondant actuellement à la zone des chotts, où leur naissance ne s'est effectuée qu'à la fin du Quaternaire. Ces caractéristiques ont favorisé la formation dans le Souf et dans tout le bas Sahara, de plusieurs aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès.

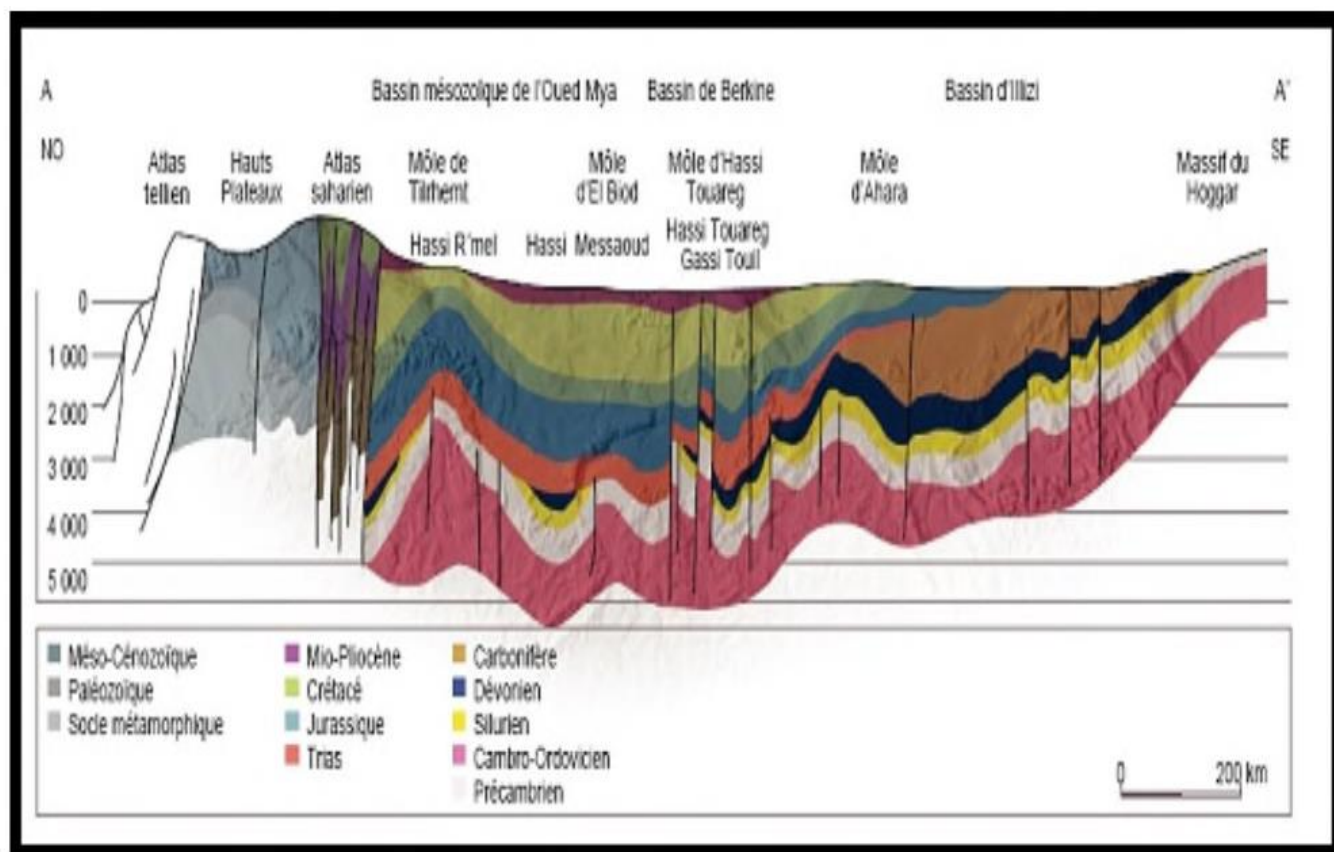


Figure 12 : Coupe géostructurale transversale régionale du Sahara (WEC, 2007).

I.2.Cadre géologique régionale :

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 (**Fig.12**) (SASS 2002). 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.

Notre région d'étude fait partie de la plate-forme 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).

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 (régions d'Ouargla, Touggourt, El Oued ainsi que sur la bordure des Aurès Ziban). 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.

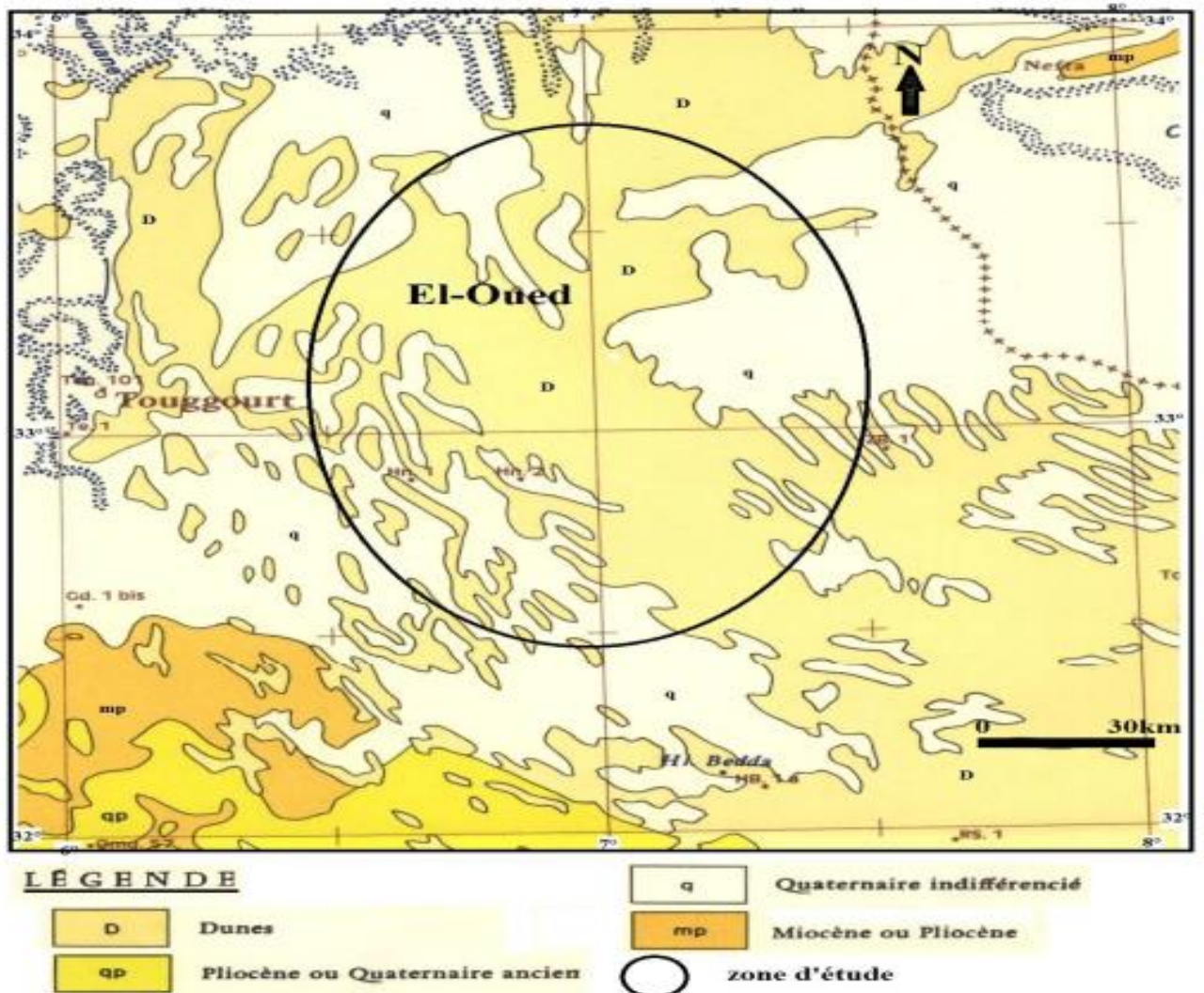


Figure 13 : Carte géologique de la zone d'étude (extrait de la carte de nord-ouest Afrique 1976).

I.3.Cadre géologique, et Stratigraphie de la zone d'étude :

La région d'étude est située exactement dans la partie Nord-est de la plate forme saharienne.

La carte géologique d'El-Oued montre que seuls les terrains d'âge Quaternaire et MioPliocène sont visibles à la surface. Ils sont représentés par des dunes et cordons d'Erg.

(Fig.13). La succession des terrains et leurs descriptions lithologiques ont été rendus possibles grâce à l'interprétation des logs de forage d'eau, réalisés dans la zone d'étude **(Fig14 , et Fig 15).**

D'après (Cornet 1964, Bel 1968) , et les coupes de sondages établies à partir des forages, les profondeurs des étages varient d'une région à l'autre. Sur la base des logs de forage de l'Albien réalisés par la DRE (2011) sur la région d'Oued Souf, nous citons les principales strates répétées dans cette région, en allant de la plus ancienne vers la plus récente.

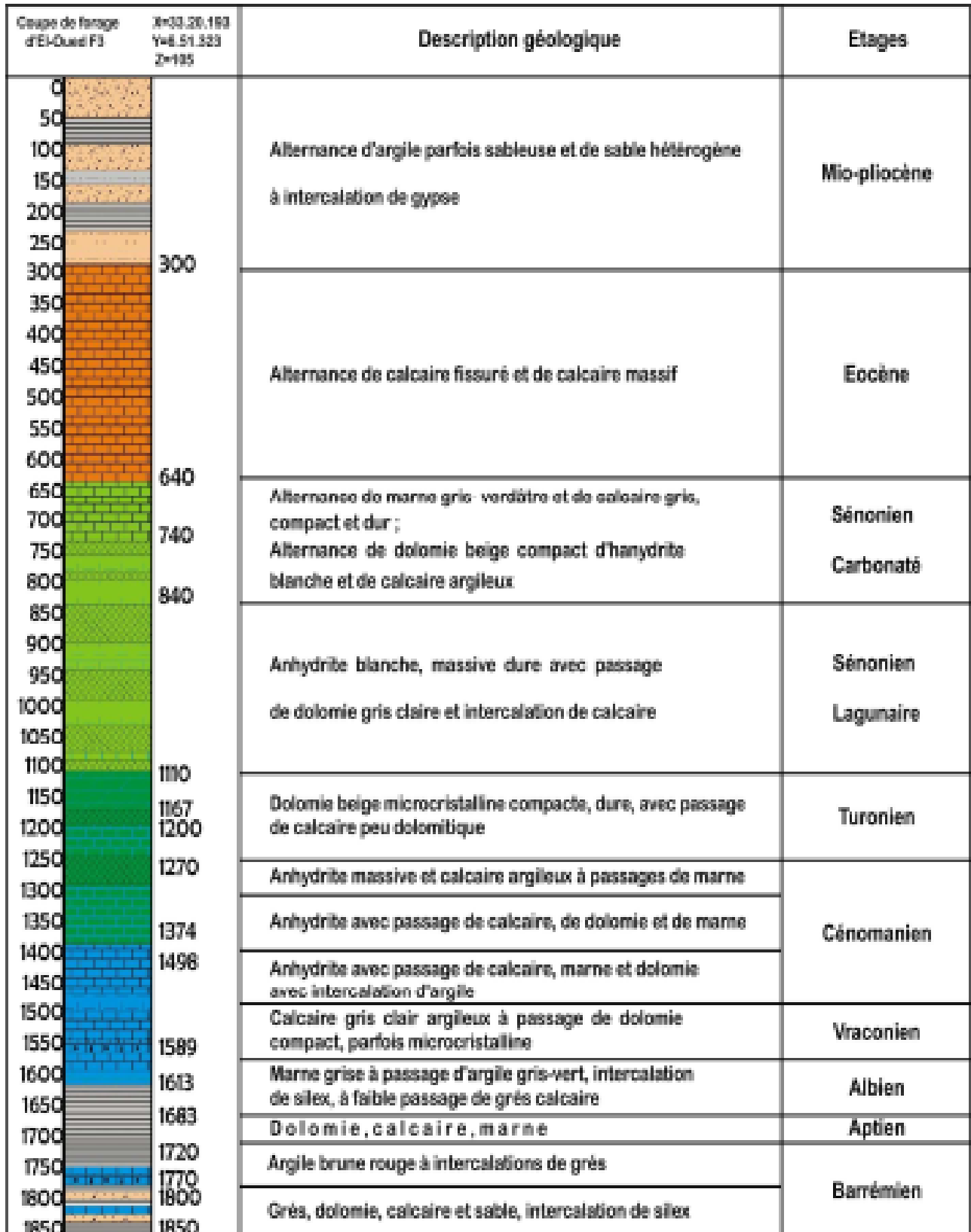


Figure 14 : Coupe géostructurale transversale régionale du Sahara (WEC, 2007)

I.3.1. Le Secondaire (Crétacé).

a. Le Barrémien :

Le Barrémien est la période qui vit un épandage généralisé des formations détritiques du Crétacé inférieur jusqu'à dans le Bas-Sahara (SASS 2010). 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 zone d'étude, cet étage est capté par les forages du continental intercalaire réalisés dans cette région (3 forages). Il présente une alternance de grés avec passages d'argile et parfois des intercalations de calcaires dolomitiques. Nous rencontrons également des sables avec présence de silex. L'épaisseur moyenne de cet étage est de l'ordre de 237 m à 270 m.

b. 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). 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 (SASS 2010).

Dans la zone d'étude, cet étage est constitué principalement par des formations dolomitiques, marneuses et marno-calcaires. D'après les forages réalisés dans la région, l'Aptien est le seul étage dont l'épaisseur ne dépasse pas 40 m.

c. L'Albien :

il 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.

Dans la zone d'étude, cet étage est constitué par une alternance de marnes, de grés, de sables et surtout par des calcaires avec passages de silex et d'argile. La limite inférieure est constituée par le toit de la barre aptienne, alors que sa limite supérieure est caractérisée par

l'apparition des faciès argilo-carbonatés. D'après les sondages captant le continental intercalaire l'épaisseur de cet étage est environ 90 m.

d. Le Vraconien :

est une zone de transition entre l'Albien gréseux et le Cénomaniens argilo-carbonaté. Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo-dolomitiques. On rencontre aussi de calcaires

gris clair argileux. Cet étage constitue la couverture de l'Albien par des niveaux argileux. L'épaisseur de cet étage dans toute la zone d'étude varie entre 90 m et 120 m.

e. Le Cénomaniens :

les forages réalisés dans cette région ont montré que cet étage est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques, de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites. La limite inférieure de cet étage est caractérisée par l'apparition d'évaporites et de dolomies qui le distingue nettement, tandis que sa limite supérieure caractérisée par l'apparition d'évaporites et de calcaires correspond à la base du Turonien. L'épaisseur de cet étage dans toute la zone d'étude est environ 120 m.

f. Le Turonien :

cet étage représente la base du complexe terminal. Il est généralement carbonaté et constitué par des calcaires dolomitiques et des dolomies microcristallines compactes avec des intercalations de calcaires et parfois de marnes. Les forages de la région montrent clairement que son épaisseur varie d'un endroit à un autre, elle dépasse parfois 95m.

g. Le Sénonien:

la plupart des études géologiques effectuées à travers le Sahara algérien montrent que le Sénonien est formé de deux ensembles très différents de point de vue faciès : l'un correspond au Sénonien lagunaire, situé à la base, et l'autre le Sénonien carbonaté audessous.

- **Sénonien lagunaire :** Le Sénonien lagunaire est caractérisé par un faciès évaporitique avec des argiles aisément différenciables de celles du Turonien. Il est constitué également d'anhydrite, de calcaires dolomitiques, d'argiles et surtout de bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine les 150 m. La limite inférieure de

cette formation coïncide avec le Turonien de la dernière intercalation anhydritique. Son épaisseur oscille entre 270 m et 300 m.

- **Sénonien carbonaté** : la limite entre le Senonien lagunaire et le Sénonien carbonaté n'est pas toujours bien nette, la limite supérieure du Sénonien carbonaté est encore plus floue, en effet, il y a pratiquement une continuité lithologique entre le Sénonien et l'Eocène carbonaté, car les deux niveaux sont formés de calcaires de même nature. Seule la présence de Nummulites permet d'identifier l'Eocène. Le Sénonien carbonaté est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques, avec des intercalations marno-argileuses et en grande partie par des calcaires fissurés et de dolomies vacuolaires. Son épaisseur oscille entre 200 m et 330 m

I.3.2. Le Tertiaire.

a. L'Eocène :

Avant la fin d'Eocène carbonaté, la mer quitte définitivement le Sahara, qui connaîtra un régime de sédimentation continental. On distingue dans l'Eocène deux ensembles de point de vue lithologique; l'Eocène carbonaté à la base et l'Eocène évaporitique au-dessus.

L'Eocène carbonaté est constitué de calcaire d'une puissance qui peut atteindre 340 m, ces calcaires sont très fissurés marqués par des pertes de boues totales ou partielles dans les forages traversent cette couche. L'Eocène évaporitique est constitué d'alternance de calcaires, d'argiles, de marnes et d'anhydrites. Elle renferme de Nummulites et Globigérines. C'est cette formation que l'on désigne dans le bas-Sahara sous le nom d'Eocène évaporitique. Dans la région d'El-Oued, l'épaisseur de cet étage varie entre 150 m (forage de 19 mars) et 340 m (forage DW-101).

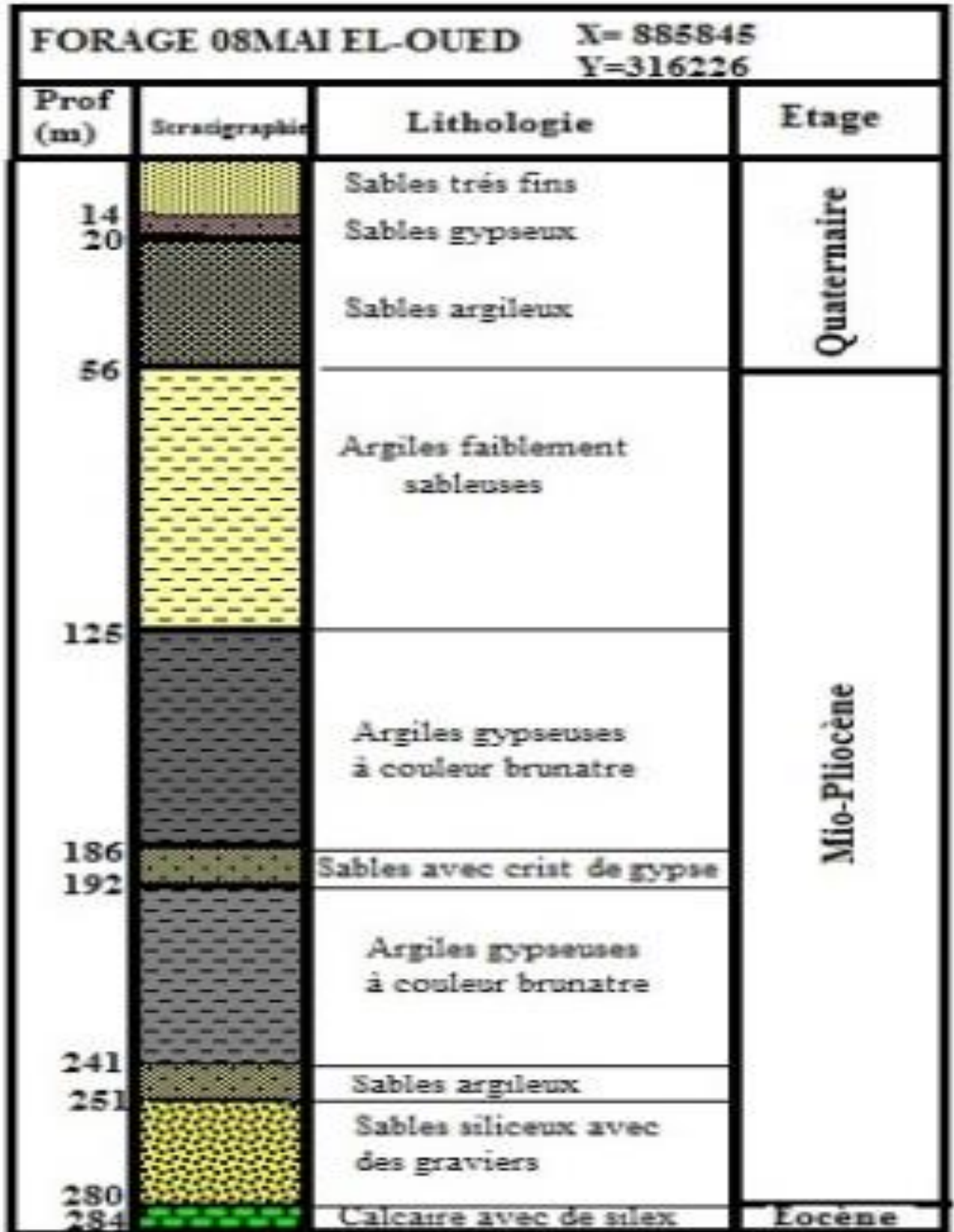


Figure 15 : Colonne stratigraphique de forage CT dans la zone d'étude

b. Le Mio-Pliocène :

Il repose en discordance indifféremment sur le Primaire, d'une part et sur le Crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomaniens et l'Eocène d'autres parts (**Fig 17**). Il appartient à l'ensemble appelé communément complexe terminal (CT) (Kilian.C1933). Bel et Demargne (1966) séparent cet horizon en quatre niveaux sur la plupart de l'étendue du Sahara oriental. La plupart des coupes de sondages captant cet horizon, montre que le Mio-Pliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux, sablo-argileux avec des intercalations gypseuses, marneuses et des passages de grés et de calcaires. Dans la zone d'étude, l'interprétation des sondages montre que le Mio-Pliocène est constitué des intercalations de deux niveaux sableux et un niveau argileux (**Fig 15**). On distingue de bas vers le haut:

Niveau 1 : Sableux avec intercalation de grés et de graviers, son épaisseur varie entre 30 m et 60 m, sur toute l'étendue de la zone d'étude. C'est en fait à ce niveau que se trouve le principal horizon aquifère du complexe terminal (CT), on appelle (2ème nappe de sable).

Niveau 2 : C'est une formation argileuse avec des passées de sables argileux, de marne et de gypse, dont les limites inférieure et supérieure demeurent toujours confondues, il ne présente pas un grand intérêt du point de vue hydrogéologique. Cette couche n'existe que dans certaines zones.

Niveau 3 : C'est le deuxième niveau sableux, son épaisseur varie entre 6 m et 100 m, il constitue le premier horizon aquifère de CT (1ère nappe de sable du complexe terminal). la limite supérieure de ce niveau demeure toujours confondue à cause de sa forte teneur en argiles.

I.3.3.Le Quaternaire :

Le Quaternaire est formé par des dépôts sableux de type éolien donnant naissance à des dunes, localement intercalés de lentilles d'argiles, d'argiles sableuses et gypseuses. Ces sables forment d'énormes accumulations dans le grand Erg oriental. C'est au niveau de cet horizon que l'on rencontre la nappe phréatique. A la base de Quaternaire on rencontre une formation argileuse faiblement sableuse

Chapitre III
Hydrogéologie et
hydrodynamique de la région
d'étude

I. Contexte hydrogéologique :

L'étude hydrogéologique a pour but de déterminer la géométrie des aquifères, le sens de l'écoulement souterrain, la capacité des réservoirs aquifères, et les caractéristiques hydrodynamiques du système.

La géologie est un moyen d'investigation très utile en hydrogéologie car elle permet de la détermination des horizons susceptibles être aquifères.

La région d'étude est exactement dans la partie Nord de la plateforme saharienne caractérisée par des formations détritiques particulièrement sableuses, elles apparaissent sous forme de dunes et anti dunes. Car le sous-sol de la région étant sableux et assurant 3l'infiltration et la circulation souterraine des eaux, est essentiellement représenté par des formations sablo-gréseuses du Continental Intercalaire, et des accumulations sableuses Fulvio- lacustres de tertiaire continental. Sur l'ensemble de la région d'El-Oued, les formations Mio-pliocènes sont recouvertes par une considérable épaisseur de dépôts Quaternaires présentés sous forme de dunes donnant naissance à un immense Erg qui lui-même fait partie de l'extension du grand Erg oriental.

II.Présentation de système aquifère de Sahara septentrional :

II.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 16**). 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 subverti Caux. 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 d'El-Oued est constitué de trois aquifères (UNESCO, 1972 ; OSS, 2003 ; Guendouz et Al, 2006; Saibi et Al, 2009; Khechana, 2014), un aquifère libre, et deux aquifères captifs; (le Complexe Terminal (CT) et le Continentale Intercalaire (CI)).

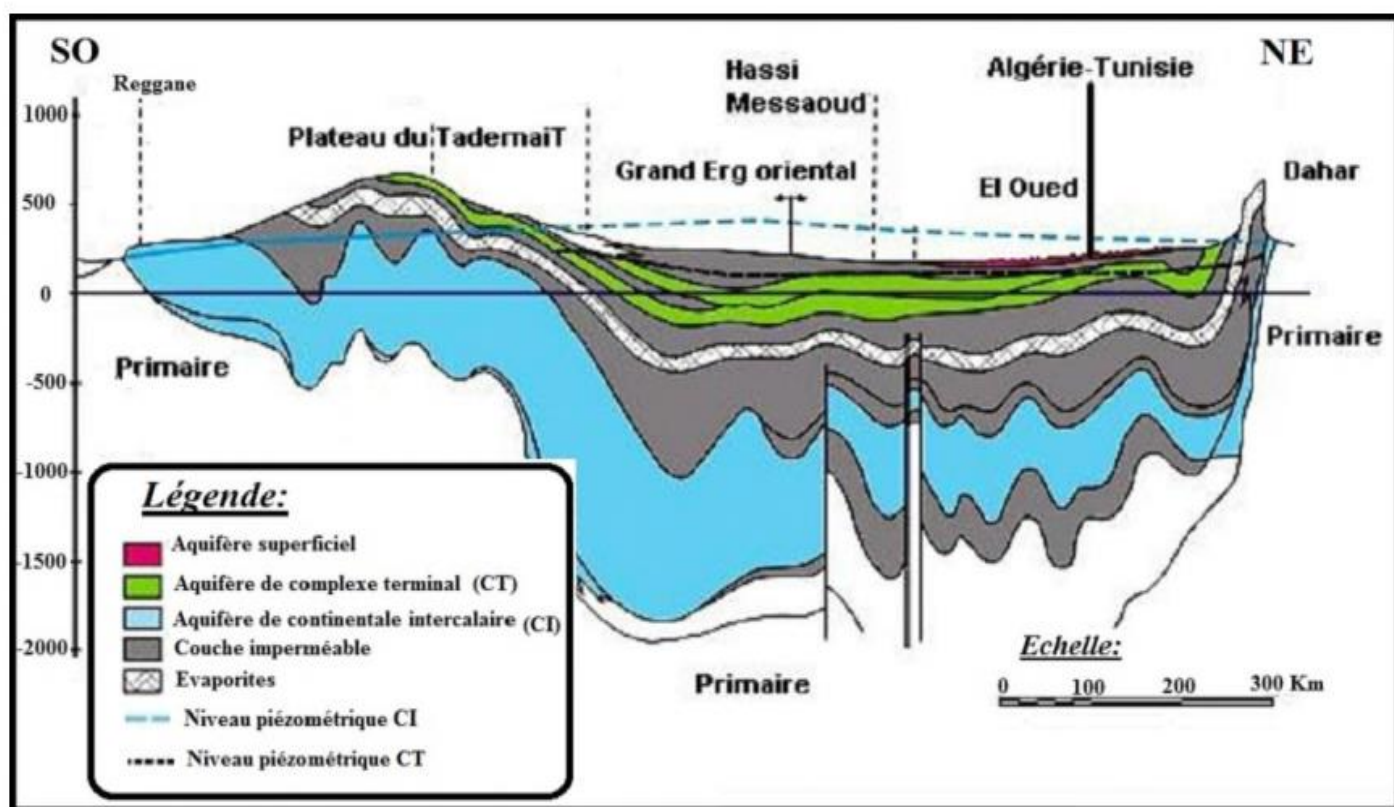


Figure 16 : Coupe hydrogéologique des aquifères du Sahara septentrionale (UNESCO 1972).

II.2. Définition des nappes aquifères du SASS :

II.2.1. Nappe libre :

La nappe libre présente dans toute l'Oasis du Souf correspond essentiellement à la partie supérieure des formations continentales déposées à la fin du Quaternaire, elle peut être rencontrée à des profondeurs variant de 1 et 20 mètres (BG2002).

Vu son importance, cette nappe représentait la source principale d'irrigation d'importantes palmeraies, elle est surtout exploitée par des puits traditionnels qui sont en nombre de 16000 puits. La nappe libre est constituée de formations détritiques d'âge quaternaire et mio-pliocène représentées par des sables, grès, sables argileux et des argiles sableuses avec un substratum constitué d'argiles. La profondeur du substratum dans la région de Souf est comprise entre 50 et 90 m (Senoussi et al, 1992 ; Meziani et al, 2011). La porosité efficace a été définie de la nappe libre, comprise entre 6 % et 23 %. Ces valeurs sont usuelles pour des sables fins (BG, 2003). La circulation des eaux dans cette nappe est relativement lente sur toute la région d'El-Oued, particulièrement dans les zones caractérisées par l'existence de lentilles argileuses qui influent

sur la perméabilité des sables. Excepté dans la région des Chotts la nappe libre est présente sur toute la région de Souf. Les principales sources d'alimentation de cette nappe sont les pluies torrentielles, l'infiltration des eaux domestiques sous les zones urbaines, viennent s'ajouter depuis quelques années, les eaux d'irrigation provenant des nappes profondes (CT et CI).

II.2.2. Nappe du complexe terminal (CT).

Le terme de complexe terminal regroupe sous une même dénomination un ensemble de nappes aquifères qui sont situées dans des formations géologiques différentes allant du Sémonien supérieur (carbonaté) au Mio-Pliocène (détritique). Dans le bassin oriental, la nappe du complexe terminal s'étale sur près de 350 000 Km², et limitée à l'Ouest par la dorsale du M'zab, au Nord par l'accident majeur de l'Atlas saharien, à l'Est par le Dahar, au Sud par la ligne passant au Nord de l'axe d'In Salah-Zarzaïtine sous l'Erg oriental.

D'après (D.H.W, 2005), nous rappelons l'existence de 3 nappes dont les deux premières correspondent respectivement aux nappes des sables d'âge mio-pliocène et pontien (**Fig 17**), alors que la dernière correspond à la nappe des calcaires d'âge sénonien à éocène supérieur.

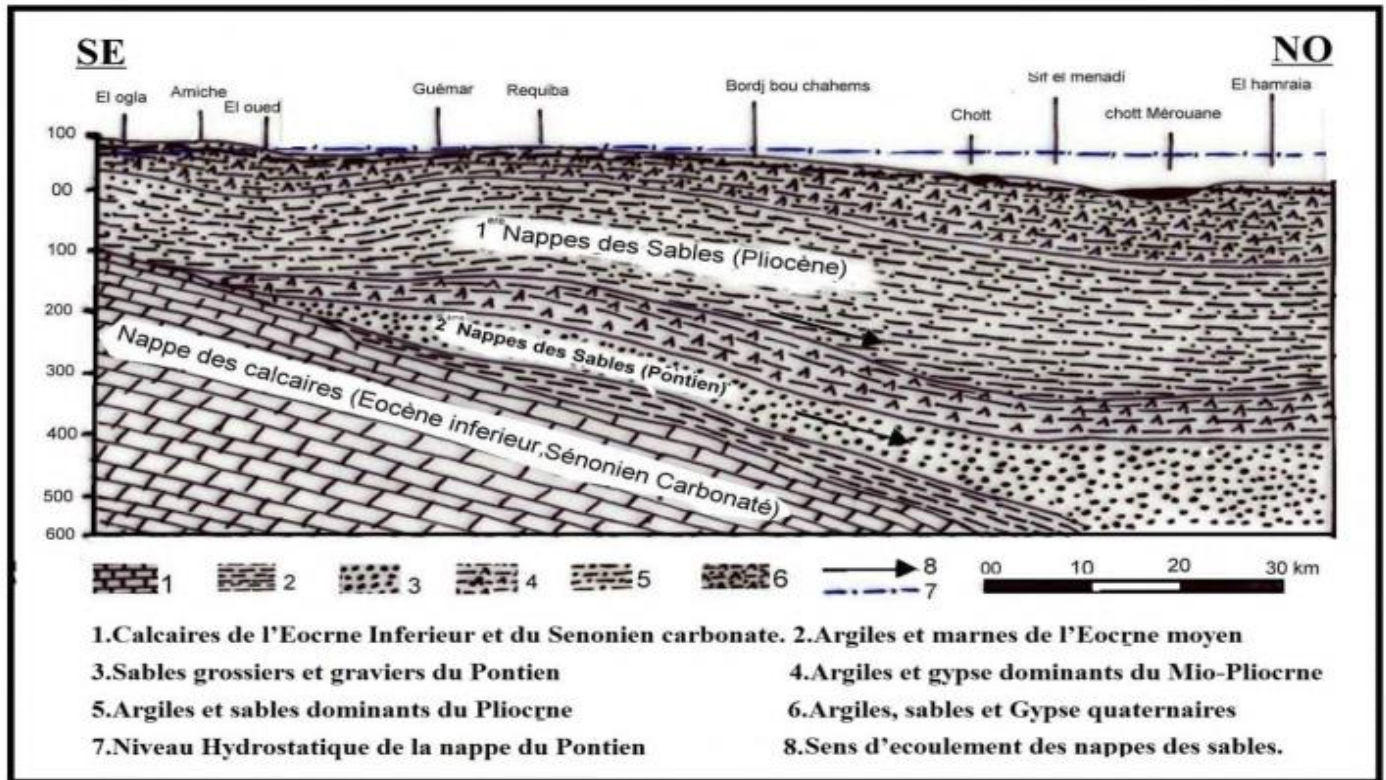


Figure 17 : Présentation des formations aquifères du complexe terminal à El Oued.

L'écoulement des eaux de la nappe du CT (**Fig 18**) s'oriente vers les chotts du Sahara Oriental ; Melghir et Marouane en Algérie, Rharsa et Djerid en Tunisie. Alors que dans le bassin occidental les eaux de la nappe se mélangent avec celles du Continental Intercalaire (OSS 2003 ; Guendouz et al 1992-1995).

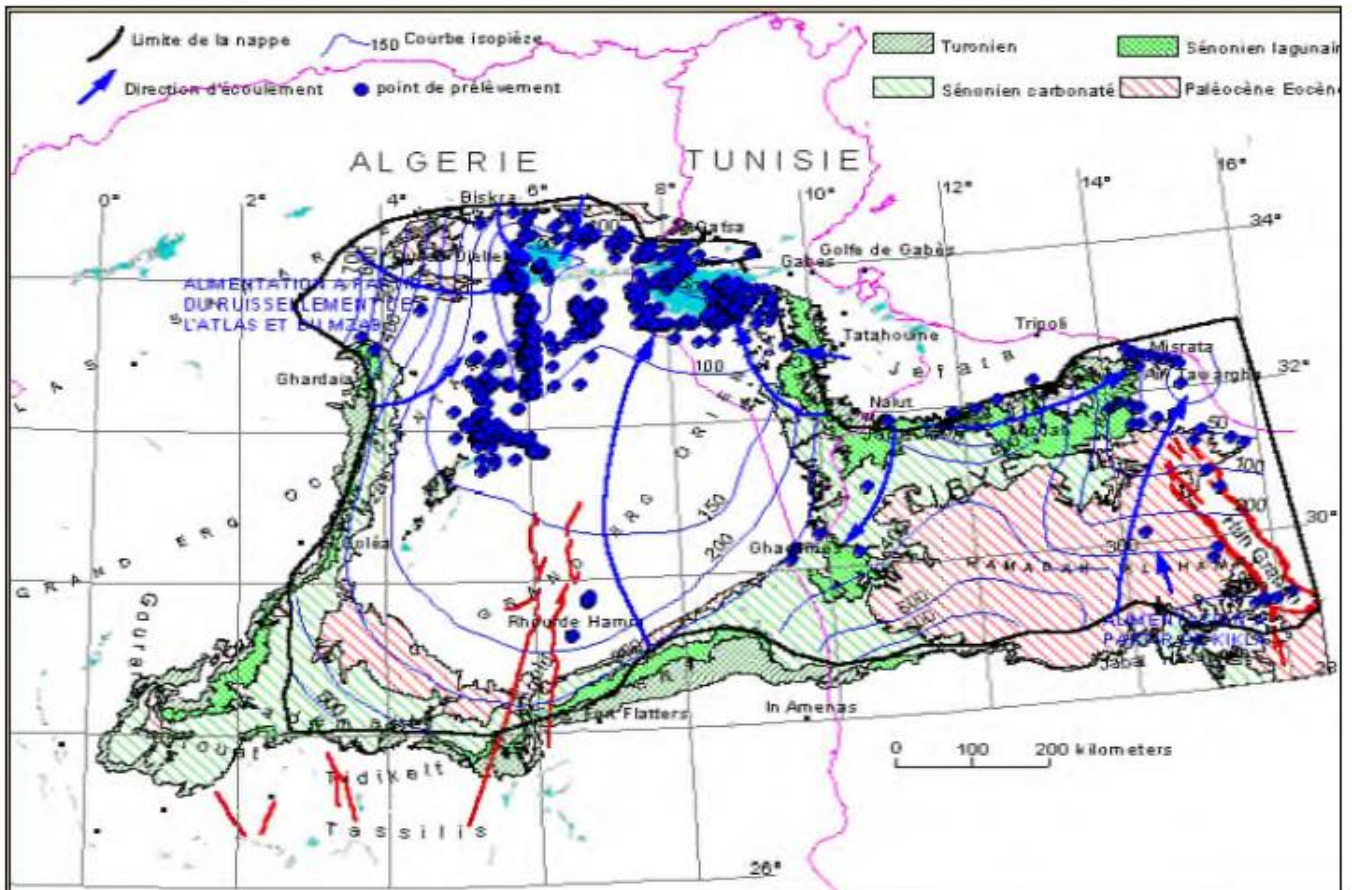


Figure 18 : Carte piézométrique de référence du Complexe Terminal (OSS 2003).

a. Nappe des Sables :

Au sein de ces niveaux sableux viennent s'engendrer deux nappes de type captif, dont la première correspond à la formation supérieure du complexe terminal appelée communément réservoir du "Sub-Souf". Cette nappe constituée de sables grossiers et faisant partie du Complexe Terminal, émerge progressivement vers le Nord du Sahara en direction de la fosse Sud au Rustine. Dans la région d'étude elle se trouve en moyenne à 280 mètres de profondeur. Il faut mentionner également l'existence d'une deuxième nappe de sables d'âge pontien. Au dessus des bancs supérieurs de la nappe des calcaires et en contact avec les marnes de l'éocène inférieur et des graviers siliceux constituant donc une deuxième nappe captive en continuité avec la nappe du pontien du sud Tunisien, la profondeur de cette nappe varie entre 400 et 450 mètres, quant à l'épaisseur utile de cette nappe elle est de 50 mètres

environ. L'écoulement des eaux dans ces deux dernières nappes se fait du Sud-ouest vers le Nord-est, autrement dit vers la zone des Chotts (Melghir et Merouane). Dans les zones à fortes exploitations telles que la ville d'EL Oued, l'extraction des eaux se fait par pompage. Par contre dans les régions où l'exploitation est moindre à Taleb Larbi et Douar EL Maa, la nappe est artésienne : c'est le cas de la nappe de Pontien.

b. Nappe des Calcaires.

Le Complexe Terminal du Souf possède une lithographie plus complexe. Les forages captant cette nappe montrent l'existence de deux niveaux durs servants de repère pour la classification des eaux souterraines. Du Sud au Nord nous observons l'existence d'un premier niveau calcaire mieux individualisé, parfois il est purement calcaire, quelque fois il est formé par des calcaires gypseux et correspond ainsi au niveau inférieur.

Le niveau supérieur, principalement représenté par des calcaires siliceux est considéré comme une zone de transition entre la nappe des calcaires et celle des sables. Dans l'ensemble ces deux niveaux sont séparés par des formations tantôt marneuses, tantôt sableuses en passant par des argiles (rouges). Les forages profonds captant cette nappe, nous montrent que sa profondeur varie entre 350 et 700 mètres, mais il faut mentionner également que cette dernière n'est pratiquement pas exploitée dans la région du Souf.

II.2.3. Nappe du Continental Intercalaire (CI).

Le terme du Continental Intercalaire, correspond ainsi aux formations continentales du Crétacé inférieur, qui ne peut être que la période continentale intercalée entre deux cycles sédimentaires; la régression marine suivie d'une transgression du Crétacé supérieur. Le Continental Intercalaire (C.I) occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien. Le réservoir aquifère du continental intercalaire est considérable, il représente le plus important aquifère dans le Sahara septentrional, du à son extension (plus de 600 000 Km²) et à son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres. L'intérêt majeur de ce système aquifère réside dans la grande quantité d'eau stockée au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire et peut être maintenant exploitée, il reçoit encore de nos jours une alimentation naturelle par les eaux météoriques et présente donc un fonctionnement hydraulique caractérisé par une alimentation, un écoulement et une série d'exutoires. Le réservoir est constitué par des sables et des grès d'âge crétacé inférieur. La nappe est confinée entre un toit, constitué par une épaisse couche d'argiles et de marnes d'âge Cénomaniens, alors que le mur est constitué des argiles d'âge néocomien. L'épaisseur

totale du réservoir dépasse 250 m dans les plus grandes parties du Sahara Septentrional. Elle atteint 1000 m au Nord-Ouest.

Le C.I affleure dans la partie Sud et Sud-ouest par contre il plonge en profondeur vers le Nord-est, captive sous le M'Zab, le Tademaït, le Grand Sud tunisien et la Hamada Al Hamra, et artésienne dans l'oued Rhigh-Souf-Djerid-Fedjej (Besbes M et al 2007).

L'écoulement de la nappe du CI se produit du piedmont de l'Atlas vers les zones des Foggaras au sud, du Tinhert et du Djebel Hassaouna vers le golfe de Syrte et vers l'exutoire tunisien du golfe de Gabès. Les exutoires naturels du CI sont formés par les bordures occidentales et méridionales du Tademaït où se trouvent les foggaras du Gourara, du Touat et du Tidikelt et les remontées dans la zone du Chott Fedjaj.

IV.4. Interprétations des coupes hydrogéologiques réalisées dans la zone d'étude.

Les données des logs de forage hydraulique réalisés dans la zone d'étude, offrent une source importante et exacte pour comprendre la structure de sous sol et identifiés les aquifères d'ElOued. Les corrélations lithostratigraphiques des forages hydrauliques permettent d'établissement de cinq coupes hydrogéologiques dans la zone d'étude **(Fig 19)**.

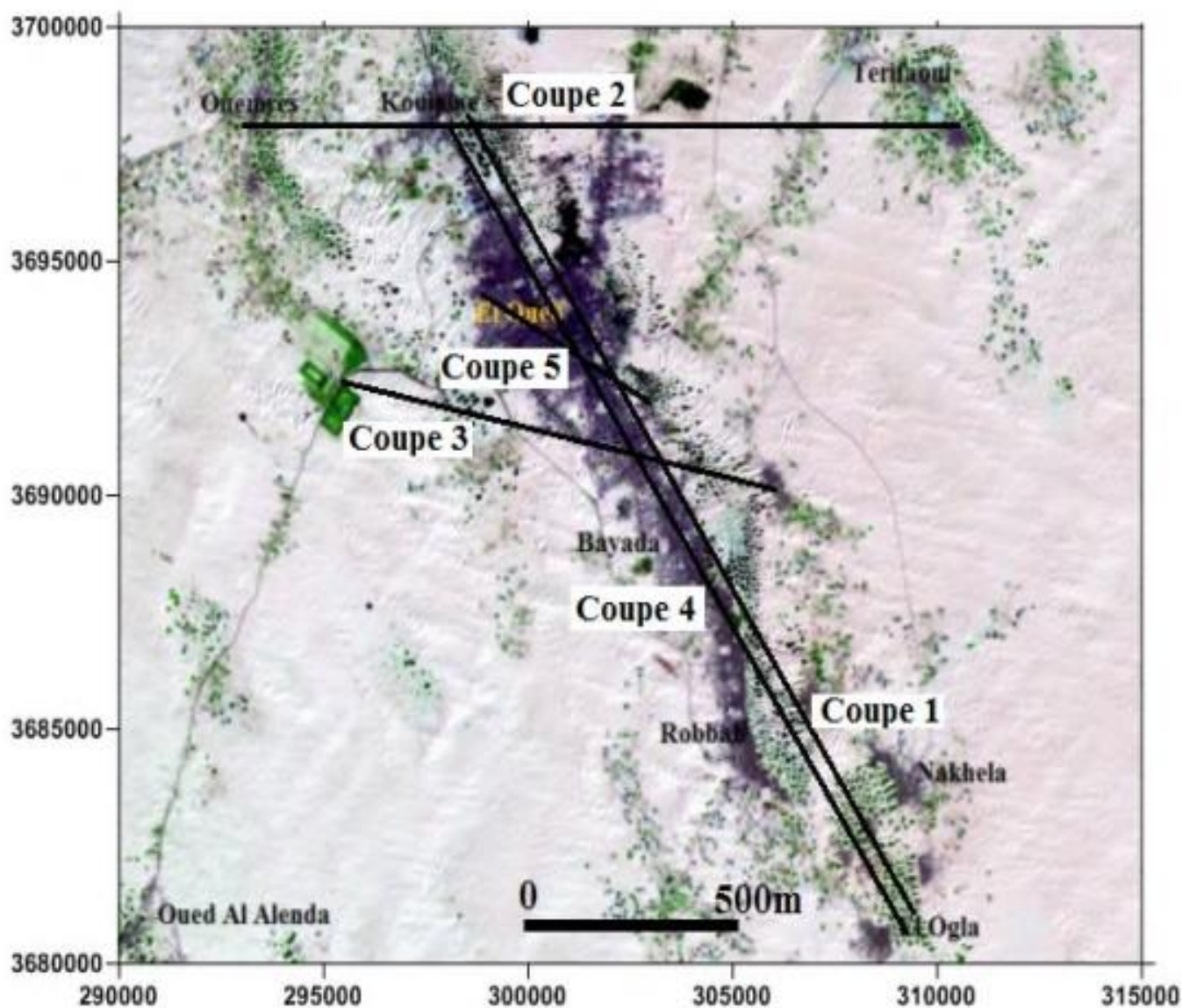


Figure 19 : :Positionnement des coupes géologiques dans la zone d'étude

Coupe 01 :

la coupe (Fig 20) est orientée NO-SE, en allant de Kouinine vers El Ogla, on remarque la succession des formations géologiques où l'Eocène se trouve à la base, constitué d'une intercalation de calcaire et de marne, suivi de Mio-Pliocène, qui repose en discordance sur l'Eocène carbonaté, il est représenté en général par des intercalations de deux niveaux sableux et un niveau argileux, l'épaisseur de chaque niveau est variable d'un endroit à l'autre. Il faut mentionner que ces formations sont souvent mélangées avec des proportions de gypse, calcaire, grés et marne parfois à un degré où on peut pas mettre des limites entre

le niveau argileux et les niveaux sableux. Le Quaternaire est constitué de dépôts de sables éoliens donnant naissance à des dunes, intercalés avec des lentilles d'argiles, de sables argileux, d'argiles sableuses, de grés et de gypse a sa base on rencontre une couche d'argiles parfois faiblement sableuses. De point de vue hydrogéologique on distingue sur la coupe plusieurs nappes, de haut en bas :

- La nappe libre constituée de sables et de sables argileux, l'épaisseur moyenne du réservoir est 60m, le substratum est représenté par des argiles légèrement sableuses.
- Les nappes de complexe terminal représentées par trois nappes; deux nappes de sables

constituées de sables d'âge mio-pliocène et une nappe de calcaires d'âge éocène et sénonien carbonaté. La deuxième nappe de sable est en contact direct ou séparé par une fine couche de marne avec la nappe de calcaire, cette particularité distingue les nappes du complexe terminal de la zone d'étude des autres régions du Sahara septentrional (Fig 17).

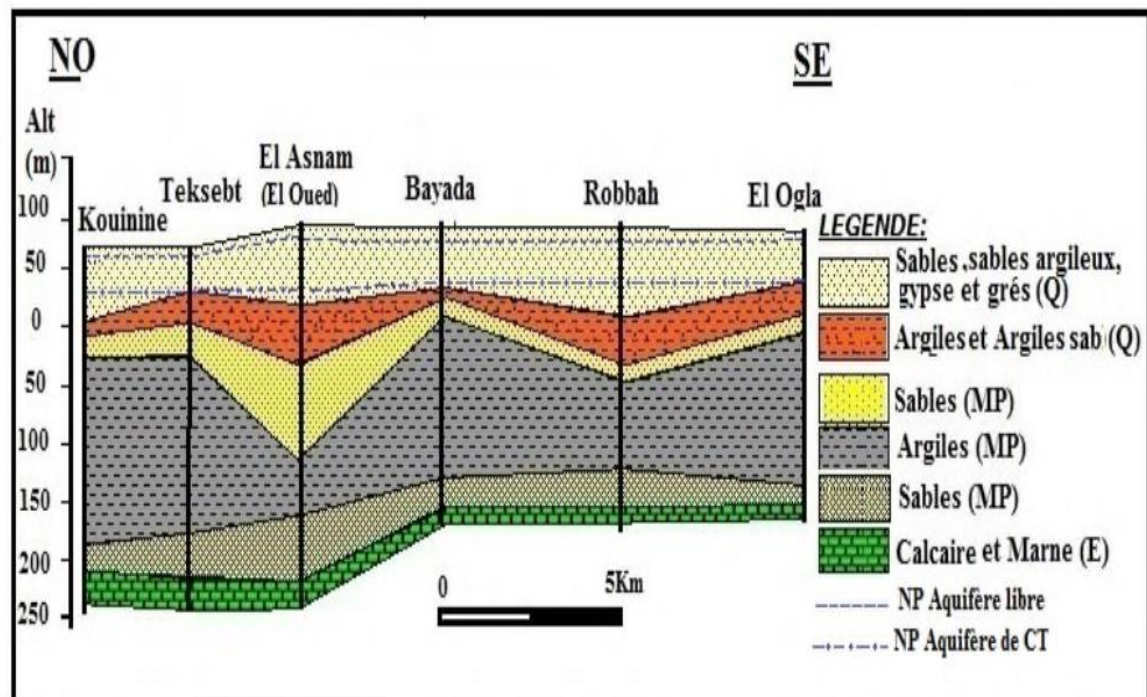


Figure 20 : Coupe hydrogéologique N°1.

Coupe 2 :

La coupe (Fig 21) est orientée O-E, en allant de Ouermes vers Trifaoui, on remarque la même succession des formations géologiques que la coupe 1, l'Eocène se trouve à la base constitué d'une intercalation de calcaire et de marne, le Mio-Pliocène est représenté en général par intercalations de deux niveaux sableux et un niveau argileux. Le premier niveau est sableux avec des passés de gypse, de grés et de calcaire, correspond au première nappe de sable de CT, son épaisseur varie de 30 m à 60 m, suivi d'un niveau argileux compact avec des intercalations de grés à Trifaoui et argileux marneux faiblement gypseux à El-Oued et Kouinine, à la base de Mio-Pliocène on rencontre une formation sableuse avec des intercalations de grés et de graviers, corresponde au deuxième nappe de sable de CT. Le Quaternaire est représenté à la surface par une couche de sables intercalés avec des lentilles d'argiles sableuses, de grés et de gypses, son épaisseur est d'environ 60 m, représente la nappe superficielle. À la base du Quaternaire, il ya un niveau argileux faiblement sableux d'une épaisseur qui varie de 25 m vers Ouermes à plus de 80 m vers El-Oued et Trifaoui.

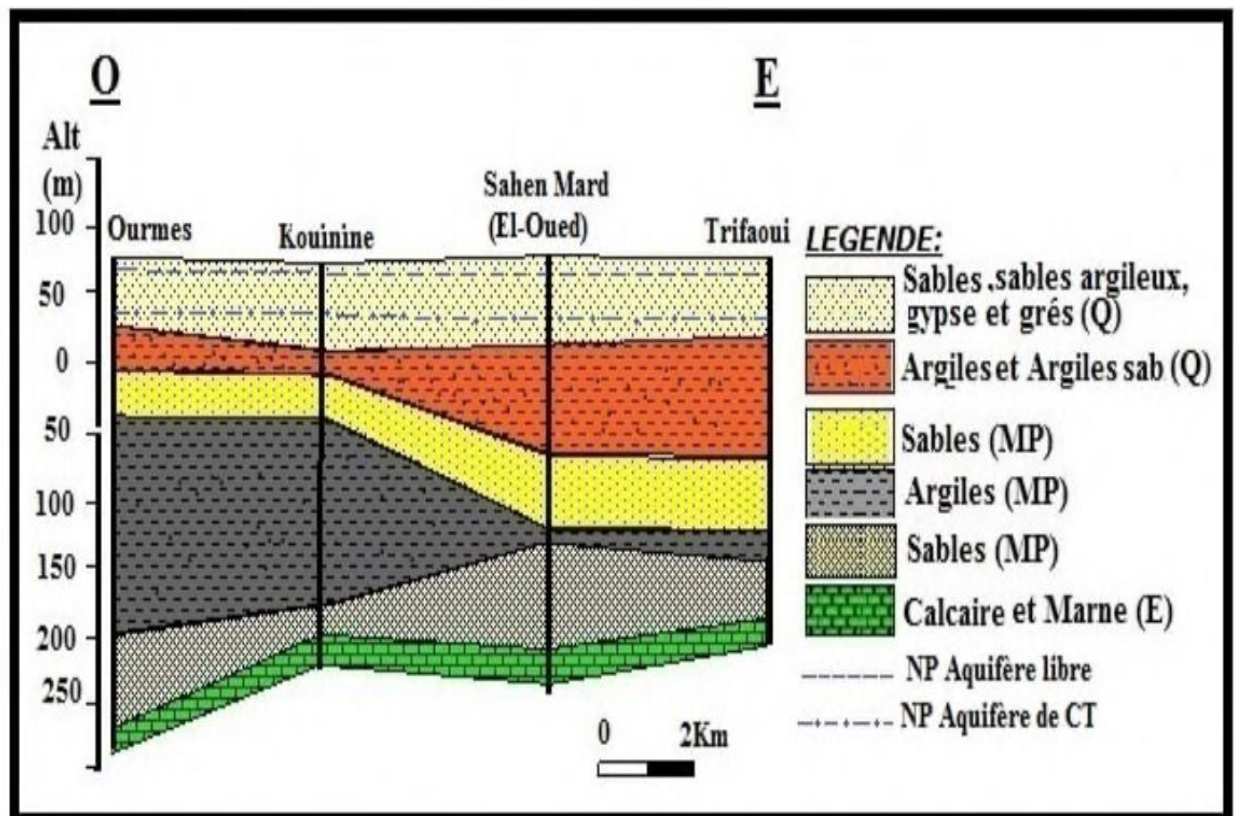


Figure 21 : : Coupe hydrogéologique N°2

Coupe 3 :

La coupe (**Fig 22**) est orientée NNO-SSE, sur une longueur de 10 Km, on rencontre les formations géologiques de bas en haut ; l'Eocène supérieur formé de calcaire et de marne, le Mio-Pliocène constitué de sables et d'argiles, et en fin le Quaternaire formé de sable et argile. Le toit de Mio-pliocène et le mur de Quaternaire sont souvent confondue, ils sont constitués par un empilement de niveaux alternativement sableux, argileux, sablo-argileux, gypseux et des passages de marne, de grés et de calcaire. Dans cette coupe on remarque que la première nappe de sable est confondue avec les formations d'argiles et d'argiles sableuses, on faite cette nappe n'est pas exploitée dans la région où on remarque que tous les forage de CT

captant la deuxième nappe de sable à cause de son épaisseur très importante et sa bonne perméabilité.

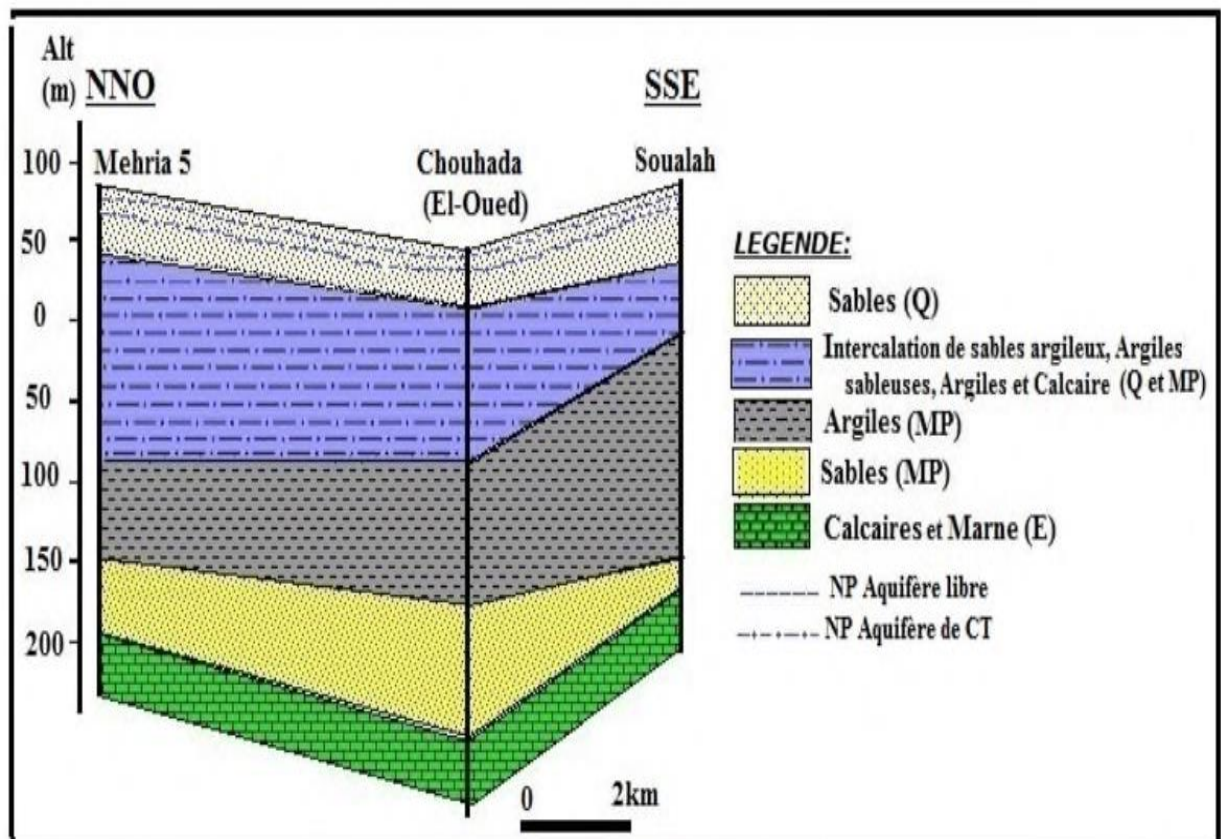


Figure 22 : Coupe hydrogéologique N°3.

IV.5. Litho stratigraphie des nappes aquifères d'El-Oued

A l'instar des coupes hydrogéologiques réalisées dans la zone d'étude, nous avons établi une colonne litho stratigraphique (**Fig 23**) qui montre la répartition des aquifères et les caractéristiques hydrogéologiques des formations représentées dans la zone d'étude.

Nature hydrogéologique	Nom de la Nappe	Nature lithologique		Sous Syst et Etage		Syst	Ere	
Niveau perméable	Nappe libre	Sables					Quaternaire	
Niveau Imperméable		Argiles						
Niveau perméable	1 ^{ème} Nappe de Sable	Complexe Terminal	Sables	Pliocène		Néogène	Tertiaire	
Semi-perméable			Argiles gypseuses					
Niveau perméable	2 ^{ème} Nappe de Sable		Sables grossiers ,graviers	Pontien	Miocène			
Niveau perméable	Nappe des calcaire		Calcaire fissuré	Inférieur	éocène	poléogène		
				Sénonien carbonaté	Sénonien			
Semi-perméable		Évaporites argiles	Sénonien lagunaire					
Niveau Imperméable		Marne ,Dolomie et Calcalre	Turonien			Crétacé	Secondaire	
Niveau Imperméable		Argiles ,marne	Génomanién					
Niveau perméable	Le confoecial intercalaire (CI)	Calcaire dolomitique	Vraconien	Albien				
Niveau perméable		Sables et Grés	Albien					
Semi-perméable		Calcaire, marne	Aptien					
Niveau perméable		Calcaire, Sable	Barrémien					

Figure 23 : Colonne lithostratigraphique et répartition des aquifères dans la zone d'étude

V. Paramètres hydrodynamiques de l'aquifère libre :

V.1. Mesure de perméabilité par la méthode de Muntz :

V.1.1. Principe de mesure :

La détermination du coefficient de perméabilité K a été effectuée par la méthode du double anneau ou méthode de Muntz. Elle a été réalisée sur 42 sites (dans 33 se trouvent dans la zone d'étude). Sur chaque site, ils ont effectué 3 essais dans un rayon d'une centaine de mètres afin d'obtenir un K moyen et apprécier sa variabilité. Le coefficient de perméabilité mesuré par la méthode de Muntz qui a été utilisée correspond

au coefficient de Darcy (Fig 24). Il a les dimensions d'une vitesse de filtration (m/s). Pour mémoire, rappelons que H. Darcy a étudié expérimentalement en 1856 l'écoulement de l'eau à travers une colonne de sable. Il a utilisé des cylindres verticaux de 2,5 m de haut et 0,35 m de diamètre intérieur, remplis de sable sur une épaisseur et sous une charge d'eau H .

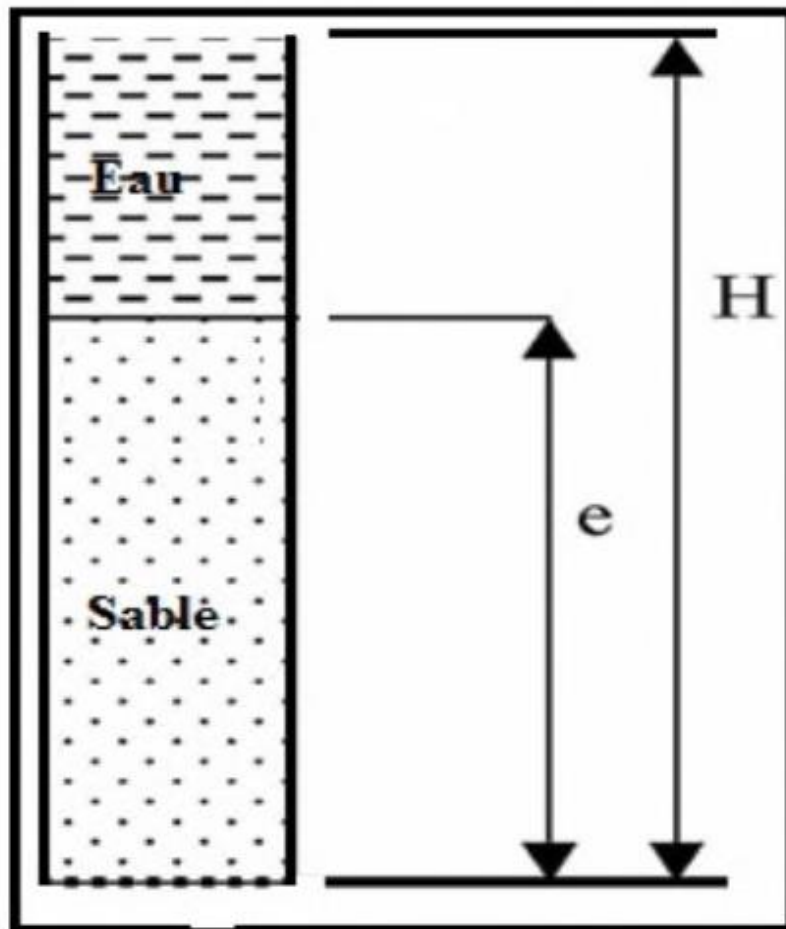


Figure 24 : Dispositif de H. Darcy.

L'écoulement est régi par la formule suivante : $Q = KSH/e$

- Q ; étant le débit écoulé en m^3/s ;
- H ; la hauteur de charge d'eau en mètres ;
- S ; la surface de la section en m^2 ;
- E ; la hauteur de la colonne de sable en mètres
- H/e ; la perte unitaire ou le gradient hydraulique i
- Le coefficient K est le coefficient de perméabilité de Darcy ou coefficient de filtration.

Pratiquement, on mesure le volume d'eau infiltrée en fonction du temps sur une surface déterminée de sol, l'infiltromètre étant conçu pour que l'infiltration se fasse dans un cylindre de sol de section égale à la surface d'infiltration. Ceci n'implique que les lignes de courant soient sensiblement verticales. Pour que cette condition soit remplie, l'appareil dispose d'un anneau de garde autour du cylindre d'infiltration, empêchant l'eau du cylindre central de s'écouler latéralement.

Remarquons que lorsque la hauteur d'eau au-dessus de la colonne de sable est faible, le rapport

e/H tend vers 1 et K tend vers Q/S .

La mesure de débit est effectuée sur l'anneau intérieur, l'anneau de garde, deuxième cylindre placé autour de l'anneau intérieur, force les lignes de courant à avoir une direction verticale. Noter les 4 tuyaux arrivant dans l'infiltromètre. 2 tuyaux (jaunes) arrivent dans l'anneau central et 2 autres (rouges) arrivent dans l'anneau extérieur. Chaque paire de tuyaux conduit à un réservoir étanche d'alimentation en eau. L'un des deux tuyaux d'une paire amène l'eau du réservoir à l'infiltromètre, l'autre règle l'entrée d'air dans le réservoir et détermine ainsi le débit d'eau.

La présence de l'anneau de garde est importante pour des mesures fiables. Colombani et Col. ont montré que lorsqu'il n'y avait plus d'eau dans l'anneau de garde, les valeurs obtenues étaient fortement exagérées, passant pratiquement du simple au double dans un sol sableux. L'appareil utilisé est du même type que celui décrit par Colombani et Col. L'infiltromètre est composé de deux anneaux concentriques en tôle d'acier de 200 mm de

hauteur. Le diamètre intérieur de l'anneau central est de 200 mm (section : $31,42 \times 10^{-3} \text{ m}^2$), le diamètre intérieur de l'anneau de garde est de 490 mm. Ces deux anneaux sont rendus solidaires par des entretoises. Ils sont munis à leur base de couteaux permettant de les enfoncer dans le sol sur 10 cm. Le

dispositif comporte deux réservoirs de 50 litres. Un réservoir alimente l'anneau intérieur. Il possède une échelle graduée pour relever les quantités infiltrées. Le deuxième réservoir alimente l'anneau de garde. Lorsque l'appareil est mis en marche, le sol commence par se saturer en eau et le débit est instable. Quand le sol est saturé et le débit stable, on mesure le volume infiltré cumulé en fonction du temps.

Dans ces conditions, la profondeur du sol soumis à infiltration étant grande par rapport aux 50 mm de lame d'eau, la charge d'infiltration est très voisine de 1 (à quelques pour cent près). Le niveau d'eau est réglé par l'affleurement d'un tube fixé à l'appareil et qui alimente en air le réservoir d'eau. L'eau est amenée par un deuxième tuyau et débouche dans l'anneau par un tube dont l'orifice est à quelques millimètres au-dessous de l'orifice d'entrée d'air. La pente de la droite des volumes infiltrés cumulés en fonction du temps donne le débit d'infiltration. Les mesures sont effectuées au fond d'une fosse de 0.5 m de profondeur pour s'affranchir des perturbations de surface du sol.

V.1.2. Carte de perméabilité de l'aquifère libre.

Les 93 mesures du coefficient de perméabilité K effectuées sur 33 sites, existant sur la zone d'étude montre que la perméabilité de l'aquifère superficiel d'El-Oued (Fig 25), oscille entre $1.1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ à $2.6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$.

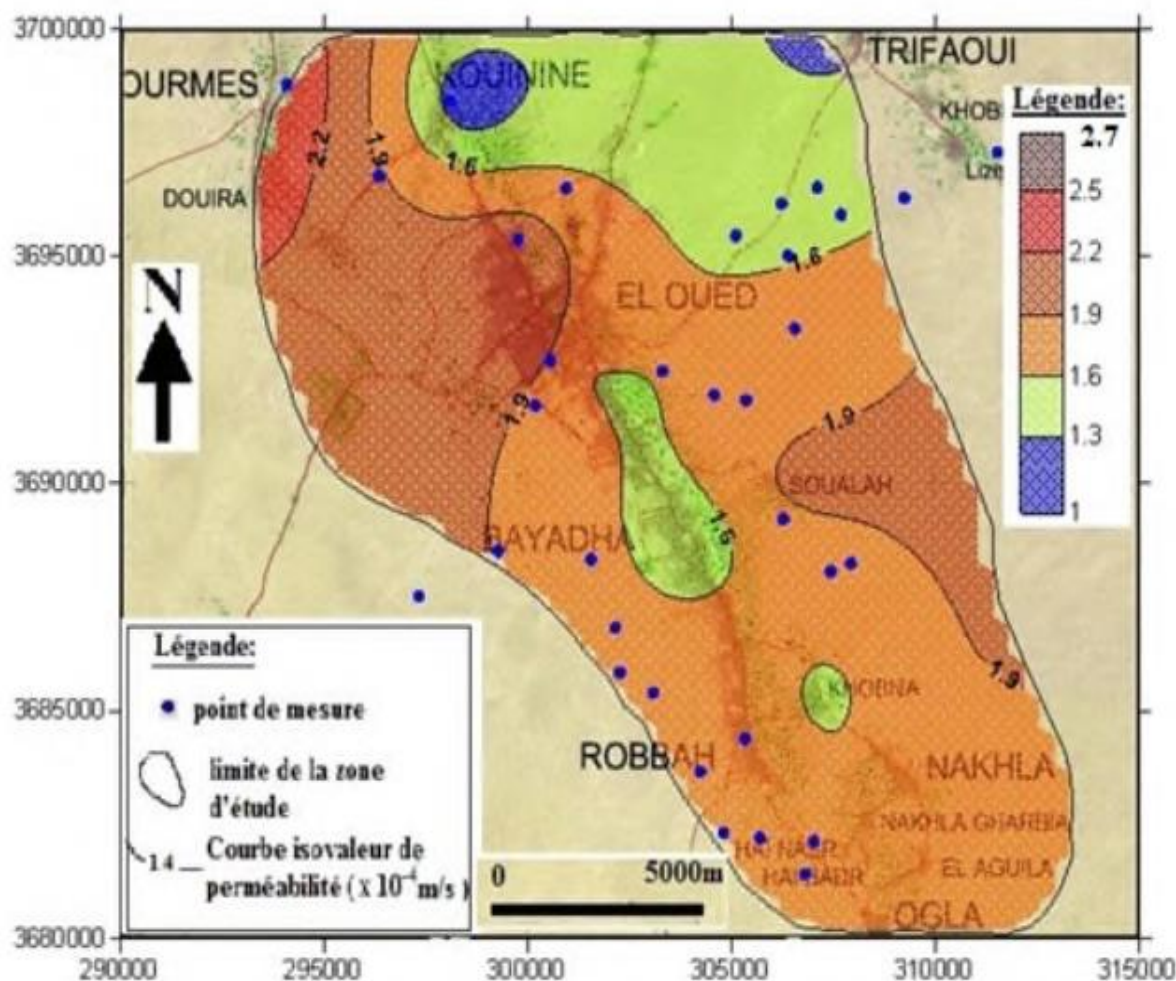


Figure 25 : Carte de perméabilité des sols de l'aquifère superficielle d'El-Oued

V.2.Essais de pompage dans l'aquifère libre d'El Oued.

Des essais de pompage par paliers et de longue durée ont été réalisés sur 6 sites répartis dans la vallée du Souf à Mih Ouensa, Nakhla, Ourmes, El-Oued, Kouinine et Foulia, du 24/02/2003 au 07/04/2003 (BG, 2003), parmi ces essais quatre entre eux se trouvent dans notre zone d'étude (**Fig 26**). Chaque site d'essais est constitué d'un puits de pompage et trois piézomètres d'observation, situés à 5, 15 et 45 mètres du puits de pompage. Les puits de pompage sont des puits existants avec des caractéristiques différentes, alors que tous les piézomètres réalisés pour ces essais de pompage sont identiques. Les rejets des eaux de pompage sont situés plus loin des sites des essais de pompage. Les essais de pompage ont comporté, pour chaque site :

Un essai par paliers enchaînés et composé de trois paliers de 6 heures chacun à débits constants mais différents, séparés par un intervalle d'au moins 12 heures.

L'essai de longue durée a constitué en un pompage à débit constant de 72 heures suivi de 24 heures de remontée. L'interprétation est réalisée grâce à l'utilisation du logiciel Aquitest (WHI, release 2.5), la méthode Cooper & Jacob est utilisée pour l'interpréter les essais.

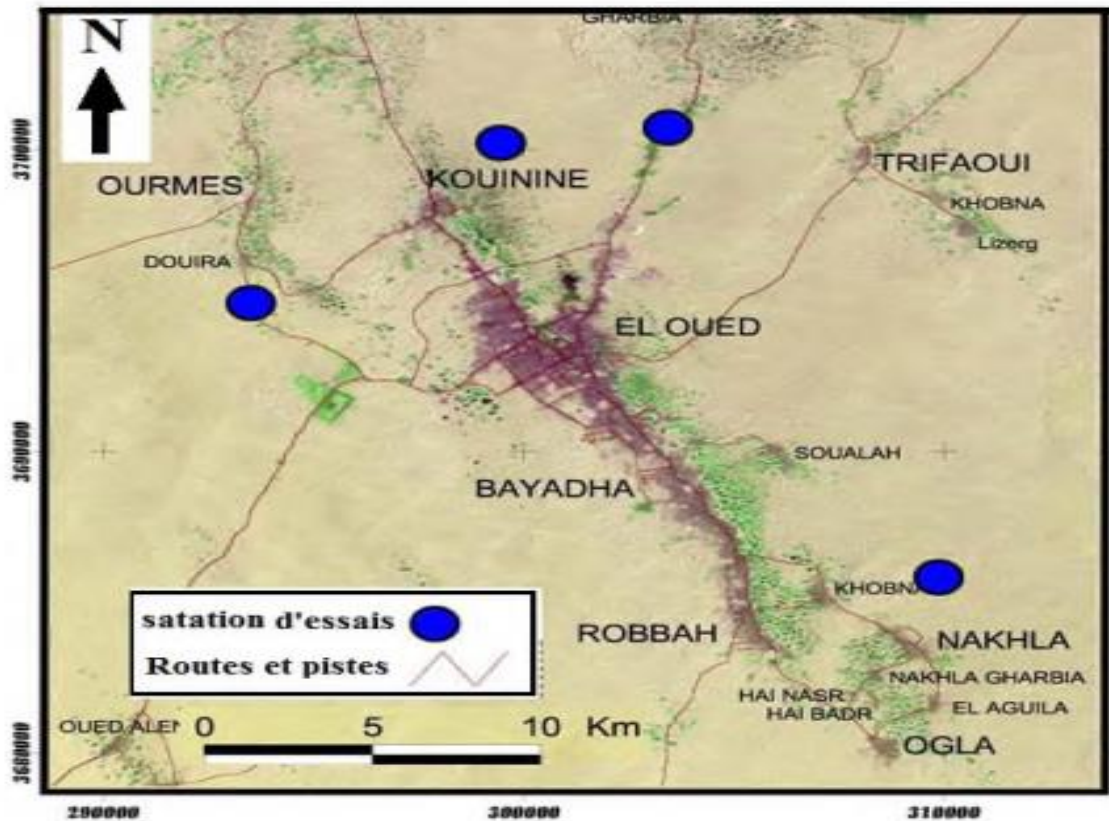


Figure 26 : Carte de positionnement des sites des essais de pompage.

V.2.1.Essai de pompage à El-Oued.

Les mesures du rabattement du niveau piézométrique dans le puits de pompage des trois essais de 6 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentées sur le même graphe, temps/rabattement. Les débits sont de 4 l/s, 8 l/s et 13 l/s. Le débit spécifique est déterminé à partir des droits débits - rabattement à un temps de 21600 secondes. Le rabattement à 4 l/s est de 1,71 m, celui à 8 l/s est de 3,64 m, et celui à 13 l/s est de 5,8 m. Le débit spécifique est de $2,15 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. (BG, 2003) Interprétation d'essai de longue durée (Fig 27), (72 h, 17 min et 30 s) à débit constant de 15,4 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le puits de pompage ainsi que dans les trois piézomètres. Les mesures dans le puits de pompage ainsi que dans les 3 piézomètres sont représentées sur le même graphe, temps/rabattement.

La perméabilité déterminée par la méthode de Cooper-jacob est de : $K = 8,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

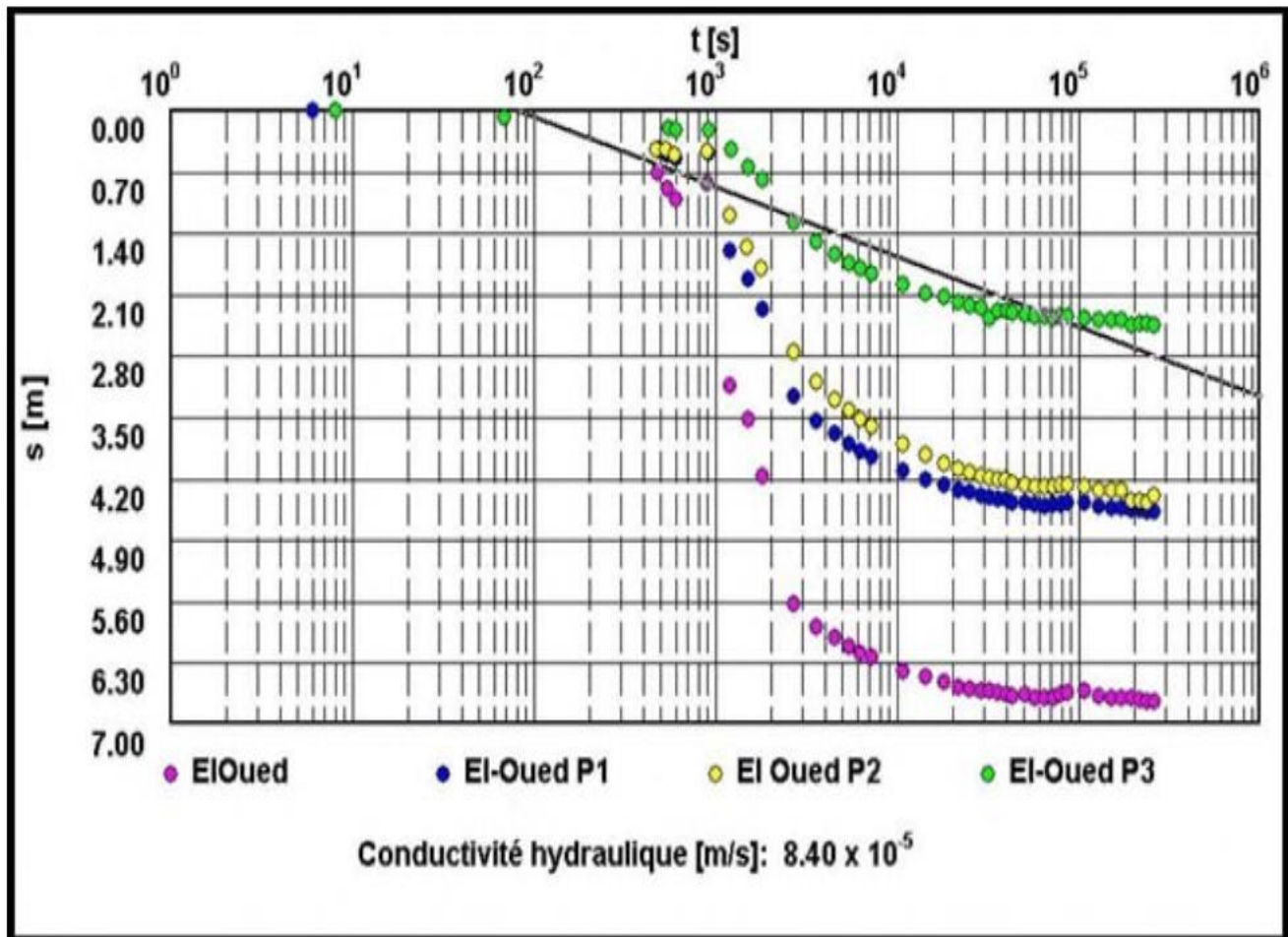


Figure 27 : : Essai de pompage de longue durée à El-Oued

V.2.2.Essai de pompage à Kouinine.

Les mesures dans le puits de pompage des trois essais de 6 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentées sur le même graphe (voir annexe), temps/rabattement. Les débits sont de 4 l/s, 8,2 l/s et 13 l/s. Le débit spécifique est déterminé à partir de droit débit - rabattement à un temps de 21600 secondes. Le rabattement à 4 l/s est de 6,53 m, celui à 8,2 l/s est de 12,81 m, et celui à 13 l/s est de 21 m. Le débit spécifique est de $6,29 \times 10^{-4}$ m²/s. Interprétation d'essai de longue durée (Fig 28), (72 h, 21 min et 30 s) à débit constant de 10,9 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le puits de pompage ainsi que dans les trois piézomètres. Les mesures dans le puits de pompage ainsi que dans les 3 piézomètres sont représentées sur le même graphe, temps/rabattement.

La perméabilité déterminée par la méthode de Cooper-jacob est $K = 9,34 \times 10^{-5}$ m/s.

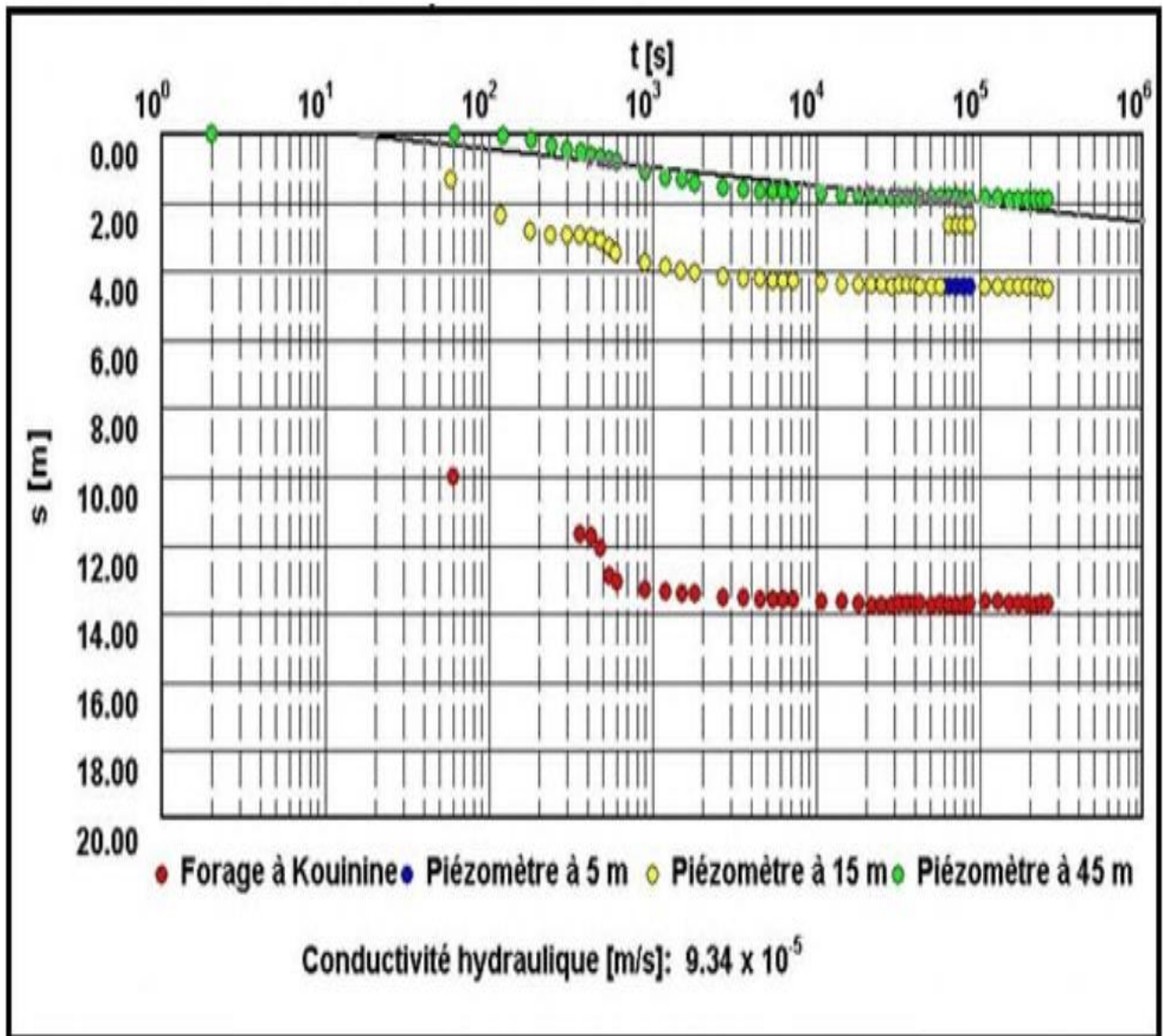


Figure 28 : Essai de pompage de longue durée à Kouinine.

V.2.3. Essai de pompage à Nakhla.

Les mesures dans le puits de pompage des trois essais de 6 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentées sur le même graphe (voir annexe), temps/rabattement. Les débits sont de 4 l/s, 8 l/s et 11.6 l/s. Le débit spécifique est déterminé à partir de droit débit - rabattement à un temps de 21600 secondes. Le rabattement à 4 l/s est de 2.36 m, celui à 8 l/s est de 5.5 m, et celui à 11.6 l/s est de 8 m. Le débit spécifique est de 1.83×10^{-2} m²/s.

Interprétation d'essai de longue durée (**Fig 29**), (72 h et 30 s) à débit constant de 14.4 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans les puits de

pompage ainsi que dans les trois piézomètres. Les mesures dans le puits de pompage ainsi que dans les 3 piézomètres sont représentées sur le même graphe, temps/rabattement. La perméabilité déterminée par la méthode de Cooper-jacob est de : $K = 6.7 \times 10^{-3}$ m/s.

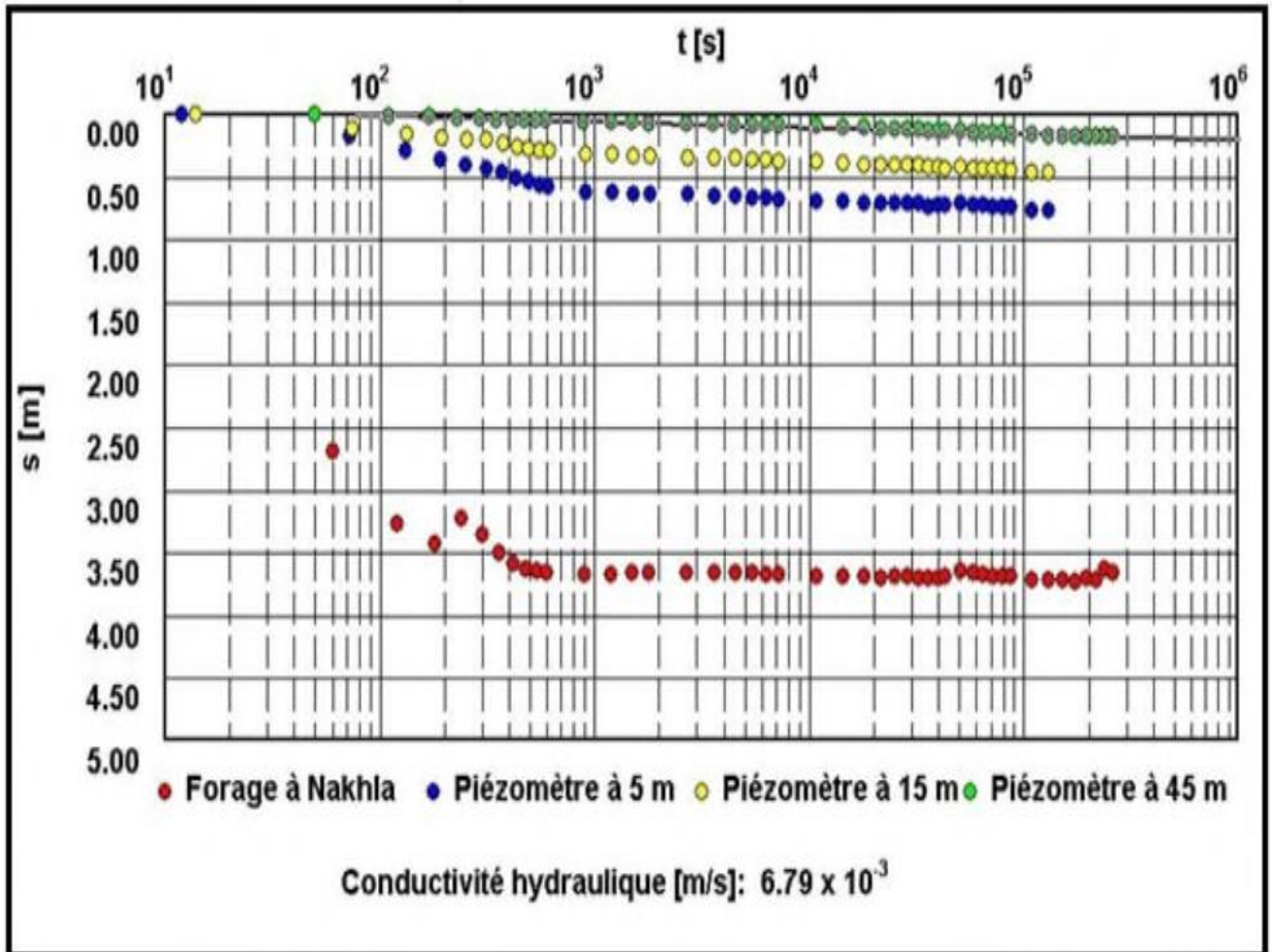


Figure 29 : Essai de pompage de longue durée à Nakhla.

V.2.3. Essai de pompage à Ourmes.

Les mesures dans le puits de pompage des trois essais de 6 heures suivis de 12 heures de remontée sont représentées sur le même graphe (voir annexe), temps/rabattement. Les débits sont de 4.2 l/s, 7.9 l/s et 11.8 l/s. Le débit spécifique est déterminé à partir de droit

débit - rabattement à un temps de 21600 secondes. Le rabattement à 4.2 l/s est de 4.48 m, celui à 7.9 l/s est de 8.68 m, et celui à 11.8 l/s est de 13.27 m. Le débit spécifique est de 8.63×10^{-4} m²/s. Interprétation d'essai de logue durée (**Fig 30**), (72 h, 05 min et 30 s) à débit constant de 13.3 l/s suivi de 24 h de remontée après l'arrêt de la pompe. Le rabattement a été mesuré dans le puits de pompage ainsi que dans les trois piézomètres. Les mesures dans le puits de pompage ainsi que dans les 3 piézomètres sont représentées sur le même graphe, temps/rabattement. La perméabilité déterminée par la méthode de Cooper-jacob est de : $K = 5.1 \times 10^{-4}$ m/s.

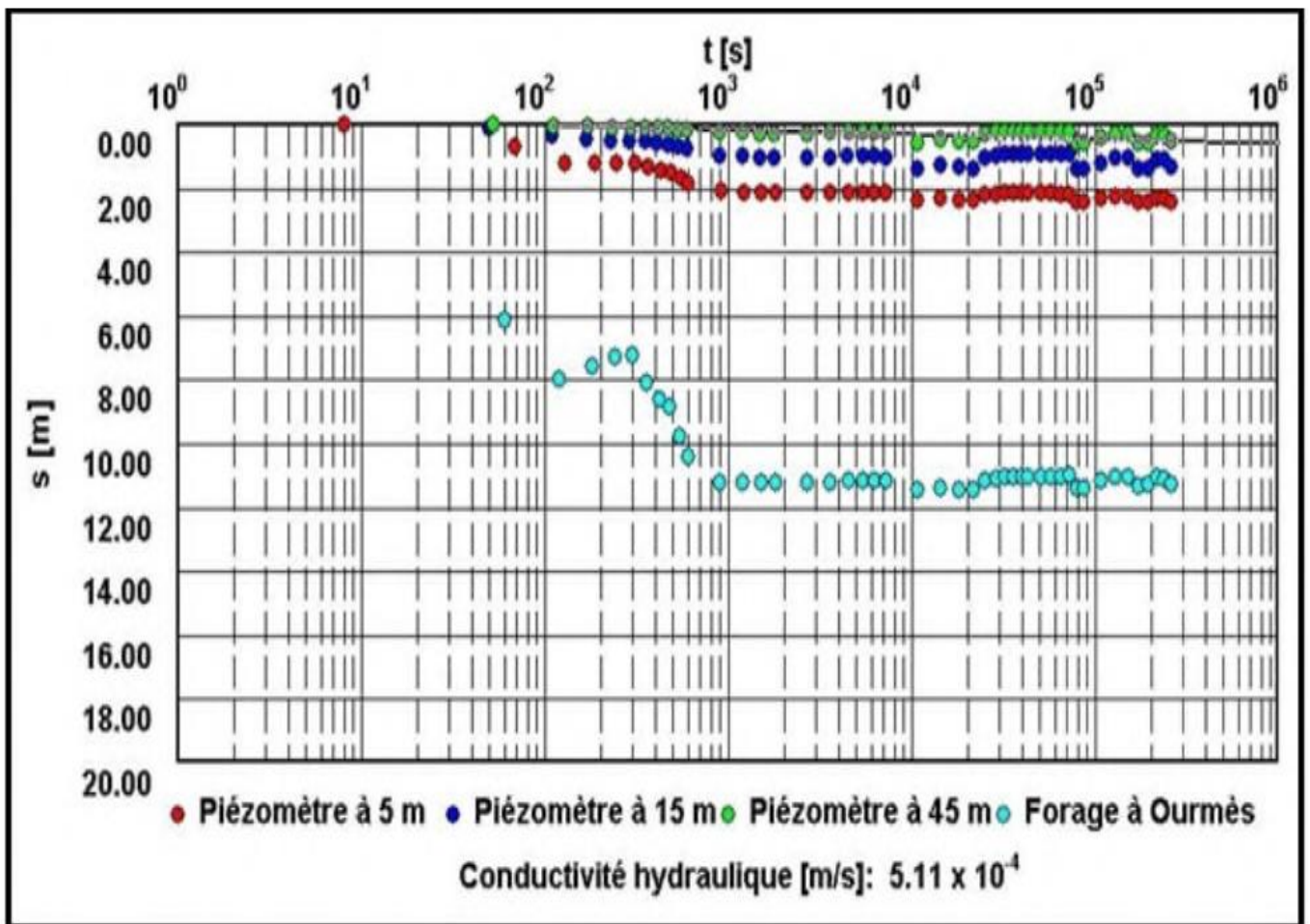


Figure 30 : Essai de pompage de longue durée à Ourmes.

V.3.Comparaison des résultats de mesure de perméabilité.

Les valeurs de perméabilité obtenues par la méthode de Muntz sont du même ordre de grandeur que celles obtenues par les essais de pompage quoiqu'un peu plus faibles que

celles qui ont été déterminées par les essais de pompages sur des puits dans la zone d'étude, ce qui laisse supposer que la méthode d'interprétation de Cooper et Jacob utilisée par BG en 2003 n'est pas la bonne (On observe une stabilisation de rabattement après certain temps de l'essai dans le puits et les piézomètres, et les puits sont imparfaits). Pour cette raison nous avons adopté les résultats obtenus par la méthode de Muntz surtout quels sont très proches des résultats obtenus par d'autres auteurs (Kherici et al, 1996).

VI. Conclusion.

La zone d'étude fait partie du système aquifère du Sahara septentrional (SASS), ce dernier est constitué de trois aquifères, un aquifère libre, et deux aquifères captifs; (le Complexe Terminal (CT) et le Continentale Intercalaire (CI)).

L'étude géophysique réalisée par ENAGEO en 1993, basée sur la mesure de la résistivité des roches par des sondages électriques verticaux, couvre la région d'étude, et l'interprétation des coupes hydrogéologiques réalisées sur la base de logs de forages d'eau, montrent que l'aquifère libre d'El Oued est constitué de sables fins, de grès à ciment gypseux friable, des sables moyens et grossiers, et des argiles sableuses. Le substratum est argileux, sa profondeur oscille entre 40m et 70m. Les limites latérales de l'aquifère libre, n'ont pas été atteintes étant donné que cette dernière s'étend au-delà de la zone d'étude. Deux études hydrodynamiques sont effectuées dans la zone d'étude, pour déterminer la perméabilité de l'aquifère; la première par la méthode de Muntz, et la seconde par des essais de pompage de longue durée. Les résultats obtenus sont du même ordre de grandeur, mais ceux obtenus par la méthode de Muntz sont très proches des résultats obtenus par d'autres auteurs (Kherici et al, 1996). Ces résultats montrent que la perméabilité de l'aquifère superficielle d'El-Oued, oscille entre 1.1×10^{-4} m/s à 2.6×10^{-4} m/s.

Chapitre IV

Méthodologie de réalisation d'un forage d'eau

I. Apport d'analyse des logs des forage d'eau :

I.1. Généralités sur les forages d'eau :

Les techniques de captage des eaux souterraines classiquement mises en œuvre dans les milieux poreux et fracturés sont peu variées. Le choix de la technologie est à adapter en fonction non seulement de l'hydrogéologie mais également de contraintes externes ; topographie, hydrographie, risques de salinisation, de transfert de pollution depuis la surface, occupation des sols, conditions d'exécution et d'équipement .etc.

Le forage, à la différence d'un puits, est un trou vertical profond et de diamètre plus restreint. Il est creusé par un procédé mécanique à moteur (foreuse) en terrain consolidé ou non, pour exploiter des aquifères. Il existe de nombreuses méthodes de foration dont la mise en œuvre dépend de paramètres très divers, les plus utilisés en Algérie sont ; le forage rotary circulation directe, le forage au marteau fond de trou (MFT) et le forage par percussion. On peut citer deux types de forages ; le forage de prospection, utilisé dans un contexte hydrogéologique difficile (par exemple présence d'aquifères multicouches avec des niveaux d'eau salée), il s'avère intéressant de réaliser des forages de prospection. Ils permettent de s'assurer de la présence et de la qualité de l'eau souterraine, de connaître la nature de l'aquifère, ou d'étalonner les relevés d'une campagne de prospection géophysique. Ils sont en général réalisés et équipés en petit diamètre (43 mm à 100 mm), puis soit conservés en piézomètre, soit rebouchés et abandonnés. Des essais de pompage simples permettent de vérifier la présence d'eau. La réalisation d'une campagne de forages de prospection est fréquente avant de réaliser un forage d'exploitation de diamètre important (> 200 mm). Une fois le forage de prospection fait, s'il s'avère positif il sera alésé et équipé pour devenir un forage d'exploitation. Ces derniers sont des ouvrages permettent d'atteindre et d'exploiter une nappe d'eau souterraine, même située à des profondeurs importantes, au delà de 500 mètres. Un forage d'exploitation d'eau est destiné à permettre l'extraction de l'eau contenue dans une formation aquifère. C'est pourquoi, quelle que soit la méthode de forage retenue, l'équipement comporte toujours une colonne d'exploitation maintenant le terrain dans la partie supérieure non aquifère proprement dit. Trois éléments essentiels constituent l'équipement de forage d'exploitation sont, Les tubages pleins, les crépines ou tubages perforés et le massif filtrant.

I.2. Les tubages pleins.

La fonction de tube plein est de canaliser l'eau depuis la ressource jusqu'en surface, de tenir mécaniquement les terrains traversés, de participer à l'individualisation de l'eau captée du reste du forage ou de la surface et de permettre la fixation du matériel de tête d'ouvrage (supportée la pompe immergée, raccordement au réseau de surface). Le débit d'exploitation espéré et la profondeur finale à atteindre conduisent à déterminer les caractéristiques des outils de forage et le diamètre des tubages à utiliser. D'autre part, en fonction du débit souhaité, le choix de la pompe immergée imposera le diamètre des tubages.

I.3. La crépine.

La crépine constituée l'élément principal de l'équipement d'un ouvrage d'exploitation d'eau. Placées 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. Il existe plusieurs types de crépines industrielles en acier (Fig 31) :

- ✓ Crépines à trous ronds : utilisé en terrains durs, sa densité de perforation est de 10%.
- ✓ Crépine à trous oblongs : avec des fentes rectangulaires verticales, de largeur au moins égale à l'épaisseur de la tôle, longueur standard 3 cm, sa densité de perforation varie de 10% à 20%.
- ✓ Crépine à prussiennes, avec des perforations rectangulaires horizontales, formant souvent, de bonne résistance mécanique, mais de faible pourcentage de perforation.
- ✓ Crépine à nervures repoussées, réalisé à plat puis roulé et soudé, de bonne résistance mécanique du fait du faible enlèvement de métal, de pourcentage de vide variant de 3 à 27%.
- ✓ Crépine type Johnson, à ouverture horizontale continue sur toute la longueur de la crépine, obtenue par enroulement en hélice d'un « fil enveloppe profilé » soudé sur des génératrices métallique verticales. Les avantages principaux de telle crépine sont :

la régularité et la précision des ouvertures, les faibles risques de colmatage et le coefficient d'ouverture le plus élevé par rapport aux autres crépines.

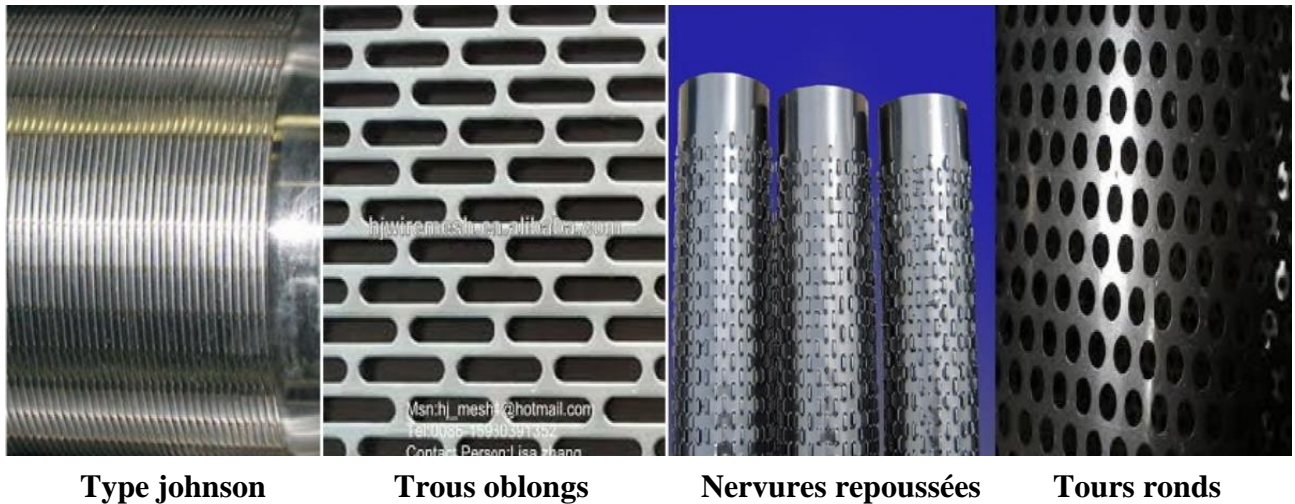


Figure 31 : Les types des crépines.

I.4. Le massif filtrant.

Le massif filtrant (Fig.32) constitué des matériaux meubles formés d'éléments calibré (graviers, Granulats), disposé dans l'espace annulaire entre la crépine et les parois de puits pour empêcher l'érosion souterraine et prévenir le colmatage et la réduction conséquente de l'efficacité de puits. Le gravier filtre doit être assez uniforme, calibré, propre, rond et siliceux de préférence. Il ne doit pas être calcaire, ni concassé. Par ailleurs, il faut savoir qu'un gravier additionnel 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.



Figure 32 : Emplacement du massif filtrant dans le forage

II. Les forages hydrauliques dans le Sahara septentrional.

II.1. Considérations générales.

Le Sahara septentrional est défini par les limites d'extension des nappes du continental intercalaire (CI) et du complexe terminal (CT). Ces limites sont constituées; au Nord par la ligne de Crête de l'Atlas saharien de la frontière Tunisienne jusqu'à Benhar, au Sud par une ligne reliant Reggane-In Salah et In Amenas, au l'Ouest par le méridien passant par Ain Sefra, Timimoun et raggane et au l'Espar le frontières Alger-Tunisienne et Alger-Lybiennne.

II.2. Règlements sur les forages.

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.

II.3. 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.

II.4. 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 (Annexe n°3), et aussi on ne procède pas à la mise en place du massif filtrant, vu l'impossibilité de leur introduction dans l'espace annulaire.

II.5. 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.

II.6. Le 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 12 : Programme de boue pour les forages CI

	Densité g/cm³	Viscosité	Filtrat cm
Colonne de technique	1,20	80	15 à 20
Colonne de production	1,35 à 1,40	45 à 60	10
Colonne de captage	1,30	45 à 60	4 à 5

II.7. 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.

II.8. 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.

II.9. 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.

II.10. Contrôle des forages :

Pour assurer la conservation des nappes profondes de CI, les contrôles périodiques des forages profonds (CT 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.

II.4.Forages au Complexe Terminal (CT).

II.4.1.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.

II.4.2. 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 24¼ pouces du toit de l'aquifère à la mise en place d'un tubage en acier grade J-55 de diamètre 185/8 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 ¼ 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 95/8 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 à $d_{10} < 0,25$ 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.

II.4.3. 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.

II.4.4. 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).

II.4.5. 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 doitêtre aménagé en vue de réaliser les mesures de niveau, à l'aide d'une sonde de diamètre 2 p.

II.6. Récolte et analyse des donnés des forages.

Nous avons effectué des recherches pour récolter les logs de forage hydraulique à partir de l'ANRH (74 forages) et DHW d'El-Oued (60 forages), les logs de forage existants sous formes de plan sur papier ou comme des fichiers PDF. L'analyse des logs de forage à montré que la description des logs est faite temps en temps par des personnes non spécialisés (des techniciens en forage, des hydrauliciens, des ingénieurs en génie civile. etc.), on remarque aussi l'absence de la précision des cotes de formations particulièrement dans la détermination de la lithologie de la nappe libre dans les forages profonds (CI et CT). Les coordonnées des forages anciens sont parfois illisibles, ou la description de différentes couches traversées est illisible, et en fin les âges des couches parfois sont absents ou faite d'une manière imprécise. A la fin de sélection ils me restants des dizaines de forages, qu'on a servis pour établir des coupes lithologiques. L'identification des couches aquifère repose sur la détermination des formations géologiques de point de vue hydrogéologiques. Ils existent trois types des formations hydrogéologiques (Castany, 1982) ; perméable, ce sont les gisements d'eau souterraine et l'origine des aquifère, elles sont constituées des matériaux ayant la propriété de laissé traverser de l'eau à des vitesses appréciables sous l'impulsion de différence d'altitude (nappe libre), ou par décompression de l'aquifère (nappe captive). Ce sont ; les graviers, les alluvions, les sables, les calcaires fissurées, les roches magmatiques fissurés.etc. Les formatons hydrogéologiques imperméable, imposant les limites géologiques de l'aquifère, dont la vitesse de l'écoulement d'eau souterraine est très faible, pratiquant non mesurable, qualifié imperméable, les grandes quantités d'eau qu'ils renferment ne peuvent extraites. Ce sont ;

les argiles, les marnes, les schistes .etc. Et en fin les formations hydrogéologiques semi-perméables à l'origine de l'aquifère multicouches, ces formations (sables très fin, sables argileux, limons .etc.) sont de très faible perméabilité, dans les conditions hydrodynamiques favorables elles permettant les échanges verticaux ascendant et descendant entre les aquifères superposées par la drainance.

III. Généralité :

La vallée d'Oued Souf (Sud-Est algérien) possède un réservoir d'eau souterraine très important, les eaux souterraines sont très précieuses, et ont une grande importance, se trouvant à des profondeurs moyennes de 300m à l'horizon du complexe terminal plus ou moins important, il est toujours nécessaire de forer pour les explorer et les exploiter.

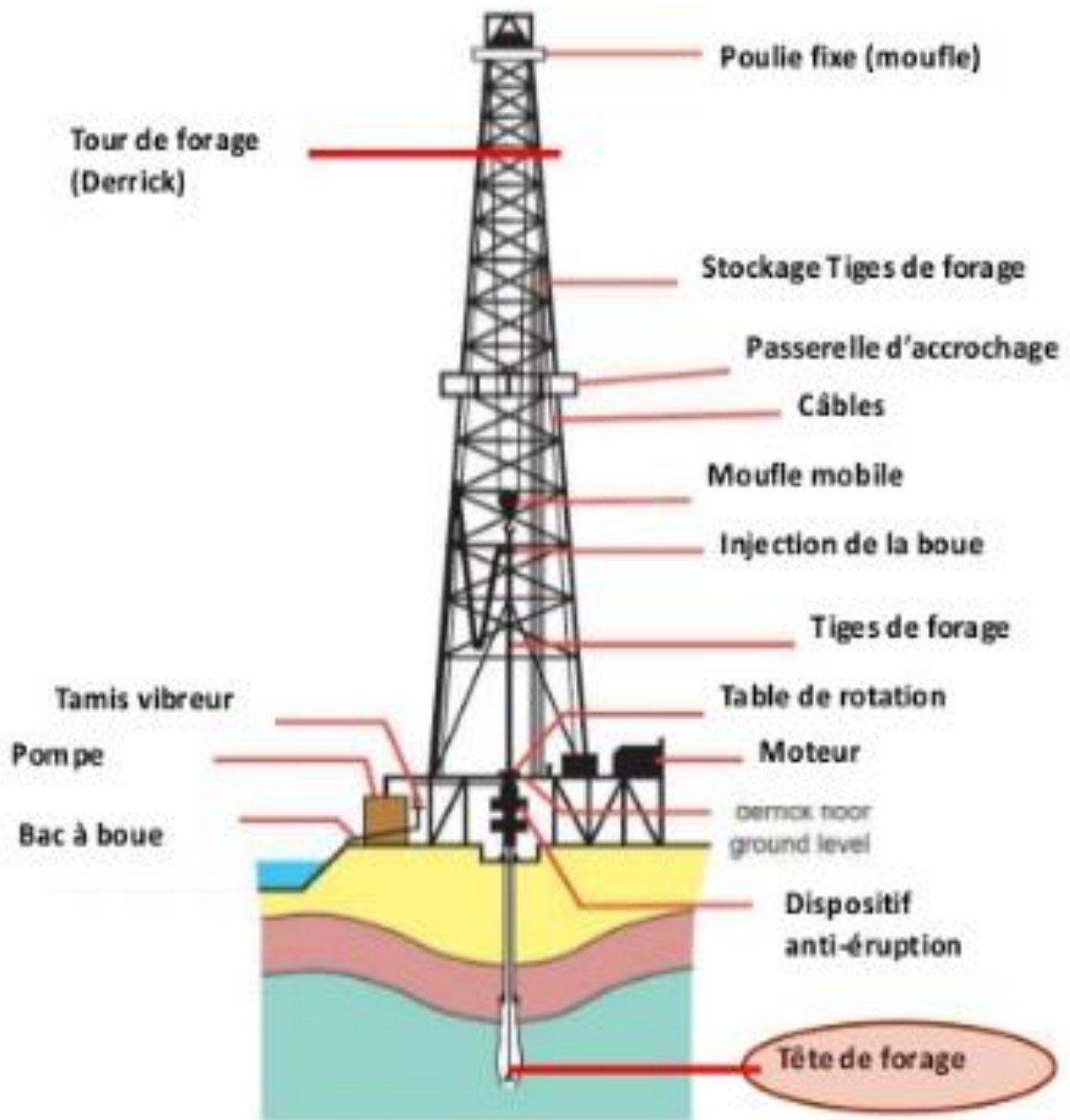


Figure 33 : Image appareil de forage

III.1. Cartographie :

L'utilisation de la cartographie géologique, et hydrogéologique permette d'avoir des informations concernant les caractéristiques (nature et qualité) de l'aquifère, et des différentes formations où se trouve. Ces informations sont en particulier :

- L'endroit et l'étendue de l'aquifère
- Le type de la nappe (libre, captive, semi captive)
- La structure des limites : toit et substratum

III.2. Cartes hydrogéologiques :

Les données obtenues par les études géologiques et structurales conduisent à la réalisation des cartes et coupes hydrogéologiques. Ces coupes hydrogéologiques sont élaborées par la superposition sur des coupes géologiques, des données de l'écoulement souterrain (la surface piézométrique, la surface d'alimentation directe ou indirecte, le drainage et les pertes en surface et en profondeur)

III.3. Cartes structurales :

Les cartes structurales dont leur but est de présenter les formations perméables (réservoir), sont élaborées par la synthèse des données géologiques, des conditions aux limites et des paramètres hydrodynamiques (perméabilité, pente, vitesse, gradient hydraulique). Ce type de cartes permet d'établir la carte isohypse (piézométrique), la carte isobathe (profondeur), et la carte isopaches (épaisseur de l'aquifère).

IV. La technique de forage:**IV. 1. Forage Rotary à boue :**

La technique rotary est utilisé spécialement dans les terrains sédimentaires non consolidés pour les machines légères, mais les machines puissantes peuvent travailler dans les terrains durs (pétroliers).

IV.2. Installation du chantier de forage :

L'organisation de chantier de forage doit permettre au foreur d'intervenir rapidement en cas de problème. Les précautions à prendre doivent conduire à déterminer :

- Un périmètre de sécurité autour du chantier.
- Le bon choix de site du forage.
- Un approvisionnement en eau (citernes)

- Un accès facile pour le remplissage des fosses
- Une zone de déblais (cuttings)
- L'emplacement et le creusage des fosses à boue
- Le positionnement du compresseur de façon à ce qu'il ne reçoive pas la poussière de forage.



Figure 34 : Machine de forage au chantier (Forage Taghzout Nord)

IV.3. Les étapes de réalisation d'un forage

IV.3.1. Travaux des surfaces :

- Terrassement et aménagement de plateforme
- Réalisations des fosses à boue et rigoles :

Les fosses à boue constituent une réserve de fluide de forage (la boue) et permettent son recyclage par décantation. Elles se forment d'une fosse de décantation, d'une fosse de pompage et de rigoles. Le rôle de rigole pour le prélèvement des échantillons et l'analyse de cuttings permet l'établissement de la courbe granulométrique pour définir les caractéristiques des crépines et du gravier additionnel.

IV.3.2. Avant puits :

Tube guide : exécution un forage en 24'' et équipé par un tubage en acier de 20''entre (10 à 20m) de la hauteur suivant le poids de appareil pour assure la stabilité et la verticalité de puits, et cimenté l'espace annulaire par ciment type CRS.

IV.3.3. Sondage (forage) de reconnaissance :

Le sondage ou la reconnaissance est un puits de petit diamètre de l'ordre de 8'' à 12'' 1/4 dont leur réalisation et équipement est similaire à ceux des forages d'exploitation. Les sondages (forages) de reconnaissance permettent de vérifier les hypothèses émises et apportent des informations indispensables (investigation, mesures et essais, prélèvement d'échantillons d'eau et de sol, observations périodiques) comme ils permettent d'effectuer des diagraphies et des essais de pompage.

IV.3.4. La diagraphie :

Elle consiste à utiliser différents dispositifs d'électrodes afin de mesurer des résistivités directement dans le trou de forage. Réaliser juste à la fin de la foration, pour permettre de localiser avec grande précision les zones productrices d'eau, et donc définir la position optimale des crépines.

IV.3.5. Elargissement et alésage : est réalisé en 17'' 1/2**a. Tubage :**

Le rôle du tubage en acier 13'' 3/8. est le soutènement de talus cylindrique du trou de forage contre la poussée de terre, l'éboulement et pour éviter les risques d'effondrement dans le trou du forage (qui sont de plus en plus importants si la profondeur du forage devient importante), on recommande de placer le tubage le plus rapidement possible.

b. Cimentation :

Le rôle de cimentation est de protéger le forage contre les pollutions extérieures.

L'opération consiste à remplir avec un mélange d'eau et de ciment (laitier de ciment) l'espace annulaire au-dessus du massif filtrant jusqu'à la surface de sol Le dosage de laitier de ciment est d'environ 50 l d'eau pour 100 kg de ciment.

c. Exécution d'un forage en 12'' 1/4 :

Avec alésage de l'aquifère pour délimiter la longueur, et la position de la crépine.

d. Tubes et Crépines :

Le rôle de la crépine 8''5/8 en acier inoxydable est d'éviter l'entrée de sables et des éléments fins de l'aquifère à l'intérieur de la colonne afin de ne pas être aspirés par la pompe, car ils constituent un grand risque pour cette dernière (corrosion, usure). La crépine doit être placée dans une position où les caractéristiques hydrauliques sont les meilleures.

Pour choisir cette position, on doit se baser sur :

Les diagraphies instantanées.

L'analyse granulométrique des échantillons.

e. Massif filtrant (gravier additionnel) :

Le rôle du gravier additionnel est d'augmenter les débits d'exploitation, de diminuer les vitesses d'écoulement, et d'éviter le risque d'érosion en évitant l'entrée des sables fins.

Dans la pratique, le gravier additionnel est défini par la granulométrie de la formation et par l'ouverture de la crépine. Il doit être uniforme, propre, calibré et siliceux de préférence. et descend dans l'espace annulaire le long du tubage. Une remontée de boue par le tube de forage indique une descente correcte du gravier. Lorsque le niveau du gravier atteint le haut des crépines, la boue ne remonte pas par le tube mais par l'espace annulaire : le massif de gravier doit alors dépasser le haut des crépines sur quelques mètres.

Le volume nécessaire du gravier peut être défini théoriquement (volume du trou moins volume de tubage) ou de la manière empirique suivante selon E. Drouart :

$$V = h \cdot 0,8 \cdot (D^2 - d^2)$$

D'où V : le volume de gravier en litre.

h : hauteur du massif de gravier en m.

D : diamètre du trou en pouces.

d : diamètre des tubes en pouces.

f. développement du forage :

Le développement peut aussi réparer les dommages que le processus de forage a causés à l'aquifère adjacent, développer l'aquifère (accroître la transmissivité) et améliorer le rendement du forage .par les dispersants (hexamétaphosphate) ou par traitement à l'acide, ou le pistonage ou débit de purge, compresseurs par air lift, nettoyage mécanique, par pompage (pompe immergée)

g. Les essais des débits :

(par trois paliers et un palier constant suivi d'une remontée) Il a pour objectifs de :

- ✓ mesurer le débit du forage
- ✓ déterminer le rendement du forage, ou la variation de sa production à différents débits.
- ✓ quantifier les caractéristiques de l'aquifère, notamment la transmissivité, la perméabilité et la capacité de stockage.

h. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques :

L'eau de bonne qualité (potable) qui respecté les paramètres de norme algérienne :

1-Les paramètres chimiques : la dureté (calcium, magnésium), PH (acidité), conductivité électrique (pour connaitre la quantité de sels), fer, métaux lourds, les nutriments (azote, phosphate).

2-Les paramètres biologiques : les pathogènes (bactéries, virus, parasites, ... etc.)

3-Les paramètres physiques : la turbidité, couleur, odeur, etc.

La plupart des analyses de qualité de l'eau doivent être réalisées en laboratoire.

Chapitre V
Diagnostic et réhabilitation du
forage Taghzout-Centre

I. Introduction:

Les forages d'eaux sont un plus chers avec un capital important, ils sont exposés à beaucoup de catastrophes, d'origine naturelle ou humaine, et peuvent subir des changements qui nuisent à leurs exploitation dans les conditions et les objectifs pour les quelles sont conçus. D'où la nécessité de réaliser un diagnostic pour détecter les causes des anomalies afin de trouver un remède.

Le diagnostic et la réhabilitation est une phase nécessaire et préventif pour tout le forage d'eau qui constitue l'identification des problèmes posés, pour trouver des solutions prés a la remise en état avec les moyens actuels, et améliorer le rendement du forage pour assurer les meilleures conditions d'exploitation en eau potable pour la population. S'est le cas du forage **taghzout-centre**.

II. Situation géographique de la commune Taghzout :

La commune de taghzout daïra Guemar se situe à 12 km au nord d'El Oued sur la route nationale N°48, reliant de Biskra à El Oued , le territoire de la commune de Taghzout est situé au nord-ouest de la wilaya (**Fig.1**) . Elle devint une commune depuis 1984, elle occupe une superficie de **539** km², avec une population de **18 560** habitants (estimation fin 2019), et la densité est de **34,43** habitant par km².

Répartition géographique :

La commune de taghzout est constitue de :

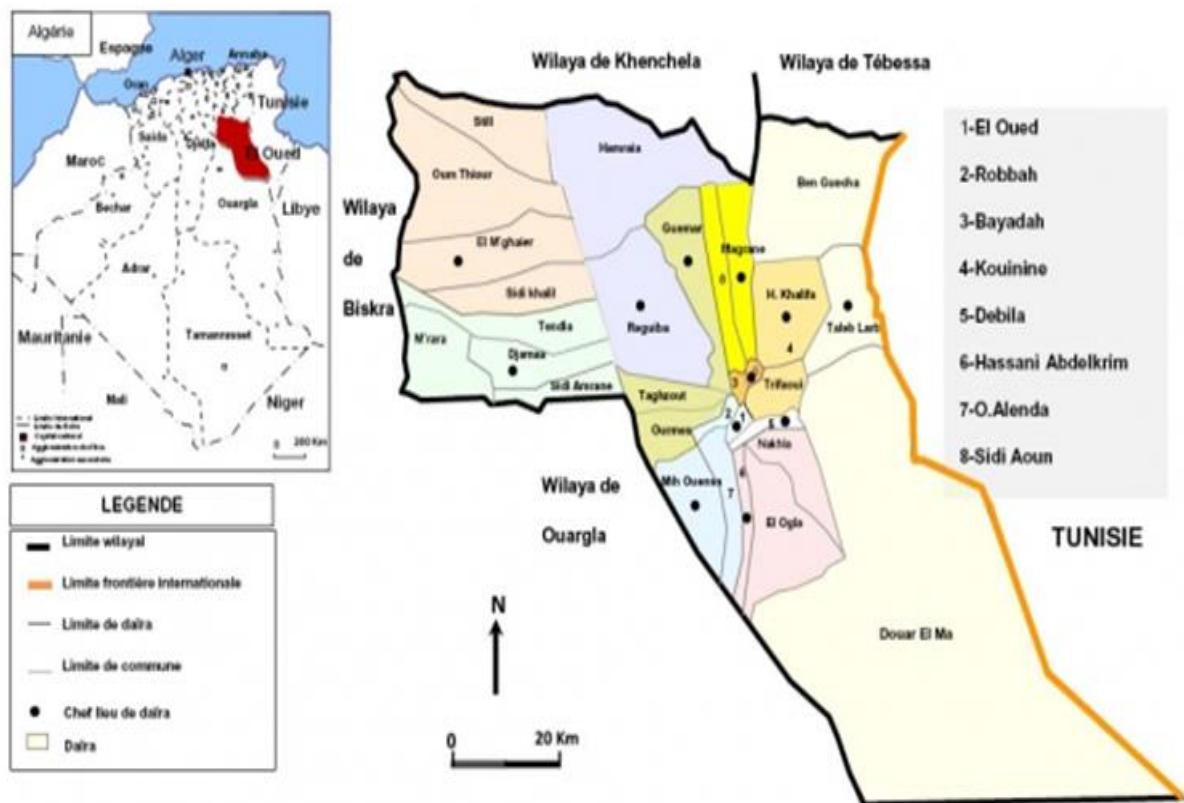
- ✓ La ville de chef lieu de la commune Taghzout caractérisée par une petite surface de 4km² (voir tableau.1) avec une population de **17 600** habitants, avec une densité de **4 400** habitant par km².
- ✓ La localité de Begouza comme agglomération secondaire éloignée de **8** km, habitée par environ **1000** Habitans (Estimation **2019**).
- ✓ Une autre agglomération Bin djerour il est à 2 km, habitée par **300** habitants (Estimation **2019**).
- ✓ Charguia est un nouveau pole d'habitation éloignée à 5 km du chef lieu de la commune, pas encore habité (comprenant **350** logements sociaux en cours de réalisation, et **800** lotissements sociaux).

Ainsi que les équipements suivants :

- Ecole primaire.
- Forage d'eau.
- Antenne communal.

Les limites de taghzout sont :

- ❖ Au Nord : La commune chef lieu de dira Guémar, et la commune de Réguba;
- ❖ Au Sud , Les commune Kouinine et Ourmès
- ❖ A l’Est : La commune de Hassani abdelkerim .
- ❖ A l’Ouest : La commune de Sidi amrane et la wilaya de ouergla.



Original (jpeg, 96k) ↓

Fig. 2 – Carte du découpage administratif de la wilaya d’El Oued

Source : P.D.A.U .WILAYA D’El Oued ,1997

Figure 35 : Situation géographique de la commune de Taghzout

III. Approvisionnement en eau potable de la commune Taghzout :

III.1. Ressource en eau à Taghzout :

Les ressources existants dans la commune de Taghzout sont uniquement des forages d'eau forés dans le Complex Terminal (CT).

Le tableau ci-dessous présente les forages existants dans la commune de Taghzout:

Tableau 13 : Ressource en eau dans la commune Taghzout

Forage	Date mise en service	Zone deservie			Observations
		Cité	Superficie (Ha)	Nombre d'habitants	
Taghzout-centre	1987	1 Novembre, Alhawa' altalaq, 5 Juillet, Atik, 8 mai, Chouhada, partie de cité belle vue, et partie de cité nasser.	138	9000	Avec château d'eau de 1000 m ³
Isteklal	2003	Isteklal, moudjahidine, tahrir, 20 Aout, et partie de cité chouhada.	134	6300	Avec château d'eau de 500 m ³
Bin-Djerrou	2008	Bin djrou, partie de cité 1 Novembre, partie de cité belle vue, et partie de cité nasser	320	1300	Avec château d'eau de 300 m ³
Begouza	1989	Begouza	250	1000	Sans château d'eau
Charguia	Foré en 2018	Cite Charguia	150	///	Non exploité, son date de réalisation est 2018

NB : Notant que le réseau de distribution d'eau potable dans la commune de Taghzout est de l'ordre de **62320** km linéaire, et de capacité de stockage **1800** m³.

III. 2. Historique du Forage Taghzout-centre :

Le forage d'étude est situé au niveau de l'aciette du château d'eau centre de Taghzout commune de Taghzout dont les coordonnées : $X=881.500$ $Y=326.600$ $Z=78.500$, et les travaux d'exécution ont commencé le : **18/04/1987** et achevé le **19/07/1987** par une société étatique ETH Touggourt avec un appareil de forage Rotary SPEEDSTAR 25 et une boue bentonitique. Le forage n'est pas un simple trou dans le sol, il doit être bien conçu, construit de manière professionnelle, et réalisé avec soin, destiné à l'extraction de l'eau potable d'une qualité satisfaisante.

Le forage de taghzout-centre a été reailise **au 1987** dont les caracteristique sont les suivants :

- ❖ Profondeur : 345 m
- ❖ Debit mobilisé : 55 L/S
- ❖ Niveau statique : 11 m
- ❖ Niveau dynamique : 22,5 m

Equipé par une pompe immergée d'un debit de 30 L/S, et un HMT de 160 m, refoulant vers le château d'eau de 1000 m³, avec une conduite de refoulement de 50 m.



Figure.2: Image satellite montrant la position du château d'eau Taghzout-centre



Figure 36 : Déroulement des travaux de réhabilitation du forage Taghzout-centre.

IV. La démarche préliminaire de diagnostic:

Lorsqu'un problème est posé, on doit examiner l'ouvrage et de l'existence des équipements permettant de réaliser des mesures des débits et le niveau d'eau par le matériel d'exploitation, le recueil des documents existants sur l'état initial de l'ouvrage, les débits spécifiques, la courbe caractéristique de la pompe de constructeur qui est installée et sa cote de calage dans le forage.

L'expertise comprend :

- ✚ Mesures avec le matériel existant dans le forage, le niveau piézométrique après 10 heures d'arrêt de la pompe, débit spécifique après court pompage d'essai.
- ✚ Observation sur la qualité de l'eau et son évolution (Ph, TH, ...).
- ✚ Observations d'éventuelles venues : sables, argile, oxydes noirs ou rouges, dépôts calcaireux.
- ✚ Enquête hydraulique : quels travaux récents sur les installations à l'aval du forage, date de la dernière révision de pompe, comptage de débit, production, historique d'exploitation et d'incidents éventuels. Après le diagnostic préliminaire en fournit d'un compte rendu avec de conclusion d'un programme comme de solution (réhabilitation ou rénovation).

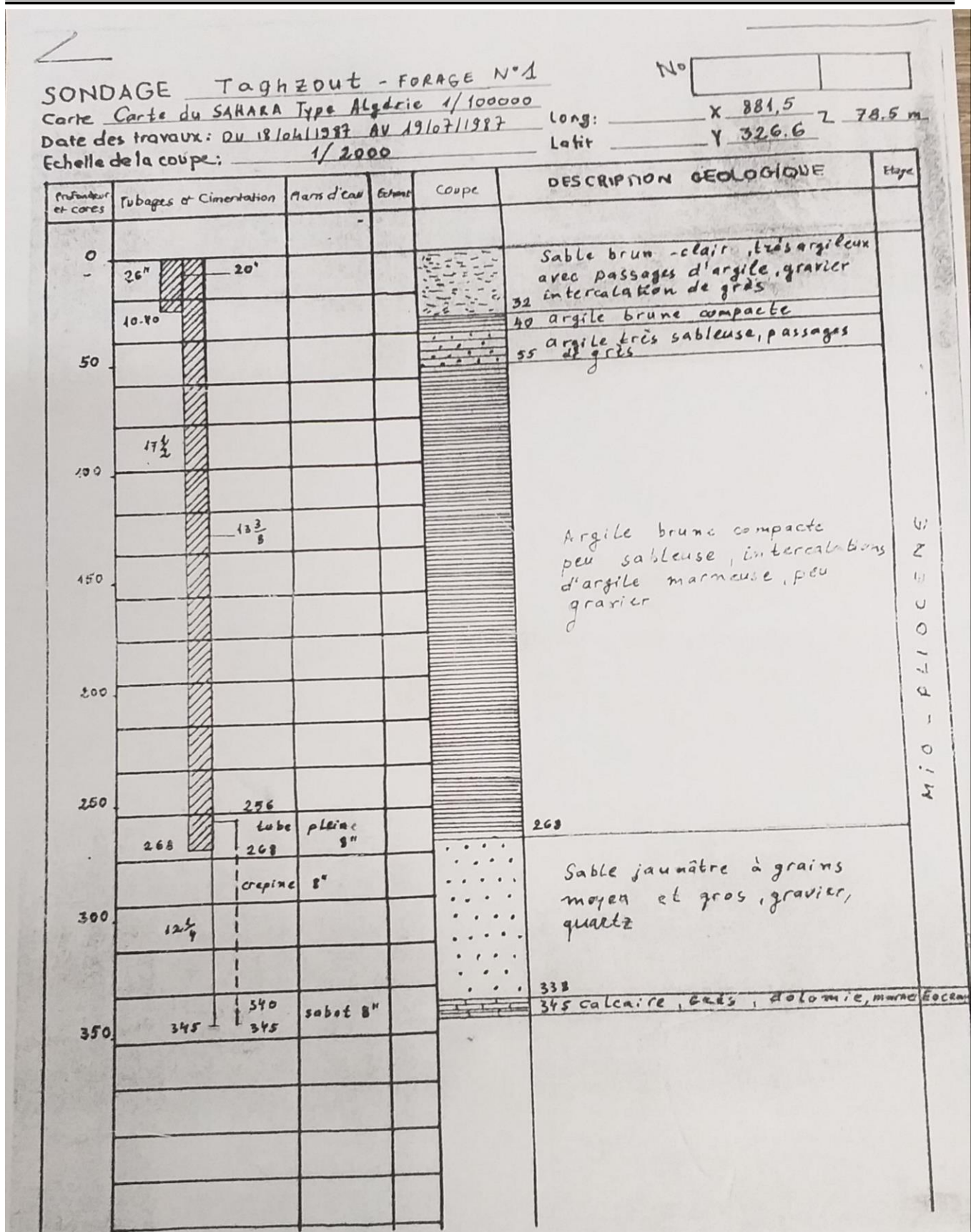


Figure 37 : Fiche technique forage d'eau Taghzout-centre

V. Généralité sur le diagnostic d'un forage et son équipements

V.1. Définition du diagnostic :

C'est l'analyse qualitative et quantitative de tous les aléas pouvant exister sur le forage et qui se manifestent par des observations, et les causes possibles pour évaluer les conséquences induites, il s'agit par une analyse successive et récursive à l'aide de requêtes temporelles pour détecter deux observations : manifestations et dysfonctionnement.

V.2. Classification des causes techniques :

Dans le cas de la baisse de la productivité du forage, l'exploitant va prendre conscience de l'existence du problème, notamment en période d'exploitation.

On peut, classer les causes essentielles de baisse de productivité d'un forage selon deux grandes catégories A et B :

- **Catégorie A :**

Causes identifiables par les observations classiques de l'hydrogéologie et de l'hydraulique. Sans instrumentation spécialisée par comparaison avec l'état initial antérieur.

Type A .I - en relation avec l'aquifère (forage) :

Baisse généralisée du niveau piézométrique de la nappe dans la région de l'ouvrage d'exploitation, ou encore baisse localisée dans le secteur de l'ouvrage en raison de l'implantation à proximité, postérieurement aux travaux, d'autres ouvrages d'exploitation (interférences).

Type A .2 - en relation avec les équipements d'exploitation :

Usure de la pompe, pompe travaillant au-delà du débit critique, ou travaillant dans des conditions différentes en hauteur manométrique totale, par rapport à la situation de référence en raison de travaux effectués dans l'intervalle sur les équipements situés à l'aval du forage (hauteur du château d'eau, changement de conduites, etc....).

- **Catégorie B :**

Une fois les causes de catégorie A sont exclues (écartées), les autres causes ne peuvent être identifiées que par des instrumentations spécialisées, nécessitant de libérer le puits du matériel d'exhaure.

Type B .I – Les colmatages: (crépines et colonnes). Trois grandes natures de colmatages :

- Chimique (incrustations de Ca –Fe – Mn, ...)
- Biologique bactéries et algues
- Mécaniques ensablement, chutes d'objets, invasion du massif filtrant par des silts,

Type B 2 – Les malfaçons et corrosions:

Les malfaçons peuvent être d'origine : ruptures de colonnes, cimentations défectueuses, effondrement de crépines ou bien liées à des erreurs d'exploitation (effondrement, destruction du massif filtrant, coup de bélier ...).

Les corrosions attaquent les matériaux des colonnes de captage, non-appropriés à la qualité de l'eau exploitée ou à être protégés contre les courants vagabonds (protection cathodique).

V.3. Les outils pour le diagnostic de forage :

Après la phase d'expertise diagnostique hydrogéologique et hydraulique, on peut avoir recours à divers outils spécifiques.

a. La caméra en forage :

L'utilisation de caméra pour l'inspection des colonnes de production et captage, ce qui montre les états de cette dernière.

b. Les diagraphies en forage :

Selon le problème, le choix des diagraphies variera. On a évidemment souvent l'intérêt à appeler un opérateur disposant de la totalité des outils nécessaires afin de ne supporter qu'une seule charge fixe et un déplacement. En diagnostic, les outils les plus fréquemment employés sont :

c. Le gamma-ray :

Pour déterminer la position des couches perméables derrière les tubages, cimentés ou non (reconstitution d'une coupe géologique)

d. Les diagraphies ultrasoniques :

Pour contrôler la géométrie des tubages et la perforation et les dépôts meubles tels les sulfures de fer.

Les diagraphies de la qualité de cimentation derrière les tubages, type CBL

V.4. Le diagnostic des équipements électriques :

L'eau, étant une ressource stratégique et vitale, nécessite une bonne gestion afin d'optimiser son exploitation. Il est alors indispensable de faire appel à des techniques efficaces de supervision au niveau des installations hydrauliques et de leurs accessoires.

En effet la technologie de surveillance et de protection des données provenant d'une pompe permet de contrôler le fonctionnement et le rendement de forage pendant toute l'année.

Donc La pompe représente l'élément le plus important dans un forage d'eau, mais pose plusieurs problèmes (diminution de débit, les pannes...).

À l'aide d'une commande industrielle désigne l'ensemble des méthodes qui permettent de contrôler les performances d'un appareil électrique, d'une pompe ou d'un système. Appliquée aux moteurs, la commande industrielle contrôle le démarrage, l'accélération, le sens de rotation, la vitesse, la décélération et l'arrêt des parties tournantes.

Ce pendant, nous étudierons la commande industrielle des moteurs/Alternatifs. On se limitera à la présentation des principaux dispositifs ; car le montage industriel est souvent trop élaboré ; pour permettre une représentation simple et des explications faciles.

Toutefois, les principes de base que nous examinons s'appliquent à tout système de commande, quelque soit sa complexité.

V.6. Dispositifs Industriels de Commande :

Tout circuit de commande comprend quelques composants de base raccordés entre eux de façon à assurer le contrôle désiré du moteur. Leurs dimensions peuvent varier selon la grosseur du moteur à commander, mais leur principe de fonctionnement reste le même. Avec seulement une dizaine de dispositifs de base, on réalise des montages de commande très complexes.

Voici les principaux dispositifs :

1. Sectionneurs.
2. Disjoncteurs manuels.
3. Commutateurs à cames.
4. Boutons poussoirs.
5. Relais de phase.
6. Relais de garde niveau d'eau.
7. Relais thermiques.
8. Contacteurs magnétiques.
9. Temporisateur.
10. Lampes témoins.
11. Interrupteurs de fin de course.
12. Divers (Résistances, réactances, transformateurs, etc....)

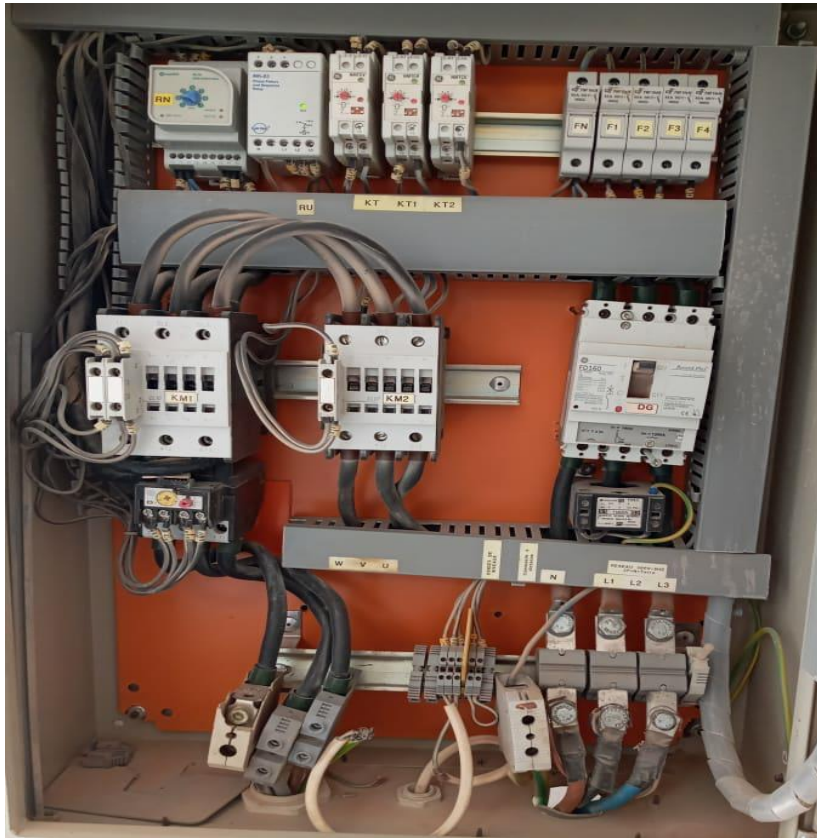


Figure 38 : Armoire électrique

V.7. Diagnostic de la pompe :

Généralement on démonte et on retire la pompe et la colonne d'exhaure pour identifier toutes les parties endommagées (pompe, câble de connexion), ces jonctions de raccordement électrique, colonne d'exhaure, l'état des joints d'étanchéités, la présence des particules fines est un signe d'ensablement qui se traduit par une corrosion de la pompe et engendre des dégâts sur la colonne d'exhaure qui lui-même un signe de dégradation de colonne de captage et du massif filtrant.

VI. Diagnostic du forage de Taghzout-centre :

En été 2018, la zone deservie par le forage en question a connu une perturbation importante en qualité de distribution de l'eau potable, causé par : la diminution de débit de ce forage, ce problème a été intensifié en été 2019 ce qui est conduit à l'intervention de service concerné (DRE) pour l'établissement d'un diagnostic afin de connaître l'anomalie où elle existe précisément.

Notons que un programme d'urgence a été élaboré pour deservir la zone alimenté par le forage endommagé (Forage Taghzout-centre) par une conduite d'adduction reliant le forage de Bin-Djerrou par le château d'eau 1000 m³.

VI.1. Démarches suivis pour la dignostique du forage Taghzout-centre

Après 10 heures de la remonte de la pompe immergée et les colonnes montantes, nous avons mesurés le niveau statique par une sonde piézométrique (**Fig 39**) qui a été à l'ordre de **19** mètre.

Puis on a procédé à contrôler et visualiser l'étendue des dégâts sur le tubage et la crépine du forage, à l'aide d'une opération d'endoscopie (caméra).



Figure 39 : La mesure par sonde piézométrique (forage Guemar-Est)

Au cours de la descente de la camera dans le forage à partir de niveau 00 m pour visualiser l'état de dégradation de tubage et colonne du captage et les sédiments sur le fond, on a observé la présence d'importante couches de rouille au tubage, et des sédiments au fond du forage à une colonne de **14** mètre (cote **331** mètre).

On a visualisé un importante trou au tubage a la cote de **47,93** mètre (**Fig 40**), ainsi que l'intrusion de l'eau a travers ce dernier, ce qui explique le venus de dépôt remarqué au fond de forage, et l'augmentation de la salinité de son eau (connexion nappe phréatique avec le complexe terminal).

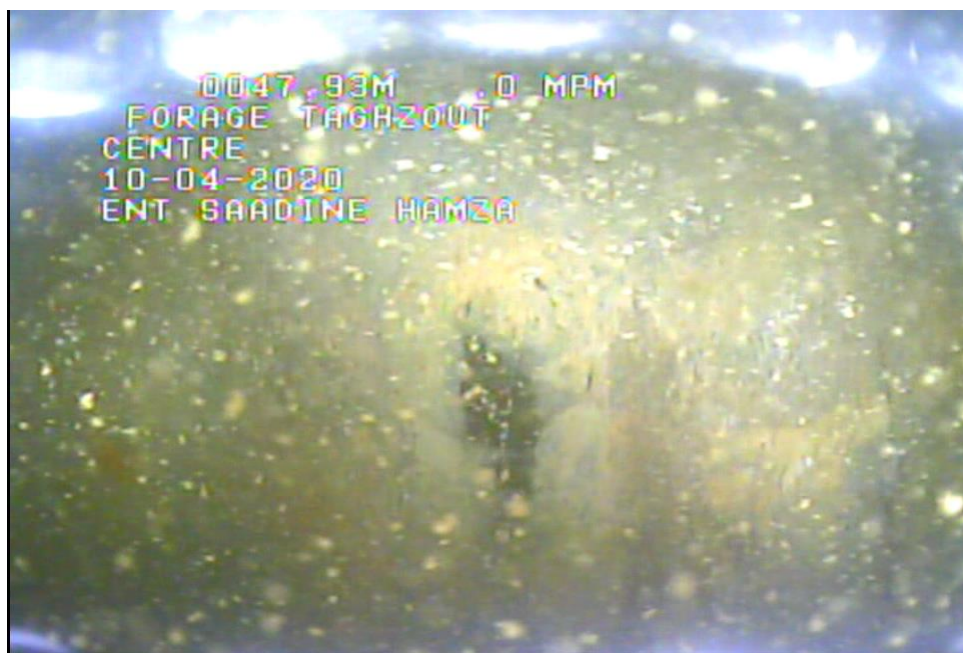


Figure 40 : Colonne de production.

On a visualisé un importante trou au tubage a la cote de **47,93** mètre (**Figure 40**), ainsi que l'intrusion de l'eau a travers ce dernier, ce qui explique le venus de dépôt remarqué au fond de forage, et l'augmentation de la salinité de son eau (connexion nappe phréatique avec le complexe terminal).

VI.2. Réalisation du diagnostic :

VI.2.1. Première étape : le recueil des données existants :

Les données recueillies dans cette première étape sont résumés dans le tableau de bord suivant :

Tableau 14 : Tableau de bord

Nu	Désignation	Les caractéristiques et observations
01	Forage	Ns = 11 m, Nd = 22,5 m, rab=11,5m, Débit = 45 l/s Longueur colonne de production = 268 m en acier Tubage en 13''3/8. Longueur colonne de captage = 77 m en acier inoxydable diamètre colonne de captage en 8''5/8.
02	Pompe immergée (installée)	Débit = 30 l/s hmt = 160 mce Puissance = 55 kw
03	Armoire	Puissance 55 kW - câble de connexion 4*50 mm

	électrique	Démarrage statorique
04	Tuyauterie de refoulement	Conduite en PHD de diamètre 200 mm Longueur de colonne = 50 ml
05	La tête de puits	Vanne, clapet, compteur, baïonnette (état moyenne)
06	Température	29 C°
07	PH	7,40
08	Conductivité	4,14 μ s /cm
09	Faciès chimique	- Chlorurée sulfatée calcique et magnésienne - Chlorurée sodique et potassique ou sulfatée sodique

VI.2.2. Deuxième étape : diagnostic de la pompe et son équipement :

Dans cette étape on a procédé aux opérations suivantes :

- ✓ La mesure du débit par un débitmètre et le niveau d'eau par un instrument simple (sonde piézométrique).
- ✓ La vérification de l'état de l'armoire de commode électrique (les appareils des protections).
- ✓ La vérification de l'état du câble de connexion qui relie l'armoire et la pompe.
- ✓ La vérification de la source d'alimentation électrique et les différents appareils.

Travail : on a diagnostiqué l'ouvrage à l'aide d'un tableau de bord cité au-dessus, mais les caractéristiques des forages dans la région de Souf ont changé depuis 1987 jusqu'au 2019, le niveau d'eau a baissé à cause de :

- Les fonçages importants des forages.
- L'extension des agglomérations.
- La surexploitation des forages.
- La sécheresse dans les zones de la réalimentation.

VI.2.3. Troisième étape : Proposition des solutions

Dans cette étape deux solutions sont possibles : soit le chemisage en 9''5/8, soit l'abandon de ce forage et la réalisation d'un nouveau, le choix de l'une ou de l'autre solution s'appuie sur une estimation et évaluation économique et financière des deux variantes pour décider sur la pertinence d'une solution.

a)-Estimation et évaluation économique et financière des solutions

Tableau 15 : Estimation et évaluation financière (DRE 2019).

No	Désignations des travaux	Quantité (ml)	Prix Unitaire (Da/ml)	Montant total (Da)
01	Réhabilitation de forage par chemisage en 9''5/8	244	48 224,26	11 766 720,00
02	Réalisation d'un nouveau forage de remplacement en 13''3/8	345	71 000,00	24 495 000,00

b)-la première variante :

L'opération de chemisage en 9''5/8 à 244 m de longueur du tubage de 13''3/8 après le grattage et nettoyage, mais le diamètre de la pompe dans ce cas ne doit pas dépasser 6'', les caractéristiques des pompes disponibles 6'' :

- Débit maximum 23 L/S
- La HMT est égale à 100 mce.

La première variante avec a des avantages suivants :

- Plus économique,
- Temps de remise en état réduit,
- Leger travaux,

c)-la deuxième variante :

Réalisation d'un nouveau forage de remplacement dans le même site par un coût de réalisation = **24 495 000,00 DA**, avec une différence de plus de **12 728 280,00 DA** par rapport à la première variante,

d)-Choix de la variante :

On remarquons la grande différent du coût entre le nouveau forage et la réhabilitation, le coût de Réhabilitation = **11 766 720,00 DA** avec une différence de **12 728 280,00 DA** par rapport à nouveau forage.

Après la comparaison, et vu le coût et le délais de réalisation des travaux de réhabilitation il est clair que la première variante est la plus économique et avantageuse.

La décision finale est de faire un chemisage à forage en question.

VII. Préparation pour travaux de réhabilitation:

Les travaux de réhabilitation de forage Taghzout-centre à été exécuté avec un appareil de forage au ROATRY avec une boue benthonique par l'entreprise SADINE de travaux hydrauliques.

VII.1. Installation du chantier : Comprenant les actions suivantes :

- Transfert de l'appareil de forage.
- Nettoyage de plate-forme, et préparation bassin, rigoles et bourniers.
- Démontages des conduites et tête de puits.
- Installation et montage de l'appareil de forage.
- Remontée de la pompe et la colonne d'exhaure.

VII.2. Re-diagnostic de forage :

Après la mise en place de l'appareil de forage on a effectué les opérations suivantes :

- Endoscopie de puits.
- Contrôle du trou de forage jusqu'a la cote **331 m**.

VIII. Exécution des travaux de réhabilitation:

- Bouchage le puits avec gravier du fond jusqu'à 244 m.
- Descente et pose colonne de production API ϕ 9 " 5/8 de 00 à 244 m.
- Cimentation en ciment CRS de densité **1,8** de tubage de 00 m jusqu'à 244 m.

- Cimentation de plusieurs cycles a la boue benthonique, évacuation du gravier et sédiments.
- Evacuation de la boue.
- Nettoyage du forage à l'eau claire.



Figure 41 : L'appareil forage lors des travaux de réhabilitation

VIII.1. Développement et nettoyage :

- Développement au compresseur, nettoyage de reste des sédiments.
- Contrôle fond, libre jusqu'à 331 m fond de puits.
- Développement au compresseur 25 bars jusqu'à obtention d'une eau claire et propre.



Figure 42 : L'appareil forage lors des travaux de réhabilitation

VIII.2. Essais de débit

VIII.2. 1.Descente électropompe immergée :

- Descente électropompe immergée dont les caractéristiques suivantes $Q= 125 \text{ m}^3/\text{h}$, $HMT=120 \text{ m}$ a la cote 85 m.
- Mesure de niveau statique, soit 55m

Les niveaux sont relevés avec une sonde électrique .

VIII.2. 2.Programme des essais de pompage :

Les essais de pompage ont été effectués en deux phases :

- 1 ère phase comporte un essai à blanc de 08 h.
- 2 ème phase comporte un essai définitif de 64 heures avec un débit de $Q=23 \text{ L/S}$ suivis d'une remontée de 03 h.

VIII.2. 3.Résultats des essais de pompage:

Paliers	Niveau Statique (m)	Niveau Dynamique (m)	Débit (L/S)
Essai à blanc	55	82.00	40
Paliers const	55	76.00	45

VIII.2. 4.Les analyses physico-chimiques d'eau :

Le but pour définir l'origine des eaux et leurs caractéristiques physico-chimique, les éléments majeurs dissous ceux-ci par la quantification des divers éléments chimiques, le faciès chimique, la dureté, la potabilité de cette eau. Le prélèvement a été effectué manuellement à condition que la javellisation soit arrêtée et la conduite est vidangée pour que l'échantillon soit représentatif de l'eau du forage. L'échantillon a été prélevé dans des bouteilles bien lavées, d'une capacité d'un litre, sans rajouter aucune substance conservatrice pour éviter la contamination.

La fiche de l'échantillon ou l'étiquetage comporte : l'identité du préleveur, la date et l'heure du prélèvement, la ville ou l'établissement que l'eau alimente, l'origine et la température de l'eau.

Les résultats obtenus sont présentés au tableau ci-dessous :

Echantillon reçu et lancé le : **23/06/2020**

Tableau 16 : Bultin N:0760/20 d'analyse d'eau physico-chimique d'un échantillon.

Paramètre	Unité	Résultat	Norme	Méthode
pH	/	6.92	6.5-9	NA 751
Conductivité	µS/cm	7650.0	2800	NA 749
TAC	mg/L (CaCO ₃)	113.0	500	NA 756
Dureté Total	F°	151.00	20	NA 752
TDS	mg/L	5802.86	2110	NA 549
Sodium Na	mg/L	512.03	200	NA 1653

Potassium K	mg/L	55.49	12	NA 1653
Calcium Ca	mg/L	484.97	200	NA 1655
Magnésium Mg	mg/L	73.44	75	NA 752
Chlorure Cl	mg/L	1247.95	500	NA 6917
Nitrate NO₃	mg/L	29.91	50	NA 1656
Sulfate SO₄	mg/L	771.24	400	KERN
TA	mg/L en CaCO ₃	0.00		NA 756
Carbonate CO₃	mg/L	0.00	/	NA 756
Bicarbonate HCO₃	mg/L	143.96	610	NA 756

IX. Comparaison des caractéristiques du forage Taghzout-centre en 1987 et après sa réhabilitation :

Après avoir défini les caractéristiques du forage après réhabilitation on a établi les résultats dans le tableau ci-dessous :

Tableau 17 : Etude comparative de forage Taghzout-centre

	Désignation	Etat du forage (1987)	Forage Après réhabilitation (2020)	Observations
01	Débit	55 L/S	45 L/S	Débit a baissé
02	Débit spécif	$4.78 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$	$2,15 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$	Rendement a baissé
03	NS	11 m	55 m	Nappe rabattue
04	ND	22,5 m	75,90 m	Rabattement Important
05	Rabattement	11,5 m	20,90 m	Rabattement Important
06	Température	29 C°	29 C°	ne change pas
07	PH	7.40	7.40	ne change pas
08	Armoire électrique	55 Kw	45 kW	Bon état
09	Source électrique	400 V	400 V	//

X. Exploitation du forage :

Après le repli du chantier, et le nettoyage du site on procède à l'installation des équipements

Hydromécaniques qui sont :

- La pompe immergée à la cote 85 m et la colonne d'exhaure .
- La tête de forage comprenant : une vanne, clapé anti retour, compteur d'eau, baïonnette.
- Raccordement avec le réseau d'adduction avec le château d'eau de 1000 m³

NB : A noter que la pompe immergée à installée a des caractéristiques suivantes :

- Diamètre 6 "
- Débit 23 L/S
- Hauteur manométrique total (HMT) = 160m.
- Puissance absorbée 45 Kw

Conclusion Générale

Les eaux souterraines sont des sources importantes des eaux douces pour les êtres humains, les animaux et les plantes. Malheureusement, dans quelques régions algériennes, surtout celles situées dans le Sahara, sont confrontées aujourd'hui à des problèmes liés à des aspects quantitatives et qualitatives des ressources en eau, due essentiellement à la remontée des eaux des nappes libres, qui à un effet néfaste pour les habitants et l'agriculture.

D'un point de vue économique, une grande investissement de l'Etat pour l'approvisionnement de l'eau potable a leurs population tels que les constructions des ouvrages (les barrages, les forages), les réseaux d'adduction, entretien des ouvrages..etc.

Les forages d'eau est un capital important et plus chers peuvent résister a beaucoup de catastrophes, d'origine naturelle ou humaine, réalisé pour destiner à l'extraction de l'eau potable d'une qualité satisfaisante à la population. Le diagnostique et la réhabilitation est une phase nécessaire et préventif pour tout le forage d'eau qui constitue l'identification des problèmes posés, pour trouver des solutions prés a la remise en état avec les moyens actuels, et améliorer le rendement du forage pour assurer la meilleure condition d'exploitation en eau potable aux populations.

La réalisation d'un forage est une opération délicate, car la bonne réalisation en adoptant la technique de forage adéquate est en respectant les étapes de réalisation, c'est la clé d'un forage bien conçu et constitue la première étape vers une exploitation et gestion meilleur de cet ouvrage.

En conséquence, la bonne conception d'un forage facilite le suivi et le diagnostique des pannes et disfonctionnements ultérieurement.

L'approvisionnement de l'eau potable dans la wilaya d'El-oued est principalement fait par les forages,

La commune de Taghzout दौरا Guemar wilaya d'El-oued est approvisionnée par trois forages et trois châteaux d'eau.

Le forage Taghzout-centre est le premier forage de la commune est foré l'année 1987, ce dernier à observer une panne fin du juillet 2019, un projet d'urgence c'est l'adduction a été réalisé du château d'eau en question avec le forage de ben-djrour d'une distance de 2 km

pour résoudre partialement le problème d'approvisionnement de l'eau potable de quelques cites.

Après plus de **20** jours, un diagnostique du forage Taghzout-centre à été réalisé, tels que le film de la séquence diagraphie qui observe une grande fissure au niveau du puits apparaitre clairement au film, qui est oblige une opération de réhabilitation par un nouveau chemisage qui est l'objet de notre étude.

La réhabilitation de forage en question à été exécuté par l'entreprise SADINE des travaux hydrauliques avec un appareil de forage ROTARY durant le mois du juin **2020**, la remise en service de ce forage à été effectué la fin du mois juillet **2020**.

Référence
Bibliographies

- [1] KHECHANA. S (2007). Etude de la gestion intégrée des ressources en eaux dans la vallée de Oued-Souf (Sud-Est algérien). MAGISTER en Hydrogéologie Université Badji Mokhtar Annaba. Faculté des Sciences de la Terre. Département de Géologie
- [2] SAHRAOUI. B (2016). Diagnostic et réhabilitation d'un forage du complexe Terminal et ses équipements, cas du forage de Guemar Est .
Master en Hydraulique Université Hamma Lakhdar El-Oued. Faculté de technologie.
- [3] BOUSALSAL.B (2007). Etude hydrogéologique de la nappe Aquifère libre d'El-oued souf.
Mémoire de Magister. Institut des sciences de la terre. Université de Annaba.
- [4] BETTAHER.A (2013). Aspecte qualitatifs des eaux de la région de Touggourt (nappe de complexe terminal et continental intercalaire) Sud-Est de l'Algérie.
Master en Géologie. Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers. Université Kasdi merbah – Ouergla.
- [5] AKABLI.A et DJOUAL.N (2017). Alimentation en eau potable de la commune de tazmalt (à partir du barrage Tchi haff).
Master en Hydraulique. Faculté de Technologie. Université Abderrahmane Mira de Bejaia.
- [6] BIAOU.A (2012). Etude de la contamination par l'arsenic dans les de forages cas de la province de Seno, Burkina Faso .
Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement. Option :AEP, Eau souterraine.
- [7] KHECHANA S (2014). Perspective et méthode de la gestion intégrée des ressources en eau dans une zone hyper-aride. Application sur la vallée d'Oued-Souf (Sud-Est algérien).
Doctorat en Sciences. Option : Hydrogéologie. Université Badji Mokhtar Annaba. Faculté des Sciences de la Terre. Département de Géologie.
- [8] BENCHAIIB (2006). Condition d'écoulement et impact sur la mobilisation des ressources en eau. Bassin versant de l'Oued Bouhamdene (W. de Guelma Est Algérien).

Mémoire de Magister en Hydraulique. Université El- Hadj Lakhdar de Batna.

[9] SALHI H. (2016). Détermination de la piézométrie et la qualité des eaux de la nappe phréatique dans la zone urbaine (Cas de la commune d'El-Oued).

Mémoire de Magister en Hydraulique. Université El- Hadj Lakhdar de Batna.

[10] PIERRE-YVES J (1996). Structure et comportement hydraulique des aquifères karstiques. Thèse de Doctorat. Institut De Géologie. Université De Neuchâtel. Faculté des sciences. Institut de géologie.

[11] BOUSALSAL.B, KHERICI N. (2014). Effets de la remontée des eaux de la nappe phréatique sur l'homme et l'environnement : cas de la région d'El-Oued (SE Algérie). Livre Afrique Science.

[12] AXEL J (2004). Gestion intégrée de l'eau par bassin versant. Conseiller Technique du Haut Commissaire de l'OMVS. Ministère Français des Affaires Étrangères.

[13] BOUSELSAL B, BELKSIER Med S (2019). Gestion du phénomène de la remontée des eaux dans la région d'El Oued (SE-Algérie) et la possibilité d'utilisée les eaux usées épurées en irrigation. International Journal of Environnement et Water ISSN 2052-3408

[14] (2020). Rapport de la panne du forage de Taghzout-centre.
DHW (Direction d'hydraulique de la Wilaya d'El-Oued).

[15] (2020). Rapport de diagnostic et réhabilitation du forage de Taghzout-centre de l'entrepreneur SADINE.

[16] (2020). Forage d'eau (Réalisation, Exploitation, et Réhabilitation).
Formation du 16 Février au 12 Mars 2020. Institut National de Perfectionnement de l'Équipement.

[17] (2013). Fiches techniques eau, hygiène, et assainissement en situation d'urgence de l'organisation mondiale de la santé OMS 2013. Nettoyage et réhabilitation des forages.

[18] ADE (Algérienne Des Eaux Wilaya de El-Oued). Rapports sur l'alimentation en eau potable (AEP).

[19] ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la Wilaya de Ouargla). Rapports et campagne des mesures.

[20] ABHS (Agence du Bassin Hydrographique Sahara Wilaya de Ouargla). Rapports et bilans sur les missions et les campagnes réalisées par l'ABHS.

[21] ONM (Office National Météorologique) Station de Guemar et de Touggourt, données climatiques.

[22] CASTANY. G (1968) : Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Université Pierre et Marie-Curie Paris.

[23] (2005). Gestion Durable des Ressources en Eau.
Ministère de l'Environnement et du Développement Durable tunisien, et l'Agence Nationale de
protection de l'Environnement tunisien.

Annexe

Tests lors de la réhabilitation du forage Taghzout-centre :

DEBIT : $Q(1/S) = 29$

Date	Heures	Temps cumulé	ND = niveau dynamique	Observation
	H	00	55.00	Ns = 55
		01	56.30	
		02	57.45	
		03	58.21	
		05	59.73	
		07	61.56	
		09	64.45	
		11	67.00	
		13	70.73	
		15	74.91	
		20	76.06	
		25	79.19	
		30	80.31	
		40	80.42	
		50	81.52	
	H	1 heure	81.61	Eau Claire
		15	81.67	
		30	81.73	
		45	81.78	
	H	2 heure	81.82	
		15	81.85	
		30	81.88	
		45	81.90	
	H	3 heure	81.92	
		30	81.94	
	H	4 heure	81.96	
		30	81.97	
	H	5 heure	81.98	
		30	81.99	

	H	6 heure	82.00	
	H	7 heure	82.00	
	H	8 heure	82.00	Eau Claire

PALIER CONSTANT**DEBIT : Q(1/S) =23**

Date	Heures	Temps	ND = niveau	Observation
	H	00	55.00	Ns = 55
		01	56.30	
		02	57.45	
		03	58.21	
		05	59.73	
		07	61.65	
		09	63.45	
		11	65.12	
		13	67.33	
		15	68.66	
		20	69.10	
		25	70.45	
		30	71.60	
		40	72.21	
		50	73.77	
	H	1 heure	74.43	
		15	74.73	
		30	74.90	
		45	75.06	
	H	2 heure	75.19	
		15	75.31	
		30	75.42	
		45	75.52	
	H	3 heure	75.61	
		15	75.67	
		30	75.70	
		45	75.71	

	H	4 heure	75.72	
		30	75.74	
	H	5 heure	75.76	
		30	75.78	
	H	6 heure	75.80	
		30	75.82	
	H	7 heure	75.84	
		30	75.86	
	H	8 heure	75.88	
	H	9 heure	75.89	
	H	10 heure	75.90	
	H	11 heure	75.91	
	H	12 heure	75.92	12 h
	2 H	14 heure	75.93	
	2 H	16 Heure	75.94	
	2 H	18 Heure	75.95	
	2 H	20 Heure	75.96	
	2 H	22 Heure	75.96	
	2 H	24 Heure	75.97	24 h
	2 H	26 heure	75.97	
	2 H	28 heure	75.98	
	2 H	30 heure	75.98	
	3 H	33 heure	75.98	
	3 H	36 heure	75.99	36 h
	3 H	39 heure	75.99	
	3 H	42 heure	75.99	
	3 H	45 heure	75.99	
	3 H	48 heure	75.99	48 h
	3 H	51 heure	76.00	
	3 H	54 heure	76.00	
	3 H	57 heure	76.00	
	3 H	60 heure	76.00	
	3 H	64 heure	76.00	64 h

REMONTE

Date	Heures	Temps cumulé	ND = niveau dynamique	Observation
	H	00	82.00	Ns = 55
		01	78.53	
		02	72.21	
		03	66.87	
		05	60.45	
		07	56.22	
		09	55.58	
		11	55.48	
		13	55.39	
		15	55.33	
		20	55.27	
		25	55.22	
		30	55.18	
		40	55.15	
		50	55.12	
	H	1 heure	55.10	
		15	55.08	
		30	55.06	
		45	55.04	
	H	2 heure	55.03	
		15	55.02	
		30	55.01	
		45	55.00	
	H	3 heure	55.00	

BULLETIN D'ANALYSE NO : 0760/20 (Physico-chimique)**Information Client** : Client : ETPHIC-SADINE HAMZA❖ **Information Echantillon :**

Référence : E0672.01.20

Prélever le : 22/06/2020

Dénomination : Eau d'AEP

Nature : Eau de forage

Emballage : 1.5L

Site : Forage Taghzout Réhabilitataion **2020**❖ **Les résultats :****Echantillon reçu le : 23/06/2020, lancer le : 23/06/2020**

Paramètre	Unité	Résultat	Norme	Méthode
pH	/	6.92	6.5-9	NA 751
Conductivité	µS/cm	7650.0	2800	NA 749
TAC	mg/L (CaCO ₃)	113.0	500	NA 756
Dureté Total	F°	151.00	20	NA 752
TDS	mg/L	5802.86	2110	NA 549
Sodium Na	mg/L	512.03	200	NA 1653
Potassium K	mg/L	55.49	12	NA 1653
Calcium Ca	mg/L	484.97	200	NA 1655
Magnésium Mg	mg/L	73.44	75	NA 752
Chlorure Cl	mg/L	1247.95	500	NA 6917
Nitrate NO₃	mg/L	29.91	50	NA 1656
Sulfate SO₄	mg/L	771.24	400	KERN
TA	mg/L en CaCO ₃	0.00		NA 756
Carbonate CO₃	mg/L	0.00	/	NA 756
Bicarbonate HCO₃	mg/L	143.96	610	NA 756

Interprétation : Eau Non Conforme selon les D.E.11-219**Observation** : Ces résultats d'analyses ne concernent que l'échantillon reçu**NB** : Ce bulletin est identique archivée chez la laboratoire que ne contient aucun surcharge au correction et dans le cas contraire la présente feuille sera annulé

